

THESIS / THÈSE

DOCTEUR EN SCIENCES

Construction d'outils didactiques pour remédier aux difficultés d'apprentissage du concept de concentration en chimie dans le secondaire supérieur - Appui sur les neurosciences cognitives

Willame, Bénédicte

Award date:
2017

Awarding institution:
Université de Namur

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

UNIVERSITÉ DE NAMUR
FACULTÉ DES SCIENCES
DÉPARTEMENT DE CHIMIE

Construction d'outils didactiques pour remédier aux difficultés d'apprentissage du concept de concentration en chimie dans le secondaire supérieur

Appui sur les neurosciences cognitives

Thèse présentée par

Bénédicte WILLAME

en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences

Composition du jury

Carmela APRILE	Professeure, UNamur	Présidente
Marie-Pascale NOËL	Professeure, UCL Maitre de recherches au FNRS	
Jim PLUMAT	Professeur, UCL et UNamur	
Patrice POTVIN	Professeur, Université de Montréal (Québec) Membre de la Société Royale du Canada	
Philippe SNAUWAERT	Professeur, UNamur	Promoteur
Johan WOUTERS	Professeur, UNamur	

Décembre 2017

Graphisme de couverture : © Presses universitaires de Namur

© Presses universitaires de Namur & Bénédicte WILLAME
Rempart de la Vierge, 13
B - 5000 Namur (Belgique)

Toute reproduction d'un extrait quelconque de ce livre, hors des limites restrictives prévues par la loi, par quelque procédé que ce soit, et notamment par photocopie ou scanner, est strictement interdite pour tous pays.

Imprimé en Belgique

ISBN : 978-2-87037-979-0
Dépôt légal : D/2017/1881/19

Université de Namur
Faculté des Sciences
Rue de Bruxelles, 61
B - 5000 Namur (Belgium)

Construction d'outils didactiques pour remédier aux difficultés d'apprentissage du concept de concentration en chimie dans le secondaire supérieur

Appui sur les neurosciences cognitives

par Bénédicte WILLAME

Résumé : En chimie, la concentration d'un soluté dans une solution est un concept central qui intervient tout au long du cursus scolaire. De nombreuses difficultés font obstacle à une acquisition experte par les apprenants. Notre étude cherche à remédier à ces difficultés en s'appuyant sur le modèle du changement conceptuel complété de résultats en neurosciences cognitives.

Des questionnaires ont été soumis à des élèves de l'enseignement belge francophone de grade 10 à 12 afin de faire émerger les conceptions des apprenants face au concept de concentration chimique. Parmi les cinq erreurs récurrentes mises en évidence, trois sont liées au caractère intensif de la concentration chimique, à la confusion entre le volume de solvant et celui de solution et au vocabulaire spécifique utilisé pour exprimer ce concept. Des entretiens individuels ont permis d'explicitier les principaux dysfonctionnements cognitifs à l'origine de ces erreurs.

Un outil didactique d'auto-évaluation a été conçu afin que l'élève identifie rapidement le type d'erreurs qu'il commet et s'oriente de lui-même vers une remédiation adaptée.

Nous avons ensuite élaboré des activités de remédiation faisant intervenir un conflit percepto-cognitif sans et avec un entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes dans le contexte de la concentration chimique. L'objectif est de permettre une (ré)activation des stratégies pertinentes afin de les rendre prévalentes dans ce contexte.

Les résultats obtenus montrent un impact positif de ces activités sur l'acquisition de la grandeur concentration chimique et mettent en évidence que des liens cognitifs privilégiés semblent exister lors du changement de prévalence.

Mots-clés : concentration chimique, difficultés d'apprentissage, outils de remédiation, changement conceptuel, neurosciences cognitives, prévalence conceptuelle.

Dissertation doctorale en Sciences

Soutenance privée : le 25 octobre 2017

Soutenance publique : le 7 décembre 2017

Département de chimie - Unité de didactique

Promoteur : Prof. Philippe SNAUWAERT

Working out didactic tools to remedy difficulties in learning the concept of chemical concentration in upper secondary education.

With the support of cognitive neuroscience

by Bénédicte WILLAME

Abstract: In chemistry the concentration of a solute in a solution is a central concept that comes up throughout the whole school curriculum. A lot of difficulties prevent the learners from gaining an expert acquisition. Our study seeks to remedy these difficulties by using the model of conceptual change completed by results of cognitive neuroscience studies.

Questionnaires were given to pupils following the Belgian francophone education system (grades 10 to 12) in order to bring out the learner's conceptions of the chemical concentration concept. Among the five recurring errors highlighted, three are related to the intensive nature of the chemical concentration, the confusion between solvent volume and solution volume, and the specific vocabulary used to express this concept. Individual interviews enabled us to clarify the main cognitive dysfunctions at the origin of these errors.

A didactic self-assessment tool has been elaborated so that the students can quickly identify the type of errors they make and then move towards an adapted remediation.

Then, we developed remediation activities involving a percepto-cognitive conflict without and with an inhibition training of irrelevant conceptions in the context of chemical concentration. The objective is to allow an activation (or a reactivation) of the relevant strategies in order to make them prevalent in this context.

The results obtained show that these activities have a positive impact on the chemical concentration learning and that privileged cognitive links seem to exist during the change of prevalence.

Keywords: chemical concentration, learning difficulties, remediation tools, conceptual change, cognitive neuroscience, conceptual prevalence.

Doctoral dissertation (Ph.D. thesis in Sciences)

Private thesis defense : october 25, 2017

Public thesis defense : december 7, 2017

Department of Chemistry

Advisor : Prof. Philippe SNAUWAERT

***« L'élève n'est pas une page blanche
sur laquelle il suffit d'écrire »***

Jean-Louis CLOSSET

Remerciements

Mon cher professeur d'agrégation, Jean-Louis Closset, nous répétait sans cesse « *l'élève n'est pas une page blanche* ». Cette phrase que je croyais avoir comprise a pris tout son sens bien des années plus tard. Elle fut le point de départ de mon envie de mieux comprendre les rouages de l'apprentissage. Cette thèse puise son encre dans cette idée.

Un jour de septembre 2012, je me souviens avoir téléphoné à Philippe Snauwaert, professeur de chimie et de didactique de la chimie à l'Université de Namur. Je voulais lui faire part de ce projet de recherche que je souhaitais entreprendre. Avec une ouverture d'esprit immense, il m'a de suite donné rendez-vous. Quelques jours plus tard commençait une relation de cinq ans sincère de respect et riche de discussions passionnées.

Philippe, je te remercie pour ton engagement jamais démenti. Tu as toujours été là pour moi ; aucun mail ni aucune question ne sont restés sans réponse. Tu as été le directeur de thèse que tout doctorant souhaiterait : disponible, bienveillant, ouvert, pertinent, rigoureux, patient, confiant.

Une thèse ne peut aboutir sans une équipe solide. Merci à mes compères de Namur, Jérémy Dehon et Céline Picron pour leurs éclairages judicieux. Je n'oublierai jamais les rires et les sourires lors de tous nos déplacements en Belgique et en France. Merci à tous les membres de l'équipe de l'unité de didactique pour leur gentillesse à chacune de mes visites au département.

Je remercie les chercheurs et professeurs qui ont accepté de faire partie de mon comité d'encadrement et de mon jury de thèse.

Merci à Carmela Aprile et Johan Wouters peu familiers des recherches en didactique, d'avoir été curieux et ouverts à mes travaux.

Merci à Marie-Pascale Noël d'avoir, dès notre première rencontre, accepté de partager ses connaissances en psychologie cognitive et montrer son enthousiasme à collaborer avec moi.

Merci à Jim Plumet pour sa bienveillance lors de nos rencontres aux nombreuses conférences organisées par l'école doctorale. J'en profite pour remercier Jean-Louis Dufays et Maggy Schneider pour l'organisation de ces rencontres passionnantes.

Je remercie tout particulièrement Patrice Potvin qui, en l'espace de quelques secondes, a accepté de traverser l'Atlantique pour participer à ma défense privée. Il y a des rencontres qui marquent une vie, celle avec les ouvrages de Patrice Potvin en est une. C'est par leur lecture que ma route de chercheuse a pu être éclairée.

Merci à Delphine Cassart qui s'est occupée de l'organisation de son voyage.

Petit clin d'œil à Céline Grancher, maintenant docteure, qui depuis le colloque de l'ARDiST à Marseille est devenue ma complice. Je la remercie pour son enthousiasme à discuter, jour et nuit, de didactique (et autres...).

De nombreux enseignants du primaire et du secondaire ont accepté de me confier leurs élèves afin d'enquêter, de scruter les pensées et d'expérimenter les outils didactiques ; tous furent enthousiastes à aider la recherche. Je remercie sincèrement chacun d'eux ainsi que leurs protégés. J'en profite pour saluer tous mes élèves qui me supportent (dans tous les sens du terme) chaque jour, en espérant y voir plus clair dans les dédales des connaissances scientifiques. Leur apprentissage est aussi le mien ; ils sont une source inépuisable d'admiration et d'inspiration.

Merci à Lise Van Lerberghe et Véronique Hosteau, qui m'ont donné leur confiance pour les aider dans la réalisation de leur mémoire de Master en Sciences de l'éducation. Leurs idées et leurs questions m'ont confortée dans mes choix et m'ont ouvert des voies.

Mes collègues d'anglais qu'ils soient de Chimay ou de Pesche n'ont jamais refusé de me coacher pour la correction d'articles. Je les remercie pour leur aide précieuse. Merci aussi à mes collègues de sciences qui m'ont soutenue en venant m'écouter et avec qui toute discussion était toujours possible. Merci également à Benoit Bihin de l'Université de Namur, pour sa contribution indispensable aux calculs statistiques.

Mes parents ont toujours cru en mes projets et aidé à y croire. Je leur dois la Vie et ce goût de la passer à quitter les rives connues pour découvrir de nouveaux mondes. Maman et Papa, merci infini ! Je remercie Danièle, ma Marraine et fée bienfaitante, pour toutes les heures passées à travailler sur un article en anglais et à échanger sur l'éducation des plus petits. Sa curiosité pour l'apprentissage, toute discipline confondue, est une source d'émerveillement pour moi.

Merci à mes deux filles ainsi qu'à ma moitié pour leur soutien inconditionnel tout au long de ces années vécues au rythme de mes recherches, de mes absences et de mes sautes d'humeur... Sans leur consentement, leur compréhension, leur confiance, leur encouragement bienveillant, cette thèse n'aurait pas pu voir le jour. Stathis, Letizia et Artémis, vous êtes les étoiles qui guident ma vie. Merci d'être à mes côtés quel que soit le vent.

Merci à ma sœur de cœur, Isabelle, qui a toujours été présente pour m'aider concrètement lors des expérimentations en classes et m'encourager au quotidien. Elle fut l'oreille attentive qui permet de surpasser ses doutes. Isabelle, sans toi tout aurait été beaucoup plus difficile voire même impossible. Je te suis infiniment reconnaissante ! Merci aussi à son fils, Maxime, pour tous ses conseils avisés. Il était mon élève et il est devenu à force de travail, d'ingéniosité et de générosité, mon maître.

Merci spécial à Maman et Isabelle pour la relecture de ce manuscrit.

Je remercie aussi très sincèrement ceux qui ne m'ont pas aidée car ils m'ont donné la rage d'aller au bout.

Enfin, je pense à ce voyage inoubliable lors de ce colloque de neuroéducation à Montréal où trois drôles de dames m'ont accompagnée sans poser de question, simplement pour être là, à mes côtés.
Merci encore Maman, Marraine, Isa.

Table des matières

INTRODUCTION	19
PREMIÈRE PARTIE : CADRES DE LA RECHERCHE	21
CHAPITRE 1. OBJETS DE RECHERCHE	23
1. L'enseignement des sciences	23
1.1. Il était une fois en 1898	23
1.2. Et au XXIème siècle ?	25
2. Les recherches en didactique.....	28
2.1. Les recherches en didactique des sciences	28
2.2. Les recherches en didactique de la chimie	30
CHAPITRE 2. ANALYSE PRÉALABLE DE LA GRANDEUR CONCENTRATION CHIMIQUE..	32
1. La concentration en chimie	32
1.1. Procédé et grandeur	32
1.2. La grandeur concentration en chimie : un concept central en sciences	33
1.3. Les propriétés générales de la grandeur concentration chimique.....	34
1.3.1. La concentration est un rapport	34
1.3.2. La concentration est une grandeur intensive	34
1.3.3. Hormis la molalité, la concentration se rapporte à la quantité de solution.....	35
2. La transposition didactique de la concentration chimique.....	36
2.1. La transposition didactique	36
2.2. La concentration chimique dans les programmes scolaires en Belgique francophone : le curriculum formel	37
2.2.1. Cadre institutionnel belge francophone pour l'apprentissage de la grandeur concentration.....	37
2.2.2. Commentaires sur le cadre institutionnel de l'apprentissage de la grandeur concentration.....	40
2.3. Les choix transpositifs pour l'enseignement de la concentration chimique : le curriculum réel	40
2.3.1. Le concept de mélange	40
2.3.2. La dissolution d'un soluté pour obtenir une solution	41
2.3.3. Le volume auquel se rapporte la concentration	43
2.3.4. Les représentations utilisées	44
Les représentations iconographiques	44
Les couleurs	46
Les expressions mathématiques	47
CHAPITRE 3. CADRES THÉORIQUES POUR ÉTUDIER LES CONCEPTIONS ET LE CHANGEMENT CONCEPTUEL DE CONCEPTS SCIENTIFIQUES	48
1. Les conceptions des apprenants	48
2. La théorie classique du changement conceptuel.....	49
2.1. Modèle de Posner, Strike, Hewson et William.....	49
2.2. Modèle « Knowledge-as-theory »	51
2.3. Modèle « Knowledge-in-pieces »	52
2.4. Autres modèles	54
2.5. Les points communs et les limites entre les différents modèles	54

3.	Apport des neurosciences cognitives : l'inhibition des conceptions non pertinentes	55
3.1.	Les méthodes fonctionnelles d'imagerie cérébrale	55
3.2.	Les études de Fugelsang et Dunbar	56
3.3.	Les confirmations apportées par Masson, Shtulman et Valcarcel	58
3.4.	Les études de Houdé en psychologie cognitive révisent la théorie de Piaget	59
3.5.	Le modèle de prévalence conceptuelle selon Potvin	61
3.6.	Synthèse des recherches en neurosciences cognitives et leur opérationnalisation en classe	63
4.	De la conception de l'apprenant au concept scientifique : changement ou inhibition ?	67

DEUXIÈME PARTIE : QUESTIONS DE RECHERCHE ET MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE.....69

1.	Postulats de travail	71
1.1.	Les notions « pivots » pour l'acquisition du concept de concentration chimique	71
1.2.	L'étude d'erreurs des apprenants et les dysfonctionnements cognitifs à l'origine de ces erreurs	72
2.	Explicitation des questions de recherche	73
3.	Méthodologie générale	75
	Etape 1. Diagnostic des difficultés d'apprentissage du concept de concentration chimique	77
	Phase 1 : Création et passation d'un questionnaire diagnostique	77
	Phase 2 : Création et exploitation d'un questionnaire à choix multiples et réponse unique (QCM)	77
	Etape 2. Construction d'outils didactiques pour améliorer l'acquisition du concept de concentration chimique	78
	Phase 3 : Construction d'activités utilisant le conflit cognitif	78
	Phase 4 : Construction d'une activité utilisant un entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes	78
	Phase 5 : Mesure de l'impact des outils didactiques	78

TROISIÈME PARTIE : LES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES SUR LE CONCEPT DE CONCENTRATION CHIMIQUE 81

CHAPITRE 1. DIFFICULTÉS DES ELEVES CONNUES PAR DES RECHERCHES ANTÉRIEURES 83

1.	Difficultés d'apprentissage connues en chimie	83
2.	Les difficultés connues pour l'apprentissage de la concentration chimique	85

CHAPITRE 2. DES QUESTIONS DIAGNOSTIQUES POUR UNE CATÉGORISATION DES ERREURS RÉCURRENTES 89

1.	Méthodologie pour les questions diagnostiques	89
1.1.	Paramètres suivis pour la construction des questions diagnostiques	89
1.2.	Passation du questionnaire diagnostique et participants	89
2.	Résultats et analyse des questions diagnostiques	90
2.1.	La définition de la concentration	91
2.2.	Utilisation de représentations iconographiques de solutions	97
2.3.	Mélange de solutions de même concentration	101
2.4.	Les procédés de dilution et de concentration	108
2.5.	Comparaison de solutions	112
3.	Bilan des questions diagnostiques et catégorisation des erreurs récurrentes	120

CHAPITRE 3. LE QUESTIONNAIRE À CHOIX MULTIPLES ET RÉPONSE UNIQUE POUR UNE QUANTIFICATION DES ERREURS ET PERMETTRE UNE AUTOÉVALUATION 122

1. Méthodologie pour le questionnaire à choix multiples et réponse unique.....	122
1.1. Paramètres suivis pour la construction du QCM.....	122
1.2. Chronologie de la passation du QCM et participants.....	125
2. Fréquences obtenues pour les réponses correctes au QCM et analyse	126
2.1. Questions du QCM avec le meilleur score (>90% de réussite) et le moins bon score (<10% de réussite)	126
2.2. Questions du QCM interrogeant sur la définition de la concentration et sur son vocabulaire spécifique.....	128
2.3. Questions du QCM utilisant des représentations iconographiques.....	130
2.4. Questions du QCM demandant un calcul numérique	133
2.5. Questions du QCM interrogeant sur l'intensivité de la grandeur concentration .	135
2.6. Questions du QCM interrogeant sur la préparation d'une solution de concentration donnée.....	137
3. Fréquences obtenues pour les réponses incorrectes au QCM et analyse.....	138
3.1. Fréquences obtenues pour les réponses incorrectes au QCM.....	138
3.2. Analyse des fréquences obtenues pour les réponses incorrectes au QCM.....	139
3.2.1. Erreur α : Le volume considéré n'est pas celui de la solution	139
3.2.2. Erreur β : La concentration n'est pas comprise comme une proportion	141
3.2.3. Erreur γ : Le vocabulaire n'est pas correctement utilisé	143
3.2.4. Erreur δ : Calcul numérique incorrect	144
3.2.5. Erreur ε : Les unités utilisées sont incorrectes	147
4. Bilan de l'analyse des questions à choix multiples et réponse unique	148

CHAPITRE 4. LES ENTRETIENS D'EXPLICITATION POUR UNE MISE EN ÉVIDENCE DES DYSFONCTIONNEMENTS COGNITIFS À L'ORIGINE DES ERREURS COMMISES PAR LES APPRENANTS..... 150

1. Méthodologie pour les entretiens d'explicitation.....	150
1.1. Déroulement des entretiens.....	150
1.2. Les participants	151
1.3. Méthodologie d'analyse des entretiens	152
2. Analyse des entretiens par catégorie d'erreur.....	152
2.1. Erreur α : Le volume considéré n'est pas celui de solution.....	152
2.1.1. Test préliminaire aux entretiens	152
2.1.2. Les dysfonctionnements cognitifs à l'origine de l'erreur α	154
2.2. Erreur β : La concentration n'est pas comprise comme une proportion	160
2.2.1. Les dysfonctionnements cognitifs à l'origine de l'erreur β	160
2.2.2. Intensivité de la concentration : focalisation sur les questions 6 et 15 du QCM	166
2.3. Erreur γ : Le vocabulaire n'est pas correctement utilisé.....	173
2.4. Erreur δ : Calcul numérique incorrect.....	175
2.5. Erreur ε : Les unités utilisées sont incorrectes	179
3. Bilan des entretiens pour une mise en évidence des dysfonctionnements cognitifs	180

CHAPITRE 5. CONSTRUCTION D'UN OUTIL D'AUTO-ÉVALUATION..... 183

QUATRIÈME PARTIE : OUTILS DIDACTIQUES DE REMÉDIATION ET MESURE DE LEURS IMPACTS 187

CHAPITRE 1. LES OUTILS DIDACTIQUES DE REMÉDIATION 189

1. Outil de remédiation à l'erreur « <i>La (grandeur) concentration n'est pas comprise comme une proportion</i> »	190
1.1. Origine de l'outil.....	190
1.2. Description de l'outil utilisant le conflit cognitif.....	193
2. Outil de Remédiation à l'erreur « <i>Le volume considéré n'est pas celui de la solution</i> »	197
2.1. Origine de l'outil.....	197
2.2. Description de l'activité utilisant le conflit cognitif seul	197
2.3. Description de l'activité de remédiation utilisant le conflit cognitif suivi d'un entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes	202
2.3.1. Test initial soumis à des élèves de la première primaire à des étudiants en AESS	203
2.3.2. Les « attrape-piège »	209
2.3.3. Les outils construits et utilisés dans le cadre de notre recherche	211

CHAPITRE 2. MESURE DES IMPACTS DES OUTILS DE REMEDIATION 219

1. Outil de Remédiation à l'erreur « <i>La concentration n'est pas comprise comme une proportion</i> »	219
1.1. Méthodologie de passation de l'activité	219
1.2. Méthodologie d'analyse des résultats	220
1.2.1. Les conflits cognitifs apparents réalisés	220
1.2.2. Les gains conceptuels par question et par élève	222
1.3. Résultats.....	222
1.3.1. Les conflits cognitifs apparents réalisés	222
1.3.2. Le gain conceptuel par question	223
1.3.3. Le gain conceptuel par élève	224
1.4. Discussion	224
1.4.1. Les conflits cognitifs apparents réalisés	224
1.4.2. Le gain conceptuel par question	227
1.4.3. Le gain conceptuel par élève	229
2. Outil de Remédiation à l'erreur « <i>Le volume considéré n'est pas celui de la solution</i> »	231
2.1. Méthodologie de passation des activités.....	231
2.2. Méthodologie d'analyse des résultats	232
2.2.1. Les conflits cognitifs apparents réalisés	232
2.2.2. Les gains conceptuels par question et par élève	233
2.3. Résultats.....	234
2.3.1. Les conflits cognitifs apparents réalisés	234
2.3.2. Le gain conceptuel par question	234
2.3.3. Le gain conceptuel par élève	236
2.4. Discussion	237
2.4.1. Les conflits cognitifs apparents réalisés	238
2.4.2. Le gain conceptuel par question	241
2.4.3. Le gain conceptuel par élève	243
2.4.4. Propositions pour l'enseignement	245

CONCLUSION ET PERSPECTIVES	247
PUBLICATIONS.....	253
BIBLIOGRAPHIE.....	255
TEXTES OFFICIELS ET SEMI OFFICIELS	255
ARTICLES DE REVUES, COMMUNICATIONS ET LIVRES	256
ANNEXES.....	265

Introduction

Depuis les années 2000, savoir mobiliser ses connaissances est devenu un objectif central de l'enseignement des sciences en Belgique francophone comme ailleurs. Une lutte acharnée contre les « *savoirs morts* » a alors commencé. Concrètement, il s'agit pour l'élève de résoudre des tâches contextualisées où il doit transférer les concepts acquis en résolvant des situations inédites, complexes et non guidées. Ceci n'est pas une mince affaire. Quel découragement pour certains qui ne savent pas par quel bout commencer.

Le travail de l'enseignant a donc évolué. Il ne consiste plus à amener ses élèves à comprendre un concept scientifique mais il doit veiller à ce qu'ils l'utilisent correctement dans un contexte nouveau. Les trois mots clés des nouveaux programmes sont d'ailleurs : « *Connaître, appliquer ET transférer* ».

La tâche à résoudre par l'élève implique une tâche tout aussi compliquée pour son enseignant : comment aider l'apprenant à transférer ses connaissances ? Cette question fut le point de départ de notre recherche.

Pour ce faire, un concept scientifique devait être choisi. La première proposition fut la bonne : la grandeur concentration chimique. Ce concept est en effet central en chimie et dans les autres branches scientifiques que ce soit en biologie, biochimie et physique, entre autres.

A première vue, ce concept pourrait sembler simple et peu intéressant : « *Après tout, il s'agit de prendre sa calculatrice et de diviser une valeur par une autre* » pourraient dire certains. Mais si ces derniers s'arrêtent un instant à demander à un apprenant : « *Que vaut la concentration en sucre de seulement 100 mL d'une solution sucrée à 10 g/L ?* », ils seront peut-être surpris de constater que la réponse tarde souvent à venir surtout si elle est correcte ; comme si une bataille avait lieu dans la tête du répondant et que la victoire se faisait au prix d'un combat sans merci contre des intuitions peu scrupuleuses...

L'enseignement dans le secondaire supérieur et particulièrement en quatrième (grade 10) a été notre clé de voûte. De là, toutes nos recherches se sont développées. C'est en effet à ce niveau du curriculum scolaire que la concentration massique est approfondie et que la concentration molaire est mise en apprentissage.

Notre travail consiste donc à diagnostiquer et rapporter les difficultés des apprenants lorsqu'ils mobilisent la grandeur concentration chimique dans des questions d'application. L'objectif ultime étant de trouver des outils didactiques permettant d'y remédier. Nous nous situons donc après l'apprentissage de ce concept.

Il nous faut changer les réponses des apprenants qui commettent des erreurs en « *changeant leur conception* » ou selon l'optique neuroscientifique, « *en*

changeant leur prévalence conceptuelle » autrement dit en inhibant la ou les conception(s) non adéquate(s) afin de rendre prévalente la conception pertinente dans le contexte de la question traitant de la grandeur concentration chimique.

Pour ce faire, nous avons procédé en plusieurs étapes qui se retrouvent au fil des parties de ce mémoire de thèse. Celui-ci est articulé en quatre parties.

La première partie pose les cadres théoriques de notre recherche en trois chapitres.

Le chapitre 1, plus général, s'intéresse à l'enseignement des sciences et aux recherches en didactique.

Le chapitre 2 analyse le concept de concentration chimique et sa transposition didactique dans le secondaire belge francophone.

Le chapitre 3 précise notre positionnement dans le modèle du changement conceptuel tant dans celui classique que dans celui s'appuyant sur les avancées en neurosciences cognitives.

La deuxième partie explicite les questions de recherche et développe la méthodologie générale appliquée pour y répondre.

La troisième partie est une enquête sur les difficultés d'apprentissage du concept de concentration chimique au travers de quatre chapitres.

Après avoir exposé des études antérieures qui traitent de ces difficultés dans un chapitre 1, le chapitre suivant tente de compléter ce diagnostic par une analyse d'une série de questions que nous avons posées à des élèves du secondaire supérieur. L'objectif est de mettre en évidence les erreurs récurrentes que les apprenants commettent lorsqu'ils sont face à ce concept chimique.

Cette étude conduit à la création d'un questionnaire à choix multiples et réponse unique. Ce QCM proposé dans le chapitre 3, permet d'identifier rapidement les erreurs commises par un apprenant qui y répond. Sa méthodologie de passation et les résultats obtenus permettent de préciser le diagnostic.

Par l'exploitation d'entretiens d'explicitation réalisés avec quelques élèves, le dernier chapitre vise à faire émerger les dysfonctionnements cognitifs à l'origine des erreurs commises par les apprenants.

La quatrième et dernière partie expose les outils didactiques créés afin de remédier aux difficultés mises en évidence dans la partie précédente. Le conflit cognitif et le contrôle inhibiteur des conceptions non pertinentes dans le contexte de la concentration chimique y sont exploités.

Les impacts de ces outils sont ensuite mesurés et une discussion est menée afin de déterminer leurs atouts et leurs limites.

La conclusion de la thèse fait ressortir les éléments importants de ce travail et tente de donner des pistes de recherche qui seraient intéressantes à suivre.

Bonne lecture et bonne ... concentration !

- Première partie - Cadres de la recherche

CHAPITRE 1. OBJETS DE RECHERCHE

1. L'enseignement des sciences

1.1. Il était une fois en 1898

Dans la circulaire française du 25 avril 1898 relative à l'enseignement scientifique dans les écoles normales, les indications données par le ministre responsable sont claires :

« Enfin je rappellerai aux professeurs de sciences physiques et naturelles qu'ils doivent donner à leur enseignement une orientation franchement agricole et un caractère essentiellement pratique et expérimental » (B.A.M.I.P¹. n° 1312, p.592-593).

M.J. Trabuc, inspecteur de l'enseignement primaire, rappelle bien dans son mémento du Certificat d'Aptitude Pédagogique de 1906² ces instructions ministérielles en précisant les objectifs de l'enseignement des sciences physiques et naturelles à l'école primaire :

« 1° de développer l'esprit d'observation ; 2° d'ouvrir l'intelligence des élèves aux phénomènes scientifiques intéressant l'agriculture ; 3° d'apprendre aux enfants à se rendre compte de tout ce qu'ils feront quand ils seront cultivateurs. » (Trabuc, 1906, p.212).

Effectivement, en France à cette époque, un français sur deux vit de l'agriculture (Madeline & Moriceau, 2012) et sept français sur 10 habitent en milieu rural (Toutain, 1963).

Au niveau méthodologique, il est alors recommandé de travailler les sciences physiques sous forme de leçons de choses en ayant soin de réserver une partie des leçons à l'étude des notions d'hygiène. Les recommandations allaient jusqu'à préciser le moment de la journée pour travailler cette matière de façon à se « ménager la faculté d'aller dans le jardin pour quelque démonstration expérimentale, ou encore de préparer quelque expérience scientifique (...) » (Trabuc, 1906, p.213).

Suivant l'article 27 du décret du 18 janvier 1887 précisant le programme des écoles, Trabuc explique aux futurs enseignants que :

« (...) l'instituteur n'a pas à entreprendre un cours régulier de physique, suivi d'un cours, non moins précis, de chimie ; on lui demande de prendre dans chaque branche des sciences les notions

¹ B.A.M.I.P : Bulletin Administratif du Ministère de l'Instruction Publique

² Le mémento du Certificat d'Aptitude Pédagogique (4ème édition) écrit en 1906 par M.J. Trabuc, inspecteur de l'enseignement primaire, a été rédigé pour aider les instituteurs à se préparer à l'examen professionnel du C.A.P. que tous sont obligés de réussir avant de pouvoir être titularisé dans le système scolaire français.

élémentaires qui facilitent l'étude de l'agriculture et que les enfants doivent emporter de l'école. On sait que l'enseignement scientifique proprement dit se divise en quatre parties : la physique, la chimie, l'histoire naturelle et l'hygiène. Or, l'agriculture s'occupant des questions relatives à la culture des terres, à la vie des plantes et des animaux, ainsi que de l'entretien de l'intérieur de la ferme, c'est l'histoire naturelle, qui comprend la géologie, la botanique et la zoologie, et à l'hygiène qui s'occupe tout spécialement de l'installation des habitations et de la conservation de la santé, qu'il faudra s'adresser pour trouver les matières à enseigner. » (Trabuc, p.215).

La suite du manuscrit précise les sujets à développer en chimie et physique :

« A la chimie, on demandera les notions : 1° sur l'air, l'eau et la chaleur qui intéressent la vie des plantes et des animaux ; 2° sur les acides, sur les sels et sur quelques métalloïdes tels que le soufre, le chlore, le carbone, le phosphore, dont on aura à parler à propos de la composition des engrais, de certaines cultures, de quelques productions agricoles et de la conservation des récoltes (...).

A la physique, on empruntera les principes élémentaires qu'un agriculteur intelligent ne doit pas ignorer sur la pression atmosphérique et le fonctionnement du baromètre, de la pompe, du siphon, sur l'hygrométrie (...). » (Ibid., p.216).

La lecture de quelques manuels scolaires français de la première moitié du vingtième siècle confirme bien cette tendance forte à privilégier l'enseignement des sciences appliquées à l'agriculture.

Pour ne citer que quelques exemples : dans le manuel du cours élémentaire et moyen de la collection Hachette de 1933 (Boulet & Chabanas) intitulé « Leçons de choses », la première leçon concerne le raisin, la seconde la pomme et bien évidemment la troisième, le vin et le cidre où la fermentation est expliquée en images (*Ibid.*, p. 1 à 12). Il en est de même dans les Editions de l'école de 1952 où le titre du manuel devient « Premiers pourquoi, premiers comment » (Charbonnier) : la première leçon est toujours sur le raisin et la seconde le vin mais la troisième s'intéresse au bouchon en liège (*Ibid.*, p. 6 à 13).

Le cours de français se range aux mêmes objectifs : le manuel « Le français par les choses et par les images » de la librairie Istra en 1932 (Lyonnet) entame la troisième leçon sur des textes ayant comme titre « La grappe de raisin » où il est demandé à l'élève d'écrire « grain, arbre, grappe, rameau ». La leçon suivante continue avec des exercices de vocabulaire et d'élocution sur la vendange pour continuer à la quatrième leçon sur « Le moulin au bord du ruisseau » où le grain devient farine (*Ibid.*, p.10 à 15).

La Belgique n'échappe pas à cette tendance : le manuel « Eléments de Sciences naturelles » de 1936 (Peeters) des éditions « La Procure » de

Bruxelles et Namur développe dans la partie relative à l'enseignement de la chimie, les connaissances sur l'eau, le chlore, le soufre, l'azote, le phosphore et le carbone. Les exemples relatifs à l'utilisation des dérivés de ces éléments concernent le traitement de l'oïdium³ (*Ibid.*, p.145), le blanchiment de la laine (*Ibid.*, p.147), la fabrication des engrais (*Ibid.*, p.156 et 158) pour ne citer qu'eux.

Au-delà du programme scolaire, le rythme scolaire était également lié aux récoltes. En effet, jusque dans les années 60, les vacances d'été commencées en juillet ou en août se prolongeaient jusque début octobre afin de permettre aux enfants d'aider activement les familles lors des moissons et des vendanges (Moatti, 2016).

1.2. Et au XXIème siècle ?

Né au seuil du XXIème siècle, le Programme International de l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE) pour le Suivi des Acquis des élèves (PISA) est une initiative concertée des pays membres de l'OCDE et d'un certain nombre de pays partenaires qui vise à déterminer dans quelle mesure les élèves sont préparés à relever les défis que l'avenir leur réserve. Tous les trois ans, une enquête internationale mesure la capacité des élèves de 15 ans à utiliser leurs connaissances dans des situations de la vie courante. A tour de rôle, les compétences en mathématiques, en sciences et en compréhension à l'écrit sont testées. En 2015, comme la première fois en 2006, le domaine majeur d'évaluation était la culture scientifique. L'introduction du cadre d'évaluation et d'analyse de l'enquête PISA explique la nécessité de l'apprentissage des sciences :

« La culture scientifique est importante tant à l'échelle nationale qu'à l'échelle internationale à l'heure où l'humanité doit relever des défis majeurs, à savoir procurer eau, nourriture et énergie en suffisance, lutter contre les maladies et s'adapter aux changements climatiques. (...). Pour réussir à relever ces défis, il faudra une contribution majeure de la science et de la technologie. » (OCDE, 2016, p.20).

Ainsi, les objectifs de l'enseignement scientifique restent de nourrir l'humanité et de la préserver des maladies mais ils sont fortement élargis à des nécessités d'ordres énergétiques et environnementaux.

Déjà en 2012 dans son rapport sur les compétences clés en sciences, l'OCDE s'adresse aux dirigeants nationaux en ces termes :

« Dans la vie de tous les jours, très nombreuses sont les occasions où les individus sont confrontés à des situations, à des problèmes ou à des débats qu'ils ne peuvent véritablement comprendre ou résoudre sans une certaine maîtrise des sciences ou des

³ L'oïdium, ou maladie du blanc, est le nom générique donné à une série de maladies causées par un champignon à diverses espèces de plantes.

technologies. Des questions d'ordre scientifique ou technologique se présentent chaque jour à eux, dans leur vie personnelle, dans celle de leur communauté et de leur pays, et même à l'échelle mondiale. Dans ce contexte, les dirigeants nationaux devraient être amenés à se demander dans quelle mesure les citoyens de leur pays sont préparés à y faire face. » (OCDE, 2012, p.118).

De même, Androulla Vassiliou, Commissaire européenne chargée de l'éducation, de la culture, du multilinguisme et de la jeunesse, commence son rapport du réseau Eurydice de 2011⁴ par ces lignes:

« La maîtrise des notions scientifiques de base est considérée comme une compétence nécessaire à tous les citoyens européens. » (Eurydice, 2011, p.3).

Améliorer l'enseignement des sciences générales et des technologies fait partie des priorités de nombreux pays européens depuis la fin des années 1990 (*Ibid.*, p.25).

La Belgique participe à cette volonté de développer l'enseignement des sciences. Dans le décret définissant les missions prioritaires de l'enseignement fondamental et de l'enseignement secondaire de 1997, la communauté française de Belgique⁵ énonce dans l'article 9 de son chapitre 2 concernant les onze objectifs généraux :

« La Communauté française, pour l'enseignement qu'elle organise, et tout pouvoir organisateur, pour l'enseignement subventionné, adaptent la définition des programmes d'études et leur projet pédagogique :

(...)

6° à la compréhension des sciences et des techniques et à leur interdépendance;

(...). » (Moniteur de la Fédération Wallonie-Bruxelles - Décret mission du 24 juillet 1997 complété le 22 octobre 2015, chapitre 2, article 9).

La Fédération Wallonie-Bruxelles traduit cette mission prioritaire par des compétences de référence (« Socles de compétences » au premier degré et « Compétences terminales » aux deuxième et troisième degrés) que tous les réseaux d'enseignement de Belgique francophone doivent respecter. Dans

⁴ Rapport du réseau Eurydice, 2011 : « L'enseignement des sciences en Europe : politiques nationale, pratiques et recherche » (EACEA P9 Eurydice). Le réseau Eurydice, coordonné et géré par l'Agence exécutive «Éducation, Audiovisuel et Culture» de l'Union Européenne, située à Bruxelles, fournit de l'information sur les systèmes éducatifs européens ainsi qu'une analyse de ces systèmes et des politiques menées en la matière.

⁵ La Communauté française de Belgique est l'une des trois communautés fédérées de la Belgique. Depuis le 25 mai 2011, sans que sa dénomination constitutionnelle ait été changée, elle se désigne elle-même sous le nom de Fédération Wallonie-Bruxelles.

l'introduction au manuscrit définissant les socles de compétences pour l'éveil et l'initiation scientifique au premier degré (grades 7 et 8), est écrit :

« L'étude des sciences offre une spécificité certaine parce qu'elle ouvre les jeunes à leur environnement naturel et les met en contact direct avec les objets réels, les phénomènes naturels et les vivants. À l'ère du virtuel et des produits conditionnés, c'est un apport non négligeable qu'il convient de mettre en évidence. »
(Socles de compétences de la Fédération Wallonie-Bruxelles, 2016, p.34).

Les causes d'une nécessité de l'enseignement des sciences citées dans les différents référentiels se divisent en deux catégories (Legendre, 1994) :

1. L'importance des sciences dans le monde actuel,
2. Le développement de la pensée conceptuelle, de l'esprit critique et du raisonnement logique.

La première catégorie se réfère à une vision globale de la formation scientifique comme un enjeu majeur des sociétés modernes et la seconde est liée à l'épanouissement personnel de chaque individu qui constitue ces sociétés.

L'enseignement des sciences est donc une priorité tant aux niveaux mondial, européen que national. Enseigner les sciences est une chose mais réussir l'apprentissage des sciences en est une autre. Jean-Marie De Ketele (2016) rappelle bien qu'*«un savoir savant n'est pas une connaissance pour l'élève tant qu'un apprentissage n'a pas eu lieu »*.

Le processus d'apprentissage est un long parcours semé d'embûches où l'enseignement joue le rôle de guide.

Pour « *indiquer le chemin* » (« *δεικνo* », en grec) de cette route périlleuse, la « *didactique* » intervient.

2. Les recherches en didactique

La didactique trouve ses racines dans l'Antiquité mais depuis la deuxième moitié du XXe siècle, cette science s'est fortement développée. Pour Jean-Louis Closset, les origines de la didactique « moderne » des sciences remontent au 4 octobre 1957 lorsque les russes mettaient en orbite le premier satellite Spoutnik 1 (Closset, 2002). Pour se relever de cette gifle technologique, le président américain Kennedy lance un défi : aller sur la lune. La NASA reçut des milliards de dollars mais très vite, il fallut se rendre à l'évidence : l'argent ne pouvait pas compenser le manque de matière grise. Il fallait penser à former une élite scientifique et pour ce faire, renforcer l'enseignement des sciences dans le secondaire. Mais là encore, un problème se posa : « *Pour enseigner la physique à John, il faut assurément connaître la physique mais il faut aussi connaître John* » (Ibid., p.101). C'est ainsi que les premières démarches pour développer « les sciences de l'enseignement disciplinaire » que sont la didactique, prirent timidement naissance aux Etats-Unis.

En Europe, il faut attendre les années septante pour voir se développer des projets de recherche en didactique notamment en physique et mathématiques. La didactique de la chimie s'est montrée beaucoup plus discrète.

2.1. Les recherches en didactique des sciences

Si l'apprentissage des sciences consistait simplement à transmettre les acquis scientifiques ou tout du moins ceux choisis par les auteurs des programmes scolaires, aucun enseignant cultivé n'échouerait dans sa tâche. Dans ses cours d'agrégation à la Faculté de Gembloux, Jean-Louis Closset⁶ répétait souvent que l'« élève n'est pas une page blanche sur laquelle il suffit d'écrire ». De même, Patrice Potvin, professeur en didactique des sciences à l'Université du Québec à Montréal écrit dans son ouvrage destiné à l'enseignement des sciences et de la technologie (2011) :

« *L'élève n'est pas la cruche à remplir, ni la cire molle sur laquelle imprimer la connaissance du professeur ou le disque dur sur lequel on télécharge la connaissance. Il est l'architecte principal de sa propre intelligence.* » (Potvin, 2011, p.92).

Se pose alors la question de « comment aider l'élève à réussir l'apprentissage des sciences ? ». Les recherches en didactique des sciences tentent d'y répondre.

La didactique des sciences ou des autres disciplines s'organisent autour de trois pôles bien distincts : les élèves, les enseignants et les savoirs à mettre

⁶ Jean-Louis CLOSSET était professeur de Physique à la Faculté des sciences agronomiques de Gembloux (Université de Liège) pour la formation d'ingénieur et professeur de didactique pour la formation au diplôme d'agrégation de l'enseignement secondaire supérieur dans la même faculté de 1971 à 2012.

en apprentissage. Ces trois pôles sont souvent schématisés par le triangle didactique suivant (figure 1) :

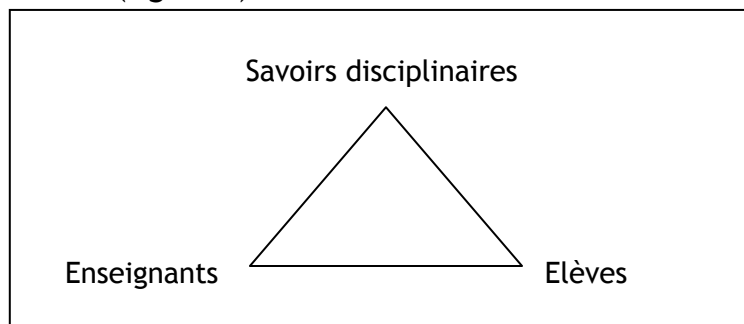


Figure 1. Le triangle didactique.

La relation qui lie les pôles « Enseignants » et « Savoirs disciplinaires » constituent l'axe de la didactique.

Les premières recherches en didactiques des sciences se sont intéressées aux conceptions des élèves. L'analyse des conceptions des élèves a ensuite amené à interroger le savoir scientifique afin de comprendre quels sont les aspects spécifiques qui sont non seulement difficiles mais cruciaux pour la construction des apprentissages scientifiques. Les enseignants et plus généralement les activités d'enseignement sont des sujets plus récents de recherche en didactique (Tiberghien, Jossem & Barojas-Weber, 1998).

Ainsi, en pratique, l'un des rôles du chercheur en didactique des sciences est de faire émerger les concepts scientifiques qui posent davantage de problèmes dans leur apprentissage et d'en rechercher les causes. Norman Reid (2008) fait un inventaire, non exhaustif, des parties du curriculum scolaire qui sont plus difficiles à acquérir en reprenant les écrits de différents auteurs :

« A major study (Johnstone et al., 1971) identified the areas that caused most problems in chemistry, and these are summarised below :

- Redox (e.g. E°) and ion electron ideas;*
- Topics with some arithmetical content e.g. thermochemistry and thermodynamics;*
- Organic topics such as esters, proteins, amines and carbonyls and aromaticity;*
- Topics related to equations and the mole, e.g. volumetric and gravimetric work, Avogadro and mole.*

Later studies identified the major difficulties in physics; these are summarised by Zapiti (1999). These included many areas in electricity (voltage, resistance, alternating current); the concept of energy and, especially, heat energy; radiation and ideas such as wavelength, frequency, and many ideas in mechanics and dynamics, especially outcomes related to forces and acceleration.

In biology, there turned out to be only two areas where students reported consistent problems: water transport phenomena and genetics (Jonhstone & Mahmond, 1980). » (Reid, 2008, p.51-52).

Suite à cette première approche, le travail du chercheur en didactique des sciences est de trouver des stratégies efficaces qui permettront aux élèves de s'approprier les concepts et modèles développés en sciences et notamment en chimie où de nombreux modèles sont convoqués dès le début de l'apprentissage.

2.2. Les recherches en didactique de la chimie

La chimie, qui étudie la matière et ses modifications, est une science dont l'apprentissage est compliqué en partie par la non visibilité des constituants de cette matière.

La plupart des concepts chimiques sont abstraits et parler chimie demande de pouvoir changer de niveaux de pensée dans une même phrase. En effet, certains termes chimiques se réfèrent à ce qu'il est possible de voir et manipuler et beaucoup d'autres se réfèrent à des modèles souvent complexes (Taber, 2009). S'ajoute à cela l'écriture tout à fait spécifique à la chimie mais qui puise toutefois dans le répertoire des lettres ou symboles habituellement utilisés dans la vie courante.

Ainsi, les explications des phénomènes tangibles à l'échelle macroscopique dépendent de concepts hautement abstraits impliquant des niveaux microscopiques et symboliques.

Les recherches en didactique de la chimie s'appuient donc sur une distinction entre les différents niveaux sur lesquels les chercheurs en chimie, les professeurs de chimie et leurs élèves se positionnent lorsqu'ils travaillent et étudient la chimie.

Le triplet de Alex H. Johnstone (1993) est l'une des références qui explicite ces « niveaux de savoirs » en didactique de la chimie. Johnstone distingue trois niveaux de savoirs (figure 2) :

1. macroscopique, lié à la matière et aux phénomènes visibles ;
2. microscopique (ou sub-microscopique), lié aux modèles explicatifs de la matière ;
3. symbolique, lié aux représentations de la matière et à ses composants.

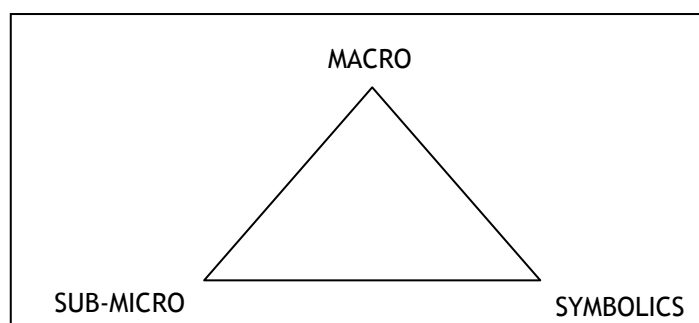


Figure 2. Triangle de Johnstone (1993).

Par la suite, des auteurs ont cherché à perfectionner ce modèle. C'est ainsi que Christian Orange (1997), Jean-Louis Martinand (1998) et plus tard Gail Chittleborough et David F. Treagust (2007), Isabelle Kermen et Martine Méheut (2009), Keith S. Taber (2013) ainsi que Jérémy Dehon et Philippe Snauwaert (2015) ont développé d'autres modèles des niveaux de savoirs. Leur objectif est de mieux distinguer les dimensions macroscopiques de celles purement empiriques (Kermen et Méheut), les dimensions empiriques de celles des modèles (Orange et Martinand), les dimensions sémiotiques de celles symboliques (Dehon et Snauwaert) ou encore le réel de la représentation (Taber, Chittleborough et Treagust).

Au-delà des niveaux de savoir, une approche didactique de l'apprentissage de la chimie consiste également à étudier l'évolution des modèles à travers l'histoire ; ce que Jean-Louis Martinand appelle l' « *épistémologie appliquée* » (1993, p.93). C'est le cas pour l'apprentissage du modèle de l'atome.

Si nous nous plaçons sous l'angle de l'évolution des sujets abordés en didactique, deux phases sont à relever : avant les années 90, la didactique de la chimie consistait davantage à étudier les contenus de l'enseignement mais par la suite, les recherches se sont diversifiées (Chastrette, 1992). Les didacticiens de la chimie se sont intéressés de plus en plus aux apprenants eux-mêmes. Cet intérêt s'est traduit par un flux important de publications sur la résolution de problèmes, sur le traitement de l'information, sur la signification des travaux pratiques, pour ne citer que quelques uns des domaines étudiés.

Halil Tümay souligne dans son article de 2016 que l'étude des conceptions des élèves lors de leur apprentissage des modèles en chimie est un domaine de la didactique qui s'est beaucoup développé ainsi que la recherche des racines qui conduisent aux conceptions erronées des apprenants. C'est dans ce cadre que notre recherche se situe.

Ajoutons que dans l'avenir, la recherche en didactique de la chimie a encore de nombreux sujets à développer du fait que les curricula sont de plus en plus chargés par le souci légitime de faire passer toutes les dernières découvertes dans l'enseignement de la chimie.

CHAPITRE 2. ANALYSE PRÉALABLE DE LA GRANDEUR CONCENTRATION CHIMIQUE

Dans le sens commun, le mot concentration signifie « *rassemblement, réunion en un point* », du latin : « *cum* » et « *centrum* » (Larousse, 2017).

De nombreux exemples de la vie quotidienne illustrent cette idée : la concentration de capitaux en économie, la concentration des pouvoirs en politique, les camps de concentration de prisonniers, la concentration comme mobilisation de ses facultés mentales et physiques sur un sujet précis, etc.

1. La concentration en chimie

1.1. Procédé et grandeur

En chimie, le mot concentration peut prendre deux significations bien distinctes : un procédé chimique ou une grandeur pourvue d'une unité.

La concentration est un procédé chimique qui consiste, soit à éliminer du solvant et ainsi augmenter la quantité de soluté par rapport au volume de solution, soit à ajouter directement le soluté dans un volume donné de solution.

Dans ce cas, le langage courant reste pertinent : les molécules (ou les ions, s'il s'agit d'un électrolyte) de soluté se rapprochent effectivement.

La concentration est également une grandeur permettant au chimiste de quantifier la composition d'une solution. Les chimistes utilisent plusieurs expressions pour exprimer la concentration en soluté d'une solution comme (Arnaud, 1989, p.44-45 ; IUPAC, 2014, p.311 ; Tro, 2011, p.527-534) :

- La concentration massique γ (unités : g/L ou kg/m³) qui rapporte la masse de soluté au volume de solution ;
- La concentration molaire C ou molarité (unités : mol/L ou mol/m³) : rapport entre la quantité de matière⁷ de soluté et le volume de solution ;
- La molalité (unités : mol/kg) : rapport entre la quantité de matière de soluté et la masse de solvant ;
- Le pourcentage massique (ou volumique) qui est le résultat exprimé en pourcent du rapport entre la masse de soluté (ou le volume de soluté) et la masse de solution (ou le volume de solution). Notons que ce rapport peut être multiplié par d'autres facteurs qui sont d'autant plus grands que la solution est diluée : les parts par million (ppm) ou par billion (ppb) sont des exemples connus, utilisés lorsque la solution est fortement diluée ;

⁷ La quantité de matière est une grandeur qui exprime la discontinuité de la matière : elle dénombre des ensembles de particules (atomes, molécules, ions,...) - son unité est la mole (symbole : mol). En pratique, une mole est une quantité de matière contenant $6,022 \cdot 10^{23}$ entités (Tro, 2011, p.66-67).

- La fraction molaire (sans unité) est le rapport entre la quantité de matière du soluté et la somme des quantités de matière de tous les composés qui constituent la solution. Le pourcentage molaire est la fraction molaire multipliée par 100.

Lorsque le concept scientifique de concentration chimique est utilisé en tant que grandeur, le langage courant n'est plus du tout pertinent. La mesure d'une concentration ne peut se faire que si la solution est homogène autrement dit si le soluté est dispersé dans le solvant. Cela va à l'encontre de la signification commune de « rassemblement ». Les langages courant et savant peuvent ici entrer en confrontation.

1.2. La grandeur concentration en chimie : un concept central en sciences

A partir de ce point, le terme concentration chimique sera utilisé dans le sens de la « grandeur » concentration telle que décrite dans la partie précédente.

Une partie du travail du chimiste consiste à manipuler des solutions. La grandeur concentration lui permet de connaître quantitativement la constitution de la solution avec laquelle il travaille.

Cette même grandeur intervient très souvent en chimie notamment pour la résolution de problèmes stœchiométriques, le calcul d'une constante d'équilibre, l'expression de la vitesse en cinétique chimique, l'utilisation des produits de solubilité, le calcul d'un pH ou de la quantité de réactif ou de produit par titrage d'une solution pour ne citer que ces exemples (figure 3).

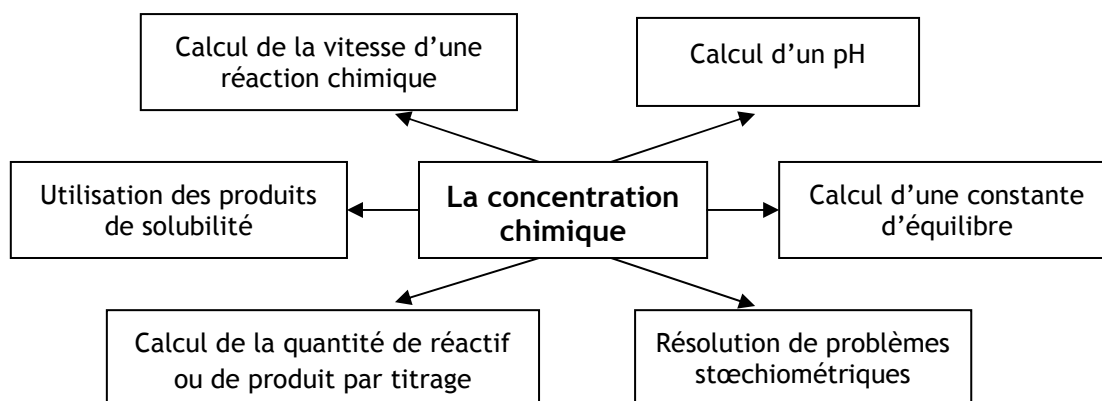


Figure 3. Exemples d'utilisation de la grandeur concentration en chimie.

Le concept de concentration n'est pas uniquement utilisé en chimie mais il intervient en physique, biologie et biochimie, médecine et bien d'autres domaines scientifiques. Ne pas l'avoir acquis est donc un frein majeur au travail de tout scientifique quelle que soit sa spécialité.

1.3. Les propriétés générales de la grandeur concentration chimique

Des différentes expressions de la concentration chimique vues précédemment, il ressort plusieurs constats :

1.3.1. La concentration est un rapport

Quelle que soit l'expression de la concentration, elle correspond à une proportion de soluté dans la solution. Nous reprenons ici, la définition générale du mot « *proportion* » comme « *le rapport relatif de grandeur existant entre une quantité et une autre, entre un nombre et un autre pris comme référence* » (Larousse, 2017).

En ce sens, nous nous éloignons de la définition donnée en mathématique où la proportion s'entend comme une « *égalité entre deux rapport : $a/b = c/d$* » (Adam, Close, Lousberg & Tromme, 1997, p.64).

Dans la suite de notre texte, la concentration chimique est donc assimilée à un rapport entre une partie d'un ensemble (le soluté) et cet ensemble (la solution).

1.3.2. La concentration est une grandeur intensive

Une variable intensive est une variable qui n'est pas dépendante de la taille, de l'étendue du système (Legrand, 2006). En tout point d'un système homogène, la mesure d'une grandeur intensive est identique.

C'est le cas de la température et de la pression mais aussi de la masse volumique et de la densité, de la vitesse et de l'accélération ou encore de l'indice de réfraction et de la dureté d'un milieu, pour ne citer que quelques exemples.

Une propriété des grandeurs intensives est que la somme des valeurs de cette grandeur pour deux systèmes disjoints n'est pas égale à la valeur de cette grandeur après réunion des deux systèmes en question. Pour illustrer cette propriété, prenons l'exemple de la température de deux volumes d'un litre d'eau, l'un à 50°C et l'autre à 30°C : la réunion des deux litres d'eau n'aboutit pas un volume dont la température est 80°C.

A l'inverse, les grandeurs telles que la quantité de matière ou la masse sont des grandeurs extensives qui dépendent de la taille du système. La réunion de 10 kg de sucre et de 20 kg de ce même sucre présente une masse totale de 30 kg.

La grandeur concentration chimique est une grandeur intensive. La mesure de la concentration d'une solution est identique en tout point de la solution.

De même, la concentration en soluté d'un mélange de deux solutions n'est pas égale à la somme des concentrations des deux solutions isolées. Prenons l'exemple de deux solutions sucrées de concentration massique respectivement 10 g/L et 20 g/L. La concentration en sucre du mélange de ces deux solutions n'est pas égale à 30 g/L mais sera comprise entre 10 et 20 g/L en fonction du volume initial de chacune des solutions.

1.3.3. Hormis la molalité, la concentration se rapporte à la quantité de solution

Hormis la molalité, le rapport se fait entre la quantité de soluté et la quantité totale de solution (et non de solvant). Cette quantité de solution peut être exprimée en volume de solution (concentrations massique et molaire), en masse de solution (pourcentage massique) ou encore en quantité de matière de solution (fraction molaire).

C'est pour cette raison que la préparation d'une solution de concentration déterminée se réalise en plaçant le soluté dans une fiole jaugée et en complétant le récipient avec le solvant jusqu'au volume voulu de solution.

2. La transposition didactique de la concentration chimique

2.1. La transposition didactique

Les concepts scientifiques ou « *savoirs savants* » (Chevallard, 1985) sont mis en forme pour les rendre accessibles aux apprenants au prix d'une transformation en rapport avec l'âge et les acquis préalables des élèves. Cette contrainte de transmission a inévitablement des incidences sur les savoirs enseignés (Perrenoud, 1998).

Le sociologue Michel Verret nomme « *transposition didactique* » ce processus de transformation du savoir :

« *Toute pratique d'enseignement d'un objet présuppose en effet la transformation préalable de son objet en objet d'enseignement.* » (Verret, 1975, p.140).

La transposition didactique chez Philippe Perrenoud reprend la théorie élaborée par le didacticien des mathématiques Yves Chevallard en ajoutant une étape supplémentaire à la fin du processus. Pour lui, il est possible d'établir trois moments dans la « *chaîne de transposition* » (figure 4).

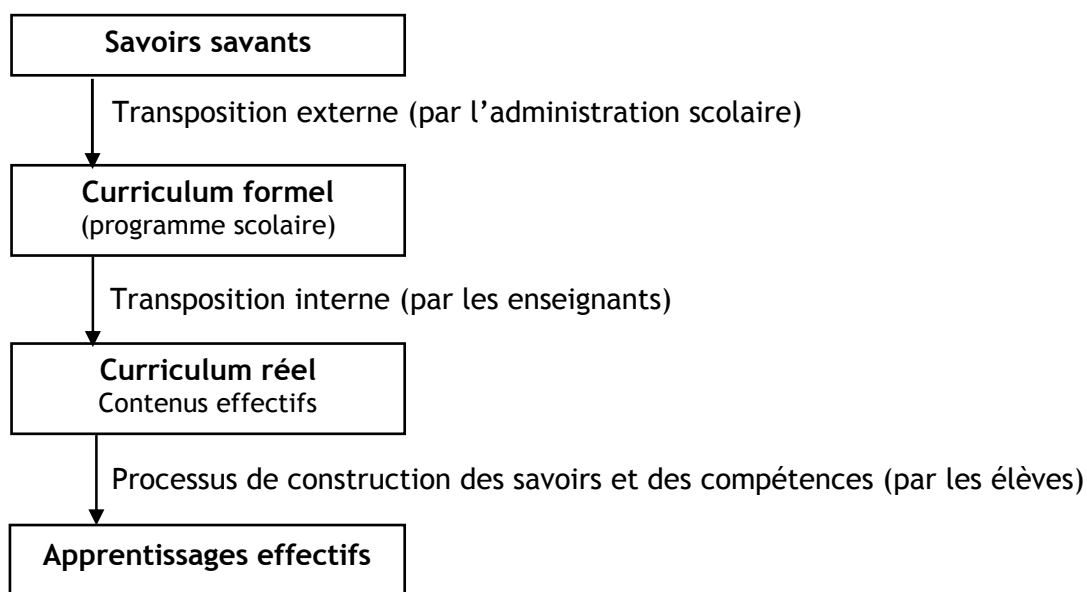


Figure 4. La chaîne de transposition didactique selon P. Perrenoud (1998).

Dans le cas de l'enseignement scientifique, une distinction doit donc être faite entre la chimie du chimiste (les savoirs savants), la chimie à enseigner (le curriculum formel), la chimie enseignée (le curriculum réel), la chimie apprise par les élèves (les apprentissages effectifs) et la chimie évaluée par le système éducatif ou externe au système d'enseignement et par la société en général (Boilevin, 2013).

Ajoutons que les paradigmes du scientifique sont différents de ceux qui organisent une discipline scolaire tout comme l'épistémologie des savoirs de référence est différente de celle des savoirs enseignés à l'école (Develay, 1995 et 2014).

2.2. La concentration chimique dans les programmes scolaires en Belgique francophone : le curriculum formel

2.2.1. Cadre institutionnel belge francophone pour l'apprentissage de la grandeur concentration

Le concept de concentration chimique est étudié dans les classes du secondaire supérieur de l'enseignement belge⁸ (élèves de 15-18 ans, grades 10 à 12).

Le paragraphe suivant présente le curriculum formel des élèves suivant les « Humanités générales » en « sciences générales » (5 heures de sciences par semaine).

Le document intitulé « Compétences terminales et savoirs requis en sciences pour les Humanités générales et technologiques » (Fédération Wallonie-Bruxelles, 2001) est le document officiel qui doit être respecté pour établir les programmes actuels en sciences.

Dans sa partie 3, ce document décrit les compétences et savoirs disciplinaires en chimie. Cette partie est subdivisée en 12 thèmes dont le septième, intitulé « *Les solutions* », précise les compétences spécifiques à développer pour ce thème (figure 5).

COMPETENCES TERMINALES ET SAVOIRS REQUIS en SCIENCES HUMANITES GENERALES ET TECHNOLOGIQUES		
3.7 LES SOLUTIONS		
Exemples de questionnement	Compétences spécifiques	Savoirs
• Quelle quantité de matière représente un ppm de dioxine dans le lait ? • Que se passe-t-il lorsqu'on met du sucre ou du sel dans l'eau ? • Quelle est la signification des notations chiffrées sur des étiquettes commerciales ? sur des protocoles médicaux?... • Qu'est-ce qu'une dose homéopathique ? • Que signifie « alc.6, 6% vol » sur une bouteille de boisson ?	• Calculer une concentration en diverses unités. • Interpréter les indications de concentration sur les étiquettes commerciales, sur un protocole d'analyse médicale, sur des bouteilles de laboratoire de chimie... • Préparer une solution de concentration donnée.	• Notion de solution et de solubilité. • Concentration d'une solution (unités conventionnelles et unités usuelles). • Notion de dilution.

Figure 5. Les compétences spécifiques sur le thème des solutions (Fédération Wallonie-Bruxelles, 2001, p.19).

⁸ Enseignement organisé par la Fédération Wallonie-Bruxelles

Le curriculum formel consacre donc un thème entier de son programme de chimie à la notion de concentration. L'importance de ce concept est donc marquée par les choix des dirigeants et de leurs représentants.

Une particularité du curriculum formel en Belgique francophone permet aux différents réseaux d'enseignement⁹ d'adapter ces compétences terminales et savoirs requis. Présenter le curriculum scolaire belge francophone demande donc de référencer les programmes des différents réseaux d'enseignement. Reprenons ceux du réseau libre subventionné qui correspond au cadre de cette thèse.

Les programmes du réseau libre subventionné pour les troisièmes (grade 9) et quatrièmes (grade 10) secondaires de l'enseignement général en sciences générales (5 heures par semaine) ont été modifiés trois fois depuis 2001. Les derniers programmes appliqués en 2010 et 2015 sont synthétisés dans le tableau 1¹⁰.

⁹ Bien que le terme "réseau" soit très souvent utilisé dans le milieu scolaire belge, il n'existe pas de définition juridique de ce terme. On parle aussi bien de :

- deux réseaux : l'officiel - le libre ;
- trois réseaux : Fédération Wallonie-Bruxelles - officiel subventionné - libre subventionné ;
- quatre réseaux: Fédération Wallonie-Bruxelles - officiel subventionné - libre subventionné confessionnel - libre subventionné non confessionnel.

¹⁰ Ce tableau correspond à une synthèse des textes proposés par le Secrétariat général de l'Enseignement catholique (SEGEC, 2009 et 2014) - Programmes pour les Humanités générales et technologiques en sciences générales (5h de sciences par semaine). Programmes appliqués en 2010 : D/2009/7362/3/09 (p.33 et p.64) et en 2015 : D/2014/7362/3/23 (p.36 et p.68).

	Grade	Contenu	Développements attendus
2010	9	<i>Masse et concentration massique</i>	<i>Mesurer correctement des masses et des volumes. Comprendre qu'une concentration massique n'est pas modifiée par un prélèvement.</i>
	10	<i>Concentration molaire et dilution</i>	<i>Calculer une concentration en diverses unités. Préparer une solution de concentration donnée.</i>
2015	9	<i>Concentration massique.</i>	<i>Préparer une solution de concentration massique connue (A1¹¹). L'élève mesure une masse et un volume. Il précise l'incertitude absolue de mesure de chacune de ces mesures. L'élève calcule la quantité de soluté nécessaire et prépare une solution de volume et de concentration massique donnés. L'élève décrit la procédure mise en œuvre.</i>
	10	<i>Concentration molaire.</i>	<i>Calculer une concentration molaire à partir d'une concentration massique et inversement (A2). L'élève établit la relation mathématique qui unit la concentration molaire et la concentration massique. À partir de cette relation, l'élève calcule une concentration molaire en connaissant la concentration massique et inversement. Préparer une solution de concentration molaire déterminée (A3). L'élève calcule la quantité nécessaire de soluté pour préparer une solution de volume et de concentration molaire donnée (de sel, de sucre, ...). Il prépare cette solution en classe à l'aide du matériel à sa disposition et il décrit la procédure.</i>

Tableau 1. Programme du réseau libre subventionné - 2010 et 2015.

¹¹ « A » pour « Appliquer ». A partir de 2015, le programme est divisé en « Unités d'Acquis d'Apprentissage » (UAA) ce qui met explicitement l'accent sur ce qui est attendu de l'élève. Chaque UAA présente des développements attendus. Ces développements sont présentés selon trois dimensions : Expliciter des connaissances (C) : acquérir et structurer des ressources / Appliquer (A) : exercer et maîtriser des savoir-faire / Transférer (T) : développer des compétences (Programmes D/2014/7362/3/23).

2.2.2. Commentaires sur le cadre institutionnel de l'apprentissage de la grandeur concentration

En troisième secondaire de l'enseignement du réseau libre subventionné (grade 9), seule la concentration massique est introduite (rapport entre la masse de soluté en gramme et le volume de solution en litre). L'année suivante, en classe de quatrième (grade 10), suite à la découverte de la grandeur « quantité de matière » et son unité « la mole », c'est la concentration molaire qui est alors mise en apprentissage (rapport entre la quantité de matière de soluté en mole et le volume de solution en litre).

La molalité et les pourcentages massiques ou volumiques ne sont pas officiellement (curriculum formel) travaillés pour ces niveaux d'étude.

Le choix réalisé par les auteurs des programmes de ce réseau au cours de la transposition externe est donc liée au nombre d'expressions de la concentration chimique. Les concentrations massique et molaire sont, en effet, suffisantes pour aborder les concepts qui seront vus ultérieurement comme les équilibres dynamiques (calculs de constantes d'équilibre), les réactions acido-basiques (calculs de pH), les réactions de précipitations (calculs de produits de solubilité), etc.

2.3. Les choix transpositifs pour l'enseignement de la concentration chimique : le curriculum réel

Les éléments décrits dans cette partie sont une synthèse de l'analyse de manuels scolaires en langue française et de pratiques enseignantes. Il s'agit donc d'une analyse du curriculum réel. Il se limite à l'étude de manuels et cours d'élèves de l'enseignement général. Cette analyse ne peut se prétendre exhaustive ; elle a comme objectif de mettre l'accent sur des pratiques courantes utilisées dans l'apprentissage du concept de concentration.

2.3.1. Le concept de mélange

Si le concept de concentration comme grandeur n'est abordé qu'en troisième voire en quatrième du secondaire supérieur, le document officiel présentant les « Compétences terminales et savoirs requis en sciences pour les Humanités générales et technologiques » (Fédération Wallonie-Bruxelles, 2001) en chimie commence par un paragraphe consacré à la « Constitution de la matière » et la première compétence spécifique est en ces termes : « *Distinguer les différents types de mélanges* » (*Ibid.*, p.17).

Pour développer cette compétence spécifique, le programme du réseau libre subventionné¹² propose au premier degré (grade 7 et 8) une toute première mise en situation :

¹² Secrétariat général de l'Enseignement catholique (SEGECE, 2000) - Programme pour les Humanités générales et technologiques en Sciences - 1^{er} degré - 1A et 2^{ème} commune - D/2000/7362/012

« Verser dans trois éprouvettes graduées : 100 ml d'eau chaude dans la première, 100 ml de sucre fin dans la seconde et, après l'avoir effectué, le mélange des contenus des deux premières dans la troisième. Émettre une hypothèse pour expliquer que le contenu de la troisième éprouvette est inférieur à 200 mL. » (SEGEC, 2000, p.37).

Le même référentiel propose ensuite différentes activités à réaliser en classe lors de travaux pratiques comme :

« Observer que le mélange de 100ml d'eau et de 100 ml d'alcool ne donne pas 200 ml d'eau alcoolisée. (Pour aider les élèves à comprendre ce qui se passe, mélanger par exemple 100 ml de riz et 100 ml de pois cassés). » (Ibid., p.37).

L'objectif est de montrer la non additivité des volumes lors de la réalisation d'un mélange homogène.

Dans le curriculum réel, ces manipulations sont effectivement effectuées. De même que pour montrer que des mélanges n'aboutissent pas toujours à des solutions homogènes, une manipulation est souvent réalisée en travaux pratiques : mélanger du sable et de l'eau. Selon les quantités de l'un et l'autre, le volume final varie. Pour des petites quantités d'eau ajoutée à des quantités plus importantes de sable, le volume final de sable n'augmente pas voire même, il diminue grâce à la meilleure cohésion des particules de sable grâce à l'eau.

D'autres manipulations en laboratoire sont parfois réalisées comme la mise en évidence de la conservation de la masse lors de la réalisation d'un mélange, homogène ou non (Cloos, Donadei & Foltrauer, 2001, p.121).

2.3.2. La dissolution d'un soluté pour obtenir une solution

Peu avant d'étudier le concept de concentration, l'élève appréhende d'abord le phénomène de dissolution où un soluté est dissous dans un solvant pour former une solution.

Cette dissolution visible au niveau macroscopique s'explique au niveau microscopique par des modèles proposés par les chimistes ; modèles qui diffèrent selon les propriétés chimiques des solutés.

Pour expliquer la dissolution d'un composé ionique comme du sel de cuisine dans l'eau, le chimiste assimile le sel de cuisine à une substance pure, le chlorure de sodium. Les cristaux cubiques observables à l'échelle macroscopique sont décrits à l'échelle microscopique par un réseau d'ions chlorure Cl^- et d'ions sodium Na^+ souvent représenté par l'alternance de boules vertes négatives et de boules noires positives (figure 6a).

La dissolution du chlorure de sodium dans l'eau peut être modélisée par une réaction de dissociation des ions du cristal qui tient compte de la polarité des molécules d'eau : celles-ci s'orientent de telle façon que leur pôle négatif interagit avec les ions Na^+ et leur pôle positif avec les ions Cl^- (figure 6b). Les interactions « dipôles-charges » étant supérieures aux forces de cohésion du

cristal, les ions Na^+ et Cl^- passent en solution entourés d'une « sphère de solvation » (figures 6c et 6d). La place occupée par les ions du sel dissous a fait augmenter le volume initial de liquide. Le volume de solution est supérieur au volume de solvant.

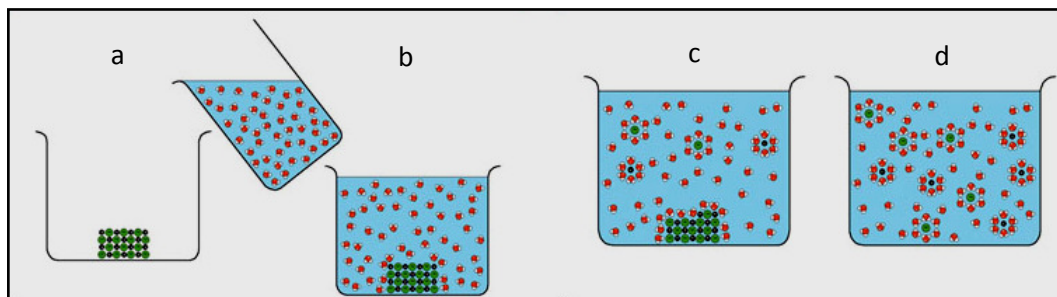


Figure 6. Représentation iconographique du modèle chimique de dissolution du chlorure de sodium dans l'eau (IUPAC, 2016).

Pour expliquer la dissolution de composés covalents polaires tels que le saccharose (sucre ajouté dans le café) ou l'éthanol (alcool du vin), le modèle établi par les chimistes se réfère à des liaisons intermoléculaires comme les ponts hydrogène entre les pôles du solvant et ceux du soluté.

Dans le curriculum réel, le phénomène de dissolution est parfois mis en opposition avec la réaction chimique où un réarrangement atomique a lieu (Pirson, Bordet, Castin, Snauwaert & Van Elsuwe, 2009, pp. 8-12¹³). Dans le manuel des éditions De Boeck pour les troisièmes et quatrièmes de l'enseignement secondaire, la dissolution du sel dans l'eau est expliquée comme suit :

« L'interaction entre le sel et l'eau a produit un liquide homogène incolore de saveur salée. La vaporisation de ce liquide a permis de séparer le sel de l'eau. Dans ce cas, il y a eu simplement dissolution : le sel s'est dissous dans l'eau.

Chaque fois qu'un corps (soluté) « disparaît » dans un liquide (solvant) et, qu'après vaporisation du liquide, il est possible de retrouver ce soluté avec ses propriétés, on dira qu'il y a eu dissolution. Dans ce cas, le soluté et le solvant forment ensemble un mélange homogène appelé « solution ». (Pirson, Bordet, Castin, Snauwaert & Van Elsuwe, 2009, p.12).

Notons que le verbe « disparaître » est utilisé pour expliquer le phénomène de dissolution à l'échelle macroscopique.

Les Editions Plantyn abordent la dissolution à travers le concept de « Mélanges » :

¹³ Manuel scolaire pour les grades 9 et 10 en sciences de base (3 heures par semaine) et sciences générales (5h par semaine), Collection chimie, Édition De Boeck.

« *Mélange homogène : mélange dont on ne peut pas distinguer les constituants, exemple : soluté (corps soluble) + solvant = solution* » (Fodor & Gilson, 2002, p.17¹⁴).

Il y est précisé que :

« *Les propriétés d'un mélange résultent des propriétés des constituants ; en effet, les constituants d'un mélange conservent leurs propriétés.*

Les constituants d'un mélange sont séparables par des méthodes physiques.

Un mélange est un phénomène physique. » (Fodor & Gilson, 2002, p.17).

2.3.3. Le volume auquel se rapporte la concentration

Les concentrations massiques et molaires sont celles principalement développées en troisième et quatrième du secondaire supérieur. Celles-ci se définissent comme le rapport entre la masse (concentration massique) ou la quantité de matière (concentration molaire) et le volume de solution.

Un choix transpositif est parfois réalisé : le volume de solution est délibérément confondu avec le volume de solvant ; le volume occupé par le soluté dans la solution est donc négligé. Nous précisons « parfois » car elle dépend ici d'une transposition interne non généralisée. Certains manuels scolaires et enseignants réalisent cette transposition interne.

L'extrait du manuel proposé en figure 7 en est une illustration. Il s'agit de la partie qui institutionnalise la notion de concentration massique pour des élèves de grade 9. Le volume considéré est celui de solvant (« 0,1 L d'eau »).

2 **La concentration des solutions** (activité 2)

- Des solutions bleues de sulfate de cuivre sont d'autant plus foncées qu'elles sont plus concentrées (doc. 4).
- **La concentration C** d'une solution correspond à la masse de soluté dans un litre de solution. Elle s'exprime souvent en gramme par litre (symbole : g/L).
- **La concentration C se calcule en divisant la masse m du soluté par le volume V de la solution :** $C = \frac{m \text{ (en g)}}{V \text{ (en L)}}$.
- Ainsi une solution réalisée avec 8 g de soluté dissous dans 0,1 L d'eau a une concentration :

$$C = \frac{8}{0,1} = \frac{80}{1} = 80 \text{ g/L.}$$

Figure 7. Extrait d'un manuel scolaire - Edition Hachette Education - Durandeau, Bramand, Caillet, Comte, Faye, Raynal, Thomassier, 2002 - p.93.

¹⁴ Manuel scolaire pour le grade 9 en sciences générales (5 heures par semaine).

Lorsque ce choix transpositif est réalisé, les exercices demandant de calculer la concentration d'un soluté ne précisent pas le volume de solution. Voici l'énoncé d'un exercice utilisant ce choix (figure 8, question 2) :

**14**

Que de sucre!

Une boîte de 1 kg de sucre contient 168 morceaux de sucre.

- 1) Quelle est la masse d'un morceau de sucre (tu pourras arrondir à l'unité près)?
- 2) Combien de morceaux faut-il dissoudre dans 1 litre d'eau pour avoir une solution de concentration 30 g/L?

Figure 8. Extrait d'un manuel scolaire - Edition Hachette Education - Durandeau, Bramand, Caillet, Comte, Faye, Raynal, Thomassier, 2002 - p.94, exercice 14.

En grade 10, un autre manuel propose également de calculer la concentration molaire en fructose d'un sirop préparé à partir de 250 g de sucre dissous dans 2,0 L d'eau (Parisi, 2004, p. 139). Seul le volume de solvant est donné. Dans le même ouvrage, deux exercices plus loin, le calcul de la concentration massique est demandé mais cette fois l'énoncé précise le volume de solution:

« On réalise une solution aqueuse avec 30 g de chlorure de sodium dans un litre d'eau. Le volume de la solution finale est égal à 1,0 L » (Ibid., p.139, exercice 20).

Ainsi, aux yeux de l'élève, le volume de solution peut être envisagé comme égal à celui de solvant.

2.3.4. Les représentations utilisées

Pour aborder la dimension microscopique, la dimension symbolique est très souvent utilisée. Comme nous le développons dans un précédent paragraphe, les didacticiens de la chimie intègrent totalement cette dimension comme faisant partie des niveaux de savoir en chimie. Les choix réalisés dans les représentations de la matière sont variés. Certains sont transposés dans les programmes et d'autres sont transposés dans le curriculum réel. Reprenons des représentations utilisées dans le cadre de la grandeur concentration chimique.

Les représentations iconographiques

Le curriculum formel demande aux enseignants d'inviter les élèves à utiliser les formes géométriques pour modéliser la matière. Nous parlions précédemment de la réalisation de mélanges lors de travaux pratiques en classe. Le référentiel officiel propose :

« Inviter les élèves à imaginer des modèles capables de représenter les mélanges précédents en utilisant des formes géométriques variées (par exemple des triangles pour les gouttes

d'eau, des carrés pour les grains de fluorescéine...). » (SEGEC, 2000, p.37)

Dans le curriculum réel, les formes géométriques sont effectivement utilisées. Afin de représenter un soluté qui se dissout dans un solvant, la matière est souvent symbolisée par des ronds en 2D qui, eux-mêmes, représentent des boules en 3D. La figure 9, tirée d'un manuel scolaire, propose cette représentation. Le solvant est ici représenté par une plage de couleur (bleue dans cet exemple pour représenter l'eau) plus ou moins foncée en fonction des reflets de lumière.

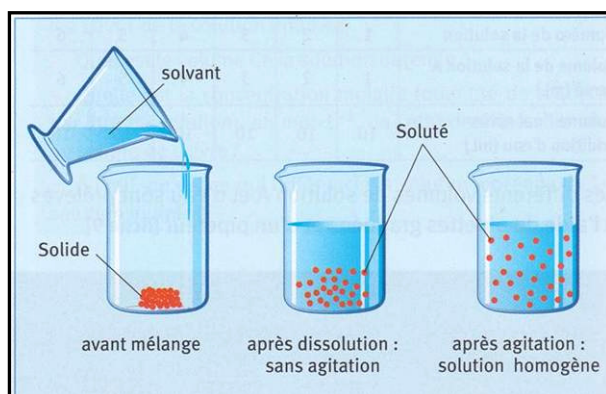


Figure 9. Représentation de la dissolution d'un soluté (Parisi, 2004, p.134).

Une des représentations des solutés ioniques tels que le chlorure de sodium est de schématiser les ions sodium et les ions chlorures par des cercles collés les uns aux autres ; les ions chlorures étant de taille supérieure à celles des ions sodium (figure 10) :

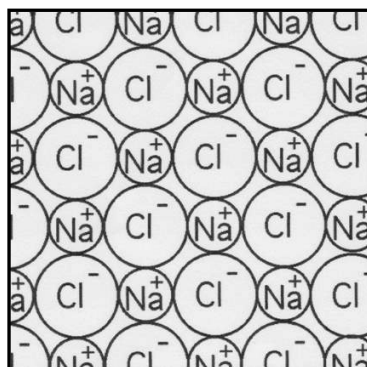


Figure 10. Représentation du cristal de chlorure de sodium (Taber, 2009, p.17).

Pour aider l'élève à mieux comprendre que les atomes ou les molécules sont bien constitutifs de la matière, Patrice Potvin (2011) propose des schémas représentant « en panorama général » la réalité microscopique (figure 11). Il représente dans son schéma, les mélanges sable-eau (à gauche) et alcool-eau (à droite). Les molécules d'eau s'insèrent entre les particules de sable tout

comme les molécules d'alcool s'insèrent, en partie, entre les molécules d'eau.

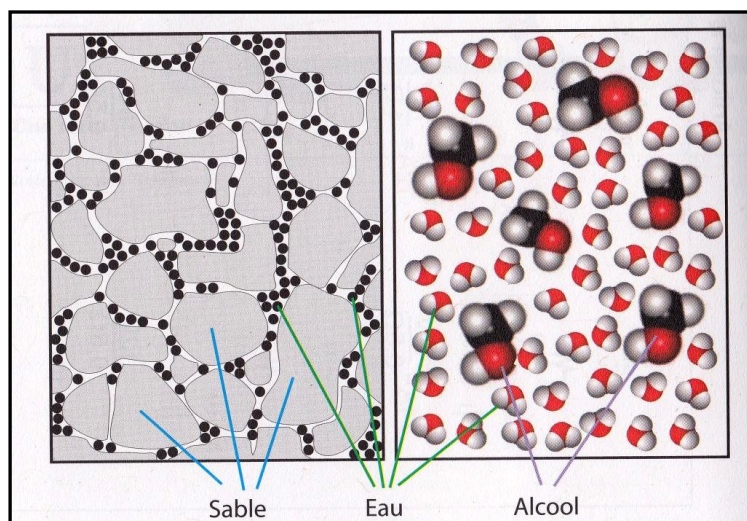


Figure 11. « Panorama général » de la réalité microscopique de mélanges sable-eau (à gauche) et alcool-eau (à droite) (Potvin, 2011, p. 138).

Beaucoup d'autres représentations sont utilisées selon le choix des manuels et des enseignants mais elles restent le plus souvent de l'ordre de l'utilisation d'icônes afin de concrétiser les modèles des chimistes.

Les couleurs

Les échelles de teinte (figure 12) sont souvent utilisées pour mettre en évidence des solutions de même soluté et de concentrations connues différentes.

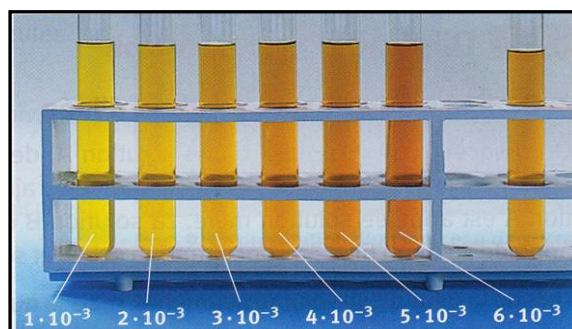


Figure 12. Echelle de teinte formée par des solutions aqueuses de diode - Concentration en mol.L⁻¹ (Parisi, 2004, p.136).

Ces échelles de teinte sont réalisées par dilution d'une solution mère de départ par ajout de quantités croissantes de solvant pour obtenir des solutions filles de concentrations décroissantes¹⁵.

¹⁵ La solution à l'extrême droite de la figure est une solution de concentration inconnue mais dont la valeur peut être déterminée par comparaison de couleur aux solutions de concentrations connues.

Les expressions mathématiques

Les expressions mathématiques pour le calcul des concentrations sont très utilisées lors de la transposition didactique de ces grandeurs.

La concentration massique, symbolisée par γ , est présentée comme le rapport entre la masse de soluté m et le volume de solution V :

$$\gamma = \frac{m}{V}$$

De même la concentration molaire, symbolisée par C , est présentée comme le rapport entre la quantité de matière de soluté n et le volume de solution V :

$$C = \frac{n}{V}$$

A l'inverse des représentations iconographiques qui tendent à concrétiser les concepts, les représentations mathématiques tendent vers un niveau plus abstrait du concept de concentration.

CHAPITRE 3. CADRES THÉORIQUES POUR ÉTUDIER LES CONCEPTIONS ET LE CHANGEMENT CONCEPTUEL DE CONCEPTS SCIENTIFIQUES

1. Les conceptions des apprenants

Nous reprenons la définition classique donnée en didactique pour la « conception » comme une construction intellectuelle du sujet qui est mobilisée spontanément face à une question ou un problème¹⁶. Le sujet se réfère à des systèmes de connaissances pour résoudre une thématique qui a fait ou non l'objet d'un apprentissage (Reuter, Cohen-Azria, Daunay, Delcambre, & Lahanier-Reuter, 2013). La conception a une fonction de modèle dans le sens qu'elle permet de rendre compte de certains phénomènes.

Les conceptions des élèves peuvent être compatibles avec les connaissances scientifiques que l'école cherche à enseigner mais elles peuvent aussi les contredire partiellement ou totalement ; c'est dans ce cas que la didactique prend tout son sens étymologique : «indiquer» le chemin (« δεικνo », en grec).

Christian Orange et Denise Orange-Ravachol résument les points importants concernant les apprentissages scientifiques :

« L'apprentissage ne se fait pas à partir de rien : l'élève a des façons de penser les questions scientifiques et des connaissances avant enseignement, de sorte que celui-ci ne vise pas simplement à apporter des connaissances mais à changer les conceptions des élèves.

Ces conceptions ont une résistance au changement car elles sont, dans une certaine mesure, cohérentes et efficaces (...). » (Orange & Orange-Ravachol, 2013, p.49-50).

Dans la bibliographie, les conceptions des apprenants prennent différentes dénominations. Steve Masson (2012, p.7) en fait un inventaire non exhaustif : préconceptions, conceptions préscientifiques, fausses conceptions, conceptions primitives, naïves, alternatives, intuitives, erronées, inappropriées, spontanées ou inattendues.

Dans la littérature anglophone, le terme de misconception est privilégié (Nussbaum & Novick, 1982, p.183).

Les conceptions peuvent être exprimées explicitement par les élèves dans leurs productions. Si ce n'est pas le cas, le chercheur doit tenter de les identifier. Or les productions d'apprenants sont réalisées dans un contexte particulier ; elles répondent à une question dans des conditions précises. Leur interprétation est donc liée à la fois aux conditions de la production et aussi

¹⁶ Nous utiliserons le terme « *conception* » plutôt que « *représentation* » (Giordan & De Vecchi, 1987 ; Giordan & Martinand, 1988). En didactique, la composante épistémologique complète en effet la composante psychologique (Orange & Orange-Ravachol, 2013).

au filtre qu'exerce le chercheur à travers ses propres cadres conceptuels et ses propres positions théoriques (« *hypothèses de représentation* », Astolfi, 1992).

Dans ce sens, nous nous rapprochons de la définition de la conception donnée par André Tiberghien *et al.* (1998) et Taber (2001) : les conceptions des élèves consistent en la reconstruction conceptuelle que propose le chercheur pour expliquer un ensemble de comportements cognitifs des élèves quand un concept donné est mis en jeu.

2. La théorie classique du changement conceptuel

Selon les auteurs, il existe des divergences de vue sur l'origine des conceptions et c'est pourquoi ils proposent des chemins différents pour amener l'apprenant à se rapprocher du concept savant ou tout du moins du concept transposé pour son enseignement.

Nous reprenons ici, de façon non exhaustive, les principaux modèles proposés :

2.1. Modèle de Posner, Strike, Hewson et William

Selon George J. Posner, Kenneth A. Strike, Peter W. Hewson et William A. Gertzog (1982), l'apprentissage est pensé comme un « *changement conceptuel* » (« *conceptual change* »).

Pour proposer ce nouveau paradigme en didactique, ils se basent, entre autres, sur les travaux de l'épistémologiste Thomas S. Kuhn (1983) qui compare les changements de conceptions aux « révolutions scientifiques » (vues comme des « crises ») dans l'histoire des sciences.

Ils se basent également sur les travaux du suisse Jean Piaget qui définit le développement d'un individu comme un processus continu, progressif et évolutif dirigé par des nécessités internes d'équilibre. Selon Piaget, l'adaptation de l'individu à son milieu se fait par une dynamique « *assimilation* » et « *accommodation* ». L'assimilation est le processus par lequel un élément du milieu est directement intégré par la structure mentale de l'individu¹⁷. Inversement l'accommodation est le processus par lequel la structure mentale de l'individu se modifie pour s'ajuster au milieu (Houdé, 2004, p.10).

Ainsi, Posner *et al.* pensent que, tout comme le scientifique doit comprendre et expliquer de nouveaux concepts en révisant (en « révolutionnant ») sa façon de voir le monde, l'apprenant doit également s'engager à changer ses conceptions via les processus d'assimilation et d'accommodation :

« (...) *the scientist must acquire new concepts and a new way of seeing the world. Kuhn terms this kind of conceptual change a "scientific revolution. (...). We believe there are analogous*

¹⁷ Pour parler de ces structures mentales, Piaget parle de « schèmes ».

patterns of conceptual change in learning. Sometimes students use existing concepts to deal with new phenomena. This variant of the first phase of conceptual change we call assimilation. Often, however, the students' current concepts are inadequate to allow him to grasp some new phenomenon successfully. Then the student must replace or reorganize his central concepts. This more radical form of conceptual change we call accommodation.» (Posner et al., 1982, p.212).

Selon Posner et al., le changement conceptuel ne peut avoir lieu que si quatre conditions sont réunies :

- « 1) There must be dissatisfaction with existing conceptions. Scientists and students are unlikely to make major changes in their concepts until they believe that less radical changes will not work. (...);*
- 2) A new conception must be intelligible. The individual must be able to grasp how experience can be structured by a new concept sufficiently to explore the possibilities inherent in it. (...);*
- 3) A new conception must appear initially plausible. Any new concept adopted must at least appear to have the capacity to solve the problems generated by its predecessors.(...);*
- 4) A new concept should suggest the possibility of a fruitful research program. It should have the potential to be extended, to open up new areas of inquiry. » (Posner et al., 1982, p. 214).*

La première condition posée par Posner et al. est l'« insatisfaction » dans le sens où l'apprenant doit être conscient que ses propres conceptions ne permettent plus d'expliquer un nouveau phénomène.

Une seconde condition est liée à l'« intelligibilité » des nouvelles conceptions : elles doivent être amenées à l'apprenant de telle façon qu'il soit capable de les comprendre et de se les représenter.

Ces mêmes conceptions doivent être « plausibles » c'est-à-dire cohérentes par rapport au problème donné de façon à pouvoir le résoudre.

Enfin, la dernière condition est que ces nouvelles conceptions soient « fécondes » c'est-à-dire efficaces pour expliquer d'autres phénomènes.

Ainsi, selon ce modèle, ces quatre conditions sont nécessaires pour permettre l'accommodation. Celle-ci est certes un changement radical à réaliser mais il se fait graduellement par petits ajustements successifs (« (...) *accommodation will be gradual and piecemeal affair* », Posner et al., 1982, p.223).

Posner et al. précisent l'écologie du changement conceptuel : en classe, il est impératif d'avoir recours au conflit cognitif, sorte de crise scientifique comme l'entendait Kuhn, pour obtenir l'accommodation :

« If taken seriously by students, anomalies provide the sort of cognitive conflict (like a kuhnian state of « crisis ») that prepares

the student's conceptual ecology for an accommodation. The more students consider the anomaly to be serious, the more dissatisfied they will be with current concepts, and the more likely they may be ready ultimately to accommodate new ones. » (Posner et al., 1982, p.224).

Jean-Pierre Astolfi, Eliane Darot, Yvette Ginsburger-Vogel et Jacques Toussaint (2008) définissent le conflit cognitif comme suit :

« Un conflit cognitif se développe lorsqu'apparaît, chez un individu, une contradiction ou une incompatibilité entre ses idées, ses représentations, ses actions. Cette incompatibilité, perçue comme telle ou, au contraire, d'abord inconsciente, devient la source d'une tension qui peut jouer un rôle moteur dans l'élaboration de nouvelles structures cognitives. » (Astolfi et al., 2008, p.35).

Le modèle de Posner et al., rejoint celui de Nussbaum et Novick (1982) qui, au même moment, propose également le conflit cognitif pour permettre le changement conceptuel. D'un point de vue pratique, ces auteurs pensent qu'il est indispensable de produire un déséquilibre chez l'apprenant, une prise de conscience parfois brutale qui lui permette de se rendre compte des limites de ses conceptions. Ils proposent trois étapes à suivre :

« (1) exposing alternative frameworks, (2) creating conceptual conflict, (3) encouraging cognitive accommodation. » (Nussbaum & Novick, 1982, p.183).

Les modèles qui suivent s'orientent davantage sur l'origine des conceptions des apprenants pour mieux comprendre les processus mentaux à l'origine du changement conceptuel : les conceptions faisant partie de référentiels rigides (modèle « knowledge-as-theory ») ou tout à fait à l'opposé, les conceptions comme des habitudes spontanées isolées (« knowledge-in-pieces »).

2.2. Modèle « Knowledge-as-theory »

Stella Vosniadou fait partie des auteurs qui proposent les conceptions des élèves comme faisant partie d'un référentiel théorique cohérent. Cet auteur appartient au courant dénommé « *Knowledge-as-theory* ».

Selon elle, les élèves se construisent très tôt un référentiel relativement rigide formé de présuppositions ontologiques et épistémologiques dans lequel ils chercheront par la suite à inscrire les nouveaux apprentissages (Vosniadou, 1992 & 2013). Ce référentiel est formé d'un certain nombre de croyances ou « *cadres théoriques*¹⁸ » naïfs (« *framework theory and mental model* »). Un exemple de cadre théorique naïf : « *Ce qui ne se voit plus, n'existe plus* » (Potvin, 2011).

¹⁸ Nous avons choisi de traduire « *framework theory* » par « *cadre théorique* » comme le fait Steve Masson (2012).

Pour Stella Vosniadou, le changement conceptuel aura lieu si les modèles mentaux sont révisés par les élèves puis finalement remplacés par les modèles scientifiques reconnus.

Micheline T.H. Chi (1992) qui parle en termes de « *catégories ontologiques* », estime également que le changement conceptuel nécessite un changement ontologique. C'est ce qui explique que le changement conceptuel soit difficile car l'élève doit se rendre compte de son engagement pour ensuite réviser l'attribution des concepts dans des catégories nouvelles ou différentes.

Pour les défenseurs de cette perspective « *knowledge-as-theory* », il est essentiel que l'apprenant recherche les raisons pour lesquelles ses conceptions ont émergé et les présuppositions sur lesquelles elles se basent. L'élève doit, en, quelque sorte, rechercher « l'origine du mal » afin de permettre tout changement conceptuel. Ainsi, si l'enseignant se contente d'enseigner les nouveaux concepts sans prendre en considération les présuppositions de ses élèves, son enseignement reste vain. Si au contraire, l'enseignant permet à ses élèves d'explicitier les origines de certaines présuppositions, il devient alors possible d'influer sur l'élaboration de nouvelles structures cognitives.

Selon ce modèle, le conflit cognitif est également l'outil indispensable pour réaliser un changement conceptuel. L'étape préliminaire au conflit est toutefois essentielle : créer un doute solide dans la tête de l'apprenant afin qu'il remette en question la naïveté de ses cadres théoriques. Il s'agit en quelque sorte de permettre une « psychanalyse » par l'apprenant de son cadre conceptuel naïf et de ses présuppositions ontologiques et épistémologiques (Potvin, 2011, p.193).

2.3. Modèle « Knowledge-in-pieces »

Un autre courant s'oppose assez radicalement au précédent (Özdemir & Clark, 2007) : le modèle de « *Connaissances en pièces* » (« *Knowledge-in-pieces* »).

Andrea A. diSessa (1983 & 2013) en est l'un des principaux défenseurs. Selon cet auteur, les élèves ne formulent pas leurs conceptions à partir de théories bien élaborées, mais plutôt à partir d'habitudes interprétatives intuitives et élémentaires. Il nomme ces habitudes des « *p-prims* » (« *phenomenological primitives* » ou « *primitives phénoménologiques* »).

Les élèves jugent pertinent d'utiliser une p-prim sur la seule base des apparences et de leurs impressions afin de produire des explications et prendre des décisions.

Ruth Stavy et Dina Tirosh (2000) utilisent le terme de « *intuitive rules* » (« *règles intuitives* ») pour nommer ces habitudes spontanées. Citons également les « *core intuitions* » (« *intuitions de base* ») de Brown (1993).

Un exemple de p-prim mis en évidence par diSessa lors de l'apprentissage de la loi d'Ohm : « *More effort begets more results.* » (diSessa, 2006, p.274). Cette habitude appelée « causalité proportionnelle » est également citée par

Stavy et Tirosh sous la forme : « *More A then more B* » (Stavy & Tirosh, 2000, p.1) : « *Si la valeur de A augmente alors celle de B augmente aussi* ».

Un autre exemple d'habitude spontanée est la « correspondance équivalente » (Potvin, 2011, p.243) : « *Si deux objets présentent certains paramètres égaux, ils seront égaux en d'autres paramètres* » (« *Same A then same B* »).

Selon diSessa, les p-prim s'accumulent jour après jour suite aux expériences de la vie, aux interactions physiques et psychologiques avec l'environnement naturel et social. Le terme « *phénoménologique* » (du grec « *étude de ce qui apparaît* ») découle de ce que chacun voit et retient de ses expériences quotidiennes. Le mot « primitive » est donné du fait que ces habitudes sont à l'origine des conceptions comme le génotype est à l'origine du phénotype en génétique.

Les auteurs insistent aussi sur le caractère intuitif de ces habitudes dans le sens où l'individu est incapable de les expliquer puisqu'elles lui paraissent légitimes. L'analogie à la génétique est ici toujours possible : le génotype est issu des chromosomes parentaux et cela est indiscutable.

Les mêmes habitudes interprétatives peuvent être « bonnes » dans certains contextes et « mauvaises » dans d'autres. L'expert est censé utiliser la bonne habitude dans un certain contexte, ce que ne réalise pas toujours le novice.

Le contexte a d'ailleurs dans ce modèle une influence majeure, ce qui explique le caractère incohérent des réponses des élèves pour un même concept scientifique par simple modification du contexte.

Comme pour le modèle de Vosniadou, si l'enseignant ne tient pas compte de ces habitudes intuitives, l'apprenant ne pourra pas « accommoder » à long terme les nouveaux concepts dans sa structure cognitive. En d'autres termes : « *Chassez le naturel et il revient au galop*¹⁹ ».

Pour diSessa, un raisonnement final est toujours logique, seule(s) une (des) habitude(s) pour y arriver est (sont) erronée(s). Une solution est d'analyser avec l'apprenant tous les éléments de son raisonnement en cherchant à trouver ceux qui sont à l'origine de l'erreur de façon à les réviser.

Ainsi, selon cette optique, l'élève ne raisonnerait pas en référence à un cadre théorique cohérent (« *knowledge-as-theory* ») mais en puisant dans une collection non structurée d'éléments simples (« *knowledge-in-pieces* »). De ce point de vue, le changement conceptuel résulte davantage du passage d'un savoir fragmenté à un savoir structuré (par ajout, suppression, révision des éléments qui constituent le répertoire de p-prim afin de développer une classe de coordination plus conforme au savoir scientifique) plutôt que d'une modification profonde de son cadre théorique de pensée.

¹⁹ Alexandrin du poète latin Horace, repris très souvent dans la littérature française.

2.4. Autres modèles

D'autres auteurs proposent des variantes de ces modèles comme les « *conceptions d'ancrage* » (Clement, Brown & Zietsman, 1989), les conceptions faisant partie d'une « *structure conceptuelle* » (Duit & Treagust, 2003), le concept de « *facettes* » où une classification des idées spontanées des apprenants est réalisée (Minstrell, 2001).

Nous ne développons pas ces modèles dont la liste n'est d'ailleurs pas exhaustive. Les lunettes à travers lesquelles nous étudions les conceptions des apprenants dans la suite de notre texte sont celles fournies par les modèles de Posner *et al.*, Vosniadou et diSessa (ainsi que Stavy). Ces modèles sont en effet ceux qui nous ont semblé les plus pertinents pour interpréter les conceptions des élèves face à la grandeur concentration chimique.

2.5. Les points communs et les limites entre les différents modèles

L'origine des conceptions naïves des apprenants proposée par les différents modèles sont différents mais des points communs les unissent toutefois.

Tous ces auteurs convergent vers une idée commune : les élèves ne sont pas passifs mais construisent leurs propres connaissances (Viennot, 2008).

Une autre convergence : les préconceptions des élèves, qu'elles soient envisagées selon le courant « *knowledge-as-theory* » ou « *knowledge-in-pieces* », sont extrêmement difficiles à « changer ».

Les débats actuels portant sur l'origine des conceptions des élèves et le processus du changement conceptuel démontrent bien que les connaissances des processus mentaux sont encore incomplètes (Masson, 2012).

Andrea A. diSessa résume bien cet état de la recherche sur le changement conceptuel en affirmant que :

« *There are, in fact, no widely accepted, well-articulated, and tested theories of conceptual change. Instead, the field consists of multiple perspectives that combine many commonsense and theoretical ideas in kaleidoscopic fashion.* » (diSessa, 2006, p.266).

Pour tenter de comprendre pourquoi les conceptions des apprenants sont si persistantes au changement, des chercheurs en didactique se sont tournés vers les mécanismes cérébraux mis en jeu lors de l'apprentissage ; mécanismes étudiés par les neurosciences cognitives. C'est ce que nous développons dans le point suivant.

3. Apport des neurosciences cognitives : l'inhibition des conceptions non pertinentes

A partir des années 2000, l'utilisation des techniques d'imagerie cérébrale a permis d'étudier les régions du cerveau qui s'activent lors de la réalisation de tâches cognitives.

3.1. Les méthodes fonctionnelles d'imagerie cérébrale

Plusieurs techniques se sont développées tant pour mieux voir la morphologie (l'anatomie) de l'encéphale mais aussi pour mieux appréhender la dynamique fonctionnelle.

Nous ne présentons ici que trois techniques souvent utilisées en neurosciences cognitives pour décrire cette dynamique fonctionnelle : l'IRMf, la TEP et l'EEG.

L'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf en français et fMRI en anglais) utilise le fait que la molécule d'hémoglobine a des propriétés magnétiques légèrement différentes selon qu'elle est liée à l'oxygène ou au contraire dépourvue d'oxygène. L'augmentation du débit sanguin dans une zone cérébrale activée modifie la concentration en oxygène des molécules d'hémoglobine dans les réseaux capillaires et c'est cette variation qui est détectée. Les techniques actuelles permettent d'obtenir une carte cérébrale en quelques secondes et pendant des durées de plusieurs minutes (Cornet, 2009, p.86).

Une autre technique très utilisée également est la Tomographie par Emission de Positons (TEP en français et PET en anglais). Une substance spécifique marquée par un radio-isotope capable d'émettre des positons est injectée au sujet. Il est possible ainsi de voir de quelle manière et en quelle quantité le cerveau consomme du glucose dans certaines zones (injection d'un analogue du glucose mais marqué par un radio-isotope du fluor) ou encore de voir la distribution du sang dans le cerveau (injection d'eau rendue radioactive par un radio-isotope de l'oxygène). Les images traitées informatiquement permettent une vision tridimensionnelle de l'activité métabolique du cerveau (Baciu, 2011, p.229).

L'électroencéphalographie (EEG) permet une mesure directe de l'activité électrique des cellules nerveuses (les neurones) grâce à des électrodes placées près des zones à observer.

Les techniques d'imagerie cérébrale révolutionnent l'approche des scientifiques tout comme l'ont été auparavant d'autres techniques optiques telles que la microscopie ou la télescopie. Michael Posner (Cornell University), pionnier dans ce domaine, écrit :

« Le microscope et le télescope ouvrirent, en leur temps, de vastes domaines de découvertes scientifiques insoupçonnées. Maintenant que de nouvelles méthodes d'imagerie permettent de visualiser les systèmes cérébraux de la pensée normale et pathologique, la

cognition humaine pourrait être à l'aube de progrès similaires »
(Posner, 1993 cité par Houdé, 2004, p.32).

Et le psychologue Olivier Houdé de continuer :

*« L'histoire des sciences consacrera-t-elle l'imagerie cérébrale
comme le microscope de la psychologie ? »* (Houdé, 2004, p.32).

Dans la suite de cette partie, nous reprenons quelques étapes qui nous paraissent importantes, des avancées en neurosciences cognitives.

3.2. Les études de Fugelsang et Dunbar

Jonathan A. Fugelsang et Kevin N. Dunbar font partie des premiers chercheurs en didactique des sciences à se tourner vers l'utilisation de l'imagerie cérébrale. Ils constatent en effet la difficulté à obtenir un changement conceptuel :

« In fact minor changes in a concept are the norm and major conceptual changes appear to be quite rare. » (Dunbar, Fugelsang & Stein, 2007, p.194).

Fugelsang et Dunbar constatent également que les mécanismes qui sous-tendent le changement conceptuel sont peu connus :

« Although there have been numerous theoretical and applied accounts of the nature of conceptual change, relatively little is known of the mechanisms that underlie the different types of conceptual change, what educational interventions really foster conceptual change, what is the role of data and theory in conceptual change, and how brain based mechanisms might constrain when and how conceptual change occurs. » (Ibid., 2007, p.195).

Ainsi, ils ont voulu établir un lien entre le conflit cognitif et les régions du cerveau qui y sont associées. Leur approche est d'examiner le recrutement des circuits neurologiques du cerveau qui sont impliqués lorsque les individus reçoivent des données incohérentes avec leurs propres conceptions.

Leurs résultats d'expériences publiées en 2005 indiquent que des zones antérieures du cerveau interviennent lors d'une situation de conflit cognitif (Fugelsang & Dunbar, 2005, p.1209) : le cortex cingulaire antérieur (CCA), le precuneus et le cortex préfrontal dorsolatéral (CDLPF).

La figure 13 permet de localiser ces zones cérébrales.

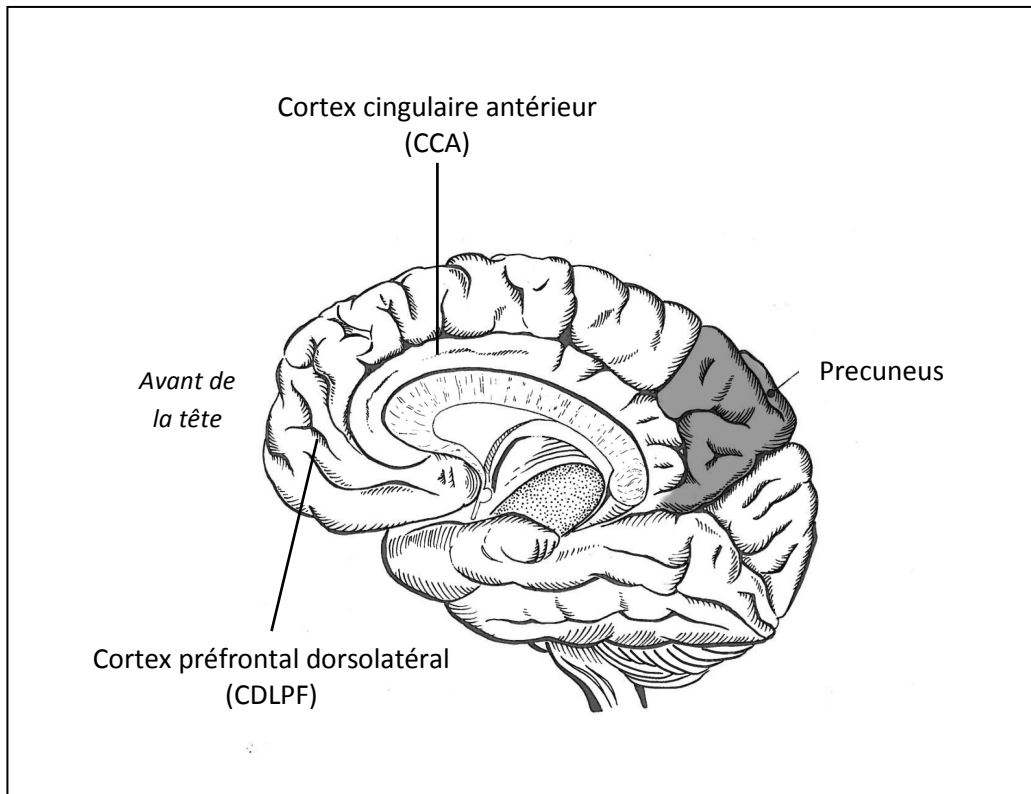


Figure 13. Localisation du cortex cingulaire antérieur (CCA), du précuneus et du cortex préfrontal dorsolatéral (CDLPF) (d'après Baciú, 2011).

La partie antérieure du cortex cingulaire (CCA) est une région du cerveau associée à la détection d'erreur. Le recrutement du cortex préfrontal dorsolatéral (CDLPF) dans cette condition est le résultat de l'inhibition active des processus attentionnels associés à la tâche. Le précuneus est, quant à lui, responsable de la réallocation des ressources attentionnelles (*Ibid.*, p.1209-1210).

Fugelsang et Dunbar en déduisent que lorsqu'un sujet est mis en situation de conflit cognitif, il traite l'information comme une erreur et il détourne son attention. Au final, le sujet n'assimile pas la nouvelle conception proposée. Selon Dunbar, cette expérience démontre l'une des raisons pour laquelle le changement conceptuel soit difficile à obtenir.

Plutôt que de comparer l'activité cérébrale avant et après la réalisation d'un changement conceptuel, une stratégie d'étude consiste à comparer l'activité cérébrale d'un groupe d'experts qui est présumé avoir réalisé un changement conceptuel avec un groupe de novices ne l'ayant pas encore réalisé (Masson, 2012). C'est de cette façon que Dunbar, Fugelsang & Stein procèdent à de nouvelles expérimentations publiées en 2007. Leurs résultats sont surprenants : ils constatent que les conceptions erronées sont toujours présentes même chez un expert mais que celui-ci est capable d'activer

certaines zones cérébrales pour, semble-t-il, inhiber les théories naïves et donc proposer une réponse correcte :

« Yet the results of the experiments reported in this chapter indicate that even when conceptual change appears to have taken place, students still have access to the old naïve theories and that these theories appear to be actively inhibited rather than reorganized and absorbed into the new theory. » (Dunbar, Fugelsang & Stein, 2007, p.202).

3.3. Les confirmations apportées par Masson, Shtulman et Valcarcel

Steve Masson en 2012 arrive aux mêmes conclusions. Ses recherches menées en 2012 confrontent les régions cérébrales qui s'activent lorsque des sujets novices ou experts en physique observent des images de circuits électriques et pour lesquels ils devaient dire si le montage était correct ou au contraire, incorrect. Ces circuits comprenaient une pile, deux ampoules et des fils électriques positionnés de différentes façons. Certains montages illustraient une conception erronée selon laquelle un seul fil (en circuit ouvert) est suffisant pour allumer une ampoule. Les résultats obtenus montrèrent que les régions cérébrales associées à l'inhibition (le cortex préfrontal et le cortex cingulaire antérieur) sont plus actives chez les experts en physique que chez les novices lorsque leur était présenté des circuits incorrects. Steve Masson en déduit que :

« Pour répondre correctement, les experts semblent donc avoir besoin d'inhiber, c'est-à-dire contrôler ou freiner la formulation d'une réponse (erronée) qui leur vient spontanément à l'esprit. Conséquemment, les résultats de cette recherche appuient l'hypothèse selon laquelle les experts en sciences auraient toujours dans leur cerveau la trace de la fausse conception « un seul fil est suffisant pour allumer une ampoule », conception qu'ils doivent inhiber pour répondre correctement à la question posée. » (Masson & Brault Foisy, 2012, p.15).

Selon Masson, l'apprentissage en sciences permet de développer cette capacité d'inhibition des conceptions naïves :

« Plus précisément, notre interprétation des résultats obtenus appuie l'idée selon laquelle les experts possèderaient toujours dans leur cerveau la trace d'une conception inappropriée (...) et que, suite à leur formation scientifique, ils auraient développé une conception plus conforme aux savoirs scientifiques, mais n'auraient pas effacé de leur cerveau leur conception initiale qu'ils doivent alors inhiber. » (Masson, 2012, p.111).

En parallèle de ces études impliquant l'utilisation des techniques d'imagerie cérébrale, d'autres chercheurs tels Shtulman et Valcarcel (2012) proposent à des experts de choisir le plus rapidement possible entre deux affirmations, celle qui leur semble correcte : une série d'affirmations sont cohérentes (vraies aux niveaux scientifique et des conceptions naïves ou

fausses aux mêmes niveaux) et une deuxième série d'affirmations sont incohérentes (fausses au niveau scientifique mais vraies selon les conceptions naïves et inversement). Les interrogés répondent plus rapidement et mieux aux affirmations cohérentes alors que le délai de réponse est significativement supérieur ainsi que le nombre d'erreurs lorsque les affirmations sont incohérentes. Les chercheurs aboutissent à la conclusion que le délai de réponse est dû au délai pour inhiber les conceptions naïves qui seraient donc toujours présentes dans le réseau cognitif de l'expert.

Shtulman et Valcarcel (2012) ont d'ailleurs noté que le temps de latence était plus important pour les affirmations concernant les concepts introduits dans la petite enfance comme s'ils étaient plus fortement enracinés et donc plus difficiles à inhiber.

3.4. Les études de Houdé en psychologie cognitive révisent la théorie de Piaget

Déjà en 1999, Olivier Houdé, psychologue, étudie le comportement de jeunes enfants et il envisage que le développement de l'intelligence ne consiste pas seulement à construire et à activer des stratégies cognitives nouvelles, comme le pensait Jean Piaget. L'enfant doit aussi apprendre à bloquer, inhiber la stratégie inadéquate.

Comme nous l'avons déjà exposé dans un précédent paragraphe, Jean Piaget envisage le développement cognitif comme un processus linéaire et cumulatif. Il propose un modèle en escaliers pour expliquer la genèse de l'intelligence chez l'enfant. Chaque marche correspondrait à une série de progrès que Piaget a appelé « stades » (figure 14).

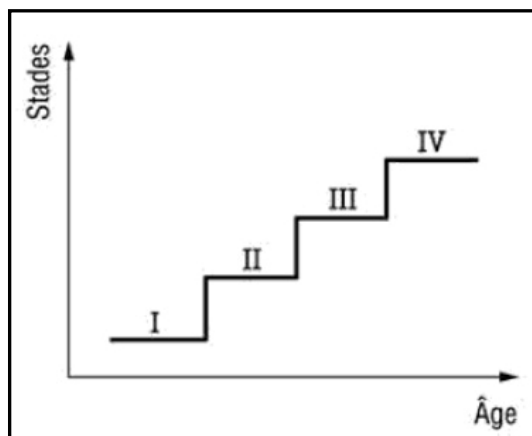


Figure 14. Modèle cognitif du développement : modèle piagétien en escalier.
(Danion-Grilliat & Bursztejn, 2011, p.62).

Une tâche emblématique de Piaget pour tester l'intelligence de l'enfant est « *la conservation du nombre* » : devant deux rangées ayant le même nombre de jetons mais écartés différemment dans l'espace, les jeunes enfants de maternelle considèrent quasi systématiquement qu'« *y a plus de jetons là où c'est plus long* ». Le jeune enfant se base uniquement sur sa perception visuelle pour répondre. A l'inverse, une grande majorité des enfants de plus

de sept ans répondent correctement à cette même tâche. Ainsi pour Piaget, seul l'enfant plus grand, plus avancé dans les stades, peut compter les jetons en passant d'un stade perceptif prélogique au stade de la pensée logicomathématique concrète.

Houdé dans son laboratoire de psychologie du développement et de l'éducation de l'enfant du CNRS²⁰, révisé la théorie de Piaget. En parlant de cette même tâche du nombre de jetons, Houdé explique :

« Cette tâche a été reprise de façon informatisée en IRMf avec des enfants d'école maternelle et élémentaire, révélant qu'elle mobilisait non seulement les régions du cerveau dédiées au nombre (le cortex pariétal), mais aussi les régions du cortex préfrontal dédiées à l'inhibition des automatismes : ici l'automatisme selon lequel en général la longueur varie avec le nombre. Cela amène à réviser la théorie de Piaget en y ajoutant le rôle clé de l'inhibition cognitive comme mécanisme positif du développement de l'intelligence de l'enfant » (Houdé, 2016, p.21).

Selon Houdé, le modèle le plus adapté pour expliquer le développement cognitif semble le modèle de « vagues qui se chevauchent » (« overlapping waves ») proposé par Robert S. Siegler (1996) : au cours de son développement, l'enfant accumule un réservoir de stratégies où il puise celle qu'il juge la plus efficace dans le contexte où il se trouve (figure 15).

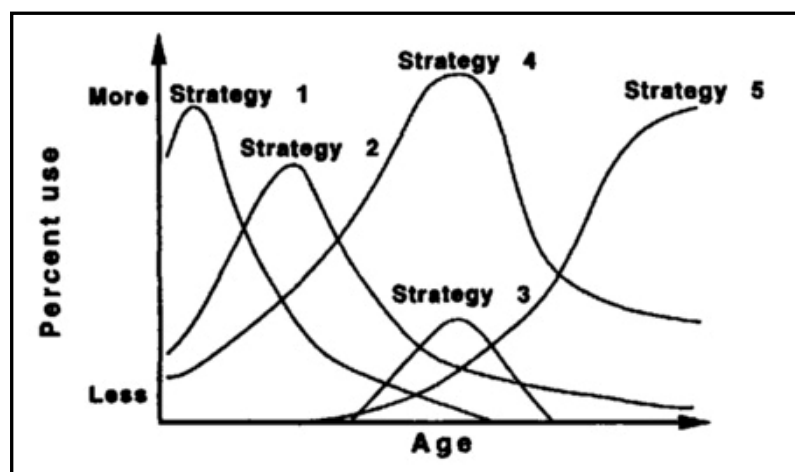


Figure 15. Modèle cognitif du développement : modèle dynamique non linéaire. (Siegler, 1996, p.238).

Olivier Houdé traduit ce modèle en y ajoutant une composante liée à l'inhibition. L'individu met au point et accumule des heuristiques qui lui permettent de réagir rapidement à diverses situations. Chaque stratégie ayant son propre champ d'application, l'individu est donc amené à inhiber

²⁰ Le CNRS ou Centre National de la Recherche Scientifique est un établissement public à caractère scientifique et technologique, placé sous la tutelle du Ministère français de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

l'une des stratégies et activer une autre afin de répondre au mieux à une situation donnée. Si l'inhibition n'est pas correctement effectuée, la réponse à une question impliquant une conception erronée sera erronée :

« (...) reasoning errors occur because of inhibition failure rather than because human being are irrational. » (Borst, Moutier & Houdé, 2014, p.44).

Ainsi, pour Olivier Houdé, se développer c'est non seulement construire et activer des stratégies cognitives, comme le pensait Piaget, mais c'est aussi apprendre à inhiber des stratégies qui entrent en compétition dans le cerveau.

Lors du processus de contrôle inhibiteur lié au raisonnement conditionnel, Houdé, Zago, Mellet, Moutier, Pineau, Mazoyer et Tzourio-Mazoyer (2000) expliquent :

« We demonstrate how a set of left-prefrontal regions recruited by the executive component of object, spatial, and verbal working memory, and a right-prefrontal region ensuring the emotional-motivational aspects of decision making, all work together in a dynamic way to inhibit a perceptual bias and activate a deductive reasoning process. » (Houdé et al., 2000, p. 725).

Avec l'utilisation de l'imagerie cérébrale, Houdé et Tzourio-Mazoyer (2003) montrent qu'un apprentissage à l'inhibition permet une reconfiguration de la partie postérieure du cerveau avant apprentissage à l'inhibition à sa partie antérieure (au cortex préfrontal) après l'apprentissage à l'inhibition (figure 16).

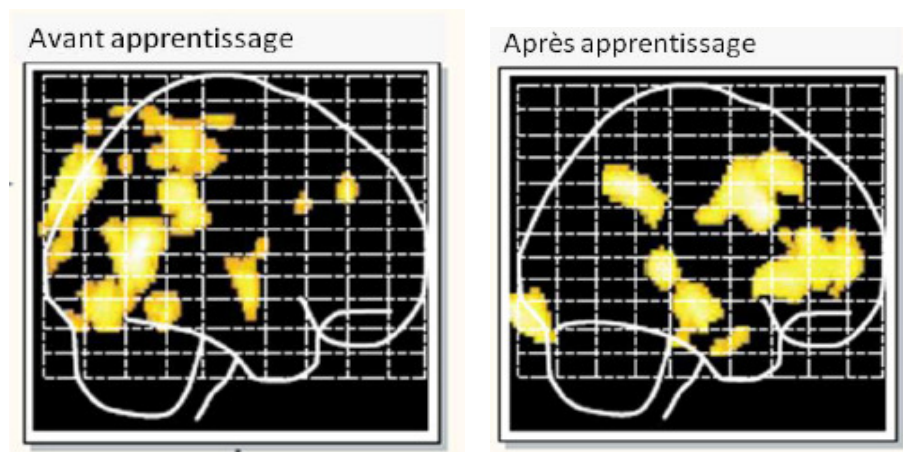


Figure 16. Images cérébrales avant et après apprentissage exécutif à l'inhibition (adapté de Houdé & Tzourio-Mazoyer, 2003, p.2).

3.5. Le modèle de prévalence conceptuelle selon Potvin

Patrice Potvin, didacticien des sciences à Montréal, s'intéresse aux situations d'apprentissage réelles en classe et tente un ajustement de la théorie

classique du changement conceptuel, notamment le modèle de Posner *et al.* par l'apport des études en neurosciences et psychologie cognitives.

Il propose le modèle de prévalence conceptuelle (Potvin, 2011 et 2013 ; Potvin, Sauriol & Riopel, 2015) : plusieurs conceptions coexisteraient dans la tête de l'élève et l'apparent changement conceptuel consisterait plutôt en une correcte inhibition de la mauvaise conception et une activation de la conception experte de façon à la rendre « prévalente » dans le contexte donné.

En pratique, Patrice Potvin propose trois conditions pour l'apprentissage d'un nouveau concept en classe :

1. L'apprentissage ne se réalise qu'en situation de compétition entre différentes conceptions. Ainsi, il ne faut pas produire de conflit cognitif chez l'apprenant tant qu'il n'accorde pas de crédits à une autre stratégie possible :

« Cognitive conflict might benefit more from occurring at a moment when the availability of a fully credible competitor has already been achieved. » (Potvin, 2013, p.28).

Dans ce sens, il ne faudrait pas commencer l'apprentissage d'un nouveau concept par un conflit cognitif puisque l'élève n'est pas « disponible » au niveau cognitif. Il rejoint ainsi la condition d'« intelligibilité » de Posner *et al.*

2. Lorsque l'apprenant est conscient des insuffisances de certaines conceptions dans certains contextes, il doit installer des signaux d'alerte inhibitifs (« *inhibitive stop signs* ») pour bloquer leur utilisation. Cette fois, Potvin rejoint la condition d'« insatisfaction » de Posner *et al.*

3. L'apprenant doit automatiser le procédé d'inhibition de la (des) conception(s) non pertinente(s) dans le contexte de la question par un entraînement métacognitif à l'inhibition :

« We believe that durable prevalence requires automaticity (...). » (Potvin, 2013, p.32)

Potvin rejoint ici le critère de « fécondité » proposé par Posner *et al.*

Dans le modèle de prévalence conceptuelle, le rôle du conflit cognitif est donc envisagé différemment :

« (...) le conflit cognitif aurait d'abord et avant tout pour but de rendre explicite la conception initiale de manière à permettre qu'on développe éventuellement une bonne capacité à la reconnaître distinctement lorsqu'elle se manifeste, ainsi que celle de pouvoir choisir de refuser, consciemment, puis éventuellement de manière automatisée, de la mobiliser. » (Potvin, 2011, p. 218).

3.6. Synthèse des recherches en neurosciences cognitives et leur opérationnalisation en classe

Les recherches en neurosciences cognitives ont permis de proposer un nouveau modèle : il ne s'agirait pas de changer les conceptions autrement dit « d'effacer » ou de restructurer de façon approfondie les réseaux neuronaux en place, mais plutôt d'apprendre à « inhiber » ceux menant à la formulation de réponses inappropriées et « activer » ceux conduisant à la conception experte (Babai, Younis & Stavy, 2014 ; Brault Foisy, Potvin, Riopel & Masson, 2015 ; Houdé, 2012 et 2016, mai ; Masson, 2012 et 2016, mai ; Potvin, Riopel & Masson, 2007).

La figure 17 permet de synthétiser la vision des processus mentaux à l'origine des réponses des élèves à travers le filtre des neurosciences.

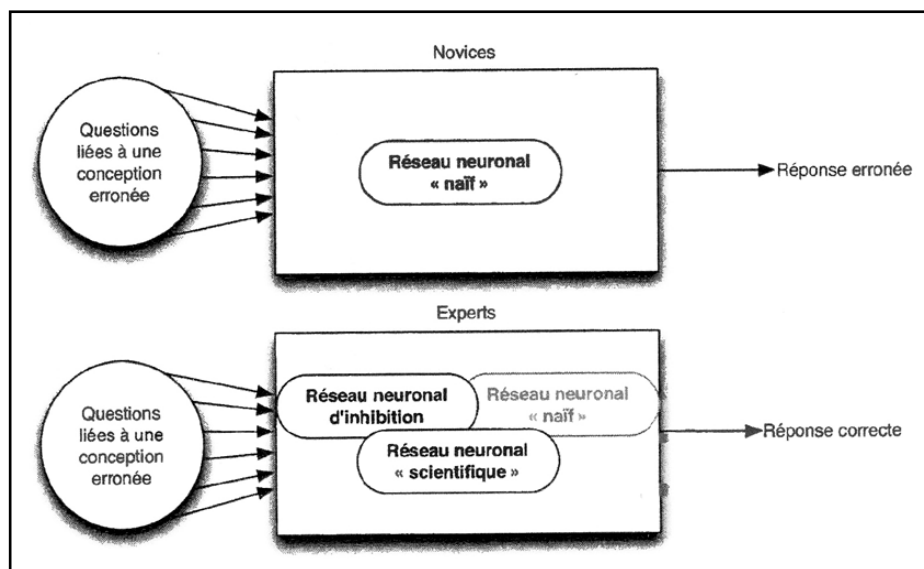


Figure 17. Comparaison des réseaux neuronaux des experts et des novices (Masson, 2012, p.100).

Lubin, Lanoë, Pineau et Rossi (2012) ont tenté de mettre en place une opérationnalisation des résultats apportés par les recherches en neurosciences cognitives en considérant l'inhibition comme l'élément central du développement cognitif :

« L'inhibition est une forme de contrôle cognitif et comportemental qui permet aux sujets de résister aux habitudes, aux automatismes, aux tentations, aux distractions ou aux interférences, et de s'adapter aux situations complexes par la flexibilité. » (Lubin, Lanoë, Pineau & Rossi, 2012, p.57).

Le sujet doit apprendre à bloquer certaines réponses intuitives erronées dans le contexte de la question pour progresser dans l'apprentissage du concept envisagé. L'élève doit s'entraîner à corriger ses erreurs à l'aide d'alertes.

En 2010, une étude de Cassotti et Moutier s'intéresse aux biais induits par des heuristiques de jugement lors de prédictions faites par des adultes de 18-22 ans. Les chercheurs comparent deux groupes dont l'un est soumis à une alerte exécutive émotionnelle du type « *Attention au piège* » dans le cadre de questions liées à des prédictions. Une meilleure capacité d'apprentissage basée sur les émotions a été observée chez les participants dont le modèle de réponse était biaisé. Ces résultats plaident en faveur de la capacité du cerveau humain à surmonter le biais de raisonnement lorsqu'il est formé dans des conditions de programmation exécutive et en fonction de la sensibilité à l'avertissement émotionnel.

Plusieurs expérimentations en classes de primaire rapportent ainsi l'importance du contrôle inhibiteur dans l'acquisition de connaissances en mathématiques et en orthographe ainsi que dans l'exécution de consignes.

L'équipe de Rossi, Lubin, Lanoë et Pineau (2012) propose une étude qui vise à favoriser l'écoute du jeune enfant en recentrant son attention sur les éléments pertinents d'une consigne par l'inhibition du passage trop rapide à l'action. La capacité d'enfants de quatre ans à résister à la prégnance d'un comportement moteur inapproprié a été évaluée au travers d'une tâche ludique dont l'objectif est de développer les capacités d'observation. Dans ce jeu collectif, l'enfant doit faire preuve d'attention sélective afin de retrouver le plus rapidement possible un item cible parmi un grand nombre de distracteurs. Quarante-et-un bonbons multicolores, tous différents, en bois peint (de une à trois couleurs) sont répartis sur un tapis de jeu. Les enfants ont pour consigne de retrouver, en une minute maximum, le bonbon unique comportant la ou les couleurs présentées par l'enseignant sur une carte affichant d'une à trois pastilles colorées. Un seul bonbon répond à la consigne à chaque essai.

Afin de développer cette résistance à un comportement moteur non approprié, les enfants ont été soumis au préalable à une tâche d'apprentissage consistant à répondre ou non à des ordres donnés en jouant au jeu « Jacques a dit ». La consigne est d'effectuer le mouvement demandé uniquement si l'ordre est précédé de « Jacques a dit ». Pour un groupe, cette tâche est accompagnée d'un dispositif composé d'alertes exécutives verbales « *Attention au piège* » et d'un « attrape-piège » matérialisé par un cache troué en son centre où l'enfant est amené à placer un carton vert porteur de la réponse correcte alors qu'il doit cacher le carton rouge porteur du message incorrect (dispositif dit « apprentissage exécutif »). Plusieurs essais sont réalisés. Pour le groupe témoin, la pédagogie employée est classique et centrée uniquement sur la bonne stratégie.

Leurs résultats montrent que l'apprentissage plus classique non centré sur le contrôle inhibiteur permet une amélioration des performances des enfants à intégrer et appliquer des éléments d'une consigne mais qui reste significativement moins importante que celle observée après un apprentissage exécutif.

Dans une autre étude, Lubin, Lanoë, Pineau et Rossi (2012) proposent les résultats d'une recherche qui vise à améliorer l'apprentissage de la dizaine

chez les enfants de 6-7 ans ainsi que l'accord en nombre des noms et des verbes en orthographe grammaticale chez des élèves de 10-11 ans. Le même dispositif d'apprentissage exécutif a été testé.

Lors de la découverte des nombres à deux chiffres, l'élève généralise les connaissances qu'il a acquise des nombres à un chiffre ce qui peut le mener à commettre des erreurs. Par exemple, lorsqu'on lui demande de comparer 18 unités à 2 dizaines, il dira que 18 est plus grand que 2 ; en effet, l'enfant ne considère pas le changement d'unité.

Le dispositif mis en place par les chercheurs est basé sur l'alerte : « *Si je compte dans des unités différentes, je transforme puis je compare* » et « *Si les unités sont les mêmes, je compare directement* ». Le matériel du cache « attrape-piège » et des cartons verts et rouges complète l'expérimentation. Les élèves du groupe inhibition ont de meilleures performances que ceux ayant suivi un apprentissage classique où l'enseignant donne simplement la consigne « *Transformer avant toute comparaison dans la même unité* ».

De même pour l'apprentissage de l'accord en nombre des noms et verbes. De nombreux apprenants commettent des erreurs du type « *je les manges* ». Le groupe entraîné à la fonction exécutive du contrôle inhibiteur est plus performant que le groupe contrôle.

La conclusion de leur étude est de favoriser en classe « *la démarche didactique centrée sur un apprentissage à l'inhibition : identifier le piège et mettre en œuvre une réflexion métacognitive avec ses élèves* » (Lubin, Lanoë, Pineau & Rossi, 2012, p.78).

Une étude de Babai, Zilber, Stavy et Tirosh (2010) évalue chez des élèves plus grands, l'impact d'une activité d'entraînement à l'inhibition dans le contexte mathématique de la comparaison entre le périmètre et l'aire de différentes figures géométriques. L'objectif de l'intervention est de mettre en garde les apprenants sur le fait que la règle intuitive de causalité proportionnelle « *More A then more B* » n'est pas celle à utiliser dans ce contexte.

L'activité se réalise en deux étapes. La première consiste en une discussion entre des élèves qui répondent correctement à des questions demandant de comparer l'aire et le périmètre d'une figure géométrique et d'autres dont la réponse est incorrecte. Les élèves qui répondent correctement prouvent aux autres que périmètre et surface d'une figure ne respectent pas la règle « *More A then more B* ». Suite à ce débat, les élèves doivent résoudre dix exercices appelés « exercices de consolidation » qui constituent la deuxième étape de l'intervention.

Les chercheurs comparent les scores et les temps de réaction des élèves d'un groupe témoin et ceux d'un groupe ayant réalisé les deux étapes de l'activité. Le groupe ayant suivi l'intervention obtient des scores meilleurs et un temps de réaction supérieur. Babai *et al.* en déduisent que pour répondre correctement, les sujets ont dû prendre conscience du piège et contrôler leurs réponses intuitives ce qui demande un délai plus grand :

« (...) *such awareness probably activates time-consuming and effortful control mechanisms that inhibit the interfering irrelevant variable.* » (Babai *et al.*, 2010, p.199).

Dans ce processus, l'enseignant n'est donc pas uniquement là pour transmettre de nouvelles connaissances mais il doit sensibiliser les élèves aux techniques de métacognition.

4. De la conception de l'apprenant au concept scientifique : changement ou inhibition ?

Steve Masson (2012) tente de faire un pont entre la théorie classique du changement conceptuel et les résultats amenés par les études en neurosciences cognitives.

Selon lui, deux types de modèles de changement conceptuel s'accordent avec l'idée que les conceptions naïves ne sont pas effacées ni remplacées : les modèles de « *coexistence* » et d'« *intégration* ».

Le premier modèle suppose la « *coexistence* » des conceptions naïves et de celles apprises et expertes. Les connaissances acquises se développeraient indépendamment des connaissances innées et elles cohabiteraient. Au niveau neuronal, l'inhibition aurait le rôle de sélection de la bonne connaissance dans le bon contexte.

Le second modèle dit d'« *intégration* », se rapproche de la vision de diSessa (ou de Stavy) : suite à un changement conceptuel, le réseau des p-prim a changé (ou des « *intuitive rules* ») et les éléments initiaux sont toujours présents mais de nouveaux éléments et de nouveaux liens ont été ajoutés. Le ou les composants du réseau non performant(s) dans le contexte de la question sont inhibés.

Si nous y ajoutons le modèle de Posner qui propose le remplacement d'une conception par une autre, nous pouvons schématiser dans la figure 18, les modèles du changement conceptuel vus sous l'angle neuroscientifique.

Les cercles et triangles reliés représentent les réseaux neuronaux liés aux conceptions des apprenants.

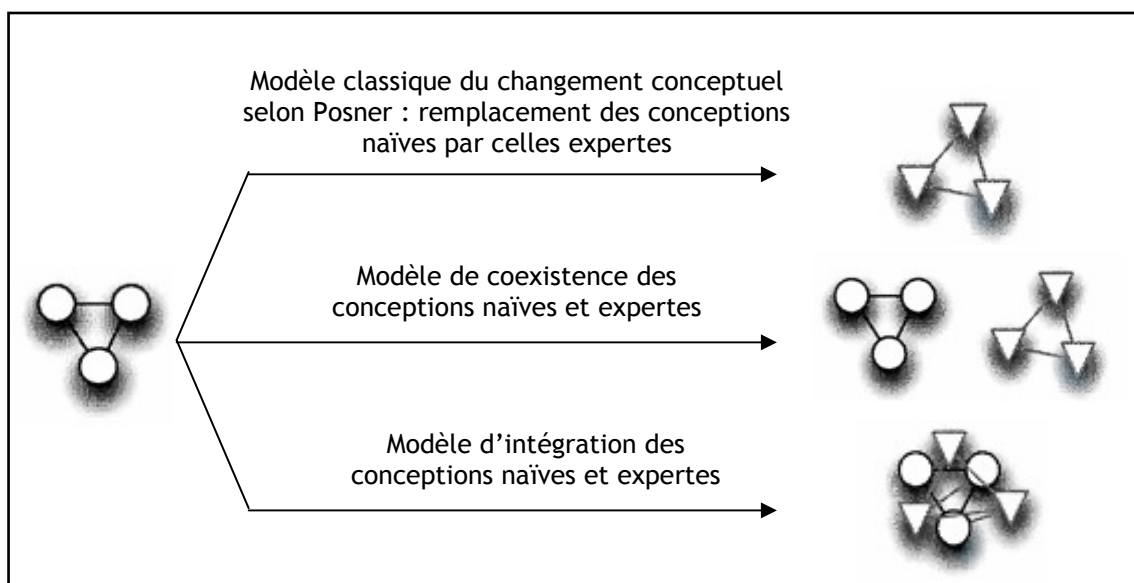


Figure 18. Les modèles du changement conceptuel vus sous l'angle neuroscientifique (d'après Masson, 2012, p.104).

Déjà en 1989, Rosalind Driver proposait une ouverture pragmatique quant aux différents modèles de changement (et maintenant d'« inhibition ») conceptuel :

« In the complex business of classroom learning in science, it is likely that all these perspectives, 'theory-change', 'knowledge-in-pieces' and 'situated cognition' have a contribution to make. The question for science educators is not so much which model to adopt but to identify, from the evidence about children's reasoning and an analysis of the structure of science to be taught, when each may be appropriate. » (Driver, 1989, p. 486).

**- Deuxième partie -
Questions de recherche et
méthodologie générale**

1. Postulats de travail

Notre recherche a pour objectif d'élaborer une stratégie didactique permettant d'améliorer l'apprentissage du concept de concentration chimique.

Répondre correctement à une question sur la concentration chimique demande au répondant de sélectionner et d'orchestrer les ressources cognitives appropriées (Perrenoud, 2011). Encore faut-il que les ressources cognitives soient effectivement disponibles. Le terme « disponible » signifie pour nous que les notions que nous appellerons « pivots » soient présentes et clarifiées dans le modèle mental de l'élève.

1.1. Les notions « pivots » pour l'acquisition du concept de concentration chimique

Nous avons mis en évidence dans la première partie, différentes notions sans lesquelles le concept scientifique de concentration chimique ne peut être correctement défini et donc assimilé. Ce sont ces notions que nous appelons « pivots²¹ ». Le mot pivot a été spécifiquement choisi dans le sens où ces notions sont indispensables à l'acquisition d'un concept mais également par le fait qu'elles sont plus générales au concept lui-même puisqu'elles interviennent dans la compréhension d'autres concepts, sorte de « clef de voûte scientifique ».

Une première notion pivot pour l'acquisition du concept de concentration chimique est la « proportion » : la concentration est une proportion de soluté dans la solution. Cette notion qui donne à la concentration chimique sa propriété d'intensivité intervient dans la compréhension et l'acquisition de nombreux autres concepts chimiques et non chimiques : la masse volumique en chimie, les pourcentages en mathématiques, les concepts de vitesse et d'accélération en physique, etc.

Une deuxième notion pivot pour le concept de concentration est liée à la solubilité et à la dissolution d'un composé dans un solvant. Pour comprendre la grandeur concentration chimique, il est essentiel d'avoir assimilé que les entités de soluté se dispersent au sein des entités de solvant afin d'obtenir un mélange homogène, appelé solution. Les volumes de soluté et de solvant ne s'additionnent pas mais le volume de solution est supérieur au volume de solvant du fait que le soluté occupe une certaine place au sein de la solution. Les interactions soluté-solvant qui permettent au soluté de se dissoudre sont donc une notion pivot pour la compréhension du niveau microscopique d'une solution, de son volume macroscopique et du calcul d'une concentration massique ou molaire.

Améliorer l'apprentissage du concept de concentration chimique demande donc d'assimiler ces deux notions pivots.

²¹ « Pivot » en tant que « Base, soutien essentiel, sur quoi tout repose ; axe, clef de voûte autour de quoi tout s'organise » (Larousse, 2017).

Comme nous l'avons explicité précédemment, le rôle du didacticien est de montrer à l'apprenant le chemin pour arriver à la conception experte. Pour ce faire, il doit connaître à quel « endroit » cognitif de départ se trouve l'élève. Pour déterminer ce « point de départ », une stratégie de travail pour le didacticien est d'étudier les erreurs commises par les apprenants.

1.2. L'étude d'erreurs des apprenants et les dysfonctionnements cognitifs à l'origine de ces erreurs

L'étude d'erreurs permet de vérifier la disponibilité des ressources cognitives ; en effet, les erreurs ont une valeur heuristique dans le sens où elles sont les témoins des écarts entre la conception de l'élève et la conception enseignée. Comme le propose Jean-Pierre Astolfi en parlant des erreurs :

« (...) symptômes intéressants d'obstacles auxquels la pensée des élèves est affrontée. (...) puisqu'elles sont au cœur même du processus d'apprentissage à réussir, et puisqu'elles indiquent les progrès conceptuels à obtenir. »
(Astolfi, 1997, p.15).
Statut "d'indicateur et d'analyseur des processus intellectuels en jeu, (...)." (Astolfi, 1997, p.17).

Dans notre recherche, l'erreur est utile et analysée positivement. Elle permet de mesurer la différence entre la conception novice de l'apprenant et la conception experte. Les outils didactiques que nous souhaitons construire doivent avoir pour rôle de montrer au novice le chemin à suivre pour arriver à la conception experte.

Yves Reuter (1998) préfère le terme de « *dysfonctionnement* » qui pour lui est moins réducteur que le terme erreur. L'erreur est davantage liée à la production de l'élève tandis que le dysfonctionnement traite le processus cognitif de l'apprenant ; il associe un lien plus étroit avec le terme de « *fonctionnement* » (Reuter, Cohen-Azria, Daunay, Delcambre & Lahanier-Reuter, 2013).

Par la suite, nous utiliserons le terme « *erreur* » lorsque nous nous référerons aux productions des élèves et « *dysfonctionnement* » lorsque nous proposerons une hypothèse quant à l'origine de l'erreur.

2. Explicitation des questions de recherche

La première étape consiste à déterminer « où » l'apprenant se trouve cognitivement. Il s'agit donc de vérifier la disponibilité de ses ressources cognitives dont les notions pivots, indispensables à l'acquisition du concept de concentration chimique en réalisant un diagnostic des erreurs récurrentes que l'apprenant commet lorsqu'il répond à des questions sur la concentration chimique. Cette étape est similaire à celle par laquelle le médecin commence lorsqu'il réalise le diagnostic initial en analysant les symptômes révélés par son patient.

Notre première question de recherche (QR) est donc :

QR1 : « *Quelles erreurs récurrentes sont commises par les apprenants lorsqu'ils répondent à des questions sur la concentration chimique impliquant les notions pivots de ce concept ?* »

Si nous nous plaçons dans le schéma mental de l'apprenant qui commet une erreur lorsqu'il répond à une question sur la concentration chimique, nous devons comprendre les dysfonctionnements cognitifs qui le conduisent à répondre erronément. Si l'origine de la conception erronée est connue alors il est possible d'envisager les stratégies à mettre en place pour remédier aux difficultés de l'apprenant.

Une deuxième question découle donc de la première :

QR2 : « *Quels dysfonctionnements cognitifs sont à l'origine des erreurs commises par l'apprenant qui répond à des questions sur la concentration chimique ?* »

Notre recherche se veut pragmatique et a l'ambition de construire des outils qui pourront être utilisés en situation de classe réelle. Le premier outil didactique que nous souhaitons construire est un test d'autodiagnostic qui permettra à chaque apprenant de déterminer rapidement et seul, ses difficultés d'apprentissage du concept de concentration chimique.

Nous devons donc répondre à la question suivante :

QR3 : « *Quel outil didactique mettre en place pour identifier rapidement les erreurs commises par un élève lorsqu'il est amené à utiliser le concept de concentration chimique ?* »

Si les erreurs et les dysfonctionnements cognitifs qui expliquent les conceptions erronées sont mis en évidence, il est alors possible d'envisager la construction d'outils qui permettront à l'apprenant de remettre en question ses propres conceptions. Pour réaliser un changement conceptuel ou un changement, des auteurs suggèrent un conflit cognitif.

Une nouvelle question se pose donc :

QR4 : « *Sur base des dysfonctionnements cognitifs à l'origine des erreurs de l'apprenant, quelles activités concevoir de façon à créer un conflit cognitif chez l'apprenant ?* »

Comme nous l'avons explicité dans la première partie, les études en neurosciences cognitives proposent une autre approche du changement conceptuel : répondre correctement à une question demande d'inhiber les conceptions non pertinentes dans le contexte de la question. Nous souhaiterions construire un outil qui utiliserait l'approche des « attrape-piège » proposés par différents auteurs destinés à des élèves de maternelle ou de primaire pour améliorer l'acquisition de concepts en mathématique et orthographe (Lubin, Lanoë, Pineau & Rossi, 2012 ; Rossi, Lubin, Lanoë & Pineau, 2012). Cet outil devra être adapté à nos élèves qui sont plus âgés.

Dès lors, une cinquième question de recherche se pose :

QR5 : « *Quelles activités concevoir de façon à permettre l'inhibition des conceptions non pertinentes dans le contexte de la concentration chimique chez des élèves du secondaire supérieur ?* »

Créer les activités dans un but d'amélioration de l'acquisition d'un concept est une chose mais être sûr de leur impact positif dans l'apprentissage de ce concept en est une autre.

Notre questionnement se poursuit donc avec cette question :

QR6 : « *Les outils didactiques permettent-ils de réduire le nombre d'erreurs commises par les élèves interrogés à des questions portant sur la concentration chimique ?* »

Les questions de recherche posées, il s'agit d'adapter la méthodologie pour permettre d'y répondre.

3. Méthodologie générale

Nous présentons ici la méthodologie générale de la recherche. Les détails sont développés dans les parties suivantes.

Nous organisons notre recherche en deux grandes étapes :

- Etape 1 : diagnostic des difficultés d'apprentissage du concept de concentration chimique ;
- Etape 2 : création des outils didactiques de remédiation et mesure de leurs impacts.

Ces deux étapes se divisent en phases qui correspondent à la chronologie de la thèse : il s'agit des phases d'avancement dans la recherche des réponses aux questions que nous nous sommes posées.

L'organigramme de la figure 19 ci-après, présente une synthèse de notre méthodologie. Les explications de l'organigramme suivent la figure.

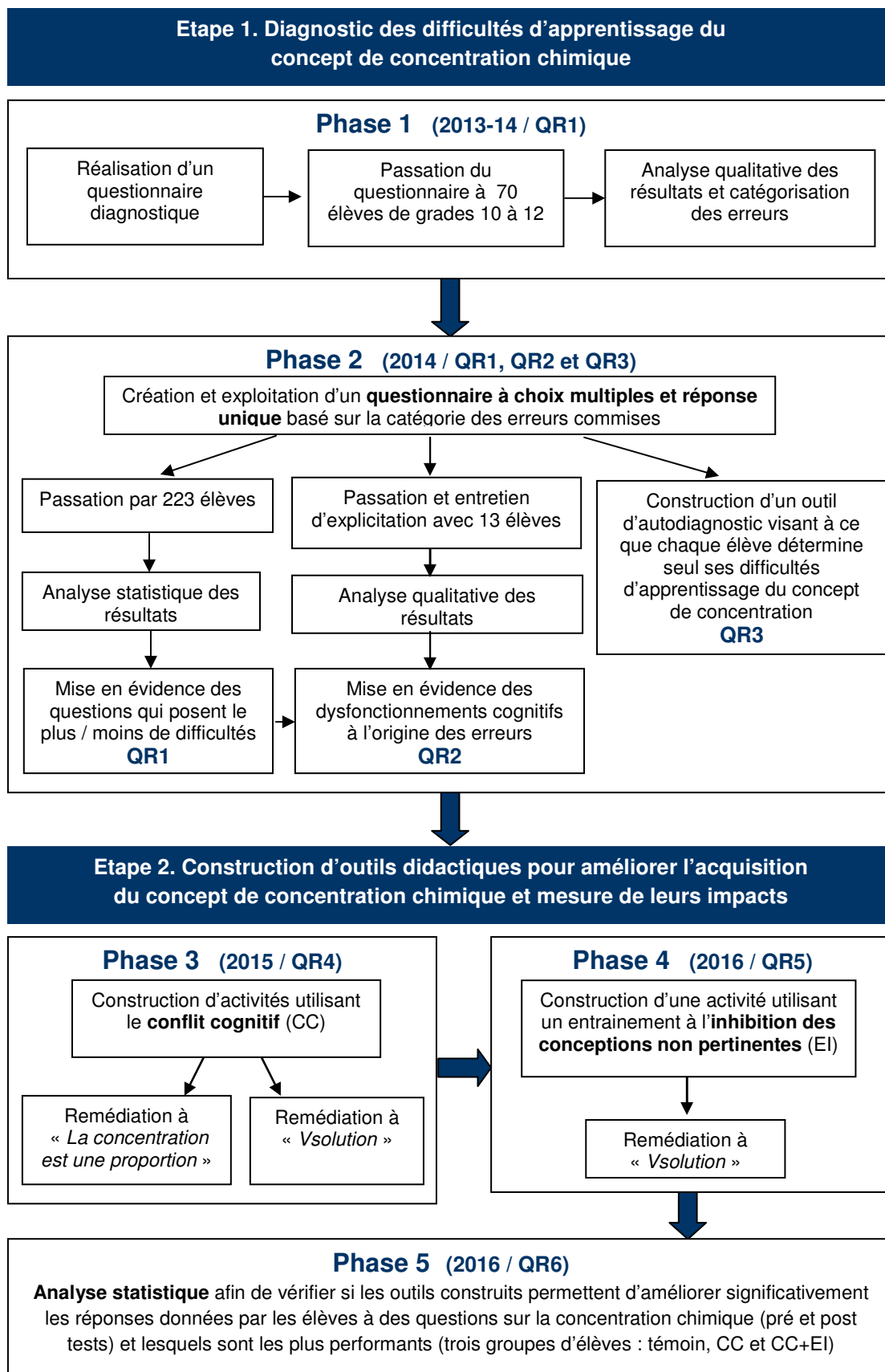


Figure 19. Synthèse de la méthodologie générale.

Etape 1. Diagnostic des difficultés d'apprentissage du concept de concentration chimique

Cette étape permet de répondre aux trois premières questions de recherche. Cette étape se découpe en deux phases.

Phase 1 : Création et passation d'un questionnaire diagnostique

Pour mettre en évidence les erreurs récurrentes commises par les apprenants lorsqu'ils répondent à des questions sur la concentration chimique et donc répondre à la première question de recherche (QR1), nous avons choisi d'utiliser un questionnaire diagnostique où de nombreuses questions sont ouvertes et de les poser à des apprenants ayant déjà fait l'apprentissage du concept de concentration chimique. Les questions doivent être construites en se basant sur les notions pivots que nous avons définies dans la partie « postulats de travail ».

Le principal avantage des questions ouvertes est qu'elles offrent la possibilité à l'apprenant de répondre librement à la question sans réelle contrainte. La spontanéité des réponses permet de tirer de nombreuses informations notamment sur la façon dont l'interrogé aborde et pense le concept envisagé dans la question.

L'analyse qualitative des réponses aux questions diagnostiques nous permet de catégoriser les erreurs récurrentes commises par les apprenants. Cette catégorisation est le point de départ pour construire un questionnaire à choix multiples et réponse unique.

Nous sommes conscients que notre choix de catégoriser les erreurs est une méthodologie restrictive mais notre recherche se voulant pragmatique, elle est efficace pour permettre à l'enseignant en situation de classe réelle d'orienter chaque apprenant en difficulté vers une activité de remédiation qui lui sera appropriée.

Phase 2 : Création et exploitation d'un questionnaire à choix multiples et réponse unique (QCM)

L'utilisation d'un questionnaire à choix multiples et réponse unique a, selon nous, plusieurs avantages puisqu'il est une méthodologie qui permet de répondre à plusieurs de nos questions :

- les réponses à la première question de recherche en partie apportées par le questionnaire diagnostique de la première phase peuvent être précisées par l'analyse quantitative des réponses données lors de la passation du QCM par un nombre significatif d'élèves (QR1) ;
- le QCM permet d'élaborer les questions pour les entretiens d'explicitation (Vermesch, 2011) semi-directif afin de mettre en évidence les dysfonctionnements cognitifs à l'origine des erreurs (QR2) ;
- l'apprenant, s'il dispose d'une grille de correction, peut s'auto-évaluer et être orienté vers une remédiation adaptée (QR3).

Etape 2. Construction d'outils didactiques pour améliorer l'acquisition du concept de concentration chimique

Cette étape permet de répondre aux questions de recherche 4 à 6.

Cette étape se découpe en trois phases : phases 3, 4 et 5.

Le diagnostic réalisé, il s'agit, sur base des réponses obtenues aux deux questionnaires (questions diagnostiques et questions à choix multiples et réponse unique), de construire des activités de remédiation.

Toujours dans un souci de réalisation en classe réelle, les activités de remédiation sont conditionnées par différents paramètres :

- la durée de réalisation de l'activité en classe doit être courte ;
- le matériel nécessaire pour réaliser l'activité doit être facile à se procurer et peu onéreux ;
- l'activité doit susciter l'intérêt de l'élève.

Phase 3 : Construction d'activités utilisant le conflit cognitif.

L'activité doit permettre à l'apprenant de remettre en question la plausibilité de sa conception de façon à ce qu'il la change (ou qu'il change sa prévalence) pour une conception plus en adéquation avec la conception experte (QR4).

Un conflit cognitif a lieu chez l'apprenant si une contradiction ou une incompatibilité entre la réalité physique d'une manipulation, par exemple, et ce que ses conceptions lui permettaient d'imaginer ou de prédire avant de réaliser l'activité. Selon les auteurs du modèle classique du changement conceptuel, cette tension qui naît alors dans « la tête » de l'apprenant peut jouer un rôle moteur dans l'élaboration de nouvelles structures cognitives (Astolfi *et al.*, 2008, p.35).

Phase 4 : Construction d'une activité utilisant un entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes

Il s'agit de créer une activité métacognitive qui permette à l'apprenant de se rendre compte que plusieurs conceptions peuvent coexister dans ses ressources cognitives et qu'il doit inhiber celles qui ne sont pas pertinentes dans le contexte du calcul d'une concentration chimique (QR5).

Cette activité doit utiliser un « attrape-piège » ou « un signal d'alarme » qui doit mettre en alerte l'apprenant dans le contexte du calcul d'une concentration chimique de façon à ce qu'il active la conception pertinente et inhibe celles qui ne le sont pas dans ce contexte. Elle doit être adaptée à des élèves du secondaire supérieur.

Phase 5 : Mesure de l'impact des outils didactiques

L'objectif est de vérifier si les outils didactiques construits permettent de diminuer de manière significative le nombre d'erreurs commises par les apprenants lorsqu'ils répondent à des questions sur la concentration chimique. Pour ce faire, la méthodologie des pré- et post-tests a été choisie.

Une analyse statistique permet de mesurer si les variations des scores entre les pré- et post-tests sont significatives et de vérifier ainsi si les outils conçus ont un effet positif et significatif sur l'apprentissage du concept de concentration chimique. Une réponse à la sixième question de recherche (QR6) pourra alors être donnée.

**- Troisième partie -
Les conceptions des élèves sur le
concept de concentration chimique**

Cette troisième partie a pour objectif d'établir un diagnostic des erreurs récurrentes commises par les élèves lorsqu'ils répondent à des questions sur la concentration chimique ainsi que tenter de comprendre les dysfonctionnements cognitifs à l'origine de ces erreurs.

Suite à cette étape diagnostique, nous pourrions proposer le premier outil didactique de notre stratégie visant l'amélioration de l'apprentissage du concept de concentration à savoir un test d'auto-évaluation.

Cette partie répondra donc aux trois premières questions de recherche.

CHAPITRE 1. DIFFICULTÉS DES ELEVES CONNUES PAR DES RECHERCHES ANTÉRIEURES

1. Difficultés d'apprentissage connues en chimie

Comme nous l'avons abordé dans la première partie concernant les recherches en didactique de la chimie, une des difficultés d'apprentissage en chimie provient du fait que pour acquérir les modèles proposés par les chimistes experts, l'apprenant doit pouvoir penser dans plusieurs niveaux de savoirs et en être conscient : il doit passer du niveau macroscopique au niveau microscopique via souvent l'utilisation du niveau symbolique (Johnstone, 1993).

Plusieurs des recherches de Vicente Talanquer qu'il résume en partie dans un chapitre de livre²² en 2013, consistent à inventorier les origines des difficultés d'apprentissage en chimie. Il se base sur des études antérieures et sur la réalisation d'expérimentations visant à comparer les réponses d'élèves débutants en chimie et d'autres qui le sont moins.

Selon lui, de nombreuses préconceptions orientent le raisonnement des élèves lorsqu'ils pensent la matière.

Face à un objet, les informations perceptuelles sont utilisées par l'élève pour se le représenter et le catégoriser, davantage que ses connaissances scientifiques. Une conséquence directe, selon Talanquer, est que de nombreux élèves attribuent des propriétés similaires aux entités microscopiques qui composent la matière et à la matière qui apparaît au niveau macroscopique (Talanquer, 2013, p.335). De cette façon de penser la matière, ce que Talanquer nomme les « *postulats implicites* » (« *implicit assumptions* »), il en résulte entre autres la « *pensée additive* » (« *additive thinking* ») : pour beaucoup d'apprenants, les propriétés macroscopiques d'un échantillon de matière sont le résultat d'une moyenne pondérée des propriétés des entités distinctes présentes dans le système. Une de ses études montre, par exemple, qu'une grande majorité de non experts en chimie pensent qu'un composé qui apparaît jaune et que l'on fait réagir avec un composé apparaissant bleu donnera un produit que nous verrions vert.

²² "Concepts of matter in science education, Innovations in science education and technology", Vol. 19 (pp. 331-346), in G. Tsaparlis & H. Sevian (Eds).

Selon Talanquer, s'ajoutent à ces « *postulats implicites* », des stratégies de réponses spontanées qui permettent à l'élève de répondre rapidement aux questions posées à propos de la matière en chimie. Au lieu d'utiliser un raisonnement analytique, les apprenants utilisent des heuristiques pour prendre leur décision. Leur avantage est la rapidité de réponse mais elles sont parfois sources d'erreurs.

Un exemple d'heuristique mise en évidence est ce que Talanquer nomme la « *reconnaissance* » (« *recognition* ») : plus une substance est reconnue comme commune, plus les propriétés qui lui sont attribuées sont accentuées. Ainsi pour de nombreux étudiants, le chlorure de sodium NaCl est le soluté le plus soluble dans l'eau par le simple fait qu'il est reconnu comme un composé commun.

Un autre exemple d'heuristique est l'utilisation de la règle intuitive de Stavy et Tirosh (2000) : « *More A then more B* ». Talanquer cite l'exemple de la comparaison du point de fusion entre les oxydes de magnésium, MgO et de baryum, BaO. Pour de nombreux élèves, « *Puisque le baryum est plus lourd, BaO aura un point de fusion plus élevé* ».

Comme nous l'avons introduit dans ce paragraphe, la chimie tente d'expliquer le niveau macroscopique via la description des interactions au niveau de l'infiniment petit. Pour mieux visualiser ce niveau microscopique, le chimiste utilise des représentations symboliques. Kevin de Berg (2012) étudie les liens existant entre les observations expérimentales de phénomènes chimiques et les modèles atomiques et moléculaires abstraits des chimistes via l'utilisation de représentations submicroscopiques (SMR pour « *submicroscopic representations* »). Selon lui, les locutions verbales associées aux modèles chimiques ne permettent pas à tous les apprenants en chimie de déclencher une image moléculaire visuelle d'où l'utilisation des SMR. Mais ces visualisations du modèle particulière de la matière peuvent elles-mêmes poser des difficultés aux apprenants. Pour de Berg, le rôle de l'enseignement de la chimie est donc d'améliorer la formation des déclencheurs des indices verbaux et visuels qui aident à formuler des liens entre le verbal et le visuel.

Tümay (2016) ajoute qu'une autre difficulté dans l'apprentissage de la chimie est liée à la compréhension des interactions entre les entités qui constituent la matière. Celles-ci dépendent de nombreux paramètres et les élèves ont des difficultés à considérer plusieurs données microscopiques ensemble pour comprendre les modèles proposés par les experts.

La compréhension du concept de concentration est effectivement liée à cette notion pivot que nous avons explicitée dans la partie 2 : les interactions soluté-solvant.

2. Les difficultés connues pour l'apprentissage de la concentration chimique

En ce qui concerne spécifiquement le concept de concentration chimique, la littérature scientifique est pauvre en recherches sur les difficultés de son apprentissage.

Estelle Grandillet et Jean-François Le Maréchal (2003) font la même constatation. Ils notent que les études sur les concentrations des solutions ioniques sont encore plus rares. C'est le sujet qu'ils développent lors d'une recherche sur les conceptions d'apprenants de grade 11 (première scientifique en France dite « Première S » équivalent de la cinquième du secondaire supérieur en Belgique francophone en option sciences). Ces auteurs posent la question suivante à quarante-sept élèves :

« Si l'on introduit 0,2 mol de chlorure de fer FeCl_3 dans un litre d'eau, quelle est la concentration des ions Fe^{3+} et celle des ions Cl^- ? »
(Grandillet & Le Maréchal, 2003, p.5-6).

Ils attendent la réponse correcte : $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$ pour les ions fer et $0,6 \text{ mol.L}^{-1}$ pour les ions chlorure. Les réponses de 25% des élèves sont très différentes. Ces élèves utilisent un principe de conservation de la « quantité » en utilisant le nombre 0,2 mol de l'énoncé et en le divisant :

- par deux : « il y a 0,2 mol dans la solution donc 0,1 mol de chlorure et 0,1 mol de fer » ;
- par le nombre d'entités : « il y a 0,2.1/4 de mol de Fe et 0,2.3/4 de mol de Cl » ;
- par deux puis par le nombre d'entités : « $n(\text{Fe}) = 0,2:2$ et $n(\text{Cl}) = (0,2:2)/3$ ».

Ces élèves divisent donc la concentration selon différents paramètres et ne considèrent pas l'intensivité de cette grandeur.

Un article de Goh Ngoh Khang et Chia Lian Sai (1987) qui étudient les difficultés d'apprentissage du concept de mole, fournit les questions à choix multiples auxquelles huit cent seize élèves japonais de seize à dix-sept ans ont répondu avec les fréquences obtenues pour chaque proposition choisie. Une des questions est directement liée au concept de concentration chimique. La question 9 proposée dans l'article est en ces termes :

« Which of the following could be added to 20 cm^3 of 2.0 M hydrochloric acid without changing the pH of the solution?

1. 10 cm^3 of 2.0 M HCl

2. 20 cm^3 of 2.0 M HCl

3. 20 cm^3 of 0.2 M HCl

A. 1, 2 and 3 are correct / B. 1 and 2 only are correct / C. 2 and 3 only are correct / D. 1 only is correct / E. 3 only is correct. » (Goh Ngoh Khang & Chia Lian Sai, 1987, p.68)

Ainsi, il est demandé aux élèves de choisir quel(s) volume(s) d'une solution d'acide chlorhydrique de concentration donnée il faut ajouter à une solution

d'acide chlorhydrique de concentration connue de façon à ne pas modifier son pH²³.

A peine plus d'un tiers des répondants (35,3%) choisit la bonne réponse B qui correspond à l'ajout de volumes quelconques d'acide chlorhydrique mais de concentration égale à celle de la solution de départ.

Les auteurs en concluent que si seul le concept de mole est utilisé sans considération du volume, il y aura erreur. Mais si le répondant a assimilé la différence entre grandeur extensive (la mole ici) et grandeur intensive (la concentration dans ce cas) alors la question trouve une réponse correcte facilement :

« If one applies only the concept of 'mole' and ignores the existence of 'volume', then one would be in error. But if one is able to recognize which is the extensive factor and which is the intensive one, this problem becomes an easy one. » (Goh Ngoh Khang & Chia Lian Sai, 1987, p.84).

Un article de Leonidas Tsoumpelis et Jean Grea (1995) rédigé dans le cadre d'un essai d'application de la théorie des situations de Brousseau en sciences physiques relate le même constat à propos des concentrations massique et molaire :

« L'appropriation de ce concept entraîne des difficultés de deux ordres. En premier lieu, celles provenant du caractère intensif de cette grandeur. La non appropriation de cet aspect conduit à des confusions entre concentration et masse d'un côté, entre concentration molaire et quantité de matière de l'autre. En second lieu, celles provenant du caractère discontinu de la matière. » (Tsoumpelis & Grea, 1995, p.68).

Il confirme donc la difficulté pour les apprenants de considérer l'intensivité de la grandeur concentration. Les élèves confondent facilement masse et concentration massique ainsi que mole et concentration molaire.

Plus récemment, en 2012, Kevin de Berg propose un article qui expose les résultats de ses recherches sur les liens entre les représentations submicroscopiques (SMR) de la matière et les concepts chimiques de « solution » et « concentration ». Selon lui, la visualisation du modèle de particules de la matière, qui est si crucial pour comprendre le concept de concentration, est connu pour présenter des difficultés pour les étudiants. En effet, les apprenants tendent à attribuer aux atomes et aux molécules submicroscopiques les mêmes propriétés observées pour les entités macroscopiques et dans le cas de la concentration d'une solution qui est une variable continue, les SMR la font apparaître à l'aide de particules discrètes de granulométrie.

²³ Le pH ou potentiel Hydrogène est une mesure de la concentration en ions hydronium d'une solution. Il permet de quantifier l'acidité ou la basicité de cette solution.

Avant de donner les résultats de sa recherche, de Berg expose différentes études qui ont montré combien le problème de la compréhension du niveau microscopique d'une solution se révèle difficile à tous les niveaux de l'enseignement. Le procédé de dissolution d'un solide dans l'eau est parfois considéré par les élèves comme une « fusion » ou encore comme une « réaction chimique » avec un solvant et, dans le cas des solutions de sucre, les particules de sucre « disparaissent ».

Il cite notamment une étude de Calik réalisée en 2005²⁴ qui a proposé un test sur la chimie en solution à quatre cent quarante et un élèves turcs âgés de sept à dix ans. Il leur était demandé de comparer deux solutions : l'une dans un bécher A avec un cube de sucre dissous et une autre dans un bécher B avec deux cubes de sucre dissous. Alors que ces élèves pouvaient dire que la solution dans le bécher A était moins concentrée par rapport à celle de la solution dans le bécher B, aucun élève n'a réellement trouvé que la concentration dans le bécher B était deux fois plus grande que dans le bécher A²⁵.

De Berg cite également une étude de Devetak, Vogrinc et Glazar de 2009²⁶ : ces chercheurs ont entrepris une étude de la compréhension de la chimie en solution aqueuse sur quatre cent huit apprenants de seize ans en Slovénie. Le rendement moyen des quatre questions traitant de la concentration des solutions aqueuses était de 43% inférieure à la note moyenne pour l'ensemble du test de chimie.

La recherche de de Berg consiste à proposer des représentations submicroscopiques de solutions à cent quarante-cinq étudiants australiens en début d'études supérieures. Plusieurs questions leur sont posées comme choisir une SMR qui corresponde le mieux à leur visualisation d'une solution d'eau sucrée ou encore donner la concentration de solutions d'eau sucrée sur base d'une solution de concentration connue.

Presque un tiers des étudiants choisit une SMR où les particules sont absentes (ils choisissent la SMR correspondant à un rectangle vide). Un étudiant explique que « *quand quelque chose se dissout, vous ne pouvez pas voir les particules même avec un microscope* ». De Berg en déduit que pour ces étudiants, même la vision submicroscopique n'est pas assez puissante pour voir des particules de sucre très petites. Expliquer ce qui semble être un continuum de matière en termes de particules discrètes semble encore compliqué pour certains étudiants du niveau supérieur.

Quant aux questions sur la prévision de la concentration de trois solutions différentes, seul un élève sur deux répond correctement aux trois questions.

²⁴ Calik, M., Ayas, A. & Ebenezer, J. (2005). A review of solution chemistry studies: insights into students' conceptions. *Journal of Sciences Education and Technology*, 14(1), 29-50.

²⁵ Le volume de solution n'est pas explicité. Si le volume d'eau est identique pour les deux béchers, le volume de la solution B étant supérieur au volume de la solution A, la concentration de la solution B n'est donc pas le double de la solution A même si par approximation, il est possible de l'envisager.

²⁶ Devetak, I., Vogrinc, J. & Glazar, S.A. (2009). Assessing 16 year old students' understanding of aqueous solution at sumicroscopic level. *Research in Science Education*, 39, p.157-179

Il conclut son article en écrivant :

« The submicroscopic representation of phenomena at the atomic and molecular level makes chemistry particularly difficult for students. (...) one can never accurately represent the atomic or molecular nature of chemical reactions or even physical processes like dissolution. Chemistry educators, however, see the need to persist with introducing students to SMR of matter as this enhances an understanding of the underlying chemistry and so proves more likely to enhance conceptual over and against algorithmic problem solving. Chemistry textbook (...) now incorporate more SMR in the text and end-of-chapter exercises compared with previous editions. » (de Berg, 2012, p.14)

Toutes ces études mettent en évidence la difficulté d'acquisition du concept de concentration pour les étudiants tant pour l'intensivité de cette grandeur que pour la compréhension du phénomène de dissolution à l'échelle microscopique et de ses représentations symboliques.

La suite de cette troisième partie a pour objectif de diagnostiquer les erreurs récurrentes commises par des apprenants qui répondent à des questions sur la concentration chimique.

La première phase consiste en la réalisation et la passation d'un questionnaire diagnostique. C'est le sujet du chapitre suivant.

CHAPITRE 2. DES QUESTIONS DIAGNOSTIQUES POUR UNE CATÉGORISATION DES ERREURS RÉCURRENTES

La première phase de notre recherche a consisté en la création et la passation d'un questionnaire dont la plupart des questions demandaient une explicitation écrite.

Les deux objectifs principaux de cette première phase étaient de :

1. identifier et mettre en évidence les erreurs récurrentes commises par les élèves lorsqu'ils sont amenés à utiliser le concept de concentration chimique ;
2. produire les items d'un questionnaire à choix multiples et réponse unique.

Des réponses seront ainsi apportées à la première question de recherche QR1 : « *Quelles erreurs récurrentes sont commises par les apprenants lorsqu'ils répondent à des questions sur la concentration chimique impliquant les notions pivots de ce concept ?* ».

1. Méthodologie pour les questions diagnostiques

1.1. Paramètres suivis pour la construction des questions diagnostiques

Quatre paramètres ont dirigé la construction du questionnaire :

1. demander au répondant de développer, le plus souvent possible, sa réponse afin de pouvoir catégoriser efficacement les erreurs récurrentes commises par les apprenants ;
2. proposer des questions faisant appel aux notions pivots et les répartir dans un ordre aléatoire ;
3. ne pas excéder une période de cours soit 50 minutes pour répondre à l'ensemble des questions ;
4. limiter le nombre de questions pour donner le temps à l'élève de bien expliciter sa réponse.

Au total, onze questions ont été construites avec pour la plupart, la demande d'une explicitation.

Le questionnaire diagnostique est proposé en annexe 1. Les encadrés où les élèves devaient répondre et écrire leurs explicitations ont été supprimés pour gagner en place.

1.2. Passation du questionnaire diagnostique et participants

En mai 2013, une cohorte de 70 élèves du secondaire supérieur belge (15-18 ans, grades 10 à 12) a été soumise aux onze questions diagnostiques.

Tous les élèves étaient issus de la même école dispensant un enseignement de transition générale mais de classes et d'enseignants différents : trente-cinq élèves de quatrième (grade 10), vingt-deux élèves de cinquième (grade 11) et treize élèves de sixième (grade 12).

Notre choix d'interroger des élèves des trois grades du supérieur de l'enseignement secondaire est dirigé par une volonté de diagnostiquer les erreurs récurrentes quelque soit le stade dans l'apprentissage de la chimie.

Tous les élèves interrogés avaient abordé le concept de concentration chimique dans leurs apprentissages scolaires et avaient déjà été amenés à l'utiliser dans le cadre de leurs cours de chimie.

Les interrogés étaient prévenus que les réponses seraient analysées dans le contexte d'une recherche en didactique de la chimie.

2. Résultats et analyse des questions diagnostiques

Dans la suite de ce paragraphe, nous allons énoncer et analyser chacune des onze questions diagnostiques (QD) en fonction du sujet qu'elle traite :

1. la définition du concept de concentration : QD1 et 4 ;
2. l'utilisation de représentations iconographiques : QD2 et 11 ;
3. le mélange de solutions de même concentration : QD3, DQ6.1 et 8 ;
4. les procédés de dilution et de concentration de solutions : QD5 et 9 ;
5. la comparaison de solutions : QD6.2, QD6.3, QD7 et 10.

Les énoncés sont suivis d'une analyse des réponses fournies. Notre objectif est d'arriver à catégoriser les erreurs récurrentes commises par les interrogés lorsqu'ils répondent à des questions sur la concentration chimique.

Pour chaque question diagnostique, la transcription de toutes les réponses données par les élèves est fournie en annexe (le numéro de l'annexe sera précisé au fur et à mesure des questions).

Tout ce qui a été écrit par l'élève est en caractères italique. Les annotations du transcripteur sont en caractères normaux.

Nous avons attribué un numéro à chaque copie (copies 1 à 70).

Une évaluation à questions ouvertes entraîne des formulations de réponses différentes d'un élève à l'autre.

Les critères pris en compte pour l'analyse des réponses des élèves sont :

- le choix du vocabulaire employé par le répondant ;
- l'utilisation de l'outil mathématique ;
- le type de représentations symboliques que le répondant choisit ;
- la conversion et la précision des unités ;
- la similitude de certaines expressions entre plusieurs apprenants.

Le niveau scolaire (grade) où l'élève se trouve n'a pas été pris en compte car notre objectif est de catégoriser les erreurs récurrentes de façon générale.

2.1. La définition de la concentration

Deux questions traitent de la définition du concept de concentration : les questions diagnostiques 1 et 4. Nous les traitons séparément.

Question diagnostique 1

Qu'est-ce que la concentration ? Tu peux utiliser tes propres mots.

Cette question vise à mettre en lumière les notions utilisées par le répondant pour définir la concentration.

Dans l'énoncé, le mot « chimique » ne suit pas le mot « concentration » de façon à laisser un champ de liberté au répondant.

Les élèves n'étaient pas interrogés pendant un cours de chimie mais il leur avait toutefois été précisé que ces questions étaient posées dans le cadre d'une recherche en didactique de la chimie.

Une réponse est considérée complète si les deux notions pivots que nous avons explicitées précédemment sont présentes dans la réponse et clairement explicitées :

1. la notion de proportion (dans le sens de rapport) entre la quantité de soluté (masse ou quantité de matière) et le volume de solution. Il s'agit ici de la compréhension du caractère intensif de la grandeur concentration chimique ;
2. la compréhension des interactions solvant-soluté qui doit amener le répondant à considérer et expliciter le volume de solution et non celui de solvant pour définir la concentration.

Une réponse est considérée incomplète si les deux notions pivots sont présentes mais elles ne sont pas clairement explicitées.

Une réponse est dite incorrecte si l'une des deux notions pivots n'est pas présente.

L'annexe 2 fournit les définitions données par les septante répondants à cette question diagnostique 1.

Nous avons classé les réponses des élèves (réponses complètes, incomplètes, incorrectes et non exploitables) et le tableau 2 reprend une synthèse des réponses apportées à la QD1.

QD1	Type de réponses	Numéro attribué à la copie de l'élève (de 1 à 70)	Nombre de copies (fréquence en %)
Réponses considérées complètes	Les deux notions pivots sont présentes et explicitées.	50	1
Nombre de réponses considérées complètes			1 (1,5%)
Réponses considérées incomplètes	Le volume de solution n'est pas clairement explicité. (la notion de proportion est présente explicitement ou implicitement). <i>Remarque : Le soluté n'est pas non plus clairement explicité sauf pour 4 copies où il est implicite (17 21 48 61).</i>	17 20 21 28 42 43 44 45 46 47 48 51 54 55 60 61 63 64 65 70	20
	Seules les unités sont fournies sans précision du soluté ni de la solution.	10 13 16 26 29 35 49 69	8
	Le soluté seul n'est pas explicité.	12 66	2
Nombre de réponses considérées incomplètes			30 (43%)
Réponses considérées incorrectes	Caractère intensif non considéré : confusion avec la quantité de soluté dissoute	3 7 8 15 18 24 25 30 31 38 52 57 58 62 68	15
	Rapport au volume de solvant	14 32 53 67	4
	Concentration considérée comme un regroupement d'entités	33 34 40 41	4
	Confusion avec le procédé de dissolution	11 36	2
	Réponses erronées et non classables	1 2 4 5 6 22 23 27 37	9
Nombre de réponses considérées incorrectes			34 (48,5%)
Réponses non exploitables	Réponses ne donnant pas de définition de la concentration	19 39 59	3
	Absence de réponse	9 56	2
Réponses considérées non exploitables			5 (7%)
Total des réponses			70

Tableau 2. Synthèse des réponses à la question diagnostique 1 (QD1).

Une seule réponse a été considérée complète.

La réponse donnée par l'élève est :

Copie 50 : « *La concentration est le rapport entre la masse du matériau à dissoudre et le volume du liquide : $C = m/v$* »

Nous avons supposé que les termes « *matériau à dissoudre* » et « *liquide* » que l'élève emploie correspondent aux termes « *soluté* » et « *solution* ».

D'autre part, nous considérons également correcte la symbolisation de la concentration massique par la lettre « *C* » donnée par l'élève bien que celle-ci ne corresponde pas aux symboles « C_m » ou γ utilisés par les enseignants lors de la transposition didactique.

Nous avons considéré trente réponses comme incomplètes (soit 43 % des réponses) car les deux notions sont présentes mais elles ne sont pas clairement explicitées.

L'imprécision des réponses provient du fait que les élèves n'évoquent pas (même implicitement) le soluté et/ou la solution. Parmi ces trente définitions, vingt-huit élèves ne précisent pas que le volume est celui de la solution. A titre d'exemples :

Copie 20 : « *C'est une masse par rapport à un volume.* »

Copie 64 : « *La concentration est une division du nombre de molécules ou d'atomes par un volume déterminé.* »

Parmi ces vingt-huit élèves, huit expliquent la concentration en utilisant uniquement les unités :

Copie 10 : « *Nombre de mole²⁷ par litre* »

Parmi les trente-quatre réponses considérées comme incorrectes (48,5% des réponses), quatre erreurs ont été identifiées :

1. la confusion entre la concentration et la masse ou la quantité de matière contenue dans la solution. Cette réponse se retrouve dans quinze réponses sur septante soit plus d'un cinquième des réponses. Citons des exemples :

Copie 3 : « *L'ensemble de la matière d'une dissolution.* »

Copie 8 : « *C'est la quantité d'une chose dissoute dans un liquide.* »

2. le rapport au volume de solvant (4 élèves sur 70) :

Copie 14 : « *C'est la quantité de soluté dans une certaine quantité de solvant.* »

3. l'utilisation du langage courant c'est-à-dire l'assimilation de la concentration chimique à un regroupement de particules (4 élèves sur 70) :

Copie 34 : « *Une concentration est un ensemble de molécules concentrées à un même endroit.* »

Copie 41 : « *C'est le groupement de plusieurs molécules, la concentration à un même endroit de plusieurs molécules.* »

²⁷ Le concept de « *nombre de mole(s)* » est un concept largement utilisé en Belgique francophone, plutôt que le concept de « *quantité de matière* » recommandé par l'IUPAC.

4. la confusion entre dissolution et concentration (2 élèves sur 70) :

Copie 36 : « *Concentration c'est quand on met un solide dans un liquide.* »

D'autres informations peuvent être tirées de l'analyse de l'ensemble des réponses :

1. à peine la moitié des élèves (34 sur 70) attribue à la concentration la notion de rapport ;

2. peu d'élèves utilisent l'expression mathématique de la concentration chimique pour la définir (6 élèves sur 70 : copies 42, 44, 47, 50, 51 et 54) ;

3. en ce qui concerne le vocabulaire employé,

- six élèves utilisent le terme « *soluté* » (copies 5, 14, 21, 24, 32 et 33) ;
six élèves utilisent le terme « *solvant* » (copies 14, 21, 24, 32, 33 et 67) ;
- dix élèves utilisent le terme « *solution* » (copies 5, 11, 12, 17, 31, 42, 62, 63, 66 et 68).

Ainsi, seuls seize des septante élèves utilisent au moins un de ces trois termes spécifiques au contexte des solutions et de la concentration en soluté.

Cinq élèves utilisent les termes « *soluté* » et « *solvant* » mais aucun de ceux-ci n'utilise le mot « *solution* ».

Le vocabulaire spécifique au concept de concentration chimique n'est donc pas utilisé spontanément par la grande majorité des élèves interrogés.

Pour compléter notre constat sur la définition donnée par des apprenants de grade 10 à 12 au concept de concentration, intéressons-nous à la question diagnostique 4 qui propose un choix de définitions parmi plusieurs propositions.

Question diagnostique 4

Coche la (les) bonne(s) réponse(s) :

La concentration massique de sucre dans un verre d'eau est le :

- 1. Quotient de la masse d'eau par la masse d'eau sucrée***
- 2. Quotient de la masse de sucre par le volume d'eau***
- 3. Quotient de la masse d'eau sucrée par le volume de sucre***
- 4. Quotient de la masse de sucre par le volume d'eau sucrée***
- 5. Quotient de la masse de sucre par la masse d'eau***

La seule proposition correcte pour la QD4 est la **proposition 4**.

L'élève doit choisir entre cinq propositions celle(s) qui définit (ou définissent) la grandeur concentration massique en sucre dans un verre.

L'élève n'a pas à justifier son choix et il peut choisir plusieurs propositions.

Les propositions imposent d'emblée la concentration comme un quotient. La notion pivot « proportion » est donc imposée à l'élève.

L'objectif de cette question est de tester la bonne acquisition par l'élève de la notion pivot liée aux interactions solvant-soluté et donc de vérifier si l'élève rapporte bien la masse de soluté au volume de solution (l'eau sucrée ici) et non de solvant (l'eau).

L'annexe 5 fournit les choix effectués par les septante répondants à cette question diagnostique 4.

Le tableau 3 présente une synthèse de l'ensemble des propositions choisies. Les énoncés y ont été traduits en expressions mathématiques (m pour masse et V pour volume).

La troisième colonne qui indique le « *Nombre d'élèves ayant choisi la proposition* » fournit, entre parenthèse, le nombre de copies où seule la proposition a été choisie sans association avec une autre.

QD4	Enoncé de la proposition traduit en expression mathématique	Nombre d'élèves ayant choisi la proposition	Fréquence % (N = 88)
Proposition 1	$m_{\text{eau}} / m_{\text{eau sucrée}}$	6 (pour 4 copies, seule proposition choisie)	6,8
Proposition 2	$m_{\text{sucré}} / V_{\text{eau}}$	46 (29)	52,3
Proposition 3	$m_{\text{eau sucrée}} / V_{\text{sucré}}$	5 (4)	5,7
Proposition 4 (seule correcte)	$m_{\text{sucré}} / V_{\text{eau sucrée}}$	15 (7)	17,0
Proposition 5	$m_{\text{sucré}} / m_{\text{eau}}$	16 (5)	18,2
		88	100

Tableau 3. Synthèse des réponses à la question diagnostique 4 (QD4).

La proposition 2 ($m_{\text{sucré}}/V_{\text{eau}}$) est choisie quarante-six fois. Elle est celle qui obtient le meilleur score. Vingt-neuf des septante élèves ne choisissent que cette proposition soit 41,4% des interrogés. Dix élèves l'associent à la proposition 5 ($m_{\text{sucré}}/m_{\text{eau}}$).

Pour ces trente-neuf élèves qui choisissent la proposition 2 seule ou associée à la 5, la concentration massique de sucre est le quotient de la masse de sucre par le volume d'eau. Ils rapportent donc la quantité de soluté au volume de solvant.

Les dix élèves qui l'associent à la proposition 5 sont logiques par rapport à leur façon de penser puisqu'ils attribuent la même valeur au volume d'eau qu'à sa masse ce qui est vrai pour de l'eau pure de densité égale à un.

Seuls sept élèves choisissent la proposition correcte 4 ($m_{\text{sucré}}/V_{\text{eau sucrée}}$) sans l'associer à une autre proposition soit moins de 10% des interrogés. Les élèves qui rapportent la masse de sucre au volume de solution sont donc très minoritaires dans le contexte de cette question.

Huit élèves soit 11,4% de l'effectif, associent les propositions 2 ($m_{\text{sucre}}/V_{\text{eau}}$) et 4 ($m_{\text{sucre}}/V_{\text{eau sucrée}}$). Pour eux, le volume de solvant est tout à fait assimilable au volume de solution.

Conclusion partielle pour les questions traitant de la définition de la concentration chimique

La définition de la concentration donnée par les élèves interrogés est dans presque 100% des cas incomplète ou incorrecte.

La notion pivot « proportion » n'est pas explicite pour beaucoup des apprenants : plus d'un élève interrogé sur deux n'attribue pas spontanément la notion de rapport au concept de concentration.

Pour un cinquième des répondants qui confond quantité de soluté et concentration, cette notion pivot n'est pas assimilée.

Nous confirmons donc les résultats obtenus par Goh Ngoh Khang *et al.* (1987) ainsi que ceux de Tsoumpelis *et al.* (1995) : l'intensivité de la grandeur concentration n'est pas un paramètre facilement assimilable.

Le volume auquel se rapporte la concentration est très rarement explicité comme étant celui de la solution. Lorsque le volume est précisé, il correspond à celui de solvant.

Ainsi, la seconde notion pivot liée aux interactions soluté-solvant n'est pas explicite pour la plupart des élèves interrogés.

Un nombre non négligeable d'élèves assimilent volontairement le volume de solvant au volume de solution.

Les termes « soluté », « solvant » et « solution » qui devraient être spécifiquement et pertinemment utilisés pour définir une concentration en chimie ne le sont pas par la grande majorité des élèves interrogés dans le cadre de notre questionnaire.

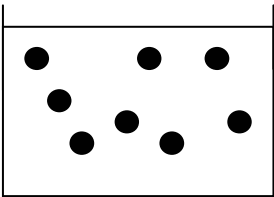
2.2. Utilisation de représentations iconographiques de solutions

Deux questions diagnostiques utilisent des représentations iconographiques associées au concept de concentration : les questions 2 et 11.

Voici leur énoncé et les résultats obtenus.

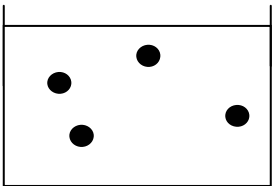
Question diagnostique 2

Le dessin suivant représente une solution A où les molécules dissoutes sont symbolisées par des boules noires. Le volume de la solution est de 0,5 litre.

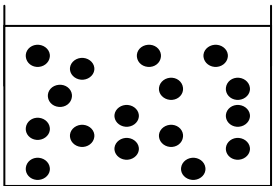


Solution A

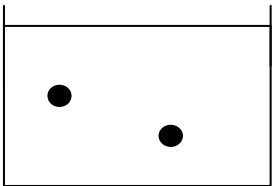
On veut préparer des solutions de concentration identique à la solution A mais avec un nombre différent de molécules dissoutes. Note en dessous de chaque récipient figurant ci-après, le volume dans lequel les molécules doivent se répartir pour que les trois solutions aient la même concentration.



Volume 1 :



Volume 2 :



Volume 3 :

Les réponses correctes sont : **volume 1 : 0,25 L - volume 2 : 1 L - volume 3 : 0,125 L.**

Le tableau 4 reprend une synthèse des réponses apportées à la QD2 (annexe 3).

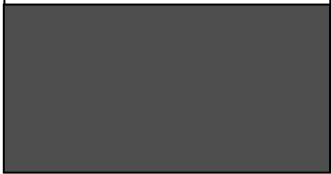
QD2	Volume 1		Volume 2		Volume 3	
	/70	en %	/70	en %	/70	en %
Réponses correctes	56	80,0	54	77,2	52	74,3
Réponses incorrectes	9	12,9	11	15,7	13	18,6
Absence de réponse	5	7,1	5	7,1	5	7,1

Tableau 4. Synthèse des réponses à la question diagnostique 2 (QD2).

Question diagnostique 11

Observe les 2 solutions suivantes :

Solution A



0,1 mole/L

Solution B



0,2 mole/L

**Quelle est la solution la plus concentrée :
La solution A ou la solution B ? Justifie.**

La réponse correcte est « la solution B ».

Le tableau 5 reprend les réponses correctes et incorrectes apportées à la QD11 (annexe 14).

QD11	Nombre d'élèves (N = 70)	Fréquence %
Choix corrects (solution B)	65	92,9
Choix incorrects (solution A)	5	7,1

Tableau 5. Synthèse des réponses à la question diagnostique 11 (QD11).

Ces deux questions utilisent une représentation symbolique d'une solution.

Pour la QD2, des disques noirs représentent des boules noires elles-mêmes représentant des molécules de soluté. Le niveau de la solution est symbolisé par un trait et le volume de la solution est symbolisé par un rectangle.

La même icône représente donc deux niveaux différents de savoir : le niveau microscopique pour le soluté et le niveau macroscopique pour la solution.

L'élève doit compter les disques noirs pour chacune des solutions et l'objectif est de vérifier que le volume de solution qu'il indique permet de garder constant le rapport disques noirs/surface, établi dans la solution A.

Pour la QD11, les entités de soluté ne sont pas représentées distinctement. Les solutions sont représentées par des plages de couleur : une solution A apparaît de couleur noire et une autre solution B apparaît grise. A la différence de la question diagnostique 2, la représentation symbolique évoque ici uniquement le niveau macroscopique.

Les concentrations molaires des deux solutions A et B sont précisées en dessous de chacune de leur représentation. La solution A qui apparaît la plus foncée à une concentration molaire inférieure à celle qui apparaît la plus claire (solution B).

Comme nous le présentons dans la première partie de notre recherche, la transposition didactique du concept de concentration est souvent réalisée en se référant à des échelles de teinte : plusieurs solutions de même volume

contenant le même soluté mais en quantité croissante sont présentées par l'enseignant ou préparées par les élèves.

Une habitude interprétative pourrait alors être créée : « *Plus foncé alors plus concentré* » (« *More A then more B* »). C'est ce que nous voulons vérifier avec cette question.

L'analyse des résultats montre qu'une grande majorité des élèves répond correctement à ces deux questions (entre 74 et 93%).

Pour la question diagnostique 2, la plupart des élèves qui ne répondent pas ou qui répondent incorrectement le font pour les trois volumes.

Deux erreurs fréquentes dominent.

La première est l'utilisation du nombre d'Avogadro. Trois élèves l'utilisent et donne des volumes non plausibles sans toutefois préciser les unités :

Copie 3 : « $6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,5/2$ » pour le volume 1, « $6,02 \cdot 10^{23} \cdot (0,2 \cdot 2)$ » pour le volume 2 et « $6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,5/4$ » pour le volume 3

Copie 23 : « $7,525 \cdot 10^{22}$ » pour le volume 1, « $1,88125 \cdot 10^{22}$ » pour le volume 2 et « $1,505 \cdot 10^{23}$ » pour le volume 3

Ces élèves sont peut-être perturbés par les entités représentées par des disques noirs et se réfèrent alors au nombre d'Avogadro qui est lié au calcul d'une quantité de matière et donc à une vision discontinue de la matière.

Une deuxième erreur fréquente (quatre élèves la commettent) est liée au facteur par lequel le volume de la solution A est multiplié. Plutôt que de diviser par deux le volume de la solution A pour trouver le volume 1, ces élèves le multiplient par deux. Ils réalisent ce calcul inverse pour les deux autres volumes : ils divisent par deux au lieu de multiplier par deux pour le volume 2 et ils multiplient par quatre plutôt que de diviser par quatre pour le volume 3.

Il est difficile de déduire de ce constat si le caractère intensif n'est pas correctement mobilisé par ces apprenants dans le contexte de cette question ou s'il s'agit d'une interprétation erronée des représentations iconographiques.

Pour la question diagnostique 11, presque 93% des interrogés choisissent correctement la solution B comme étant la plus concentrée mais précisons que 78% justifient pertinemment ce choix sur base de la concentration indiquée en dessous de la solution.

Sur les cinq élèves qui choisissent erronément la solution A, seuls deux font allusion à la couleur plus foncée de la solution A mais émettent toutefois un doute :

Copie 11 : « *Car on aura plus de molécules dans le premier. Le cadre est plus noir ce qui donne l'impression que c'est une concentration plus forte.* »

Copie 37 : « *Car c'est moins clair donc il doit y avoir plus de matière mais on ne sait pas si on a la même solution avec les mêmes composants dans chaque récipient.* »

Deux autres élèves ne justifient rien (copies 59 et 66) et le dernier interprète mal les valeurs des concentrations :

Copie 2 : « *Moins il y a de mole par litre, plus il y a de concentration.* »

Dans le contexte d'une question où des solutions sont représentées par des rectangles colorés et où les concentrations molaires sont indiquées, très peu d'élèves utilisent donc une habitude interprétative du type « *Plus foncé donc plus concentré* ». Les seuls qui le font émettent un doute dans leur explication.

Il serait intéressant de poser la même question mais sans préciser les concentrations molaires des solutions.

Conclusion partielle pour les questions utilisant des représentations iconographiques de solutions

L'analyse de ces deux questions permet d'émettre l'hypothèse que l'utilisation de représentations iconographiques de solutions pour prévoir leur concentration ne semble pas poser de difficulté pour une grande partie des apprenants.

Selon de Berg (2012), les éducateurs en chimie devraient davantage utiliser les représentations submicroscopiques de la matière (SMR) car elles améliorent la compréhension de la chimie sous-jacente et s'avère plus susceptible d'améliorer l'appropriation conceptuelle en chimie. Nos résultats confirment cette proposition : l'utilisation d'images pour représenter les solutions peut être un outil pour aider l'apprenant à visualiser le niveau microscopique de la matière.

Nous verrons dans une prochaine partie que ces représentations symboliques de solutions peuvent toutefois conduire les apprenants à répondre de façon erronée.

Une étude menée par Meert, Grégoire, Seron et Noël (2012) de l'Université de Louvain-la-Neuve met en évidence que le traitement mental des fractions numériques avec une notation telle que des collections de points de tailles différentes diffère de celui des fractions non numériques comme des plages de couleurs. Il est donc possible que la façon de représenter une solution (soluté symbolisé par des points comme à la QD2 ou solution symbolisée par des plages de couleurs comme à la QD11) impacte la représentation mentale que s'en fait l'apprenant et peut influencer l'acquisition du concept de concentration.

Ces deux questions diagnostiques utilisant des icônes pour représenter des solutions ne permettent pas de vérifier l'acquisition du caractère intensif de la concentration. En effet, la surface qui représente le volume de solution restant toujours égale, un élève qui attribue à la concentration la simple notion de quantité de soluté sans le rapporter au volume de solution peut répondre correctement à la question posée.

Les questions diagnostiques suivantes permettent de vérifier plus spécifiquement l'acquisition du caractère intensif de la concentration. Elles s'intéressent au devenir de la concentration de solutions qui sont mélangées entre elles.

2.3. Mélange de solutions de même concentration

Trois questions interrogent les élèves sur le mélange de solutions de même concentration. Leur objectif est principalement de vérifier l'acquisition du caractère intensif de la grandeur concentration chimique.

Voici leur énoncé et une synthèse des résultats obtenus pour chacune d'elles.

Question diagnostique 3

Lors d'une séance de laboratoire, le professeur demande à 5 équipes de peser 4 g de sucre fin et de le dissoudre dans l'eau afin d'obtenir un volume de 100 mL d'eau sucrée. Ensuite, le professeur rassemble les 5 solutions dans un ballon de 500 mL.

Quelle est la concentration de la solution contenue dans ce ballon ? Explique ta démarche.

La réponse correcte est **40 g/L**.

Le tableau 6 reprend une synthèse des réponses apportées à la QD3 (annexe 4).

QD3	Nombre d'élèves (N = 70)	Fréquence %
Concentration correcte	32	45,7
Concentration incorrecte	29	41,4
Absence de réponse	9	12,9

Tableau 6. Synthèse des réponses à la question diagnostique 3 (QD3).

Question diagnostique 6.1

Réponds par vrai ou faux et justifie :

Quand on mélange deux volumes différents de deux solutions identiques, les concentrations des substances dissoutes changent.

La réponse correcte est **FAUX**.

Le tableau 7 reprend une synthèse des réponses apportées à la QD6.1 (annexe 7).

QD6.1	Nombre d'élèves (N = 70)	Fréquence %
Réponses correctes	42	60,0
Réponses incorrectes	24	34,3
Absence de réponse	4	5,7

Tableau 7. Synthèse des réponses à la question diagnostique 6.1 (QD6.1).

Question diagnostique 8

On mélange deux volumes égaux d'une solution de chlorure de sodium NaCl à 0,10 mol/L et d'une solution de chlorure de potassium KCl à 0,10 mol/L. La concentration en ions chlorure dans le mélange est (entoure la bonne réponse et justifie ton choix) :

0,20 mol/L

0,10 mol/L

0,05 mol/L

La réponse correcte est **0,10 mol/L**.

Le tableau 8 reprend une synthèse des réponses apportées à la QD8 (annexe 11).

QD8	Nombre d'élèves (N = 70)	Fréquence %
Choix corrects	45	64,3
Choix incorrects	14	20,0
0,20 mol/L	13	18,6
0,05 mol/L	1	1,4
Absence de réponse	11	15,7

Tableau 8. Synthèse des réponses à la question diagnostique 8 (QD8).

Le tableau 9 permet de comparer les trois questions diagnostiques pour différents paramètres de la question.

	Soluté(s)	Concentration des solutions avant mélange	Volumes des solutions avant mélange	Nombre de solutions avant mélange
QD3	Sucre	A calculer sur base de la masse et du volume de solution	Egaux et connus	5
QD6.1	Non précisé	Inconnue	Différents et inconnus	2
QD8	NaCl et KCl	Connue (0,10 mol/L)	Egaux et inconnus	2

Tableau 9. Comparaison des questions diagnostiques 3, 6.1 et 8.
Toutes les solutions avant mélange sont de même concentration.

Les questions 3 et 8 impliquent des valeurs numériques ce qui n'est pas le cas pour la question 6.1.

Intéressons-nous tout d'abord au traitement fait par les élèves des valeurs numériques fournies aux questions 3 et 8.

Question diagnostique 3

Pour répondre à la question 3, l'interrogé doit calculer la concentration massique d'une solution issue du mélange de cinq solutions identiques

préparées par cinq équipes d'élèves. Les données pour la calculer sont la masse et le volume de la solution de chaque groupe (« 4 g de sucre fin » et « 100 mL de solution sucrée »).

Pour répondre à cette question, l'élève peut suivre différentes procédures :

1. calculer la concentration de la solution d'un seul groupe (par le calcul $4/0,100 = 40 \text{ g/L}$) puis annoncer que le mélange des cinq solutions aboutit à la même concentration ;
2. calculer le rapport entre la masse totale et le volume total de la solution finale après mélange des cinq solutions (par le calcul $20/0,500 = 40 \text{ g/L}$).

Quelque soit la procédure, l'élève qui l'utilise considère correctement le caractère intensif de la grandeur concentration chimique.

Moins de la moitié des élèves (45,7%) calculent correctement la concentration du mélange à partir d'une masse du soluté et du volume d'une solution en utilisant l'une ou l'autre de ces procédures.

Seuls 28,6% (20/70) des interrogés proposent spontanément la concentration de la solution individuelle d'un groupe comme égale à celle du mélange des cinq solutions. Il ne semble donc pas spontané pour la grande majorité des apprenants que l'assemblage de solutions de même concentration et de même volume aboutit à une solution dont le rapport « quantité de soluté/volume de solution » reste inchangé.

Les calculs incorrects ont différentes origines :

1. la non considération du caractère intensif de la concentration. Certains élèves calculent la concentration du mélange en multipliant par 5 la valeur de la concentration d'une solution, d'autres multiplient par 5 la masse de soluté d'une solution sans diviser ensuite par le volume total du mélange ;
2. les erreurs mathématiques. Le calcul de $4/0,1$ aboutit à 0,4 ou à 200 ou encore à 8. Le calcul $20/0,5 = 10$ est également trouvé dans les réponses ;
3. les erreurs liées aux unités. Certains élèves ne convertissent pas les millilitres du volume de solution en litres et d'autres se trompent en le faisant (par exemple : 500 mL équivaut à 0,05 L). D'autres convertissent en kilogrammes la masse du soluté donnée en grammes.

La question diagnostique 8 est très similaire à la 3. Les résultats obtenus pour la QD8 vont permettre de vérifier si ces constats se confirment.

Question diagnostique 8

Il est demandé aux élèves de choisir la concentration finale en ions chlorure d'une solution issue du mélange de deux solutions salées de même concentration et de même volume.

La difficulté est ici liée à la dissolution d'un composé ionique dans l'eau. Pour répondre à la question, l'élève doit avoir acquis que les ions sodium, chlorure et potassium sont présents dans la solution.

Pour ne pas compliquer la question, nous avons choisi des sels binaires où la charge de chacun des ions est +1 (ions sodium Na^+ et potassium K^+) et -1 (ions chlorures Cl^-).

Pour simplifier également la question, la concentration molaire des solutions salées de départ est identique (0,10 mol/L) et les volumes mélangés sont égaux.

La quantité en ions chlorures est doublée dans le mélange mais le volume de solution est doublé également. Le rapport entre la quantité de matière en ions chlorure et le volume de solution reste le même : la concentration en ions chlorure dans le mélange reste donc identique à la concentration en ions chlorure dans chacune des solutions salées avant mélange.

Pour cette question 8, le nombre de réponses correctes est légèrement supérieur à celui obtenu à la question 3 (64,3% contre 45,7%). Les élèves ne doivent pas calculer une concentration mais choisir parmi trois propositions. Du point de vue des calculs à effectuer, cette question est moins complexe.

Parmi les quarante-cinq élèves qui répondent correctement, seuls vingt donnent une explication qui permet de justifier avec pertinence leur choix. Trois stratégies différentes sont utilisées :

1. quatre élèves expliquent que le rapport reste identique :

Copie 35 : « 0,10 mol/L car le rapport soluté-solvant sera toujours le même. »

Copie 34 : « Il reste le même car ce sont tous les deux des solutions et dans chaque cas, la concentration molaire ne change pas car on ajoute un liquide à un autre liquide, on ajoute juste des molécules mais la concentration ne change pas car il y a le double de volume. »

2. douze élèves justifient en réalisant le calcul de la concentration après le mélange en rapportant la quantité de soluté totale au volume total de la solution :

Copie 30 : « 0,10 mol/L KCl et 0,10 mol/L NaCl = 0,20 mol/2 L → 0,10 mol/L »

Certains de ces élèves utilisent une écriture qui symbolise la concentration comme une grandeur extensive mais la raisonnent comme une grandeur intensive puisqu'ils ne perdent pas de vue que le volume total est double :

Copie 26 : « 0,10 mol/L + 0,10 mol/L = 0,20 mol/2L = 0,10 mol/L »

3. quatre élèves divisent par deux la concentration de chaque solution de départ puis ils additionnent les deux concentrations des deux solutions mélangées :

Copie 17 : « Car dans chaque solution il y a 0,05 mol/L de chlorure donc quand on mélange les 2 solutions, on obtient 0,10 mol/L »

Tout comme pour la deuxième stratégie citée, les élèves expriment la concentration comme une grandeur extensive mais restent conscients que le volume total varie également ; leur raisonnement envisage bien la concentration comme une grandeur intensive. Ils aboutissent à la réponse correcte.

Treize élèves ont choisi incorrectement une concentration double pour le mélange soit 0,20 mol/L. Leur justification est identique pour tous et elle est, cette fois, de raisonner la concentration comme une grandeur extensive. Ces élèves ne prennent pas en compte le volume double de la solution finale comme le faisaient ceux cités ci-dessus :

Copie 48 : « Car $0,10 \text{ mol/L} + 0,10 \text{ mol/L} = 20 \text{ mol/L}$ »

Copie 47 : « Il y a deux fois plus d'ions chlorure vu qu'on ajoute la même concentration. »

Au total, presque 20% des élèves interrogés utilisent une stratégie d'addition des concentrations dans le cas d'un mélange de deux solutions identiquement salées soit un cinquième des interrogés. Ils ne considèrent pas l'intensivité de la grandeur concentration.

Les résultats obtenus à la QD8 confirment la difficulté d'acquisition du caractère intensif de la grandeur concentration mise en évidence à la QD3. Ils confirment également les résultats de l'étude de Grandillet *et al.* (2003) qui constate que de nombreux élèves utilisent le principe de conservation de la quantité de soluté et non celui de la conservation du rapport entre cette quantité et le volume total dans lequel elle se trouve dissoute. Ces élèves envisagent la concentration comme une grandeur extensive plutôt qu'une grandeur intensive.

La difficulté des questions 3 et 8 est peut-être liée à la manipulation des valeurs numériques. A la différence des deux questions précédentes, la QD6.1 ne fait pas intervenir de valeurs numériques. Il est intéressant de vérifier si un contexte de questions sans valeur numérique permet d'obtenir une fréquence de réponses correctes supérieure.

Question diagnostique 6.1

Dans le cas de la QD6.1, l'énoncé est court, sans valeur numérique et sans précision d'une substance chimique. Il propose de mélanger deux volumes différents de solutions de même concentration.

Le choix a été fait de noter dans l'énoncé « *solutions identiques* » plutôt que « *solutions de même concentration* » pour éviter une réponse spontanée telle que « *deux solutions de MEMES concentrations donc mélange de MEME concentration* » (associée à la règle intuitive « *Same A then same B* »).

Quarante deux élèves répondent correctement que la concentration ne change pas si deux volumes différents de solutions identiques sont mélangés mais seulement quatre répondants (soit 6%) justifient leur choix en précisant que le rapport entre la quantité de soluté et le volume de solution ne change pas :

Copie 35 : « *Car comme on ajoute un liquide avec le même rapport soluté-solvant, ça ne change pas.* »

La plupart des justifications des élèves (41,4% de l'ensemble des septante élèves) qui répondent correctement ne précisent pas, même implicitement, que les rapports entre la quantité de soluté et le volume de solution restent identiques. La plupart précisent que la concentration reste la même car les solutions sont identiques :

Copie 2 : « *Elles restent les mêmes car les solutions sont identiques.* »

Il est possible que ces élèves aient utilisé l'habitude du type « *Same A then same B* » que nous avons voulu éviter. Cette habitude amène à la bonne réponse mais sans prouver que l'intensivité de la grandeur concentration soit prise en considération par l'élève qui l'utilise.

Neuf élèves qui répondent correctement que la concentration ne change pas justifient même erronément :

Copie 4 : « *Il y a toujours la même quantité de matière.* »

Copie 6 : « *C'est impossible.* »

Copie 14 : « *Car ce n'est pas proportionnel.* »

L'analyse des justifications données par les vingt-quatre élèves qui répondent erronément « *vrai* » (la concentration change si on mélange deux volumes différents de deux solutions identiques) permet de tirer quelques informations.

Pour certains de ces élèves, les volumes sont inversement proportionnels à la concentration :

Copie 11 : « *Si le volume est grand on aura une plus petite concentration tandis que si le volume est petit on aura une plus grande concentration.* »

Copie 17 : « *Car si il y a un volume plus petit, la concentration des substances sera plus élevée que dans un volume plus grand.* »

Copie 25 : « *La concentration diminuera. Il y aura un plus grand V pour une concentration* ». Notons ici que l'élève utilise « *pour une concentration* » plutôt que « *pour une solution.* »

Ils semblent utiliser une habitude de causalité proportionnelle (ou inversement proportionnelle). Il nous faut vérifier l'origine de cette habitude dans le cadre de la dissolution d'un soluté dans un solvant. Les entretiens d'explicitation permettront de proposer des dysfonctionnements cognitifs à l'origine de cette erreur.

Un autre élève explique que :

Copie 34 : « *Dans la solution où le volume sera plus grand, il y aura plus de substances dissoutes que dans celui où il sera moins grand.* »

Cet élève utilise aussi une habitude du type « *More A then more B.* »

Les résultats obtenus pour la QD6.1 confirment la difficulté d'une majorité des apprenants face au caractère intensif de la concentration. Pour contourner la difficulté, les habitudes intuitives sont mobilisées et aboutissent parfois à la réponse correcte.

Notons que certains élèves qui choisissent la bonne proposition utilisent des termes non adéquats : ils emploient le mot « *concentration* » à la place d'un autre :

Copie 1 : « *Car on les mélange mais c'est toujours la même solution. On ajoute juste les concentrations.* » (au lieu de « *volume* »)

Copie 9 : « *Si les solutions sont identiques, rien ne va changer sauf le volume de concentration.* » (au lieu de « *solution* »)

Conclusion partielle pour les questions traitant du mélange de solutions

Seul un élève sur quatre voire un sur cinq, selon le contexte de la question, associe spontanément la même concentration à une solution et au mélange de plusieurs de ces mêmes solutions.

Des habitudes telles que « *La concentration est inversement proportionnelle au volume* » ou « *Dans la solution où le volume sera plus grand, il y aura plus de substances dissoutes que dans celui où il sera moins grand* » sont utilisées. D'autres heuristiques telles que l'addition des valeurs des concentrations sont également mobilisées.

Ainsi, comme nous l'avons mis en évidence pour les questions relatives à la définition de la concentration, la notion pivot liée au caractère intensif de la grandeur concentration n'est pas innée pour un grand nombre d'élèves interrogés dans le contexte du mélange de solutions.

Le calcul d'une concentration massique d'un mélange de solutions de même concentration et de même volume sur base de la masse en gramme et du volume d'une solution en millilitres n'est pas correct pour plus d'un élève sur deux.

Les erreurs commises sont de plusieurs ordres : liées au concept lui-même mais aussi liées aux erreurs mathématiques et aux erreurs de conversion des unités.

Le terme « *concentration* » est parfois utilisé à la place des termes « *volume* » ou « *solution* ». Le vocabulaire de chimie spécifique aux solutions est mal maîtrisé par certains apprenants.

2.4. Les procédés de dilution et de concentration

La question diagnostique 5 interroge sur le procédé de dilution et la question 9 sur celui de concentration. Nous les traitons séparément.

Question diagnostique 5 - Le procédé de dilution

Un jeune papa doit préparer une solution de lait maternisé pour son bébé. N'ayant pas lu les instructions, il s'aperçoit que la solution obtenue, après dissolution de la poudre, est beaucoup trop concentrée (100 g/L). Oh malheur ! Il est 4 heures du matin et plus de poudre... Comment ce papa fatigué va-t-il s'y prendre pour réparer sa gaffe et obtenir 100mL de lait à la bonne concentration, soit 20 g/L ?

Coche la bonne réponse et justifie ton choix :

- 1. Il devra prendre 5 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 95 mL d'eau*
- 2. Il devra prendre 80 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 20 mL d'eau*
- 3. Il devra prendre 20 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 80 mL d'eau*
- 4. Il devra prendre 95 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 5 mL d'eau*

La proposition correcte est la **proposition 3**.

Le tableau 10 reprend une synthèse des réponses apportées à la QD5 (annexe 6).

QD5	Nombre d'élèves (N = 70)	Fréquence %
Choix corrects (proposition 3)	40	57,2
Choix incorrects	15	21,4
Proposition 1	5	
Proposition 2	4	
Proposition 4	6	
Absence de réponse	15	21,4

Tableau 10. Synthèse des réponses à la question diagnostique 5 (QD5).

Un papa a préparé une solution trop concentrée en poudre de lait. Il doit la diluer. La concentration doit passer de 100 g/L à 20 g/L.

Toutes les propositions vont dans le même sens : il faut ajouter de l'eau. L'élève doit trouver deux données : le volume de la solution mère à prélever et le volume de solvant à ajouter cependant chaque proposition associe l'un et l'autre. L'élève doit donc trouver la bonne combinaison des deux volumes.

Quarante élèves choisissent la proposition correcte et la moitié de ceux-ci justifient en utilisant un facteur de dilution de cinq :

Copie 14 : « *Il a mis cinq fois trop de poudre donc il faut prendre 1/5 de la solution trop concentrée et diluer avec 80 mL d'eau pour avoir 100 mL en tout.* »

Les autres élèves qui choisissent la proposition correcte justifient en répétant la proposition ou en restant peu clairs voire surprenants sur leur motivation à choisir la proposition 3 :

Copie 18 : « *Si il prend 20 ml à 100 g/L et qu'il rajoute 80 ml on aura une solution à 20 g/L* »

Copie 41 : « *Car il faut rajouter beaucoup d'eau.* »

Copie 10 : « *Je pense que c'est la plus plausible.* »

Copie 23 : « *Car trop de poudre diluée ça fera plus du lait mais de l'eau.* »

Aucun élève n'utilise la stratégie souvent évoquée lors de la transposition didactique du procédé de dilution qui consiste à établir une égalité entre la quantité de matière « initiale » et celle « finale » entre les solutions mère et fille. Puisque la quantité de matière est calculée par le produit C.V, cette stratégie est exprimée sous la forme : « $C_i V_i = C_f V_f$ » avec « i » pour initial et « f » pour final.

Parmi les quinze choix incorrects, cinq élèves admettent choisir au hasard et parmi les dix autres, les justifications très peu claires ne permettent pas de tirer d'informations quant à l'origine de l'erreur commise. Les élèves écrivent des chiffres sans expliquer le passage des uns aux autres.

Une remarque est à ajouter pour cette question 5 qui fait appel à une situation de la vie quotidienne où un papa est chargé de préparer le biberon de son bébé. Elle est celle où le plus grand nombre d'élèves ne répondent pas (21,5%) et pour ceux qui choisissent la bonne réponse, elle est celle où le nombre de justifications du type « *c'est l'instinct* » ou « *au hasard* » est le plus grand. Un élève répond en quittant totalement la rationalité scientifique et écrit :

Copie 52 : « *Selon moi, le papa ayant déjà fait l'effort de se lever à 4h du matin, il me paraît honteux de lui en plus reprocher le fait de s'être trompé dans le dosage. Maintenant si la maman se croit plus maligne, elle peut le faire à sa place.* »

Cette question semble porter une charge émotionnelle importante. Certains élèves n'osent pas se prononcer et d'autres tentent de répondre instinctivement.

Dans tous les cas, prédire le volume à prélever d'une solution mère de concentration connue afin de préparer un volume précis de solution fille de concentration prévue n'est pas simple : à peine plus d'un quart des septante

élèves interrogés trouve le facteur de dilution qui leur permet de trouver la bonne combinaison de volumes dans les propositions fournies. Il est probable que le nombre d'élèves aurait été moindre s'ils avaient dû eux-mêmes réaliser le calcul pour prévoir les volumes à prélever dans le cadre d'une dilution.

La question suivante interroge sur le procédé inverse : le procédé de concentration d'une solution. L'énoncé de la question est simple et, tout comme la question précédente, il fait appel à une situation concrète de la vie quotidienne.

Question diagnostique 9 - Le procédé de concentration

Pour augmenter la concentration en sucre d'un verre d'eau sucrée, faut-il (coche la bonne réponse) :

- 1. Augmenter le nombre de mole de sucre*
- 2. Augmenter le volume d'eau*

La proposition correcte est la **proposition 1**.

Le tableau 11 reprend une synthèse des réponses apportées à la QD9 (annexe 12).

QD9	Nombre d'élèves (N = 70)
Choix corrects (proposition 1)	69
Choix incorrects (proposition 2)	1 (copie 2)

Tableau 11. Synthèse des réponses à la question diagnostique 9 (QD9).

Dans l'énoncé, la quantité de soluté est exprimée en « mole ». Ce terme est récent pour les interrogés, il fait référence à la quantité de matière en soluté. Il n'est pas utilisé dans le langage courant contrairement au contexte de la question qui est une situation de la vie quotidienne.

Puisqu'aucune justification n'est demandée, seule une fréquence du nombre de choix corrects peut-être donnée.

Seul un élève commet l'erreur de répondre que pour augmenter la concentration en sucre, il faut augmenter le volume d'eau.

Afin de mieux comprendre pourquoi cet élève se trompe, nous avons analysé ses réponses aux autres questions diagnostiques.

La définition qu'il donne à la concentration (QD1) est :

Copie 2 (QD1) : « *Le nombre d'entités multiplié par le volume ? (smiley) »*

La présence du point d'interrogation et du smiley en fin de phrase montre que cet élève est peu sûr de donner la bonne définition. Pour lui, la concentration ne correspond pas à un rapport mais à une multiplication d'un nombre d'entités par un volume. Il est donc logique qu'il choisisse la proposition 2 pour la QD9 : en augmentant le volume d'eau, il augmente la concentration.

Pour l'ensemble des onze questions diagnostiques, il répond correctement uniquement à deux questions (QD2 et QD6.1.).

Il est le seul à commettre une erreur à la question 7 où il lui est demandé dans quel cas la concentration en sucre d'un café sucré est la plus élevée. Il est également l'un des rares à se tromper à la question 11 où il doit comparer les plages de couleur de deux solutions (nous l'avions alors déjà cité) :

Copie 2 (QD11) : « *Moins il y a de mole par litre, plus il y a de concentration.* »

Ses réponses ne montrent pas de cohérence apparente entre elles et elles ne permettent pas de comprendre le dysfonctionnement à l'origine de l'erreur.

Cette question permet de conclure que pour l'ensemble des élèves interrogés, il est évident qu'il faut ajouter du sucre plutôt que d'ajouter de l'eau pour augmenter la concentration d'une solution d'eau sucrée. Dans le contexte de cette question, le procédé qui vise à concentrer une solution par ajout de soluté semble acquis.

Le dernier groupe de questions diagnostiques s'intéresse à la comparaison de solutions qui diffèrent par un ou plusieurs paramètres (la quantité de soluté et/ou le volume de solution ou encore la concentration).

2.5. Comparaison de solutions

Quatre questions demandent de comparer des solutions quant à leur concentration ou à la quantité de soluté dissoute en fonction d'un certain volume total.

La question diagnostique 7 propose de comparer des solutions dans une situation simple de la vie quotidienne.

Question diagnostique 7

Dans quel cas la concentration en sucre du café est-elle la plus élevée (coche la bonne réponse et justifie ton choix) :

- 1. Un sucre dans une demi-tasse***
- 2. deux sucres dans une tasse***
- 3. deux sucres dans une demi-tasse***
- 4. un demi-sucre dans une demi-tasse***

La proposition correcte est la **proposition 3**.

Pour répondre correctement, l'élève doit à la fois considérer la quantité de soluté (le sucre) et également le volume de solution (le café sucré) qui tous les deux varient selon la proposition.

Le tableau 12 reprend une synthèse des réponses apportées à la QD7 (annexe 10).

QD7	Nombre d'élèves (N = 70)	Fréquence %
Choix corrects (proposition 3)	68	97,2
Choix incorrects	2	2,8
Proposition 1	0	
Proposition 2	1	
Proposition 4	1	

Tableau 12. Synthèse des réponses à la question diagnostique 7 (QD7).

Seuls deux élèves se trompent dont l'élève dont nous avons déjà analysé les réponses précédemment (copie 2).

Au total, 97,2% des élèves répondent donc correctement. Toutefois, l'analyse des justifications met en évidence que seuls 35,7% des élèves justifient correctement en utilisant l'une des deux stratégies suivantes :

1. le répondant précise que la concentration sera la plus élevée pour la tasse où il y a le plus de sucre pour le plus petit volume de café sucré :

Copie 19 : « Le plus grand nombre de sucres dans un plus petit volume nous donne la concentration la plus élevée. »

Quatorze élèves utilisent cette stratégie.

2. l'interrogé rapporte la quantité de sucre au même volume de café sucré pour chacune des quatre propositions et il choisit la quantité de sucre la plus grande :

Copie 21 : « *Car si on met tout en une tasse :*

1 : 2 sucres dans une tasse, 2 : 2 sucres dans une tasse, 3 : 4 sucres dans une tasse, 4 : 1 sucre dans une tasse. »

Onze élèves utilisent cette stratégie.

La plupart des quarante-trois autres justifications n'expliquent pas pourquoi la solution de la proposition 3 est la plus concentrée. Les élèves ne rapportent pas la quantité de sucre au volume de la tasse :

Copie 40 : « *Car il y a plus de matière. »*

Copie 59 : « *Plus la quantité de solvant diminue plus la concentration en sucre augmente. »*

La question diagnostique 7 dont le contexte est une situation simple de la vie quotidienne ne pose pas de problème à la plupart des apprenants mais nous notons une fois encore que faire appel au caractère intensif de la concentration en rapportant la quantité de soluté au volume de solution n'est pas spontané.

Les questions diagnostiques 6.2 et 6.3 demandent une mobilisation des ressources cognitives plus importante. Elles permettent de mieux comprendre les stratégies utilisées par les apprenants face à des questions plus complexes.

Question diagnostique 6

La question 6 est scindée en trois sous-questions dont la première a déjà été traitée dans le cadre des mélanges de solution.

Les questions diagnostiques 6.2. et 6.3 sont liées : elles demandent de comparer deux solutions mais la première s'intéresse à la quantité de matière dissoute et la seconde à la concentration en soluté des solutions.

Question diagnostique 6.2

Réponds par vrai ou faux et justifie :

100 mL d'une solution de glucose de concentration 0,10 g/L contiennent la même quantité de matière que 50 mL d'une solution de glucose de 0,20 g/L

La réponse correcte est « **Vrai** ».

Le tableau 13 reprend une synthèse des réponses apportées à la QD6.2 (annexe 8).

QD6.2	Nombre d'élèves (N = 70)	Fréquence %
Réponses correctes	31	44,3
Réponses incorrectes	34	48,6
Absence de réponse	5	7,1

Tableau 13. Synthèse des réponses à la question diagnostique 6.2 (QD6.2).

Question diagnostique 6.3

Réponds par vrai ou faux et justifie :

Une solution dont 5 mL contiennent m grammes de sucre est 10 fois plus concentrée qu'une solution dont 50 mL contiennent la même masse m de sucre

La réponse correcte est « Vrai » .

Le tableau 14 reprend une synthèse des réponses apportées à la QD6.3 (annexe 9).

QD6.3	Nombre d'élèves (N = 70)	Fréquence %
Réponses correctes	62	88,6
Réponses incorrectes	3	4,3
Absence de réponse	5	7,1

Tableau 14. Synthèse des réponses à la question diagnostique 6.3 (QD6.3).

L'énoncé de la QD6.2 donne le volume et la concentration de deux solutions et il demande de comparer la quantité de matière qu'elles contiennent. L'énoncé de la QD6.3 donne le volume et la masse de soluté de chacune des solutions et demande de comparer leur concentration.

Ces questions ne sont pas simples du point de vue cognitif puisqu'elles demandent d'intégrer simultanément plusieurs valeurs numériques.

Pour réduire cette difficulté, nous avons choisi de prendre des volumes et des concentrations dont le rapport entre les deux solutions est simple (deux, dix ou un-demi).

Choix corrects pour QD6.2 et 6.3

Les fréquences des choix corrects de réponse sont respectivement 44,3% et 88,6% pour les questions QD6.2 et QD6.3. La fréquence est donc double pour la QD6.3.

L'analyse des justifications montre toutefois que pour les deux questions, peu d'élèves justifient correctement leur choix. La fréquence de justifications correctes est même moitié moindre pour la question QD6.3.

Le tableau 15 synthétise les catégories de justifications apportées par les répondants qui répondent correctement aux questions QD6.2 et 6.3 en fonction du fait qu'elles sont correctes, imprécises ou erronées.

	Choix corrects de réponse	Justifications (N = 70)	
		Correctes	Imprécises ou erronées
QD6.2	31/70 (44,3%)	11 (15,7%)	20 (28,6%)
QD6.3	62/70 (88,6%)	6 (8,6%)	56 (80,0%)

Tableau 15. Synthèse des catégories de justifications aux questions diagnostiques 6.2 et 6.3 pour lesquelles le choix de réponse est correct.

Pour la QD6.2, les justifications correctes se classent en deux catégories de stratégies :

1. l'élève explique que le double d'un volume d'une solution deux fois moins concentrée contient autant de quantité de matière que la moitié d'un volume deux fois plus concentré. Certains utilisent cette stratégie en l'exprimant mathématiquement.

Cinq des septante élèves utilisent cette stratégie (copies 12, 18, 56, 63 et 65):

Copie 18 : « Si on divise le volume par deux, pour avoir une égalité il faut augmenter proportionnellement la concentration massique. »

Copie 56 : « $100.10 = 50.20$ »

2. l'élève calcule la masse de glucose pour chacune des solutions et les compare : chaque solution contient 0,010 g de glucose et la quantité de matière de glucose est donc la même.

Six élèves utilisent cette stratégie (copies 35, 43, 49, 51, 54 et 64) :

Copie 35 : « car $0,10/10 = 0,010$ g (car $100 \text{ mL} = 1 \text{ L}/10$) et $0,20/20 = 0,010$ g aussi »

Copie 51 : « $0,10.0,1 = 0,01$ et $0,05.0,20 = 0,01$ »

Pour la QD6.3, les six justifications considérées correctes utilisent toutes une stratégie utilisant les outils mathématiques pour montrer que les masses de soluté sont égales dans les deux solutions (copies 32, 35, 44, 49, 51 et 54) :

Copie 35 : « Oui car $(5/m).10 = 50/m \rightarrow 50/m = 50/m \rightarrow 50m = 50m \rightarrow m = m$ »

Seuls quatre élèves des septante répondent correctement en justifiant correctement aux deux questions (copies 35, 49, 51 et 54).

Les autres élèves qui répondent correctement « vrai » aux deux questions mais dont les justifications sont imprécises ou erronées sont majoritaires notamment pour la QD6.3. Pour cette question, ils n'utilisent pas une stratégie qui prouve le facteur dix entre les deux concentrations :

Copie 4 : « Car plus le volume est petit → moins il y a de place pour le sucre → plus de concentration. »

Copie 11 : « C'est plus concentré car dans un plus petit volume. »

Copie 26 : « Car il y a la même masse mais il n'y a pas le même volume donc là où le volume est plus petit, la concentration est plus grande. »

Ces élèves utilisent une stratégie liée à une habitude de causalité proportionnelle que nous avons déjà mise en évidence pour la question 6.1 (mélange de solutions de même concentration). Leur justification est imprécise voire erronée mais cette stratégie les amène à choisir la proposition correcte « vrai ». Notons que cette même stratégie amène à une réponse incorrecte pour la QD6.1.

Choix incorrects pour QD6.2. et 6.3

Pour la QD6.2, 48,6% des élèves répondent que 100mL d'une solution de glucose à 0,10 g/L ne contiennent pas la même quantité de matière que 50mL d'une solution 0,20 g/L ce qui est incorrect.

Une justification erronée récurrente se retrouve parmi 29% de l'ensemble des interrogés. Ils expliquent que la quantité de matière sera différente car les coefficients de proportionnalité entre les quatre valeurs prises deux à deux, ne sont pas égaux.

La figure 20 est un exemple de cette stratégie.

100 mL d'une solution de glucose de concentration 0,10 g/L contiennent la même quantité de matière que 50 mL d'une solution de glucose de 0,20 g/L	F	$\begin{array}{l} 100\text{ mL} \rightarrow 0,10\text{ g/L} \\ :2 \downarrow \quad 50\text{ mL} \rightarrow 0,20\text{ g/L} \downarrow \times 2 \\ \text{Pas proportionnel} \end{array}$

Figure 20. Réponse donnée à la copie 19 pour la question diagnostique 6.2 (QD6.2).

Ces élèves se rendent bien compte que le volume est divisé par deux entre les deux solutions alors que les concentrations sont elles doublées mais plutôt que d'en déduire que les quantités de glucose seront les mêmes dans chaque solution, ils répondent erronément que puisque les coefficients de proportionnalité ne sont pas égaux alors les quantités de glucose seront différentes.

La stratégie de réponse semble liée à l'habitude de poser les valeurs de l'énoncé sous forme d'une règle de trois. L'élève cherche à établir une proportionnalité entre ces valeurs. Nous décelons ici des automatismes tels que : « Si le volume est divisé par deux alors la concentration doit être divisée par deux aussi » ou « Si la concentration double alors le volume doit doubler aussi ». Nous les associons aux règles intuitives du type « Less A then less B » ou « More A then more B ».

D'autres élèves qui répondent incorrectement « faux » (six élèves des septante soit 8,6%) justifient également en utilisant l'automatisme « More A

then more B » mais « *B* » est remplacé par « *la quantité de glucose* » (« *A* » reste « *le volume* » ou « *la concentration* ») :

Copies 1 et 16 : « *Si la concentration est plus grande alors la quantité de glucose est plus grande.* »

Copies 3, 5, 28 et 69 : « *Si le volume est plus grand alors la quantité de glucose est plus grande.* »

Les questions diagnostiques 6.2 et 6.3 demandent une mobilisation cognitive importante du fait du nombre de valeurs numériques de leur énoncé. Il semble que dans tous les cas, des stratégies de réponses impliquant des habitudes du type causalité proportionnelle soient utilisées par une majorité des élèves pour faciliter le choix de réponse « vrai » ou « faux ». Dans le cas de la QD6.3, l'utilisation d'une habitude telle que « *More A then more B* » permet de choisir la bonne proposition. Ce n'est plus le cas pour la QD6.2 où cette même habitude peut conduire à un choix de proposition erroné (comme c'était le cas pour la QD6.1).

La façon de poser la question influence donc fortement le nombre de réponses correctes sans influencer la stratégie employée. Pour la question diagnostique 6.3, le facteur donnant le rapport entre les concentrations est donné et il correspond aussi au rapport entre les volumes qui apparaissent dans l'énoncé. La règle intuitive « *More A then more B* » est utilisée mais elle permet de répondre sans commettre d'erreur ce qui n'était pas le cas pour la question 6.2 où le rapport entre les concentrations n'est pas donné et où les valeurs ont un rapport inverse entre elles.

La question diagnostique 10 clôture l'analyse des questions diagnostiques. Elle est une question classique posée dans le cadre d'exercices sur la concentration chimique et la vérification de l'acquisition du caractère intensif de la concentration.

La concentration massique d'une solution sucrée est donnée (10 g/L) et il est demandé à l'élève de donner la concentration d'un dixième en volume de cette même solution.

Question diagnostique 10

Un litre d'une solution sucrée a une concentration de 10 g/L.

Quelle est la concentration en sucre de seulement 100 mL de cette solution ? Explique ta démarche.

La concentration correcte est 10 g/L (la concentration ne change pas).

Le tableau 16 reprend une synthèse des réponses apportées à la QD10 (annexe 13).

QD10	Nombre d'élèves (N = 70)	Fréquence %
Réponses correctes	33	47,1
Réponses incorrectes	31	44,3
Absence de réponses	6	8,6

Tableau 16. Synthèse des réponses à la question diagnostique 10 (QD10).

Cette question est très intéressante car elle teste directement le caractère intensif de la concentration.

Un sujet qui a intégré l'intensité de la grandeur concentration ne doit réaliser aucun calcul pour trouver que la concentration reste égale à 10 g/L.

Moins d'un quart des élèves (16 sur 70) répond correctement et spontanément que la concentration de 100mL de solution est identique à la concentration d'un litre de la même solution sans réaliser de calcul.

Un autre quart des élèves (15 sur 70) fournit un résultat final de 1 g/100 mL en justifiant que « *puisque le volume est 10 fois plus petit alors la masse aussi* ».

La figure 21 tirée d'une copie d'élève, montre la règle de trois appliquée par ces élèves. La réponse numérique est correcte (les proportions 10 g/L et 1 g/100 mL sont égales) mais ces élèves ne signalent à aucun moment que la concentration reste identique.

Handwritten student work for Figure 21 showing a proportion: $10\text{g} \rightarrow 1000\text{ ml}$ and $1\text{g} \rightarrow 100\text{ ml}$, with a division symbol and '10' on the right.

Figure 21 : Extrait d'une réponse d'élève à la question 10 du questionnaire diagnostique (copie 8).

Presque un élève sur deux (31/70) répond de façon erronée que la concentration varie et dix-sept d'entre eux (soit un autre quart des répondants) justifient par « *puisque le volume est 10 fois plus petit alors la concentration aussi* ».

La figure 22 tirée d'une copie d'élève montre la règle de trois appliquée. Elle est très similaire à celle expliquée ci-dessus mais cette fois, la réponse à laquelle elle aboutit est incorrecte.

Handwritten student work for Figure 22 showing a proportion: $1\text{L} \rightarrow 10\text{g/L}$ and $100\text{ ml} \rightarrow 1\text{g/L}$, with division symbols and '10' on the sides.

Figure 22 : Extrait d'une réponse d'élève à la question 10 du questionnaire diagnostique (copie 58).

La question diagnostique 10 permet de confirmer les résultats obtenus à la question 6. Une stratégie de réponse est souvent utilisée par les apprenants. Elle consiste à mobiliser une habitude du type causalité proportionnelle et à poser une règle de trois. Selon la façon de poser la règle autrement dit selon le choix des paramètres fait par l'élève, la réponse aboutit ou non à une réponse correcte.

Conclusion partielle pour les questions demandant de comparer des solutions

Une question qui propose plusieurs valeurs numériques liées entre elles demandent une mobilisation importante des capacités cognitives de l'élève qui doit y répondre.

Les stratégies de réponse sont souvent intuitives et mobilisent une habitude telle que la causalité proportionnelle. Les élèves emploient des règles intuitives du type « *More A then more B* » ou « *Less A then less B* ». Ces stratégies peuvent s'avérer pertinentes ou non selon la façon de poser la question mais aussi pertinentes ou non selon la façon de l'appliquer à un même exercice.

L'utilisation de ces règles intuitives dans le cadre de questions sur la concentration montre que l'élève ne raisonne pas toujours en se référant au concept lui-même soit parce que la notion pivot telle que l'intensivité de cette grandeur n'est pas assimilée soit parce que ces stratégies sont rapides et parfois efficaces (ou les deux à la fois).

3. Bilan des questions diagnostiques et catégorisation des erreurs récurrentes

Résumons les points essentiels qui ont émergé de l'analyse des questions diagnostiques posées à septante élèves de grades 10 à 12 lors la première phase de la recherche.

Déduisons-en les erreurs récurrentes commises par les élèves qui répondent à des questions sur la grandeur concentration chimique :

1. Pour définir le concept de concentration, pratiquement aucun élève n'explicite spontanément le volume de solution (QD1) et fréquemment, on note une assimilation du volume de solution au volume de solvant (QD4).

Une première erreur récurrente est donc liée au volume considéré pour le calcul d'une concentration : il n'est pas celui de la solution.

2. Un élève sur deux n'envisage pas spontanément la concentration comme un rapport (QD1). De même, l'intensivité de la grandeur concentration n'est pas facilement assimilée (QD3 - QD6 - QD8 - QD10).

Une deuxième erreur récurrente est directement liée au caractère intensif de la grandeur concentration : la concentration n'est pas comprise comme une proportion.

3. Les termes « *soluté* », « *solution* » et « *solvant* » qui sont spécifiques au vocabulaire utilisé dans le cadre d'une solution et du calcul de sa concentration sont très rarement utilisés spontanément (QD1).

Ainsi, le vocabulaire adéquat (soluté, solvant, solution) n'est pas toujours correctement utilisé.

4. Des valeurs numériques dans l'énoncé impliquent pour de nombreux apprenants l'utilisation d'habitudes intuitives telles que « *More A then more B* » ou « *Less A then less B* ». Selon la formulation de l'énoncé ou la façon d'appliquer ces règles, leur emploi peut être pertinent ou non et ainsi conduire ou non à la réponse correcte (QD6 et QD10).

Le calcul de la concentration ou des valeurs liées (volumes et quantité de soluté) est le résultat d'une procédure incorrecte qui découle de la mobilisation ou de l'utilisation non pertinente d'une habitude intuitive. Par la suite, nous appellerons cette erreur récurrente : la concentration est le résultat d'un calcul incorrect.

5. Une cinquième erreur récurrente vient de l'utilisation ou de la conversion incorrecte des unités (QD3).

Ainsi, l'analyse de l'ensemble des réponses permet de mettre en évidence cinq erreurs fréquemment commises.

Le tableau 17 énonce chacune de ces erreurs et pour chacune d'elle, nous attribuons une lettre grecque qui sera reprise dans la suite du manuscrit.

1	Le volume considéré n'est pas celui de la solution	α
2	La concentration n'est pas comprise comme une proportion	β
3	Le vocabulaire adéquat (soluté, solvant, solution) n'est pas correctement utilisé	γ
4	La concentration est le résultat d'un calcul numérique incorrect	δ
5	Les unités utilisées sont incorrectes	ε

Tableau 17. Les cinq erreurs récurrentes commises par les apprenants qui répondent à des questions sur la grandeur concentration chimique.

Cette première phase a permis de répondre en partie à la première question de recherche QR1 : « *Quelles erreurs récurrentes sont commises par les apprenants lorsqu'ils répondent à des questions sur la concentration chimique impliquant les notions pivots de ce concept ?* ».

Les deux premières erreurs α et β mises en évidence sont directement liées aux notions pivots : le volume sur lequel rapporter la quantité de soluté et l'intensivité de la grandeur concentration.

Les réponses données par les élèves aux questions diagnostiques ont montré que les erreurs liées à ces éléments sont très fréquentes. L'acquisition du concept de concentration est dans ce cas compromise.

Les erreurs α , β et γ sont spécifiques au concept de concentration chimique alors que les erreurs δ et ε sont plus générales aux calculs en sciences.

Sur base des cinq erreurs récurrentes mises en évidence, un questionnaire à choix multiples et réponse unique a été créé. C'est le sujet de la partie suivante. L'objectif est de préciser la réponse à cette première question de recherche.

CHAPITRE 3. LE QUESTIONNAIRE À CHOIX MULTIPLES ET RÉPONSE UNIQUE POUR UNE QUANTIFICATION DES ERREURS ET PERMETTRE UNE AUTOÉVALUATION

Le questionnaire diagnostique a permis de faire émerger cinq erreurs récurrentes commises par des élèves qui répondent à des questions sur le concept de concentration chimique.

Une deuxième étape est de construire un questionnaire à choix multiples et réponse unique (QCM) qui tienne compte des cinq erreurs récurrentes.

Sa passation doit permettre de quantifier les fréquences de réponses correctes et incorrectes pour chacune des questions posées afin de compléter la réponse à la première question de recherche relative à la mise en évidence des difficultés des apprenants lorsqu'ils sont face au concept de concentration chimique.

L'explicitation dans le cadre d'entretiens, des choix effectués parmi les propositions multiples du questionnaire peut permettre également d'exprimer les dysfonctionnements cognitifs à l'origine des erreurs commises.

D'autre part, nous pensons que le QCM est un outil facile d'utilisation permettant à chaque élève d'auto-diagnostiquer les erreurs qu'il commet lorsqu'il manipule le concept de concentration chimique ; l'apprenant pourra, par la suite, s'orienter vers une remédiation différenciée.

Ainsi, la passation de ce QCM et l'analyse des fréquences obtenues pour chaque question permet de compléter les réponses à la première question de recherche mais il est aussi le dispositif de base qui permet de répondre aux questions deux et trois de recherche :

QR2 : « *Quels dysfonctionnements cognitifs sont à l'origine des erreurs commises par l'apprenant qui répond à des questions sur la concentration chimique ?* »

QR3 : « *Quel outil didactique mettre en place pour identifier rapidement les erreurs commises par un élève lorsqu'il est amené à utiliser le concept de concentration chimique ?* »

1. Méthodologie pour le questionnaire à choix multiples et réponse unique

1.1. Paramètres suivis pour la construction du QCM

L'analyse du corpus composé des réponses aux questions diagnostiques de la première étape a permis de catégoriser les erreurs récurrentes commises par les apprenants.

Dès lors, un paramètre important dans la réalisation du QCM est que chaque proposition incorrecte permette d'identifier l'erreur que commet l'élève qui la choisit. Ce paramètre explique le choix du questionnaire à choix multiples

et réponse unique. L'élève est prévenu qu'il doit sélectionner une seule proposition.

Un deuxième paramètre fondamental est lié à l'écologie de la passation du questionnaire. Sa résolution doit pouvoir avoir lieu en situation de classe réelle et doit donc être relativement courte mais complète et efficace. Sa concision est donc essentielle. Le but est de pouvoir l'utiliser pour construire un outil d'auto-évaluation que chaque enseignant pourra donner à ses élèves comme première étape de la stratégie didactique visant à améliorer l'apprentissage du concept de concentration chimique.

Au total, quinze questions à choix multiples et réponse unique ont été construites sans demande de justification.

Le questionnaire complet tel qu'il a été proposé aux élèves est en annexe 15.

Les questions du QCM interrogent soit sur :

- la définition que l'élève attribue au concept de concentration ou au vocabulaire employé lors de la manipulation de solutions : QCM1, 2, 3 et 4 ;
- l'interprétation de représentations iconographiques de solutions : QCM7 et 10 ;
- des calculs centrés sur des savoir-faire :
 - mélange de solutions : QCM15
 - dissolution de solutés : QCM5, 8, 9, 11 et 12
 - comparaison de solutions : QCM6 et 14
- la façon de préparer une solution : QCM13.

Les réponses incorrectes ont été rédigées de façon à être directement liées à une ou plusieurs erreurs récurrentes mises en évidence grâce aux questions diagnostiques (erreurs α , β , γ , δ et ε). Un élève qui choisit parmi une proposition incorrecte commet donc une ou plusieurs erreurs.

Le croisement de toutes les réponses incorrectes données par un élève permet de mettre en évidence ses difficultés face au concept de concentration chimique.

Nous sommes conscients que idéalement, chaque proposition de réponse ne devrait diagnostiquer qu'un seul type d'erreur mais notre choix a été de construire des propositions incluant plusieurs catégories d'erreurs pour mettre en évidence en un minimum de questions, un maximum d'erreurs commises ; nous pensons, en effet, que l'interrogé adhère à la proposition qu'il choisit.

Pour limiter les erreurs liées aux conversions d'unités, les volumes donnés en millilitres sont précisés, entre des parenthèses, en litres.

La majorité des questions ont une proposition « *Je ne sais pas* » afin de réduire le nombre de questions sans réponse.

Le tableau 18 précise les erreurs associées aux questions du QCM.

Enoncés des erreurs récurrentes	Lettre grecque associée à l'erreur	Questions du QCM
Le volume considéré n'est pas celui de la solution	α	Q1, Q4, Q9 et Q13
La concentration n'est pas comprise comme une proportion	β	Q1, Q3, Q6, Q7, Q10, Q14 et Q15
Le vocabulaire adéquat (soluté, solvant, solution) n'est pas correctement utilisé	γ	Q1, Q2 et Q4
La concentration est le résultat d'un calcul numérique incorrect	δ	Q3, Q5, Q8, Q9, Q11 et Q12
Les unités utilisées sont incorrectes	ε	Q5, Q6, Q8 et Q9

Tableau 18. Les 15 questions du QCM associées à chaque catégorie d'erreur.

Le tableau 19 précise pour chaque question (Q1 à Q15), les erreurs commises (α , β , γ , δ et ε) par l'élève en fonction de la proposition incorrecte qu'il choisit (propositions a, b, c, d, e ou f).

Par exemple, pour la question 1 (Q1 : « *Quelle expression correspond le mieux au concept de « concentration chimique ?* »), si un élève choisit la proposition « a » (« *Quantité de soluté dans un volume de solvant* »), il commet deux erreurs : il ne considère pas le volume de solution (erreur α) et il n'associe pas à la concentration, la notion de proportion (erreur β).

	a		b	c		d			e	f
Q1	α	β		γ	β	α	γ	β		
Q2	γ		γ			γ			-	-
Q3	δ	β		δ		δ			δ	-
Q4			α	γ						-
Q5			δ	ε		δ			δ	-
Q6			β	ε	β					-
Q7	β		β						-	-
Q8			δ	δ		δ	ε		δ	δ
Q9	α	ε	α	α	δ	ε				-
Q10	β		β	β						
Q11	δ			δ		δ			δ	-
Q12			δ	δ		δ			δ	-
Q13	α		α			α				
Q14	β		β							-
Q15	β			β		β				

Tableau 19. Mise en évidence des erreurs commises (α , β , γ , δ et ε) par choix d'une réponse incorrecte (a, b, c, d, e ou f) aux 15 questions du QCM
Les cases grisées correspondent aux propositions correctes.

1.2. Chronologie de la passation du QCM et participants

Entre novembre 2013 et mai 2014, le questionnaire a été proposé à 199 élèves de quatre écoles différentes (15-18 ans, grades 10 à 12). Les écoles se situent dans les Provinces du Hainaut et de Namur. Aucune distinction de sexe n'a été réalisée.

Un groupe de 24 étudiants en préparation à l'Agrégation de l'Enseignement Secondaire Supérieur en sciences²⁸ a également répondu aux 15 questions.

Au total, le QCM a été soumis à 223 apprenants.

Les interrogés disposaient de la durée qui leur était nécessaire pour répondre aux quinze questions soient 20 à 25 minutes. Seuls quelques élèves ont eu besoin de 30 minutes. Cette durée correspond à environ une demi-période de cours du secondaire.

Les fréquences obtenues pour chaque proposition de chaque question sont en annexe 16.

Pour les questions où les élèves ont répondu à l'ensemble du questionnaire, l'effectif est de 223. Pour quelques questions, un voire deux élèves n'ont pas choisi de proposition. L'effectif est alors inférieur (222 ou 221).

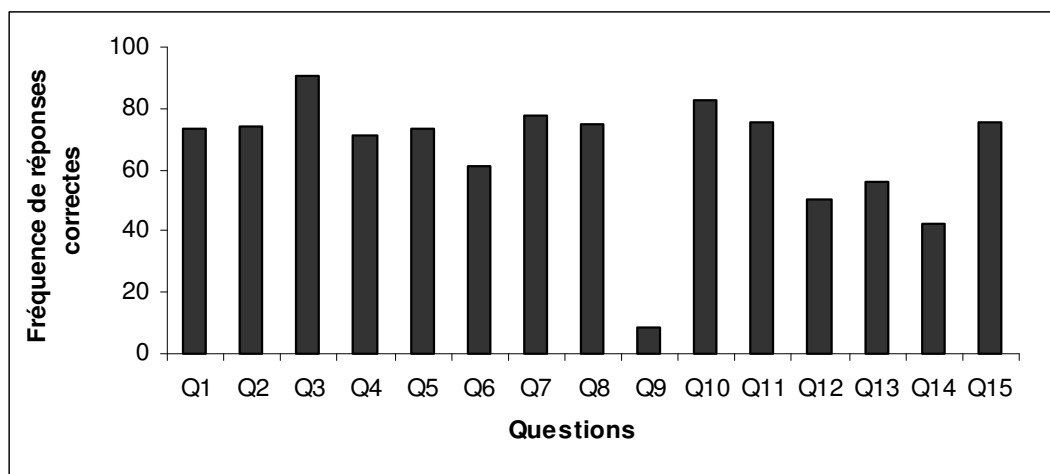
Pour la question 10 (appelée QCM10), l'effectif est de 74. En effet, pour la passation des 149 premiers QCM, son énoncé était différent (QCM10_{bis}). Nous expliciterons ce point lors de l'analyse de cette question.

²⁸ Les étudiants qui préparent l'Agrégation de l'Enseignement Secondaire Supérieur (AESS) en sciences ont un master dans le domaine scientifique (études secondaires + 5 ans) et ils poursuivent une année d'étude supplémentaire pour développer leur capacité à enseigner (modules de didactique en sciences et de pédagogie ainsi que des stages passifs et actifs en classes du secondaire supérieur).

2. Fréquences obtenues pour les réponses correctes au QCM et analyse

Dans cette partie, nous ne présentons que les fréquences associées aux réponses correctes et leur analyse. La partie suivante sera consacrée à l'analyse des réponses incorrectes.

La fréquence des réponses correctes pour chaque question est reprise dans le graphique 1.



Graphique 1. Fréquence de réponses correctes obtenue par question du QCM.

2.1. Questions du QCM avec le meilleur score (>90% de réussite) et le moins bon score (<10% de réussite)

La question 3 du QCM est la question la mieux réussie. Voici son énoncé :

3. Quelle est la bonne expression mathématique de la concentration molaire d'un soluté ? (avec n la quantité de matière, V le volume et C la concentration) :

- a. $C = n \cdot V$
- b. $C = n / V$
- c. $C = V / n$
- d. Aucune des possibilités
- e. Je ne sais pas

La proposition correcte est la **proposition b**.

Parmi les 221 élèves ayant répondu à cette question, 91% reconnaissent la bonne expression mathématique de la concentration molaire.

Ainsi, l'expression « $C = n/V$ » qui correspond à une représentation symbolique de la concentration semble être une image bien imprégnée dans la tête des élèves.

Pourtant à la question diagnostique QD1, « *Qu'est-ce que la concentration chimique ?* », seuls six élèves sur septante avaient posé spontanément cette expression mathématique de la concentration.

A l'inverse, la question 9 du QCM est la moins bien réussie. Son énoncé est le suivant :

9. Une solution est préparée en dissolvant 100 g de chlorure de sodium NaCl dans 500 mL (0,500 L) d'eau. Quelle est la concentration massique en NaCl obtenue ?

- a. 0,200 g/L
- b. 200 g/L
- c. 5,00 mL/g
- d. *Il manque des informations pour répondre*
- e. *Aucune des possibilités*

La proposition correcte est la **proposition d**.

Seuls 8,5 % des élèves remarquent que le volume de solution n'est pas fourni et choisissent la proposition « *Il manque des informations pour répondre* ». En effet, le calcul de la concentration massique qui est demandé est impossible à réaliser puisque seul le volume de solvant est donné.

Nous n'avons pas souhaité piéger les élèves et c'est pourquoi la masse de soluté est élevée (100 g) pour un volume de 500 mL d'eau. Nous sommes toutefois bien en dessous de la limite de solubilité du chlorure de sodium dans l'eau à température ambiante qui est de 358,5 g/L à 20°C.

Le volume de solution après ajout des 100 g de chlorure de sodium dans 500 mL d'eau déminéralisée est d'environ 550 mL à température ambiante : l'augmentation de volume n'est donc pas négligeable. Le volume de solvant et le volume de solution ne sont pas assimilables.

En prenant en compte le volume de solution, la concentration massique de chlorure de sodium n'est pas de 200 g/L mais de 182 g/L. L'erreur commise sur le calcul de la concentration avoisine les 10%.

Répondre correctement à cette question implique de choisir la proposition « *Il manque des informations pour répondre* ». Une hypothèse qui pourrait expliquer le taux élevé de réponses incorrectes serait la difficulté des élèves à rompre le contrat didactique qui implique que « *A toute question, l'intitulé donne les informations pour y répondre* ». Mais cette hypothèse n'est pas vérifiée à la question 7 du QCM où presque 80% des élèves osent aller contre ce contrat en choisissant cette même proposition « *Il manque des informations pour répondre* ».

Nous développerons les erreurs commises dans le cadre de cette QCM9 dans le paragraphe consacré à l'analyse des réponses incorrectes.

2.2. Questions du QCM interrogeant sur la définition de la concentration et sur son vocabulaire spécifique

Les quatre premières questions du QCM interrogent directement sur la définition que donnent les interrogés au concept de concentration chimique. Nous reprenons ci-dessous leur énoncé et les fréquences de réponses correctes associées.

Question 1 du QCM

- 1. Quelle expression correspond le mieux au concept de « concentration chimique » :**
- a. Quantité de soluté dans un volume de solvant**
 - b. Rapport entre une quantité de soluté et le volume de solution**
 - c. Grande quantité de soluté dans une solution**
 - d. Molécules de soluté qui se regroupent dans un solvant**
 - e. Aucune des possibilités**
 - f. Je ne sais pas**

La proposition correcte est la **proposition b.**

Pour cette question, trois élèves sur quatre (73,5%) choisissent correctement que la concentration chimique est le « *rapport entre une quantité de soluté et le volume de solution* ».

La question 2 du QCM vise à vérifier que l'élève utilise les termes corrects dans le contexte de la préparation d'une solution : « *soluté* », « *solvant* » et « *solution* » :

- 2. Une recette de cuisine pour préparer du caramel consiste à peser du sucre, y ajouter de l'eau puis chauffer lentement pendant quelques minutes. Quelle proposition ci-dessous est correcte ?**
- a. L'eau est le soluté et le sucre est le solvant**
 - b. Le sucre est le soluté et l'eau est la solution**
 - c. L'eau sucrée est la solution**
 - d. Aucune des possibilités**

La proposition correcte est la **proposition c.**

La fréquence de réponses correctes est égale à celle obtenue pour la première question puisque trois élèves sur quatre (74,3%) choisissent la proposition qui définit l'eau sucrée comme la solution obtenue après mélange de sucre et d'eau.

Comme nous l'avons déjà analysé, la question 3 du QCM qui demande de choisir la bonne expression mathématique de la concentration molaire ($C = n/V$) ne pose pas de problème à 91% des répondants.

La seule différence entre la QCM1 et la QCM3 est liée à la façon d'exprimer la définition du concept de concentration massique : pour la QCM1 (73,5% de réponses correctes), il s'agit de l'exprimer littéralement (« *rapport entre une*

quantité de soluté et le volume de solution ») et dans la QCM3, une expression mathématique traduit cette même expression littérale (« $C = n/V$ »).

Nous mettons ici en évidence le fait que reconnaître une expression mathématique amène un meilleur score que reconnaître une même expression littérale. De Berg (2012) montre que compléter les expressions verbales de représentations submicroscopiques de la matière permet une meilleure visualisation des phénomènes chimiques par les apprenants.

De même, il semble intéressant, lors de la transposition didactique de la grandeur concentration chimique, de compléter les expressions littérales qui définissent ce concept par des représentations mathématiques qui permettraient de mieux le mémoriser. Toutefois, nous ne mettons rien en évidence quant à leur meilleure acquisition. Rappelons d'ailleurs ici que cette expression mathématique n'est pas utilisée par les élèves à qui il est demandé de définir la grandeur concentration.

Quant à la question 4 du QCM, il est demandé aux interrogés de choisir la proposition qui explicite le symbole « V » dans l'expression mathématique de la concentration :

- 4. Dans l'expression de la concentration C , que représente V ?**
- a. *Le volume de solution*
 - b. *Le volume de solvant*
 - c. *Le volume de soluté*
 - d. *Aucune des possibilités*
 - e. *Je ne sais pas*

La proposition correcte est la proposition a.

A peine moins de trois élèves sur quatre (71,3%) choisissent la bonne proposition « *le volume de solution* ». Ce résultat tranche avec ceux obtenus aux questions diagnostiques où très peu d'élèves expriment spontanément la concentration en fonction du volume de solution.

2.3. Questions du QCM utilisant des représentations iconographiques

Les énoncés des QCM7 et 10 contiennent des représentations iconographiques de solutions.

La question 7 du QCM reprend pratiquement le même énoncé que la question diagnostique 11 :

7. Observez les 2 solutions suivantes :

Solution A

Solution B

Quelle est la solution la plus concentrée ?

- a. La solution A
- b. La solution B
- c. Il manque des informations pour répondre
- d. Aucune des possibilités

La proposition correcte est la proposition c.

Une différence majeure et voulue existe entre la QD11 et la QCM7 puisque pour cette dernière les concentrations molaires ne sont plus indiquées en dessous des solutions. Nous voulons, à travers cette question, tester comme nous l'avons fait pour la QD11, si les élèves utilisent une habitude interprétative du type « *Plus foncé donc plus concentré* ». En enlevant les concentrations molaires, notre hypothèse était que cette habitude serait davantage mobilisée.

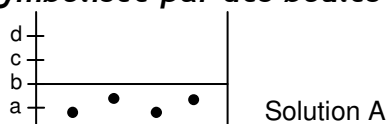
Trois quarts des élèves interrogés (77,6%) répondent correctement à cette question 7 du QCM.

Pour la question diagnostique 11, ils étaient presque 93% à choisir la bonne réponse mais seuls 78% justifiaient correctement leur choix.

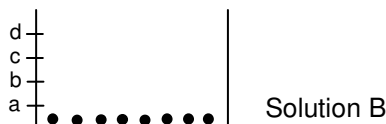
Ainsi, trois élèves sur quatre n'activeraient pas (ou inhiberaient) l'habitude « *Plus foncé donc plus concentré* » dans le cadre d'une question qui utilise des représentations de solutions sous forme de plages de couleur d'intensités différentes.

Dans la question 10 du QCM, qui est très similaire à la question diagnostique 2, le soluté est représenté par des disques noirs et le volume de solution est symbolisé par un rectangle :

10. Le schéma suivant représente une solution A où la quantité de matière dissoute est symbolisée par des boules noires.



On veut préparer une solution B de concentration identique à la solution A mais avec un nombre différent de quantité de matière dissoute.



A quel niveau doit arriver la solution B ?

- a. Niveau a
- b. Niveau b
- c. Niveau c
- d. Niveau d
- e. Aucune des possibilités
- f. Je ne sais pas

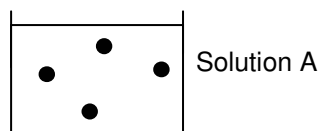
La proposition correcte est la proposition d.

Pour cette QCM10, le répondant ne doit pas donner les valeurs des volumes de solutions pour garder constante une concentration de référence (comme c'est le cas à la QD2) mais il doit choisir parmi quatre niveaux différents celui auquel une solution doit arriver pour garder constante la concentration de référence. La fréquence de réponses correctes obtenue (82,4%) confirme les résultats obtenus pour la question diagnostique 2 où presque 8 élèves sur 10 donnent des volumes corrects.

La fréquence citée ci-dessus a été obtenue sur base de 74 élèves et non 223 qui est le nombre total des élèves interrogés. En effet, les 149 premiers répondants ont été interrogés sur une autre version de l'énoncé.

La question QCM10_{bis} qui correspond à la première version de la question 10 est reprise ci-dessous :

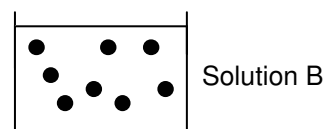
10bis. Le schéma suivant représente une solution A où la quantité de matière dissoute est symbolisée par des boules noires.



On veut préparer une solution B de concentration identique à la solution A mais avec un nombre différent de quantité de matière dissoute.

A quel niveau doit arriver la solution B ?

- a. Moitié moins
- b. Le double
- c. Egal
- d. Aucune des possibilités
- e. Je ne sais pas



La question 10 a été modifiée lorsque nous nous sommes rendu compte que la représentation iconographique de la solution B était ambiguë.

Dans la QCM10, l'élève doit prévoir le volume d'une solution B pour que sa concentration soit identique à celle d'une solution A mais pour un nombre d'entités double. La réponse attendue est de choisir la proposition « *le niveau de la solution B est double* ».

Dans la première version QCM10_{bis}, le niveau de la solution B est déjà indiqué par un trait qui se trouve au même niveau que celui de la solution A ce qui porte à confusion. Dans la deuxième version QCM10, le niveau de la solution B n'est plus indiqué et c'est à l'interrogé de prévoir où il se trouvera.

Les deux questions 7 et 10 du QCM qui utilisent des représentations iconographiques de solutions sont celles qui, après la mieux réussie (QCM3 : 91%), obtiennent les meilleurs scores (QCM10 : 82,4% et QCM7 : 77,6%).

Ces résultats confirment ceux obtenus dans la phase diagnostique initiale : les représentations iconographiques de solutions ne sont pas un frein pour répondre à des questions sur la concentration chimique. Elles semblent être même un point d'appui pour répondre correctement. Pour autant, nous n'émettons pas de conclusion quant à la meilleure compréhension du concept lui-même.

2.4. Questions du QCM demandant un calcul numérique

Les QCM5, 8, 11 et 12 demandent de calculer des concentrations massiques ou molaires ou encore des masses de soluté sur base de différentes données numériques.

Pour ne pas alourdir cet écrit, nous n'insérons pas ici les quatre énoncés (annexe 15) mais nous les synthétisons dans le tableau 20 qui donne pour chaque question : les données fournies, les valeurs à trouver, les calculs à effectuer et les fréquences de bonnes réponses obtenues.

	QCM5	QCM8	QCM11	QCM12
Données fournies	m et V	V et C_{massique}	n et V	m, V et M
Valeur à calculer	C_{massique}	m	C_{molaire}	C_{molaire}
Calculs à effectuer	m/V	$V \cdot C_{\text{massique}}$	n/V	m/(M.V)
Fréquences de bonnes réponses	73,6 %	74,9 %	75,7 %	50,2 %

Tableau 20. Données fournies, valeurs à trouver, calculs à effectuer et fréquences de bonnes réponses obtenues pour les QCM5, 8, 11 et 12.

« m » pour masse du soluté, « V » pour volume de solution, « n » pour la quantité de matière du soluté, « C_{massique} » et « C_{molaire} » pour les concentrations massique et molaire du soluté dans la solution.

Les questions 5, 8 et 11 du QCM obtiennent les mêmes scores (entre 73,6 et 75,7%). Trois élèves sur quatre calculent correctement une valeur à partir de deux données. Notons que le développement du calcul n'était pas demandé, mais de nombreux élèves ont utilisé comme brouillon les parties vides attenantes aux propositions ce qui a permis d'observer que la stratégie « règle de trois » est souvent utilisée.

Les résultats obtenus pour la question 12 du QCM sont différents. Seul un élève sur deux calcule correctement la concentration molaire C à partir de la masse m de soluté et du volume V de solution. La masse molaire M est pourtant fournie et le calcul à effectuer est : $C = n/V = m/(M.V)$.

Ainsi, le calcul d'une quantité de matière à partir d'une masse n'est pas acquis pour de nombreux élèves du secondaire supérieur. Cette transformation est pourtant fondamentale en chimie. Nous reviendrons sur ce point lors de l'analyse des réponses incorrectes.

Notons que les questions 8 et 12 du QCM sont les deux qui obtiennent le plus de réponses « Je ne sais pas » (respectivement 7,62% et 19,91%).

La QCM8 demande une transformation de formule mathématique et la QCM12 oblige deux étapes dans le calcul alors que pour les QCM5 et 11, il suffit de diviser la quantité de soluté donnée par le volume de solution fourni.

Il semble que certains élèves montrent donc une difficulté à réaliser des calculs moins directs qu'une simple application de formule.

Cette remarque nous permet de revenir à la question 9 du QCM dont nous avons analysé précédemment la fréquence de réponses correctes très réduite

(8,5%). La plupart des élèves n'ont, pour cette question, aucune réticence à diviser la masse donnée par le volume donné (volume pourtant non pertinent puisqu'il s'agit du volume de solvant).

Cette QCM9 aurait pu être reprise dans le tableau précédent puisque l'énoncé est très similaire à la QCM5. Il est demandé de calculer une concentration massique sur base d'une masse de soluté et d'un volume de solvant. Dans la question 5, le volume total (appelé « volume final ») est donné alors que dans la question 9, seul le volume d'eau (le solvant) est fourni. Pour cette dernière question, 74% des élèves fournissent une concentration massique qui aurait été considérée correcte si le volume d'eau avait été celui de solution ; fréquence tout à fait similaire à celle de la QCM5. Ces élèves ont utilisé les données fournies sans considération du volume de solution non fourni.

Les élèves semblent donc appliquer une habitude intuitive du type « *Des valeurs numériques dans un énoncé impliquent un calcul numérique dans la réponse* ». Nous pouvons cependant compléter notre analyse en précisant que cette habitude de réponse est favorisée si les données correspondent à un calcul direct sans transformation de formule mathématique.

Ajoutons ici que cette habitude de réaliser des calculs fait partie du contrat didactique implicite en sciences et qu'elle est souvent favorisée par les pratiques enseignantes.

2.5. Questions du QCM interrogeant sur l'intensivité de la grandeur concentration

Les questions 6, 14 et 15 du QCM interrogent sur le caractère intensif de la concentration chimique.

La question 6 du QCM reprend exactement dans les mêmes termes la question diagnostique 10 :

6. Un litre d'une solution sucrée a une concentration en sucre de 10 g/L. Quelle est la concentration de 100 mL (0,100 L) de cette solution ?

- a. 10 g/L
- b. 0,10 g/mL
- c. 1,0 g/L
- d. Aucune des possibilités
- e. Je ne sais pas

La proposition correcte est la proposition a.

A peine plus de six élèves sur dix (61,3%) répondent correctement.

L'analyse des réponses à la question diagnostique 10 avait permis de mettre en évidence que moins d'un élève sur quatre précise spontanément que la concentration de 100mL de la solution est égale à celle de la solution dont ce volume est prélevé. Nous avons également mis en évidence que plus d'un élève sur deux utilise une habitude du type « *Less A then less B* » et applique une règle de trois.

Cette question, simple en apparence, pose des difficultés à de nombreux répondants. Il n'est pas inné de penser qu'une partie de solution prélevée contient une même proportion de soluté au sein d'un volume plus petit que la solution de départ.

La question 15 du QCM est très similaire à la question diagnostique 3 :

15. Soient 5 solutions identiques (même soluté et même solvant) de concentration 10 g/L. On rassemble dans un même récipient les 5 solutions. La concentration finale sera :

- a. 50 g/L
- b. 10 g/L
- c. la concentration finale dépend du volume de chaque solution
- d. 2,0 g/L
- e. Aucune des possibilités
- f. Je ne sais pas

La proposition correcte est la proposition b.

Le raisonnement à appliquer est le même que lorsqu'il est demandé de donner la concentration d'une partie de solution : la concentration reste identique puisque le rapport entre la quantité de soluté et le volume de solution reste le même. Pour cette question cependant, le volume est multiplié plutôt que divisé.

Le nombre de réponses correctes est supérieur à celui obtenu lorsque le volume est divisé : presque huit élèves sur dix (75,7%) choisissent correctement la même valeur pour la concentration du mélange que celle des cinq solutions individuelles.

Ainsi la prévision de la concentration d'un mélange de plusieurs solutions identiques (en soluté, solvant et concentration) semble plus aisée que celle d'une fraction de solution.

Les entretiens d'explicitation permettront de mieux comprendre les dysfonctionnements cognitifs à l'origine de ces difficultés et des différences de stratégies de réponses pour des questions qui devraient pourtant impliquer un raisonnement similaire.

La question 14 du QCM est quant à elle très proche de la question diagnostique 6.2 :

14. Soit 200 mL d'une solution A de concentration 0,10 g/L. Quelle doit être la concentration de 100 mL d'une solution B afin d'avoir la même quantité de matière dissoute ?

- a. 0,050 g/L
- b. 0,10 g/L
- c. 0,20 g/L
- d. Aucune des possibilités
- e. Je ne sais pas

La proposition correcte est la **proposition c.**

Le raisonnement est de calculer une concentration qui permette d'obtenir un produit « C.V » égal pour chacune des solutions (avec C : la concentration molaire du soluté et V : le volume de solution).

Tout comme la question diagnostique 6.2, la difficulté de cette question est liée au nombre de données à considérer dans le même temps : la mobilisation des capacités cognitives y est importante puisque cinq données sont à assimiler.

Cependant, comme nous l'avons déjà fait à la question diagnostique 6.2, pour faciliter le calcul nous avons choisi des volumes dont le rapport est 2 et des concentrations dont le rapport est $\frac{1}{2}$.

Pour cette QCM14, à peine plus de 4 élèves sur 10 (42,8%) donnent la bonne valeur de la concentration. La fréquence de réponses correctes est la deuxième dans l'ordre des scores les plus bas obtenu au QCM.

Dans l'analyse des justifications données à la QD6.2, nous avons mis en évidence le même nombre de réponses (44,3%) mais seuls 15,7% des élèves justifiaient de façon pertinente.

Nous confirmons ici qu'assimiler plusieurs valeurs simultanément dans le cadre d'une question sur la concentration est difficile pour la majorité des apprenants.

2.6. Questions du QCM interrogeant sur la préparation d'une solution de concentration donnée

La question 13 du QCM interroge sur la façon de préparer une solution aqueuse de chlorure de sodium :

13. Pour préparer une solution aqueuse de chlorure de sodium (NaCl dans l'eau) à 2 g/L, que faut-il faire ?

- a. Placer 1 L d'eau dans une fiole et ajouter 2 g de NaCl**
- b. Placer 2 g de NaCl dans une fiole et ajouter 1 L d'eau**
- c. Placer 2 g de NaCl dans une fiole et compléter avec de l'eau jusqu'à obtenir un volume de 1 L**
- d. Les propositions a ou b parce que l'ordre d'ajout du soluté n'a pas d'importance**
- e. Aucune des possibilités**
- f. Je ne sais pas**

La proposition correcte est la **proposition c.**

Pour obtenir une solution dont la concentration est correcte, il est nécessaire de prendre en considération le volume occupé par le soluté au sein du solvant. C'est pour cette raison que le soluté est déposé dans la fiole et que le solvant est ajouté jusqu'au trait de jauge qui indique le volume total de solution.

A peine plus d'un élève sur deux (55,9%) choisit la proposition correcte. Tous les autres répondants choisissent une proposition où 2 g de soluté sont placés dans un litre de solvant.

Il est vrai que la valeur finale de la concentration sera peu différente pour cette quantité réduite de soluté mais cependant, les répondants devaient choisir la proposition la plus correcte qui était fournie et qui demandait de considérer la place occupée par le soluté dans la solution.

Nous confirmons ici que la place occupée par le soluté au sein du volume de solution n'est pas envisagée de façon innée par de très nombreux élèves.

3. Fréquences obtenues pour les réponses incorrectes au QCM et analyse

Si la fréquence des réponses correctes est une première source d'informations, l'analyse des réponses incorrectes permet d'émettre des hypothèses quant aux dysfonctionnements cognitifs à l'origine des erreurs commises.

Les entretiens d'explicitations permettront par la suite d'infirmar ou de confirmer ces hypothèses et de préciser les dysfonctionnements cognitifs.

3.1. Fréquences obtenues pour les réponses incorrectes au QCM

Le tableau 21 donne les fréquences de réponses associées à une erreur en fonction de la question posée.

Ces valeurs en pourcents correspondent au nombre d'élèves qui choisissent une proposition où l'erreur est associée par rapport au nombre de répondants pour cette question.

Par exemple, pour la question 1 du QCM, un élève qui choisit parmi les propositions a, c ou d commet une erreur β . Au total, 42 élèves parmi les 223 ayant répondu à cette question choisissent parmi l'une de ces trois propositions. La fréquence d'élèves qui commettent l'erreur β est donc de 19% pour cette question. C'est cette valeur qui est indiquée dans le tableau pour la ligne de la question Q1 et la colonne associée à l'erreur β .

	Le volume considéré n'est pas celui de solution α	La concentration n'est pas comprise comme une proportion β	Le vocabulaire adéquat n'est pas correctement utilisé γ	Calcul numérique incorrect δ	Les unités utilisées sont incorrectes ϵ
Q1	18% (a, d)	19% (a, c, d)	5,5% (c, d)		
Q2			26 % (a, b, d)		
Q3		2% (a)		9% (a, c, d, e)	
Q4	21% (b)		6 % (c)		
Q5				20% (b, d, e)	6% (c)
Q6		32% (b, c)			11% (b)
Q7		22% (a, b)			
Q8				25% (b, c, d, e, f)	1% (d)
Q9	90% (a, b, c)			8% (c)	16% (a, c)
Q10		8% (a, b, c)			
Q11				24 % (a, c, d, e)	
Q12				50% (b, c, d, e)	
Q13	38% (a, b, d)				
Q14		48% (a, b)			
Q15		23% (a, c, d)			

Tableau 21. Fréquences de réponses associées à une erreur (α , β , γ , δ et ϵ) en fonction de la question du QCM posée (Q1 à Q15). Entre parenthèses, sont précisées les propositions de la question impliquant l'erreur.

3.2. Analyse des fréquences obtenues pour les réponses incorrectes au QCM

Analysons, erreur par erreur, les difficultés des apprenants mises en évidence par le QCM face à des questions sur la concentration chimique.

3.2.1. Erreur α : Le volume considéré n'est pas celui de la solution

Les QCM1, 4, 9 et 13 dont les énoncés ont été formulés précédemment et repris en annexe 15, permettent de mettre en évidence l'erreur α .

Le tableau 22 synthétise les fréquences de réponses associées à l'erreur α et une explicitation de l'erreur commise (la proposition associée du QCM est précisée entre parenthèses).

	Fréquences de réponses associées à l'erreur α	Erreur commise
Q1	18%	La concentration est exprimée en fonction du volume de solvant (propositions a et d).
Q4	21%	Dans l'expression de la concentration C, V représente le volume de solvant (proposition b).
Q9	90%	Calculs de la concentration massique impliquant l'utilisation du volume de solvant (propositions a, b, c).
Q13	38%	Préparation d'une solution à 2 g/L de NaCl en dissolvant 2 g de NaCl dans 1 L de solvant (propositions a, b, d)

Tableau 22. Fréquences de réponses associées à l'erreur α et explicitation de l'erreur commise en fonction de la question du QCM posée.

La question 1 du QCM (« *Quelle expression correspond le mieux au concept de concentration chimique ?* ») met en évidence que un élève sur cinq (18%) définit la concentration comme une quantité de soluté au sein du solvant. Les élèves qui commettent cette erreur ne considèrent pas le volume total de solution et ainsi ne semblent pas prendre en considération le volume occupé par le soluté.

Un dysfonctionnement cognitif à l'origine de l'erreur α (« *Le volume considéré n'est pas celui de solution* ») pourrait être lié à la non considération de la place occupée par le soluté après sa dissolution au sein de la solution.

La question 4 du QCM est révélatrice du nombre d'élèves qui utilisent consciemment le volume de solvant pour le calcul d'une concentration : un élève sur cinq commet cette erreur. Ces chiffres confirment la déduction du paragraphe précédent pour la QCM1.

La question 9 du QCM est une question impliquant un savoir-faire puisqu'elle demande le calcul d'une concentration massique sur base de données numériques.

Comme nous l'avons déjà annoncé précédemment, la grande majorité des élèves (90%) calculent la concentration sans pourtant se rendre compte qu'ils ne connaissent pas le volume total de solution.

Les propositions erronées que les élèves choisissent correspondent au résultat d'un calcul utilisant les données de l'énoncé. Il est probable qu'une partie de ces élèves ne réfléchissent pas à l'absence d'une donnée pertinente (ici, le volume de solution) et appliquent une habitude du type « *Des valeurs numériques dans un énoncé impliquent un calcul numérique dans la réponse* ». Notons que cette habitude est peut-être, pour certains élèves, une clause du contrat didactique en sciences.

Ainsi, dans le cas du calcul d'une concentration massique sur base des valeurs numériques de la masse de soluté et du volume de solvant, le dysfonctionnement cognitif à l'origine de l'erreur α (« *Le volume considéré n'est pas celui de solution* ») pourrait être lié à l'application d'une habitude interprétative du type : « *Des valeurs numériques dans un énoncé impliquent un calcul numérique dans la réponse* ».

Ajoutons ici que la transposition didactique souvent effectuée par les enseignants est d'assimiler implicitement le volume de solution à celui de solvant lors de la résolution d'exercices impliquant le calcul d'une concentration. Cette transposition pourrait également expliquer l'erreur commise par certains apprenants ayant été interrogés.

La question 13 du QCM, quant à elle, implique une manipulation de laboratoire et plus d'un élève sur trois ne considérant pas le volume occupé par le soluté, ne préparerait pas correctement la solution : la concentration de celle-ci ne serait en effet, pas correcte.

Le dysfonctionnement cognitif à l'origine de l'erreur α est celle déjà constatée : la non considération de la place occupée par le soluté après sa dissolution dans la solution.

Dans le cadre de l'analyse de l'erreur α , signalons que l'étude des réponses du groupe des 24 étudiants se préparant à l'AESS est le groupe qui commet le plus de choix incorrects pour les questions 1 et 9. Ils choisissent les propositions en lien avec l'erreur α : 30% choisissent la proposition « a » de la question 1 du QCM (« *la concentration est la quantité de soluté dans un volume de solvant* ») et aucun ne répond correctement à la question 9.

La non considération du volume de soluté après sa dissolution dans la solution semble se renforcer avec la progression dans le cursus scolaire scientifique.

Ce point est important et nous le développerons lors d'une étude comparative entre des classes de différents grades (du début du primaire à la fin du troisième cycle) dans la partie 4 de cet écrit.

3.2.2. Erreur β : La concentration n'est pas comprise comme une proportion

Les QCM1, 3, 6, 7, 10, 14 et 15 permettent de mettre en évidence l'erreur β .

Le tableau 23 synthétise les fréquences de réponses associées à l'erreur β et une explication de l'erreur commise (la proposition associée du QCM est précisée entre parenthèses).

	Fréquences de réponses associées à l'erreur β	Erreur commise
Q1	19%	La concentration est définie comme une quantité de soluté (propositions a, c, d).
Q3	2%	La bonne expression mathématique de la concentration molaire est : $C = n.V$ (proposition a).
Q6	32%	La concentration de 100 mL d'une solution à 10 g/L est le résultat d'un calcul : • puisque $V/10$ alors $C/10$ (proposition c) : 21% • C/V (proposition b) : 11%
Q7	22%	L'intensité de coloration d'une solution dont le soluté n'est pas précisé est proportionnelle à sa concentration (propositions a et b).
Q10	8%	Le double de soluté représenté par des disques noirs n'implique pas le double du volume de solution représenté par un rectangle pour garder la même concentration (propositions a, b, c).
Q14	48%	Afin d'avoir la même quantité de soluté, la concentration d'une solution B n'est pas le double d'une solution A dont la concentration est 2 fois plus petite et le volume est double : • $C/2$ (proposition a) : 22,5% • C reste identique (proposition b) : 25,5%
Q15	23%	Le mélange de 5 solutions identiques (en soluté et solvant) et de même concentration n'aboutit pas à une solution de même concentration : • $C_{\text{finale}} = 5 C_{\text{initiale}}$ (proposition a) : 9% • C_{finale} dépend du volume de chaque solution (proposition c) : 14%

Tableau 23. Fréquences de réponses associées à l'erreur β et explication de l'erreur commise en fonction de la question du QCM posée.

La question 1 du QCM permet de préciser que 20% des élèves choisissent une proposition où la notion de rapport est totalement absente. Ils choisissent des réponses qui proposent la concentration comme une quantité de soluté sans la rapporter au volume dans lequel elle se trouve.

L'énoncé de la question 6 du QCM entraîne un élève sur cinq à diviser par dix la concentration d'une solution dont on ne prélève qu'un dixième du volume. La concentration y reste pourtant identique. Ces résultats confirment les résultats obtenus à la question diagnostique 10. Les élèves utilisent une habitude intuitive du type « *Less A then less B* ».

De même pour la question 15 du QCM, un élève sur dix multiplie par 5 la concentration des 5 solutions qui sont assemblées en une seule solution. Les élèves utilisent cette fois une habitude du type « *More A then more B* ».

Un nombre non négligeable d'élèves utilisent des stratégies de réponse basées sur des habitudes intuitives sans poser un raisonnement logique ou en adéquation avec le concept savant. Nous confirmons les hypothèses émises suite à l'analyse des résultats des questions diagnostiques.

La fréquence de réponses erronées à la question 14 du QCM est élevée (48%). Les élèves qui choisissent les propositions incorrectes n'envisagent pas que, afin d'avoir la même quantité de soluté, la concentration d'une solution B doit être le double d'une solution A dont le volume est double. Un élève sur quatre choisit la proposition où la concentration de la solution B est divisée par deux (au lieu d'être double) ou bien une proposition où la concentration de B est identique à celle de la solution A. La plupart des erreurs proviennent probablement de l'utilisation erronée d'une habitude telle que « *More A then more B* » ou « *Same A then same B* ». Encore ici, cette stratégie permet de donner une valeur numérique et donc de répondre rapidement à la question sans pour autant obtenir une réponse correcte.

3.2.3. Erreur γ : Le vocabulaire n'est pas correctement utilisé

Les QCM1, 2 et 4 permettent de mettre en évidence l'erreur γ .

Le tableau 24 synthétise les fréquences de réponses associées à l'erreur γ et une explicitation de l'erreur commise (la proposition associée du QCM est précisée entre parenthèses).

	Fréquences de réponses associées à l'erreur γ	Erreur commise
Q1	5,5%	Le terme « <i>concentration</i> » est assimilé au langage de la vie quotidienne où il est assimilé aux termes : • « <i>beaucoup</i> » (proposition c) : 0,5% • « <i>regroupement en un point</i> » (proposition d) : 5%
Q2	26%	Le terme « <i>solvant</i> » est confondu avec le terme • « <i>solution</i> » (proposition b) : 8% • « <i>soluté</i> » (proposition a) : 10% L'eau sucrée n'est pas la « <i>solution</i> » (proposition d) : 7%
Q4	6%	Le terme « <i>soluté</i> » est confondu avec le terme « <i>solution</i> » ou « <i>solvant</i> » (proposition c)

Tableau 24. Fréquences de réponses associées à l'erreur γ et explicitation de l'erreur commise en fonction de la question du QCM posée.

L'erreur γ est peu commise dans le cas de la question 1 du QCM.

Dans le cadre du choix d'une proposition définissant le concept de concentration chimique, peu d'élèves lui attribuent la notion de « *beaucoup* » ou de « *regroupement en un point* ».

Les questions 2 et 4 du QCM sont quant à elles, assez révélatrices de la confusion d'un quart des élèves entre les différents termes « *soluté* », « *solvant* » et « *solution* ».

Certains confondent « *solvant* » et « *soluté* » : 10% choisissent la proposition « *l'eau est le soluté et le sucre est le solvant* » dans le cadre de QCM2 et 6% choisissent la proposition « *Le volume de soluté* » pour répondre à la question « *Que représente V dans l'expression de C ?* » pour la QCM4.

D'autres confondent « *solvant* » et « *solution* » : 8% choisissent la proposition « *le sucre est le soluté et l'eau est la solution* » pour la QCM2.

Notons que le dysfonctionnement cognitif à l'origine de la confusion entre les termes « *solvant* » et « *solution* » n'est peut-être pas dû à la non assimilation du vocabulaire mais à la non considération de la place occupée par le soluté.

3.2.4. Erreur δ : Calcul numérique incorrect

Les QCM3, 5, 8, 9, 11 et 12 permettent de mettre en évidence l'erreur δ .

Le tableau 25 synthétise les fréquences de réponses associées à l'erreur δ et une explicitation de l'erreur commise (la proposition associée du QCM est précisée entre parenthèses).

	Fréquences de réponses associées à l'erreur δ	Erreur commise
Q3	9%	L'expression mathématique de la concentration molaire : - est $C = n.V$ (proposition a) : 2% - est $C = V/n$ (proposition c) : 5% - n'est pas n/V (proposition d) : 2%
Q5	20%	Avec la masse de soluté m et le volume de solution V donnés, la concentration massique : - est le résultat du calcul de V/m (proposition b) : 5% - n'est pas possible (proposition d) : 13% - n'est pas le résultat du calcul de m/V (proposition e) : 2%
Q8	25%	Avec le volume de solution V et la concentration massique C_m donnés, la masse de soluté : - est le résultat du calcul de C_m/V (proposition b) : 7% - est le résultat du calcul de V/C_m (propositions c et d) : 5% - n'est pas possible (proposition e) : 5% - n'est pas le résultat du calcul de $C_m.V$ (proposition f) : 8%
Q9	8%	Avec la masse de soluté m et le volume de solvant V donnés, la concentration massique est le résultat du calcul de V/m (proposition c).
Q11	24%	Avec la quantité de matière de soluté n et le volume de solution V donnés, la concentration molaire : - est le résultat du calcul de V/n (proposition a) : 4% - est le résultat du calcul de $n.V$ (proposition c) : 7% - n'est pas possible (proposition d) : 9% - n'est pas le résultat du calcul de n/V (proposition e) : 4%
Q12	50 %	Avec la masse de soluté m , la masse molaire du soluté M et le volume de solution V donnés, la concentration massique : - est le résultat du calcul de $V/(m.M)$ (proposition b) : 1% - est le résultat du calcul de $(m.M)/V$ (proposition c) : 11% - n'est pas possible (proposition d) : 18% - n'est pas $m/(M.V)$ (proposition e) : 20%

Tableau 25. Fréquences de réponses associées à l'erreur δ et explicitation de l'erreur commise en fonction de la question du QCM posée.

Tout comme nous l'avons fait pour l'analyse des fréquences des réponses correctes aux questions 5, 8, 11 et 12 du QCM, le tableau 26 synthétise par ordre croissant, les fréquences de réponses incorrectes associées à l'erreur δ pour ces mêmes questions. Nous y précisons les données, calculs à effectuer et valeurs à trouver.

	QCM5	QCM11	QCM8	QCM12
Données fournies	m et V	n et V	V et C_{massique}	m, V et M
Valeur à calculer	C_{massique}	C_{molaire}	m	C_{molaire}
Calculs à effectuer	m/V	n/V	$V \cdot C_{\text{massique}}$	$m / (M \cdot V)$
Fréquences de réponses incorrectes	20%	24%	25%	50%

Tableau 26. Données fournies, valeurs à trouver, calculs à effectuer et fréquences de réponses incorrectes associées à l'erreur δ obtenues pour les QCM5, 8, 11 et 12.

« m » pour masse du soluté, « V » pour volume de solution, « n » pour la quantité de matière de soluté, « C_{massique} » et « C_{molaire} » pour les concentrations massique et molaire du soluté dans la solution.

Comme nous l'avons constaté pour l'analyse des fréquences obtenues aux réponses correctes, le niveau de difficulté du calcul entraîne une augmentation des erreurs.

Un élève sur cinq se trompe lorsqu'il calcule une concentration massique sur base de m et V (QCM5) et un élève sur quatre dans le cas de la concentration molaire sur base de n et V (QCM11). Les énoncés des deux questions ont été conçus pour être identiques avec seuls deux termes qui changent : « *massique* » et « *g* » pour la QCM5 - « *molaire* » et « *mol* » pour la QCM11. Le calcul à effectuer est identique puisqu'il s'agit de diviser la première donnée de l'énoncé par la seconde.

Ainsi, le remplacement dans l'énoncé de la masse par la quantité de matière du soluté entraîne une augmentation du nombre de réponses incorrectes pour un calcul à effectuer identique.

Le concept de quantité de matière dont l'unité est la mole, n'est pas simple et il oblige une acquisition fine du niveau microscopique de la matière. Leonidas Tsoumpelis et Jean Grea (1995) qui mettent en œuvre la théorie des situations dans l'apprentissage du concept de concentration chimique évoquent dans leur étude plusieurs recherches qui mettent en évidence cette difficulté, même en années universitaires.

Lorsqu'il est demandé aux élèves de calculer m sur base de C_{massique} et V (QCM8), un interrogé sur quatre ne choisit pas la proposition correcte. Un dysfonctionnement cognitif probable est la difficulté mathématique à extraire m de la formule mathématique $C_{\text{massique}} = m/V$.

Un élève sur deux ne choisit pas la proposition correcte lorsqu'on lui demande de calculer la concentration molaire sur base de la masse de soluté et du volume de solution (QCM12) :

- 11% utilisent le bon rapport n/V pour le calcul de C mais ils multiplient la masse de soluté par la masse molaire de ce soluté pour trouver une quantité de matière ;
- 38% pensent que le calcul est impossible ou qu'ils n'y arriveront pas.

L'analyse des questions 3, 5, 8, 9 et 11 montrent que 4 à 8% des interrogés calculent une concentration massique ou molaire en réalisant le rapport inverse entre la masse m ou la quantité de matière n de soluté et le volume de solution : pour ces élèves $C_{\text{massique}} = V/m$ ou $C = V/n$.

Ces élèves envisagent la concentration comme un volume attribué à chaque entité de soluté or la concentration est envisagée par les scientifiques comme une quantité de soluté dispersée et partagée dans un volume.

3.2.5. Erreur ε : Les unités utilisées sont incorrectes

Les QCM5, 6, 8 et 9 permettent de mettre en évidence l'erreur ε .

Le tableau 27 synthétise les fréquences de réponses associées à l'erreur ε et une explication de l'erreur commise.

	Fréquences de réponses associées à l'erreur ε	Erreur commise
Q5	6%	Pour calculer une concentration massique ou une masse, le volume est conservé en millilitres et il n'est pas converti en litres.
Q6	11%	
Q8	1%	
Q9	16%	

Tableau 27. Fréquences de réponses associées à l'erreur ε et explication de l'erreur commise en fonction de la question du QCM posée.

Nous avons tenté de limiter cette erreur ε liée à l'utilisation des unités, en indiquant entre parenthèses la conversion des millilitres en litres. Cette erreur n'est en effet pas spécifique au concept de concentration chimique et elle est plus générale aux sciences.

Pour les quatre questions, l'erreur commise est identique : pour calculer une concentration massique en g/L (ou une masse à partir d'une C_{massique} en g/L), l'élève conserve un volume en millilitres et ne le convertit pas en litres.

Nous remarquons que pour une même erreur, la fréquence de réponses incorrectes varie fortement selon la question (de 1 à 16%). Les questions où cette erreur est la plus fréquente sont celles où nous avons montré que la stratégie utilisée est liée à des habitudes du type « *Less A then less B* » ou « *Des valeurs numériques dans un énoncé impliquent un calcul numérique dans la réponse* » (QCM6 et 9). La QCM8 qui entraîne plutôt une stratégie du type « *Je pose une règle de trois* » conduit à peu d'oublis de conversion (1%). En posant la règle de trois et en écrivant les unités, les élèves pensent à les convertir.

Une hypothèse que nous émettons est que le réflexe de répondre rapidement et automatiquement à une question impliquant des données numériques empêcherait une réflexion sur la conversion d'unité.

4. Bilan de l'analyse des questions à choix multiples et réponse unique

Résumons les points essentiels que ce QCM a permis d'extraire en les classant par difficulté.

Le volume considéré n'est pas celui de la solution (erreur α)

Une hypothèse de dysfonctionnement cognitif à l'origine de la non prise en compte du volume de solution est la non considération de la place occupée par le soluté après sa dissolution au sein de la solution.

Dans le cas du calcul d'une concentration massique sur base des valeurs numériques de la masse de soluté et du volume de solvant et non de solution, le dysfonctionnement cognitif à l'origine de l'erreur est peut-être lié à l'application d'une habitude du type : « *Des valeurs numériques dans un énoncé impliquent un calcul numérique dans la réponse* ».

L'erreur de non considération du volume de solution semble se renforcer avec la progression dans le cursus scolaire scientifique.

La concentration n'est pas comprise comme une proportion (erreur β)

Un élève sur cinq choisit une proposition où la concentration est définie comme une quantité de soluté sans la rapporter à un volume de liquide.

Il n'est pas inné de penser qu'une partie de solution prélevée contient une même proportion de soluté au sein d'un volume plus petit que la solution de départ alors que la prévision de la concentration d'un mélange de plusieurs solutions identiques (en soluté, solvant et concentration) semble un peu plus aisée.

La concentration est le résultat d'un calcul numérique incorrect (erreur γ)

Les habitudes du type « *Less A then less B* » ou « *More A then more B* » sont des stratégies de réponses utilisées par les élèves sans pour autant aboutir à des réponses correctes et pertinentes.

Un dysfonctionnement cognitif probable qui expliquerait un calcul numérique incorrect est la difficulté mathématique à extraire une variable d'une formule (comme extraire m de la formule mathématique $C_{\text{massique}} = m/V$).

Le remplacement dans l'énoncé de la masse par la quantité de matière du soluté entraîne une augmentation du nombre de réponses incorrectes pour un calcul à effectuer pourtant identique.

Les unités utilisées sont incorrectes (erreur δ)

Une hypothèse de dysfonctionnement cognitif serait que le réflexe de répondre rapidement et automatiquement à une question impliquant des données numériques empêcherait une réflexion sur la conversion d'unité.

Ajoutons des remarques liées au concept de concentration lui-même :

- Dans le cadre du choix d'une proposition définissant le concept de concentration chimique, peu d'élèves lui attribuent la notion de « beaucoup » ou de « regroupement en un point » ;
- Des élèves envisagent la concentration comme un volume attribué à chaque entité de soluté or la concentration est envisagée par les scientifiques comme une quantité de soluté partagée dans un volume ;
- Assimiler plusieurs valeurs simultanément dans le cadre d'une question sur la concentration est difficile pour la majorité des apprenants.

Cette deuxième phase a permis de préciser les réponses à la première question de recherche QR1 : « *Quelles erreurs récurrentes sont commises par les apprenants lorsqu'ils répondent à des questions sur la concentration chimique impliquant les notions pivots de ce concept ?* ».

Le QCM a permis d'envisager quelques hypothèses quant à des dysfonctionnements cognitifs à l'origine des erreurs récurrentes commises par les élèves qui sont face à des questions sur la concentration chimique. La phase suivante vise à préciser ces dysfonctionnements cognitifs grâce à des entretiens d'explicitation.

L'objectif est de répondre à la deuxième question de recherche QR2 : « *Quels dysfonctionnements cognitifs sont à l'origine des erreurs commises par l'apprenant qui répond à des questions sur la concentration chimique ?* ».

C'est le sujet de la partie suivante.

CHAPITRE 4. LES ENTRETIENS D'EXPLICITATION POUR UNE MISE EN ÉVIDENCE DES DYSFONCTIONNEMENTS COGNITIFS À L'ORIGINE DES ERREURS COMMISES PAR LES APPRENANTS

L'objectif des entretiens individuels d'explicitation est de préciser les processus cognitifs et les possibles dysfonctionnements cognitifs inhérents aux erreurs récurrentes mises en évidence grâce aux deux questionnaires.

Une même erreur peut provenir de dysfonctionnements cognitifs différents. Il s'agit de chercher à comprendre « ce qu'il se passe dans la tête de l'élève » qui répond erronément à une question impliquant le concept de concentration chimique.

1. Méthodologie pour les entretiens d'explicitation

1.1. Déroulement des entretiens

Nous avons réalisé des entretiens d'explicitation où des questions sont posées à l'élève de façon à lui faire verbaliser ses décisions et actions. L'entretien d'explicitation vise à aider la mise en mots ou en images (via des dessins et schémas) des décisions et choix implicites que l'interrogé réalise et dont il n'avait peut-être pas conscience (Vermesch, 2011).

La durée d'un entretien était d'environ quarante cinq minutes et les questions posées suivaient deux séries.

La première série consistait en trois questions interrogeant sur la définition de la concentration chimique :

1. « *Qu'est-ce que la concentration en chimie ? Tu peux utiliser tes propres mots* ».

Cette question est la première question diagnostique posée aux 70 élèves de grades 10 à 12 en mai 2013.

2. « *Schématise deux solutions différentes : une solution A plus concentrée qu'une solution B* ».

Cette question demande à l'élève de représenter symboliquement le niveau microscopique d'un soluté au sein d'une solution. Il n'est pas exclu que l'élève représente le niveau macroscopique de solutions de concentrations différentes. Il reste libre puisque la question reste large.

3. « *La concentration massique de sucre est le :*

Quotient de la masse d'eau sur la masse d'eau sucrée

Quotient de la masse de sucre sur le volume d'eau

Quotient de la masse d'eau sucrée sur le volume de sucre

Quotient de la masse de sucre sur le volume d'eau sucrée

Quotient de la masse de sucre sur la masse d'eau »

L'élève doit choisir une ou plusieurs propositions et expliciter son choix. Cette question déjà posée lors de la phase diagnostique vise à expliciter ce que les élèves choisissent comme définition à la concentration en imposant la notion pivot « *La concentration est une proportion* ».

La deuxième série de questions correspond aux quinze questions du questionnaire à choix multiples et réponse unique (annexe 15).

Les élèves interrogés ont déjà répondu au QCM en novembre 2013 avec la version QCM10_{bis} (première version de la question 10). Afin de comparer leurs réponses, nous avons donc repris cette version bis de la question 10 du QCM. Lorsque le temps le permettait, nous avons proposé à la fin de l'entretien, la question QCM10 (deuxième version) aux interviewés.

Pour chaque question, il est demandé à l'élève d'expliciter son choix en exprimant ce qu'« il a dans la tête ». Dans le cas de questions à propositions multiples et réponse unique, il doit également expliciter pourquoi il élimine les autres propositions. L'élève a à sa disposition du papier, un crayon et une calculatrice.

Les entretiens ont été menés de façon à ce que le chercheur intervienne le moins possible et qu'un maximum de temps de parole soit donné à l'interrogé. Le questionnement par des interventions courtes du chercheur (comme « *Pourrais-tu préciser ?* » ou « *A quoi cela ressemble dans ta tête ?* ») a été poursuivi jusqu'à ce que l'élève lui-même mette en mots ou en images (via le papier à disposition) ses conceptions et ses stratégies.

Les verbalisations de l'interrogé sont réalisées dès que l'énoncé de chaque question a été lu de façon à limiter le recours à la mémoire et « cueillir » en temps réel les conceptions utilisées par l'élève ainsi que ses raisonnements. Dans ce sens, peu de retours en arrière ont été réalisés.

Les verbalisations n'ayant pas valeur de vérité, elles ont été mises en relation au fur et à mesure des questions afin de corroborer ou non leur validité.

Chaque entretien est enregistré (uniquement l'audio) et conservé.

Après chaque entretien, une retranscription des moments évocateurs d'informations pertinentes est réalisée. Ces moments correspondent à des passages où l'explicitation porte sur des verbalisations qui nous paraissent fournir des indications quant aux dysfonctionnements cognitifs à l'origine des erreurs.

Des commentaires sont également ajoutés afin de faire le lien entre les différents passages retranscrits.

Les treize retranscriptions et commentaires sont en annexe 17.

Le prénom de l'élève y est indiqué ainsi que l'initial de son nom. Il lui est attribué ensuite une référence telle que E1 (pour élève 1). C'est cette numérotation qui sera reprise pour l'analyse des résultats dans la suite de ce texte.

1.2. Les participants

Les entretiens individuels d'explicitation ont été réalisés entre janvier et mai 2014.

Treize élèves (4 garçons et 9 filles) ont été interviewés. Ils étaient tous de grade 10 (quatrième du secondaire supérieur).

Afin de limiter les facteurs interprétatifs, les treize élèves étaient issus de deux classes ayant le même enseignant de chimie.

Tous étaient volontaires.

Ces élèves avaient découvert le concept de concentration molaire quelques semaines avant l'entretien. La concentration massique avait, elle, été mise en apprentissage l'année scolaire précédente.

1.3. Méthodologie d'analyse des entretiens

Nous avons procédé à une analyse des entretiens dans l'objectif de faire émerger les dysfonctionnements cognitifs à l'origine des erreurs récurrentes mises en évidence précédemment.

Chaque entretien est centralisé sur la verbalisation par l'élève interviewé de son raisonnement lors de son choix d'une proposition du QCM et de son rejet des autres propositions. Il est dès lors possible de lier son explicitation à une erreur α , β , γ , δ et ε . L'analyse des entretiens est donc réalisée par catégorie d'erreur.

Nous avons mis en évidence les productions retranscrites de chaque élève en lien avec une erreur. L'ensemble de ces productions a permis d'émettre des dysfonctionnements cognitifs probables. Nous restons prudents puisque nous ne pouvons considérer que la verbalisation que l'élève réalise de sa pensée. Il exerce donc un filtre dont il n'est pas toujours conscient.

Notre analyse de ce que chaque élève communique est également filtrée par notre propre interprétation. En effet, le chercheur exerce une sélection à travers ses propres cadres conceptuels et ses propres positions théoriques (Astolfi, 1992).

Nous ne prétendons pas à l'exhaustivité du recensement de tous les dysfonctionnements qui sont probablement multiples.

2. Analyse des entretiens par catégorie d'erreur

2.1. Erreur α : Le volume considéré n'est pas celui de solution

2.1.1. Test préliminaire aux entretiens

Au fur et à mesure des analyses des réponses aux questions diagnostiques et au QCM, nous avons mis en évidence que de nombreux apprenants ne calculent pas la concentration en tenant compte du volume de la solution. Pour ceux qui rapportent bien la quantité de soluté à un volume de liquide, le volume considéré est souvent le volume de solvant.

L'une des hypothèses émises est qu'un nombre non négligeable d'apprenants ne considéreraient pas le volume occupé par le soluté une fois dissous dans la solution.

Notre objectif étant d'expliquer l'origine des erreurs récurrentes commises afin de mieux y remédier, nous avons cherché à vérifier cette première hypothèse et quantifier cette difficulté en réalisant un test préliminaire aux entretiens.

Parmi les deux cent vingt-trois élèves ayant répondu au QCM, les quarante derniers ont été interrogés sur une question supplémentaire dont la réponse était ouverte. Tous ces élèves étaient de grade 10 (quatrième du secondaire).

Pour répondre à cette question, un dispositif simple a été mis en place : un bécher contenant 100 mL d'eau et un autre avec 20 g de sucre en poudre (saccharose) sont présentés aux élèves.

La question suivante leur est alors posée : « *Si tu dissous les 20 g de sucre dans les 100 mL d'eau, que fait le niveau de liquide ? Explique* ».

Les béchers sont laissés à la vue des interrogés pendant toute la durée nécessaire à rédiger leur réponse et leurs justifications.

Les élèves doivent donc prévoir ce que fera le niveau de liquide sans toutefois réaliser la manipulation.

Le choix du sucre et de l'eau s'explique par une volonté de contextualiser la question par une situation simple de la vie quotidienne.

Les réponses obtenues figurent dans le tableau 28.

« <i>Le niveau reste le même</i> »	« <i>Le niveau monte</i> » (réponse correcte)	« <i>Le niveau monte puis redescend au niveau de départ</i> »
16	20	4

Tableau 28. Nombre d'élèves (N=40) par réponse à la question « *Si tu dissous 20 g de sucre dans 100 mL d'eau, que fait le niveau de liquide ?* ».

Toutes les justifications sont transcrites dans l'annexe 18. Elles y sont triées en fonction du dysfonctionnement cognitif supposé qu'elles mettent en évidence.

Seul un élève sur deux annonce la montée du niveau de liquide si du sucre en poudre est ajouté et dissous dans de l'eau.

Les justifications données par ces vingt élèves peuvent être classées en trois groupes :

1. Pour quatorze élèves, le niveau monte car il y a davantage de matière :

« *Il augmente car on met dans l'eau du sucre donc il y aura plus de matière et donc la solution occupera plus d'espace.* » (justification 22 du test préliminaire - annexe 18)

Certains s'appuient sur le fait que la masse augmente :

« *Le niveau augmente parce que on y ajoute du sucre, de la masse, la concentration sera plus forte.* » (justification 23 du test - annexe 18)

Ces élèves semblent utiliser une stratégie du type « *More A then more B* » qui est pertinente dans ce contexte.

2. Cinq des vingt élèves expliquent que le niveau monte car le sucre ne se dissout pas totalement :

« *Le niveau de l'eau va monter car le sucre va se déposer dans le fond de l'eau.* » (justification 35 du test - annexe 18)

Pour ces élèves qui pensent que tout le sucre ne va pas se dissoudre, l'augmentation de volume est due à la fraction du sucre qui ne se dissout pas. La partie qui se dissout ne ferait donc pas monter le niveau de liquide. Leur justification révèle que, pour eux, si tout le sucre se dissout (or c'est le cas), le niveau ne monterait pas.

3. Un élève parle de déplacement des molécules d'eau :

« *Le niveau augmentera un peu car le sucre déplacera les molécules de l'eau.* » (justification 36 du test - annexe 18)

Pour l'autre moitié des interrogés qui répond que le niveau reste le même ou qu'il baisse, le volume supplémentaire dû à la présence des molécules de saccharose n'est pas pris en considération. De leur justification, nous avons tenté d'émettre des dysfonctionnements cognitifs qui expliqueraient cette erreur.

Les entretiens d'explicitation complètent la recherche de dysfonctionnements à l'origine de l'erreur α « *Le volume considéré n'est pas celui de solution* ».

2.1.2. Les dysfonctionnements cognitifs à l'origine de l'erreur α

La non considération de la place occupée par le soluté dissous

Comme nous l'avons déjà précisé dans le paragraphe précédent, une première raison mise en évidence par les réponses et justifications au test préliminaire est la non considération du volume occupé par le soluté une fois dissous dans la solution.

Les justifications données par les seize élèves qui répondent au test que « *Le niveau d'eau reste identique* » sont de trois types :

1. « car le sucre se dissout »

Neuf des seize élèves ayant répondu au test préliminaire utilisent cette justification pour expliquer que le niveau de liquide reste identique après l'ajout de sucre. Ces élèves n'explicitent pas davantage :

« *Le niveau ne change pas car les 20 g de sucre seront dissous dans l'eau.* » (justification 3 du test préliminaire - annexe 18)

Le fait de se dissoudre est pour eux, une justification en soi.

La dissolution permet d'obtenir un mélange homogène ; pour ces élèves, cela semble signifier que le soluté « disparaît » et ils en déduisent qu'il n'existe plus. Cette stratégie erronée est peut-être à lier au cadre théorique naïf « *Ce qui ne se voit plus* (le soluté dans notre cas) *n'existe plus* » : le volume de

soluté serait donc négligé et le volume de solvant est dès lors considéré comme le volume de solution.

Ces élèves restent sur une vision macroscopique de la solution.

2. « car le sucre absorbe l'eau »

Deux des seize élèves du test préliminaire justifient que le sucre va absorber l'eau pour que le niveau reste le même. Toutefois, ces deux élèves précisent ne pas être sûrs :

« A mon avis l'eau va rester à 100 mL. Le sucre va se dissoudre dans l'eau. C'est comme si le sucre allait absorber l'eau qu'il faut pour qu'il y ait encore 100 mL d'eau, mais je ne suis pas certaine. » (justification 11 du test préliminaire - annexe 18).

Tout comme les élèves du point précédent, leur raisonnement se base sur une vision macroscopique de la matière : ils n'envisagent pas les molécules de saccharose comme des entités individuelles capables de réaliser des liaisons avec l'eau. Ils s'en tiennent à la matière « sucre » en tant qu'« ensemble » tel du sel en poudre qui est mis sur une nappe pour « pomper » la boisson qui y aurait été renversée.

3. « car le sucre va combler l'espace entre les molécules d'eau »

Pour les cinq élèves du test préliminaire qui utilisent cette stratégie de réponse, la vision microscopique de la solution détermine leur raisonnement puisqu'ils envisagent, à l'inverse des élèves précédents, la solution comme un ensemble d'entités bien distinctes : les molécules d'eau et les molécules de saccharose (un élève envisage des molécules d'air).

Pour eux, le soluté ne disparaît pas mais il prend la place qui existe entre les molécules d'eau :

« Le niveau de l'eau ne change pas car les grains de sucre vont se placer entre les molécules d'eau. » (justification 12 du test préliminaire - annexe 18) ;

Cette stratégie est logique et en partie vraie puisque le volume de sucre en poudre avant dissolution additionné aux 100 mL d'eau de départ est supérieur au volume de solution une fois le sucre dissous dans l'eau.

L'hypothèse que nous avons émise lors de l'analyse des réponses au QCM se confirme : pour de nombreux apprenants, le volume de solvant et celui de solution sont identiques car ils ne considèrent pas la place occupée par le soluté. Les dysfonctionnements cognitifs à l'origine de l'erreur sont multiples. Nous en avons mis en évidence trois mais il est probable que d'autres stratégies soient à l'origine de l'erreur.

Les entretiens d'explicitation n'ont pas permis pour cette erreur α de mettre en évidence d'autres dysfonctionnements liés à la non considération de la place occupée par le soluté.

Dans la partie diagnostique, nous avons mis en évidence que même si la donnée « volume de solution » est absente, de très nombreux élèves calculent la concentration en soluté de la solution. Nous avons alors émis l'hypothèse que ces élèves avaient l'habitude de réaliser une opération numérique par la simple présence de valeurs numériques dans l'énoncé. Les entretiens d'explicitations nous permettent de vérifier cette hypothèse. C'est ce que nous développons dans la partie suivante.

Utilisation d'une habitude du type « Des valeurs numériques dans un énoncé impliquent un calcul numérique dans la réponse »

Les entretiens d'explicitations ont permis de préciser une autre hypothèse que nous avons émise pour expliquer l'erreur commise à la QCM9 où neuf élèves sur dix ayant passé le QCM calculent une concentration massique sur base de la masse de soluté (100 g de NaCl) et d'un volume de solvant (500 mL d'eau) sans connaître le volume de solution : ils choisissent la proposition « 200 g/L » et non « *Il manque des informations pour répondre* ».

Notre hypothèse était que ces élèves utilisent une stratégie de réponse liée à l'utilisation d'une p-prim du type « *Des valeurs numériques dans un énoncé impliquent un calcul numérique dans la réponse* ».

Le tableau 29 donne les réponses données à cette question 9 du QCM par les treize élèves interviewés et les explicitations transcrites et commentées (les phrases en caractères italiques correspondent aux transcriptions de ce que les élèves disent).

Elève en entretien	Réponse à la QCM9	Explicitations des élèves lors des entretiens
E1	200 g/L (idem en nov.)	E1 comprend que l'on ne dispose pas du volume de solution. Quand il effectue le calcul $100 \text{ g} / 0,500 \text{ L}$, il trouve une proposition (200 g/L). Il hésite beaucoup mais, non sûr de lui, il choisit de cocher la proposition b proposant 200 g/L. « <i>Il me manquait une info</i> » « <i>La concentration massique c'est 100 g sur le volume de solution...</i> » « <i>Je peux essayer le calcul, voir si ça irait...</i> » « <i>Ce serait 200 g/L</i> » « <i>Je trouve une réponse mais j'hésite</i> » « <i>Je me demande si ou alors je me trompe, ça ne représenterait pas la solution donc pas V donc on ne peut pas l'utiliser pour le calcul ou alors ça ce serait la réponse ou alors je me trompe - je ne sais pas</i> » Question du chercheur : Que vas-tu choisir ? « <i>Il y a un truc qui me contredit donc je ne sais pas - je peux des fois me tromper - je vais mettre 200 g/L</i> »
E2	0,200 g/L puis 200 g/L (en nov. : 5,00 mL/g)	1 ^{er} calcul : $100/500$ 2 ^{ème} calcul : E2 pense à mettre en mL : 200 g/L
E3	0,200 g/L (idem en nov.)	E3 calcule rapidement $100/500 = 0,200$
E4	200 g/L (idem en nov.)	E4 calcule rapidement $100/0,500 = 200$
E5	200 g/L (idem en nov.)	E5 calcule rapidement $100/0,500 = 200$
E6	Il manque des informations (en nov : 200 g/L)	E6 se rend compte qu'il manque le volume de solution. Le fait de bien écrire ses données lui permet de se rendre compte de la donnée absente (assez long : 2 min 20).

E7	200 g/L (en nov. : 5,00 mL/g)	E7 relit plusieurs fois l'énoncé. Il cherche à bien comprendre les données puis calcule $100/0,500 = 200 \text{ g/L}$ Il avait éliminé 5,00 mL/g du fait de l'unité.
E8	Il manque des informations (en nov : 200 g/L)	E8 est conscient qu'il manque « <i>la solution obtenue à la fin</i> ».
E9	200 g/L (idem en nov.)	E9 pose $C = n(g)/V(L) \rightarrow C = 100/0,500 \rightarrow C = 200$ « <i>Il faut une formule pour faire ça</i> » Question du chercheur : Pourquoi tu utilises la formule ici ? « <i>Je ne peux pas faire une règle de 3</i> » E9 pense que l'on peut appliquer une règle de 3 si on a « <i>une unité par quelque chose</i> » Q8 : 12,0 g/L $\rightarrow$ alors règle de 3 possible E9 applique les règles de 3 lorsqu'il voit après une donnée, une unité par une autre.
E10	200 g/L (idem en nov.)	E10 note « <i>100 g $\rightarrow$ 0,500 L</i> » Puis il utilise la formule : $C_m = m/V$ Il réalise que le volume doit toujours être en litre. Il repense à une erreur commise dans une question antérieure mais ne la trouve pas. Il prend sa calculatrice et calcule $100/0,500 = 200$
E11	Il manque des informations (idem en nov.)	E11 a bien conscience qu'il manque le volume de solution.
E12	200 g/L (idem en nov.)	E12 calcule rapidement $100/0,500 = 200$
E13	200 g/L (idem en nov.)	E13 fait attention aux unités puis calcule $100/0,500 = 200$

Tableau 29. Réponses, explicitations et commentaires à la QCM9 des treize interviewés aux entretiens d'explicitation.

Les élèves E3, E4, E5 et E12 lisent l'énoncé et immédiatement après, calculent la concentration massique en divisant la masse de soluté par le volume d'eau. Ils ne se posent à aucun moment la question de savoir si les données sont pertinentes.

Ils avaient pourtant tous choisi la proposition « *Le volume de solution* » lorsqu'il leur est demandé « *Que représente V dans l'expression mathématique de la concentration C ?* » (QCM4).

De même, tout au long des entretiens, ces quatre élèves donnent des indices qui montrent qu'ils font la distinction entre le volume du solvant et celui de la solution mais à la question 9 du QCM, ils ne mobilisent pas l'information et ils réalisent le calcul de la concentration. Citons l'élève E3 qui a hésité à choisir la proposition « $C = n/V$ » pour définir la concentration du fait de l'absence de l'indice « *solution* » à côté du symbole V du volume. L'élève E12 insiste même plusieurs fois dès le début de son entretien sur les termes « *le volume total* » pour le volume de solution.

Les élèves E2, E7, E10 et E13 tardent à choisir la proposition « 200 g/L » mais pas du fait d'un questionnement sur l'absence du volume de solution mais pour des raisons de conversion d'unités.

L'explicitation de l'élève E1 est intéressante. Cet élève répond également correctement à la question 4 du QCM (V_{solution} pour le calcul de C) et tout au long de l'entretien, il montre avoir conscience que le volume de solution n'est pas celui de solvant.

Pour la QCM9, E1 se rend compte immédiatement de l'absence d'une donnée mais il réalise toutefois le calcul ($100/0,500$) et trouve une valeur présente dans les propositions. Il se met alors à douter de sa première idée. Il réfléchit et finit par choisir la proposition « 200 g/L » : « *Il y a un truc qui me contredit donc je ne sais pas - je peux des fois me tromper - je vais mettre 200 g/L* ». Il lui semble « plus sûr » de donner une réponse numérique proposée.

Les élèves E6, E8 et E11 répondent correctement qu'il manque des informations pour répondre. L'élève E6 met plus de deux minutes pour répondre. Tout au long de l'entretien, ces trois élèves montrent avoir conscience que le volume de solution est différent du volume de solvant. A la question QCM4, E6 explicite « *la solution, c'est la combinaison du solvant et du soluté* » et E8 : « *volume de tout* ».

Les entretiens ont eu lieu entre janvier et mars 2014. En novembre 2013, la majorité des élèves donnaient la même réponse à part quatre dont deux ont évolué dans le bon sens (E6 et E8). Une épreuve certificative a eu lieu entre les deux périodes et pourrait expliquer ce changement de réponse mais il nous est difficile de le vérifier.

Ainsi, des élèves qui pourtant ont conscience que le volume de solvant est différent du volume de solution et que c'est ce dernier qui intervient dans le calcul d'une concentration massique, calculent spontanément la concentration sans connaître le volume total. Nous confirmons l'hypothèse de l'utilisation d'une habitude interprétative : « *Des valeurs numériques dans un énoncé impliquent un calcul numérique dans la réponse* ».

Les entretiens ont également mis en lumière que certains élèves se posent davantage de questions pour le choix des unités. Ils semblent exister pour eux une alerte cognitive du type « *Avant de calculer, je dois d'abord vérifier les unités* ». Nous développerons ce point lors de l'étude de l'erreur liée aux unités (erreur ϵ).

2.2. Erreur β : La concentration n'est pas comprise comme une proportion

2.2.1. Les dysfonctionnements cognitifs à l'origine de l'erreur β

Les treize entretiens d'explicitation réalisés permettent d'émettre quelques hypothèses de dysfonctionnements pour cette erreur de non considération de la concentration comme une proportion de soluté dans un volume.

1. « *La concentration comme la mesure d'un écart entre entités de soluté* »

Trois des treize élèves interrogés en entretien, proposent cette conception de la concentration. Reprenons les passages des entretiens évoquant cette stratégie utilisée.

Elève E1

Il est demandé à E1 de schématiser deux solutions, A plus concentrée qu'une deuxième, B. la figure 23 donne les représentations symboliques que E1 propose.

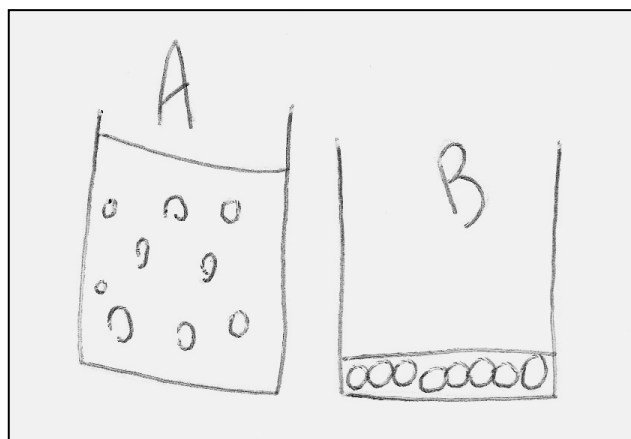


Figure 23. Représentation symbolique d'une solution A plus concentrée qu'une solution B par E1 lors de son entretien d'explicitation - Version 1

L'élève E1 représente la solution A par un rectangle et neuf cercles répartis et la solution B par un rectangle beaucoup plus petit et huit cercles serrés sur le côté inférieur. E1 explique :

« *Le plus concentré, c'est celui où on trouve le plus de soluté donc c'est le A* » (...) « *Dans B, c'est plus serré* » (...)

« *J'ai une hésitation* » (...) « *Ou alors c'est plus concentré quand le soluté est plus concentré, plus rapproché avec les autres - On pourrait parler de solides.* »

E1 réalise alors deux nouveaux schémas (figure 24) :



Figure 24. Représentation symbolique d'une solution A plus concentrée qu'une solution B par E1 lors de son entretien d'explicitation - version 2

E1 représente cette fois la solution A par un rectangle et dix cercles répartis et la solution B par un rectangle de même dimension et quatre cercles que cette fois, il répartit. E1 ajoute :

« J'aurais pu les faire plus proches » en parlant des entités de soluté.

E1 rajoute un cercle collé à quatre autres dans le rectangle de la solution A de sa deuxième version. Il commente :

« Je ne pense pas que le nombre ça doit changer mais le fait qu'elles soient plus à l'écart mais dans un même volume que la A ou la B » (...)

« Quand il y a plus d'écart, c'est moins concentré » (...)

« Le solvant, c'est le liquide » en montrant l'espace entre les cercles.

« On ne peut pas comparer des solutions qui n'ont pas le même volume de solvant » (...)

« Si on regarde par exemple dans 1 litre, la concentration elle sera moins importante que si on regarde dans 1 mL par exemple. Puisque là, le soluté va être plus proche car il y a moins d'espace où, allez, si on parle d'un liquide dans un liquide. »

E1 envisage donc la concentration comme la mesure d'un écart entre les entités de soluté et il arrive à une stratégie qui en découle et que nous développerons dans un point suivant : *« Plus le volume est petit, moins il y a de place pour le soluté et plus c'est concentré ».*

Elève E2

E2 utilise la même stratégie que E1 pour définir la concentration :

« La concentration est une quantité de molécules qui sont approchées les unes des autres ou soit plus éloignées. Plus elles sont proches une de l'autre plus c'est 'fort'. »

Elève E7

E7 compare les deux solutions A et B (A plus concentrée) et déclare :

« La A, elle doit être plus concentrée donc si elle est plus concentrée, les molécules sont plus serrées, elles ont moins d'espace. »

L'approche heuristique de ces trois élèves leur permet d'utiliser une habitude du type « *Plus serré donc plus concentré* ». Cette stratégie fonctionne très bien dans certains cas, notamment si, pour l'élève, le volume de solution ne varie pas et que la quantité de soluté augmente.

Notons que ces élèves semblent travailler sur une proportion inverse : la concentration est envisagée comme un volume attribué à chaque molécule (V/n) or la concentration est envisagée par les scientifiques comme une quantité de matière pour un certain volume (n/V).

2. « Si le volume de solution est petit alors la concentration est grande »

Comme l'élève E1 l'envisage, plus les entités sont serrées et plus la concentration est grande. Si le volume diminue, les entités ayant moins de place, elles seront d'autant plus serrées et la concentration augmente alors.

L'élève E12 qui montre tout au long de son entretien avoir bien acquis que la concentration est un rapport entre une quantité de soluté et un volume de solution explique, lorsqu'il répond à la QCM6 (« *Quelle est la concentration de 100 mL d'une solution à 10 g/L ?* ») :

« *La concentration doit d'office augmenter puisqu'on diminue le volume donc c'est pas possible que ce soit resté tel quel puisque à la base pour avoir 10 g de sucre par litre on avait un volume d'un litre et ici on n'a plus qu'un volume de... allez... 1dl donc la concentration massique a du forcément augmenter...* »

La réponse qu'il souhaite donner à cette question est « *100 g/L* » puisque pour lui, le volume est dix fois inférieur donc la concentration sera dix fois supérieure. Ne trouvant pas cette proposition, il choisit « *Aucune des possibilités* ».

La stratégie « *Si le volume est plus petit alors la concentration sera proportionnellement plus grande* » qui sous-entend une habitude du type « *More A then more B* » prend le dessus pour cet élève E12 dans le contexte de la QCM6. Il semble activer cette conception plutôt qu'une réflexion sur le caractère intensif de la grandeur concentration chimique.

3. « Un soluté dispersé est libre de voyager »

Cette stratégie découle aussi de la première où les entités de soluté sont d'autant plus serrées que la solution est concentrée.

L'élève 6 attribue au terme « *dispenser* », la signification de « *se déplacer* », de « *voyager* ».

La figure 25 donne les schémas que E6 réalise pour représenter une solution A plus concentrée qu'une solution B.

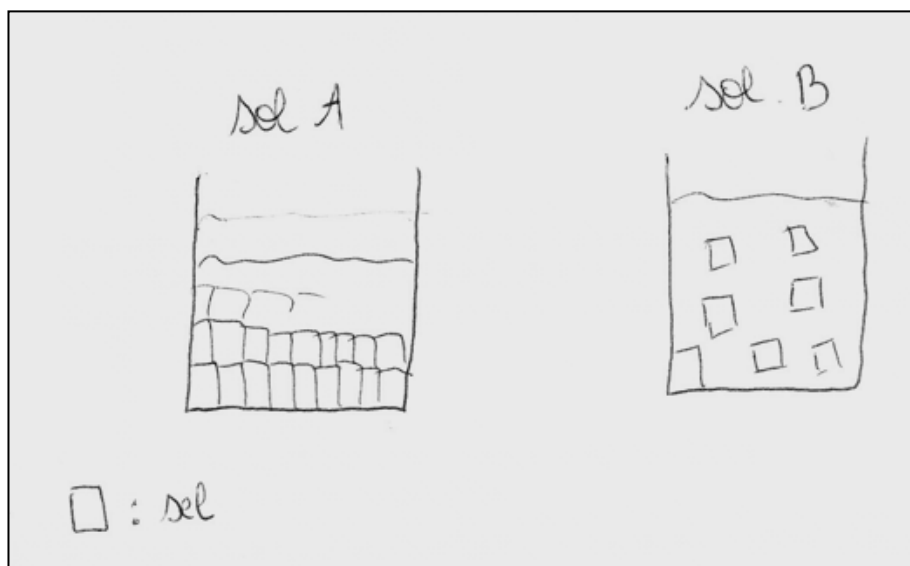


Figure 25. Représentation symbolique d'une solution A plus concentrée qu'une solution B par E6 lors de son entretien d'explicitation.

E6 écrit à côté des deux schémas :

« Dans une même quantité d'un même solvant, plus il y a de soluté plus la solution sera concentrée. Dans le cas où il y a moins de soluté, celui-ci pourra plus facilement se déplacer. »

Par la suite, il déclare :

« Quand elle (en parlant de la solution) est concentrée, ça veut dire qu'ils sont fort... il y en a plus donc ils sont d'office plus les uns près des autres alors que quand elle est moins, c'est un peu plus volatil. »

L'interviewer demande que signifie « volatil » ?

« Ils sont moins assemblés (...) Ils peuvent moins voyager tandis que si c'est comme ça (schéma de droite où les entités sont séparées au sein du liquide), ils peuvent plus se disperser. »

Pour E6, dans une solution moins concentrée, le soluté peut mieux se déplacer. Cette stratégie est liée à celle citée précédemment : l'espace entre les entités de soluté se réduit (jusqu'à ne plus laisser de place au solvant) et la concentration mesurerait cette diminution de possibilité pour elles de voyager.

4. « La concentration comme une bille »

L'élève E4 propose cette stratégie étonnante qui consiste à envisager la concentration comme des billes. Lorsqu'il lui est demandé de modéliser par un schéma, la différence entre une solution concentrée et une autre qui l'est moins, E4 dessine des cercles qu'il nomme « (...) boules de concentration ou billes car c'est petit ».

Le dysfonctionnement semble lié ici à la confusion entre la quantité de matière et la concentration (déjà envisagée précédemment). Cette hypothèse de conception semble confirmée par ce que déclare l'élève lorsqu'il lui est demandé de préciser sa pensée :

« Les boules, on peut dire que c'est la quantité de matière et après, le vide c'est le volume de la solution. »

Cette approche heuristique semble basée sur une interprétation erronée des représentations iconographiques des solutions où des cercles représentent les entités de soluté et où le solvant n'est pas représenté. La transposition interne que E6 a réalisée n'est pas en adéquation avec les savoirs experts : il assimile la représentation symbolique des entités de soluté avec la grandeur concentration chimique.

Cependant, cette stratégie fonctionne très bien pour la question 14 du QCM qui pose tant de problèmes à d'autres élèves du fait de la mobilisation cognitive importante qu'elle demande (*« Soit 200 mL d'une solution A de concentration 0,10 g/L. Quelle doit être la concentration de 100 mL d'une solution B afin d'avoir la même quantité de matière dissoute ? »*). E4 y répond en choisissant la proposition correcte et en explicitant :

« Il y a deux fois moins de liquide donc il faut deux fois plus de concentration pour que ce soit le même, (...), il faut compenser. »

5. « La concentration comme un rassemblement »

L'élève 5 n'envisage pas la concentration comme une proportion de soluté au sein d'une solution mais il assimile la grandeur concentration à un rassemblement d'entités. Le langage courant vient interférer avec le langage chimique.

Voici la définition que cet élève donne à la concentration :

« Beaucoup d'éléments rassemblés, enfin proches. Par exemple si c'est une concentration de personnes et bien c'est tout des personnes rassemblées ensemble » (...)

E5 ajoute : *« Rassemblement d'éléments dans un même lieu » (...)*

Il continue : *« Rassemblement de molécules ensemble pour former... je sais pas comment on dit... des groupements d'atomes » (...)*

Il écrit : *« En chimie, ce sont des rassemblements d'atomes pour former des groupements »*

L'interviewer demande ce qu'il entend par regroupement ?

« Par exemple, du CO₂... il y a des groupements carbone et oxygène »

Pour mieux se faire comprendre, E5 dessine un rectangle et écrit « H₂O et C-O₂ » à l'intérieur (figure 26).

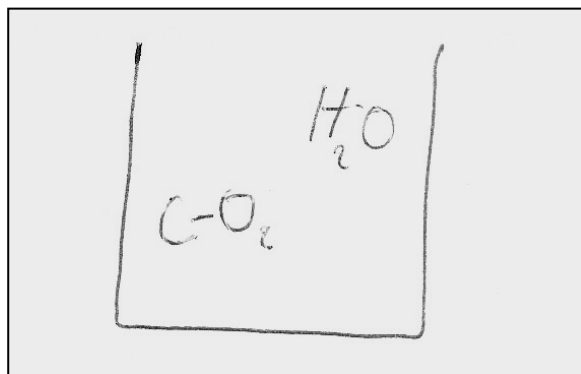


Figure 26. Représentation symbolique de groupements dans une solution selon E5 lors de son entretien d'explicitation.

L'interviewer demande à E5 de préciser ce qu'est la concentration :

« *Ca ne se voit pas à l'œil nu parce que sinon ce serait un mélange* »

« *Par exemple, dans un mélange il y a homogène, ..., on voit de l'eau avec ... du sucre ; on voit pas vraiment le sucre par contre de l'eau avec de l'huile, on voit quand même la différence. La concentration c'est ... on voit pas vraiment... Enfin* »

« *Ce serait une toute petite partie, enfin quand on va voir au microscope.* »

E5 oscille entre des concepts liés à la vie quotidienne (concentration de personnes dans un même lieu) et ceux mis en apprentissage en chimie. Cet élève fait allusion à plusieurs définitions de notions de base en chimie mais de façon peu cohérente : la solution comme un mélange homogène à la différence d'une émulsion huile-eau, la molécule comme un rassemblement d'atomes. Finalement, il assimile la notion de « *rassemblement* » au concept de concentration.

Il est possible que vient ici également interférer le procédé de concentration d'une solution par rapprochement des entités de soluté entre elles.

Pour mieux comprendre sa stratégie, il est demandé à E5 de schématiser les deux solutions A et B de concentrations différentes (A plus concentrée que B), figure 27.

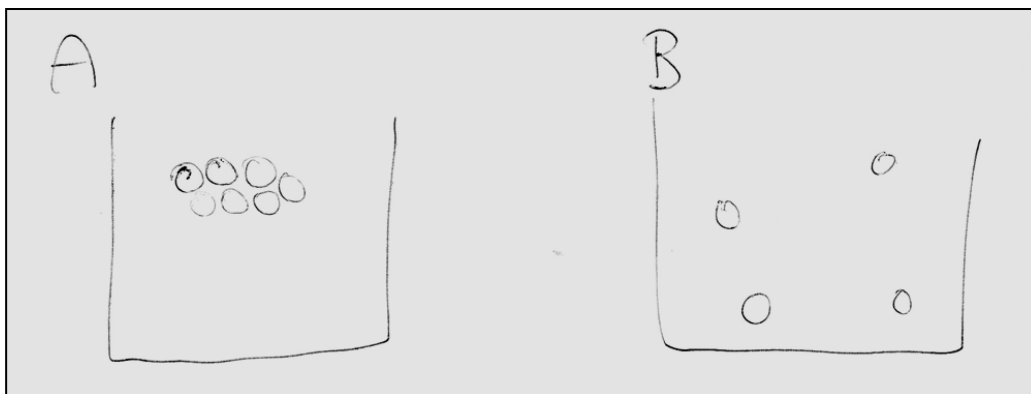


Figure 27. Représentation symbolique d'une solution A plus concentrée qu'une solution B par E5 lors de son entretien d'explicitation.

Il accompagne ses schémas de cette explication :

« Dans la A, je rapproche plus les éléments et dans la B, je les éloigne. »

Ses schémas et son explication confirment sa conception : lorsqu'une solution est annoncée concentrée, les entités se rassemblent au centre du liquide alors que pour une solution moins concentrée, les entités de soluté se répartissent.

Pour répondre aux différentes questions posées tout au long de l'entretien, E5 préfère utiliser les expressions mathématiques de la concentration m/V ou n/V .

2.2.2. Intensivité de la concentration : focalisation sur les questions 6 et 15 du QCM

Les questions 6 et 15 interrogent directement sur le caractère intensif de la concentration chimique. Rappelons leur énoncé :

QCM6 : *« Un litre d'une solution sucrée a une concentration en sucre de 10 g/L. Quelle est la concentration de 100 mL (0,100 L) de cette solution ? »*

QCM15 : *« Soient 5 solutions identiques (même soluté et même solvant) de concentration 10 g/L. On rassemble dans un même récipient les 5 solutions. Quelle est la concentration de cette solution ? »*

Le tableau 30 compare les réponses données à ces deux questions du QCM par les treize élèves interviewés et les explications transcrites (les phrases en caractères italiques correspondent aux transcriptions de ce que les élèves disent) ou commentées dans le cas où la transcription était trop longue.

Elève en entretien	QCM6 <i>Quelle est la concentration de 100 mL d'une solution à 10 g/L ?</i> (réponse correcte : 10 g/L)	QCM15 <i>Quelle est la concentration du mélange de 5 solutions à 10 g/L du même soluté et même solvant ?</i> (réponse correcte : 10 g/L)
E1	Réponse : 1 g/L Après 2 minutes 20 : « C'est la b : 0,10 g/mL » « C'est 1 litre et 1 litre c'est 1000 mL si je ne me trompe pas donc on fait diviser pas 10 - Là, si je fais diviser pas 10, ça fait pas 0,10 g/mL » « C'est la c - on divise les 2 par 10 »	Réponse : 50 g/L « Il y a même soluté (50 g/L) et même solvant donc on rajoute 5 fois la solution sans rajouter sans retirer donc il y a 50 g... » (...) « Ça se cumule » « Je disais avant, si on divise, ça se divise aussi de l'autre côté donc si on multiplie d'un côté ça se multiplie forcément de l'autre »
E2	Réponse : Aucune des possibilités (hésitation avec 1 g/L) « Je ferais diviser en 10 » (...) « Le 10 g puisque si on prend 100 mL c'est 1/10 » « C'est mélangé - si on le sépare, on ne sait pas dire... on ne saurait, le soluté, on ne saurait pas le reprendre à part » « Il n'y a pas de possibilité »	Réponse : 50 g/L « J'hésite entre la a et la c » « Je pense que c'est la a » « Si on met le même soluté le même solvant si on additionne ça fait 50, si on multiplie plutôt » « 5 fois les 10 g/L »
E3	Réponse : 1 g/L « 1 litre divisé par 10 c'est 100 mL, du coup la concentration on la divise par 10 aussi »	Réponse: C dépend du volume puis 50 g/L puis 10 g/L (correct) E3 pense que « même solvant et même soluté » signifie « même volume ». Il comprend ensuite qu'une concentration peut être égale sans avoir le même volume. Il dessine : double de boules mais double de volume → C reste égale.
E4	Réponse : 0,10 g/mL E4 hésite entre b (0,10 g/mL) et c (1,0 g/L). Il tente de calculer de combien de chiffres la virgule s'est déplacée pour le volume (1 L → 0,100 L) pour déplacer d'autant pour 10 g/L.	Réponse : 50 g/L « Si on rassemble les 5 ça fait 10 fois 5 » « Il y a 5 récipients avec chacun 10 g/L » « Donc si on rassemble tout, il y a 50 g/L »

E5	Réponse : 1 g/L « Je dois faire diviser par 10 » « On change pas les données, c'est juste qu'on en demande moins. C'est comme si on prélevait seulement une partie » « 10 fois moins » « Passer de 1 L à 100 mL, c'est divisé par 10 donc... »	Réponse : 50 g/L « Si on additionne 5x10g/L, ça fait 50 g/L »
E6	Réponse : 1 g/L puis « je ne sais pas » E6 écrit la règle de 3 « 1 L → 10 g/L 0,1 L → 1 g/L » Il imagine qu'il y a un piège et relit. « Le volume est plus petit »	Réponse : Fonction du volume de chaque solution. Entretien non poursuivi par manque de temps.
E7	Réponse : Aucune des possibilités E7 divise 10 par 0,1 (soit C/V) et trouve 100. Pour lui, 0,100 L doit être au dénominateur car V solution.	Réponse : 50 g/L Entretien non poursuivi par manque de temps.
E8	Réponse : 10 g/L (correct) « Si c'est la même solution, la concentration changera pas » « On a divisé le 1 litre, maintenant c'est 100 mL et donc les g par litre resteront les mêmes, même si, parce qu'on va aussi diminuer les g qu'il y a dans les 100 mL par rapport au 1 litre »	Réponse : 10 g/L (correct) « La concentration changera pas. Il y aura juste que le volume qu'on grandira et les g... il est pas dit quoi... augmenteront mais la concentration restera la même »
E9	Réponse : 1 g/L E9 pose une règle de 3 : 10 g → 1 L donc 1 g → 0,100 L	Réponse : 10 g/L (réponse correcte mais pas la stratégie) Pour E9, si solutions identiques alors concentrations identiques.
E10	Réponse : aucune des possibilités « En gros, on divise par 10 » Suite à des erreurs d'unités, Il trouve 1 g/mL mais pas de proposition.	Réponse : 10 g/L (correct) E10 explique qu'il y a 5x plus de soluté mais 5x plus aussi de volume.

E11	Réponse : 10 g/L (correct) « On prend une partie de cette solution donc enfin c'est pas parce qu'on prend une partie que la concentration va changer... enfin... on n'a pas... comment dire, on n'a pas ni ajouté ni retiré de matière, on a juste prélevé une partie... donc ça change pas » « Quand on a pris le morceau de gâteau au chocolat, on n' a pas, en le prenant, on n'a pas retiré de la farine, on n'a pas retiré du sucre... c'est le même quoi ! » « La composition ne change pas, c'est la quantité qui diminue » « La proportion... quand on prépare le gâteau, normalement tout est homogène, tout est bien réparti. »	Réponse : 10 g/L (correct) « C'est comme le gâteau au chocolat. On prépare 5 pareils et quand on les remet ensemble, ça sera toujours le même gâteau au chocolat »
E12	Réponse : aucune des possibilités E12 propose d'appliquer une règle de 3 mais s'emmêle dans ses calculs qui sont confus et trouve 100 g/L. Ne trouvant pas la proposition adéquate, il continue son raisonnement : $C = m/V$ or V qui est au dénominateur diminue donc C est multiplié par 10 soit 100 g/L ce qui confirme son précédent calcul.	Réponse : 10 g/L (correct) « Si on prend une bouteille d'un litre de grenadine avec, je sais pas, à la base 20 cl de sirop et une autre bouteille avec toujours 20 cl de sirop on aura 2 litres mais avec 40 cl de sirop et donc quand on fait notre rapport pour avoir sur 1 litre ça fait toujours 20 cl sur 1 litre »
E13	Réponse : 10 g/L (correct) « C'est la même » « Parce que enfin admettons de l'eau sucrée... 1 litre d'eau sucrée si on prend, je sais pas, un verre, on aura toujours la même... concentration, enfin ce sera la même proportion de sucre et d'eau que dans le litre donc... oui donc je dirais que ça fait la même chose »	Réponse : 10 g/L (correct) « Un verre de grenadine, enfin 5 verres de grenadine séparément et si on met tout ensemble, ce sera toujours la même, enfin je parle du goût, ce sera toujours le même goût et ce sera toujours la même concentration que... oui »

Tableau 30. Comparaison des réponses et explicitations aux QCM6 et 15 des treize interviewés aux entretiens d'explicitation.

Seuls trois élèves répondent correctement aux deux questions (E8, E11 et E13).

Notons que deux de ces élèves (E11 et E13) contextualisent les questions pour y répondre.

E11 réfléchit en comparant la solution à un gâteau au chocolat :

E11 pour la QCM6 : « *Quand on a pris le morceau de gâteau au chocolat, on n'a pas, en le prenant, on n'a pas retiré de la farine, on n'a pas retiré du sucre...c'est le même quoi !* » (...) « *La composition ne change pas* » (...) « *La proportion... quand on prépare le gâteau, normalement tout est homogène, tout est bien réparti.* »

E11 pour la QCM15 : « *C'est comme le gâteau au chocolat. On prépare cinq pareils et quand on les remet ensemble, ça sera toujours le même gâteau au chocolat.* »

E13 réalise également une analogie avec le goût d'une grenadine :

E13 pour QCM15 : « *Un verre de grenadine, enfin cinq verres de grenadine séparément et si on met tout ensemble, ce sera toujours la même, enfin je parle du goût, ce sera toujours le même goût et ce sera toujours la même concentration que... oui.* »

Pour la majorité des autres élèves, les questions 6 et 15 du QCM impliquent des réponses telles que :

« *Le volume est divisé par 10 donc la concentration aussi.* » (QCM6)

« *Si on multiplie le volume par 5 donc la concentration aussi.* » (QCM15)

Ces élèves utilisent une règle intuitive du type « *Less A then less B* » ou « *More A then more B* ». Cette stratégie de réponse peut être pertinente pour d'autres questions mais elle ne l'est pas pour les questions 6 et 15 du QCM qui demandent de concevoir la concentration comme une proportion : le volume varie mais la masse varie dans les mêmes proportions et donc la concentration reste identique.

Synthétisons les choix stratégiques des treize interviewés dans le tableau 31.

	QCM6 Concentration de 100 mL d'une solution à 10 g/L		QCM15 Concentration d'un mélange de 5 solutions à 10 g/L	
	Stratégies	Nombre d'élèves (N = 13)	Stratégies	Nombre d'élèves (N = 13)
Stratégies basées sur une règle intuitive	V/10 → C/10 (C comme une grandeur extensive)	9 (70%)	5 solutions → 5C (C comme une grandeur extensive)	5 (38%)
			Solutions identiques → C=	1
Stratégies basées sur la proportion	Proportions égales → C=	2	Proportions égales → C=	3
	V/10 mais m/10 → C=	1	5V mais 5m → C=	3
Autres stratégies	C/V	1	Fonction de V	1

Tableau 31. Synthèse des stratégies de réponses aux QCM6 et 15 des treize interviewés aux entretiens d'explicitation.

Neuf des treize élèves interrogés en entretien soit 70% utilisent une règle intuitive du type « *Less A then less B* » pour réponse à la QCM6 et ils ne sont plus que cinq soit la moitié à utiliser celle « *More A then more B* » dans le cadre de la question 15.

Les quatre élèves E3, E9, E10 et E12 envisagent la concentration comme une grandeur extensive et non intensive pour répondre à la QCM6 mais changent de stratégie pour la QCM15 où ils répondent correctement en envisageant la concentration comme une proportion (E3 et E9) ou en multipliant m et V du même facteur pour garder C constante (E10 et E12).

Lors de l'analyse des réponses au QCM, nous avons déjà remarqué que la fréquence de réponses incorrectes à la QCM6 est supérieure à celle de la QCM15.

Une analyse des explicitations des élèves concernés permet d'émettre une hypothèse : l'énoncé de la QCM15 utilise deux fois le terme « *même* » (même soluté et même solvant) et précise que les cinq solutions sont « *identiques* ». Les quatre élèves qui utilisaient la règle « *Less A then less B* » pour la QCM6, utilisent pour la QCM15 « *Same A then same B* » (et pas « *More A then more B* ») et ils trouvent une concentration égale pour le mélange et pour celle des cinq solutions de départ. Dans ce cas, la règle utilisée peut être pertinente s'ils envisagent bien le paramètre « A » comme le rapport « m/V » et le

paramètre « *B* » comme la concentration « *C* » : « *Même m/V donc même C* ». C'est le cas des élèves E3, E10 et E12.

Ce n'est pas le cas pour l'élève E9. L'analyse de l'explicitation de cet élève pour la QCM15 permet de confirmer que l'utilisation d'une même règle intuitive peut être pertinente ou non selon la façon de l'utiliser. Pour la QCM6, sa stratégie « *V/10 donc C/10* » n'est plus mobilisée pour la QCM15 où il annonce que puisque les solutions ont la même concentration alors la concentration du mélange aussi. Il mobilise « *Same A then same B* » mais dans ce cas, même s'il arrive à la bonne réponse, sa façon d'utiliser cette habitude n'est pas pertinente puisque lui, le paramètre « *A* » est « solutions » et « *B* » est « concentration » : « *mêmes solutions donc même concentration* ». Il applique une habitude spontanée sans poser aucun raisonnement quant au caractère intensif de la concentration.

Ainsi, il semble que les termes utilisés dans un énoncé sont un paramètre qui influence le choix d'une stratégie de réponse comme l'utilisation d'une certaine règle intuitive. Cette hypothèse n'est pas surprenante puisqu'elles sont des habitudes spontanées de réponse où les alertes cognitives ne sont pas enclenchées.

La forme de l'énoncé entraîne la forme de la règle utilisée et selon la façon de lire l'énoncé (et donc selon l'individu), dépend la façon de l'utiliser (attribution parfois aléatoire des paramètres de l'énoncé à « *A* » et « *B* » de la règle).

Ajoutons qu'une réponse correcte peut être le résultat de l'utilisation non pertinente d'une habitude intuitive. La production correcte d'un élève ne reflète pas forcément sa compréhension réelle d'un concept.

2.3. Erreur γ : Le vocabulaire n'est pas correctement utilisé

La fréquence de réponses obtenues à la QCM2 pour les 223 élèves ayant passé le QCM est assez révélatrice de la confusion d'un quart des élèves (26%) entre les différents termes « *soluté* », « *solvant* » et « *solution* ».

Les entretiens d'explicitation confirment ce chiffre. Plusieurs élèves en entretien ne sont pas à l'aise avec ces trois termes et préfèrent éviter de les utiliser au profit de mots qui leur semblent plus concrets tels que :

- « *sucré* », « *grenadine* », « *cacao* » ou « *sable* » pour le soluté ;
- « *lait* » ou « *café* » pour le solvant ;
- « *boisson chocolatée* » ou « *café sucré* » pour la solution.

Reprenons quelques passages des entretiens qui montrent la confusion, pour certains élèves, entre les termes spécifiques utilisés dans le contexte du calcul d'une concentration chimique.

Des élèves confondent les termes « solvant » et « solution ». C'est le cas de E2 qui finit par se corriger :

E2 : « *Le soluté c'est le sucre et le solvant c'est le mélange du sucre et de l'eau* » (...) « *Ah c'est la solution* » « *Le soluté c'est le sucre et le solvant, c'est celui qui dissout donc en fait en tout c'est la solution.* »

De même, E5 élimine la proposition correcte « *Le sucre est le soluté et l'eau est le solvant* » et choisit « *Le sucre est le soluté et l'eau est la solution* ». Il élimine la proposition « *L'eau sucrée est la solution* » en expliquant que :

« *Ca pourrait être bon aussi mais c'est moins précis.* » (dans le sens où un seul terme est repris dans la proposition plutôt que deux).

Lorsque E13 explicite la définition qu'il donne au concept de concentration, il montre ne pas être à l'aise avec les termes spécifiques au contexte d'une solution :

« *Admettons de l'eau sucrée ou de la grenadine, c'est un... soluté ou solvant, je sais plus, qu'on met dans un liquide...* »

Pour E10, les explications sont très confuses :

« *Quand je pense à soluté et solution, moi je revois l'image avec le sucre et le café. Donc le sucre c'est le soluté, c'est la masse solide qui va se dissoudre dans le volume de café qui est la solution euh non c'est pas une solution, le tout forme une solution... le soluté c'est le... je pense que c'est le... le... sucre donc le solide et le volume de solution ça c'est le sucre avec le solide euh... avec le café et le café - solvant ! C'est ça ! Le café c'est le solvant et la*

solution c'est soluté, moi je pense, plus solvant. Enfin je pense, j'espère. »

Dans la suite de l'entretien, E10 préfère utiliser le terme « sel » plutôt que « soluté ».

L'élève E7 inverse les significations de « soluté » et « solvant » :

« Le solvant c'est la chose qui va être dissoute et le soluté, c'est celui qui va dissoudre. »

Pour les cinq élèves que nous avons cités, il semble que les termes et leur signification ne soient pas bien associés dans leurs ressources cognitives.

L'analyse des réponses données par les élèves E6 et E8 permettent de comprendre une origine de l'erreur liée à leur confusion entre les termes « soluté » et « solvant ». Ces deux élèves attribuent au phénomène de dissolution une chronologie et les termes « soluté », « solvant » et « solution » seraient donnés aux composés en fonction de l'ordre dans lequel les composés apparaissent dans l'« histoire » du phénomène.

Pour E6, le solvant est le premier et le soluté est celui que l'on rajoute après :

*« Si on avait mis le sucre dans l'eau, le sucre aurait été le soluté et si on avait mis l'eau dans le sucre, le sucre aurait été le solvant » (...)
« Le soluté, c'est celui qu'on rajoute » (...)
« Comme à la base, on a du sucre moi je le vois comme le solvant et on rajoute de l'eau comme le soluté. »*

Pour E8, le soluté est au début et la solution est à la fin, après le processus de dissolution.

*« Le soluté c'est à la fin... au début, c'est ce qui est au début, ce dans quoi on dilue quelque chose d'autre... ah non c'est ce qui est dilué » (...)
« L'eau est pas la solution parce que la solution, c'est ce qu'on obtient à la fin. »*

Il sera intéressant, lors de recherches futures, de chercher à développer d'autres dysfonctionnements à l'origine de cette erreur ; la piste des « signifiants » et « signifiés » est à explorer. Selon Gérard Vergnaud, psychologue et didacticien des mathématiques, « *Le signifié, c'est les schèmes, et les invariants opératoires implicites sur lesquels ils reposent. Le signifiant, c'est la langue naturelle, et les autres symbolismes.* » (Vergnaud, 1991, p.85). En d'autres termes, le « *signifié* » désigne la représentation mentale du concept associé au signe, tandis que le « *signifiant* » désigne la représentation mentale de la forme et de l'aspect matériel du signe.

2.4. Erreur δ : Calcul numérique incorrect

Les questions 3, 5, 8, 9, 11 et 12 du QCM demandent de calculer une grandeur sur base de données numériques.

L'analyse des explicitations des interviewés a permis de faire émerger quelques exemples de dysfonctionnements cognitifs à l'origine des erreurs de calculs.

La non assimilation de la grandeur masse molaire M

Parmi les questions du QCM qui demandent un calcul numérique, la question 12 est celle qui pose le plus de problèmes aux élèves interrogés en entretien comme nous l'avons mis en évidence dans l'analyse des réponses au QCM. Rappelons son énoncé.

12. Une solution est préparée en dissolvant 2,00 g de chlorure de sodium NaCl dans de l'eau. Le volume final est de 125 mL (0,125 L). La masse molaire M du chlorure de sodium est 58,0 g/mol.

Quelle est la concentration molaire en chlorure de sodium obtenue ?

- a. 0,276 mol/L**
- b. 0,00108 L/mol**
- c. 928 mol/L**
- d. Aucune des possibilités**

Le calcul à réaliser est $m/(MV)$ soit « $2,00/(58,0 \cdot 0,125)$ ». La proposition correcte est la **proposition a** (soit 0,276 mol/L).

Seulement cinq élèves des treize interrogés en entretien trouvent la concentration molaire en fonction d'une masse m de soluté, du volume V de solution et de la masse molaire M du soluté, soit 38% des interviewés (50% au QCM).

Huit élèves ne trouvent donc pas la bonne concentration molaire. La plupart d'entre eux résolvent la QCM12 par essais-erreurs. Ils tâtonnent en tentant différents calculs jusqu'à trouver une valeur qui corresponde à une proposition.

Leurs explications sont variées :

E2 calcule « $(2/0,125) \cdot 58$ » et ajoute « *Je sais bien que c'était fois la masse molaire.* »

E3 calcule « $0,125 \cdot 58,0 = 7,25$ » puis « $58/0,125$ » sans utiliser la masse m . Il finit par choisir la proposition « *Je ne sais pas* »

E4 tente plusieurs calculs : « $2,00/0,125 = 16$ » mais ne trouvant pas de possibilité, il calcule « $58/0,125 = 464$ » mais cette réponse ne correspond toujours pas à une proposition

E5 pose « $C = 200.58/0,125$ » et E6 : « $n = M/m$ » puis il réfléchit deux minutes vingt mais ne trouve pas la réponse

E8 n'utilise pas M dans ses premiers calculs mais ne trouvant pas de proposition qui corresponde à ses résultats, il finit par poser : « $2,00.58,0/0,125 = 928$ »

E9 avoue « *Il faut une formule et je la connais plus donc je pourrai pas résoudre sans cette formule.* »

E7 pense même que M est un nombre quelconque : « *M c'est un nombre au hasard ?* » (...) « *Pas au hasard... on aurait pu mettre n'importe quelle lettre, en fait.* »

La non assimilation de la grandeur masse molaire M dans les ressources cognitives explique probablement ces résultats. Cette grandeur est assez nouvelle pour les apprenants interrogés. Les entretiens ont lieu environ quatre mois après sa mise en apprentissage.

Utilisation d'habitudes acquises lors de précédents apprentissages

L'analyse des entretiens des élèves 4 et 9 permette de mettre en évidence d'autres exemples de dysfonctionnements cognitifs à l'origine des erreurs de calculs.

1. « Dans une fraction, le plus grand des deux nombres est toujours au dessus »

L'analyse de l'explicitation de l'élève E4 pour la question 11 montre que cet élève a acquis un réflexe qui pourrait avoir été acquis lors de l'apprentissage des fractions en primaire. Rappelons cette question :

- 11. Une solution est préparée en dissolvant 0,40 mol de chlorure de sodium NaCl dans de l'eau. Le volume final est de 200 mL (0,200 L). Quelle est la concentration molaire en chlorure de sodium obtenue ?**
- a. 0,50 L/mol**
 - b. 2,0 mol/L**
 - c. 0,080 mol/L**
 - d. Il manque des informations pour répondre**
 - e. Aucune des possibilités**

Le calcul à réaliser est n/V soit « $0,40/0,200$ ». La proposition correcte est la proposition b (soit 2 mol/L).

L'élève E4 réalise un calcul inverse et divise le volume en millilitres par la quantité de matière de soluté : « $200/0,40$ ».

Quand l'interviewer demande d'expliciter, E4 déclare :

« Peut-être parce que je voyais qu'il fallait diviser le volume par les moles parce que le volume est plus grand. »

Il est possible que cet élève active une habitude du type « *Dans une fraction, le plus grand des deux nombres est toujours au dessus* ».

2. « Dans une question qui fait intervenir la concentration, je calcule une fraction avec la donnée correspondant au liquide au dénominateur »

C'est l'étude de la réponse de l'élève 4 à la question 8 du QCM qui permet de faire émerger ce possible dysfonctionnement.

8. Quelle masse de sucre doit-on peser pour préparer 145 mL (0,145 L) d'eau sucrée à 12,0 g/L ?

- a. 1,74 g
- b. 82,8 g
- c. 0,0121 g
- d. 12,1 g
- e. Aucune des possibilités
- f. Je ne sais pas

Le calcul à réaliser est C.V soit « $12,0 \cdot 0,145$ ». La proposition correcte est la **proposition a** (soit 1,74 g).

Voici les deux étapes entreprises par l'élève E4 :

Etape 1 : E4 calcule V/C soit « $0,145/12$ »

Etape 2 : changement de stratégie et il calcule le rapport inverse C/V soit « $12,0/0,145$ » en déclarant : « (...) on va diviser par 0,145 je pense puisque c'est le liquide qui va en bas. »

Son calcul dans les deux cas est incorrect.

Cet élève associe « le liquide » au dénominateur de la fraction C/V. Dans le cas du calcul de C sur base de m et V ($C = m/V$), il est vrai que le volume au dénominateur correspond au volume de liquide.

Ici encore, l'élève E4 applique une habitude qu'il a probablement mise en place pour réduire les unités cognitives de travail lors du calcul d'une fraction.

3. « Si l'unité d'une donnée est une unité par une autre alors j'applique une règle de trois sinon j'utilise une formule ».

Cet autre dysfonctionnement est mis en évidence par l'analyse de l'entretien avec l'élève E9.

Cet élève utilise des stratégies de calculs différentes en fonction des données de l'énoncé.

Dans la question 8 du QCM, la concentration est fournie et son unité précise « g/L ». L'élève E9 procède alors en utilisant une règle de trois.

Dans les questions 5, 9 et 11, il change de stratégie et applique une formule mathématique. Il déclare pour la question 9 :

« Il faut une formule pour faire ça » (...) « je ne peux pas faire une règle de trois. »

Ainsi, les dysfonctionnements cognitifs à l'origine des erreurs de calculs sont variés mais ceux que nous avons mis en évidence ont un point commun : les élèves, probablement pour réduire le travail cognitif à effectuer lors de l'utilisation de plusieurs valeurs, utilisent des habitudes qu'ils ont mis en place dans leurs précédents apprentissages.

Ces exemples de dysfonctionnements cognitifs montrent qu'il en existe très probablement bien d'autres à l'origine des erreurs de calcul.

2.5. Erreur ϵ : Les unités utilisées sont incorrectes

Les unités de masse et de quantité de matière étaient exprimées en gramme et mole tandis que les volumes en millilitre avaient une conversion en litre (valeur indiquée entre parenthèses dans la question) ; ceci pour limiter les erreurs liées aux unités.

Le tableau 32 résume quelques extraits des entretiens qui montrent cette difficulté (les phrases en caractères italiques correspondent aux transcriptions de ce que les élèves disent).

Elèves en entretien	Extraits des entretiens et commentaires liés aux erreurs d'unités
E2	QCM9 1 ^{er} calcul : 100/500 2 ^{ème} calcul : pense à mettre en mL : 200 g/L
E3	QCM5 Calcul assez rapide « 2,00/125 » vite corrigé en « 2,00/0,125 » QCM9 Calcul : 100/500 rapidement
E10	QCM5 E10 calcule $C_m = m/V = 2,00/125$. Il laisse en mL.
E13	E13 se souvient qu'il fallait respecter des « mesures » (il ne retrouve plus le mot « unité ») : V en L, m en mg (il ne sait plus).

Tableau 32. Extraits des entretiens d'explicitation et commentaires liés aux erreurs d'unités.

Les élèves E2 et E3 réalisent un premier calcul incorrect en utilisant les valeurs correspondant aux volumes en millilitres mais ils se corrigent rapidement. Tout comme l'élève 13, ils sont attentifs aux unités.

Il semble qu'une « alerte cognitive » soit installée par ces élèves lorsqu'ils réalisent des calculs.

Seul l'élève E10 (et E3 pour la QCM9) ne convertit pas le volume en litres.

3. Bilan des entretiens pour une mise en évidence des dysfonctionnements cognitifs

Nous avons progressé dans la réponse à la question 2 de recherche QR2 : « *Quels dysfonctionnements cognitifs sont à l'origine des erreurs commises par l'apprenant qui répond à des questions sur la concentration chimique ?* ».

Les dysfonctionnements qui expliqueraient les erreurs commises par les élèves sont extrêmement variés. Les hypothèses énoncées sont loin de constituer une liste exhaustive. Elles ne sont que la mise en évidence des multiples stratégies cognitives utilisées par les élèves pour résoudre un problème lié à l'utilisation du concept de concentration en chimie.

Certaines heuristiques que les élèves utilisent leur permettent de répondre rapidement aux questions posées sans demander un effort cognitif trop important. Ils font appel à des habitudes de réponse qui semblent innées (habitudes intuitives comme « *More A then more B* » ou « *Less A then less B* »). Voici des exemples :

« *Plus de soluté donc solution plus concentrée* » ;

« *Dix fois moins de volume donc dix fois moins de concentration* » ;

« *Cinq fois le volume donc cinq fois la concentration* ».

D'autres habitudes semblent acquises au fur et à mesure des apprentissages et elles deviennent pour certaines, des contrats didactiques implicites entre l'enseignant et l'élève ; l'enseignant n'en n'ayant pas toujours conscience. Citons :

« *Des valeurs numériques dans un énoncé impliquent un calcul numérique dans la réponse* » ;

« *Dans une fraction, le plus grand des deux nombres est toujours au numérateur* » ;

« *Le soluté est le composé que l'on ajoute et le solvant est celui déjà présent* » ;

« *Dans une question qui fait intervenir la concentration, je calcule une fraction avec la donnée correspondant au liquide au dénominateur* » ;

« *Une unité par quelque chose dans l'énoncé implique l'utilisation d'une règle de trois sinon, il faut utiliser une formule* ».

Certaines des stratégies sont basées sur une interprétation parfois erronée ou non totalement aboutie des représentations symboliques de la matière et des solutions afin de représenter le niveau microscopique :

« Le soluté ne prend pas de place au sein de la solution car ses entités s'intercalent entre les molécules d'eau » ;

« La concentration est une mesure d'un écart entre entités de soluté » ;

« La concentration est une mesure de la possibilité pour le soluté de voyager au sein de la solution ».

A l'inverse, d'autres stratégies viennent d'une difficulté à se détacher du niveau macroscopique :

« Le niveau de liquide baisse après ajout de sel car le sel absorbe l'eau » ;

« Le sel se dissout et il disparaît ».

Certaines erreurs trouvent leur origine dans une non assimilation de certains concepts liés à celui de concentration chimique comme la masse molaire par exemple.

La vie quotidienne peut être le point d'ancrage pour une heuristique que l'élève développe parfois avec succès :

« Une part de gâteau a la même composition que le gâteau dont il est issu, les proportions des ingrédients sont conservées » ;

« Un verre d'eau sucrée a le même goût que la cruche dont elle est issue ».

Mais parfois la référence au quotidien aboutit à une conceptualisation non en adéquation avec les savoirs savants :

« La grandeur concentration en chimie est une bille » ;

« La grandeur concentration est un rassemblement d'entités au sein de la solution ».

A ce stade, il est intéressant d'ajouter une remarque quant aux dysfonctionnements que nous associons aux pratiques enseignantes. En effet, il est possible que certains dysfonctionnements évoqués soient liés à la transposition interne réalisée par les enseignants.

Un exemple est l'assimilation par certains enseignants ou manuels du volume de solution à celui de solvant et cela dans un but probablement conscient de simplification. Très souvent, suite à la découverte des grandeurs concentrations massique et molaire, les enseignants entament une série d'exercices d'application centrés sur le calcul d'une concentration. Les données sont la masse ou la quantité de matière du soluté et le volume de solvant. Le volume de solution n'est pas précisé et pour autant le solutionnaire donne une réponse à la question. Ainsi, l'enseignant (ou le manuel) sous-entend une assimilation entre V_{solvant} et V_{solution} .

Signalons également qu'il n'est pas dans les habitudes enseignantes de donner des énoncés contenant des valeurs numériques sans qu'un calcul ne doive aboutir. Il existe un contrat didactique implicite qui aboutit à l'habitude citée ci-dessus : « *Des valeurs numériques dans un énoncé impliquent un calcul numérique dans la réponse* ».

Certaines autres pratiques enseignantes pourraient également expliquer certains dysfonctionnements évoqués précédemment. Comme nous l'avons développé dans la première partie, au premier degré du cycle secondaire inférieur belge francophone (grades 7 et 8), les mélanges sont modélisés par des représentations iconographiques où des espaces sont laissés entre les représentations des corps qui composent le mélange (souvent des cercles ou des disques). Cette modélisation pourrait être à l'origine du dysfonctionnement « *Le niveau d'eau reste identique car le sucre va combler l'espace entre les molécules d'eau* ». Citons également cette manipulation réalisée dans le secondaire inférieur qui consiste à mélanger du sable dans un récipient rempli de cailloux : en fonction du volume de sable et de l'espace entre les cailloux, le volume final peut rester identique au volume initial de cailloux (voire inférieur dans le cas d'eau ajouté à du sable). Les élèves pourraient généraliser ces manipulations à l'ensemble des mélanges réalisés par la suite.

La première étape de notre recherche consistait à réaliser un diagnostic des difficultés d'apprentissage du concept de concentration chimique. Cette étape arrive à son terme même si nos conclusions sont loin d'être exhaustives.

Nous entrons maintenant dans la deuxième étape de notre recherche qui consiste à construire des outils didactiques qui permettent d'améliorer l'acquisition du concept de concentration chimique.

Mais avant cela, nous allons répondre à la troisième question de recherche QR3 : « *Quel outil didactique mettre en place pour identifier rapidement les erreurs commises par un élève lorsqu'il est amené à utiliser le concept de concentration chimique ?* »

C'est le sujet du dernier chapitre de cette partie.

CHAPITRE 5. CONSTRUCTION D'UN OUTIL D'AUTO-ÉVALUATION

L'objectif de notre recherche est de créer des outils didactiques qui permettront d'améliorer l'apprentissage du concept de concentration chimique.

Afin de mieux orienter chaque apprenant vers une remédiation adaptée, nous utilisons le QCM précédemment développé comme outil d'évaluation. Répondre à ce QCM permet de mettre en évidence si un élève commet une ou des erreurs récurrentes lorsqu'il répond à des questions impliquant le concept de concentration chimique.

Pour simplifier son utilisation, nous l'avons équipé d'une correction que chaque élève peut utiliser. Le QCM devient alors un outil d'auto-évaluation.

Un élève qui a passé le QCM reçoit un tableau (tableau 33) qui lui permet de consigner le choix qu'il a réalisé à chaque question du questionnaire à choix multiples et réponse unique.

Ce tableau à vocation formative renseigne l'élève directement sur son niveau de connaissances mais surtout il lui fournit une information sur la ou les erreurs qu'il commet.

	Le volume de solution considéré n'est pas celui de solution	La concentration n'est pas comprise comme une proportion	Le vocabulaire adéquat n'est pas correctement utilisé	Calcul numérique incorrect	Les unités utilisées sont incorrectes	Réponses correctes
Q1	a d	a c d	c d			b
Q2			a b d			c
Q3		a		a c d e		b
Q4	b		c			a
Q5				b d e	c	a
Q6		b c			b	a
Q7		a b				c
Q8				b c d e f	d	a
Q9	a b c			c	a c	d
Q10		a b c				d
Q11				a c d e		b
Q12				b c d e		a
Q13	a b d					c
Q14		a b				c
Q15		a c d				b

Tableau 33. Outil d'auto-évaluation des erreurs commises par un élève lors de l'utilisation du concept de concentration chimique
(Une ligne sur deux est grisée pour des facilités d'encodage).

Cet outil met l'élève au cœur de la démarche puisque c'est lui qui complète le tableau après avoir répondu au QCM.

En fonction des résultats obtenus et en discussion avec son professeur, l'élève pourra être dirigé vers des remédiations adaptées.

Prenons l'exemple de l'élève 1 (E1) interrogé en entretien d'explicitation. Le tableau 34 reprend les choix qu'il a effectués au QCM (les cases grisées correspondent à des choix incorrects):

N° de la question	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Proposition choisie	b	c	b	a	a	c	a	a	b	d	b	a	c	a	a

Tableau 34. Choix effectués par l'élève 1 au QCM lors de son entretien d'explicitation en janvier 2014.

Le tableau 35 correspond à l'outil d'autoévaluation complété par E1.

	Le volume de solution considéré n'est pas celui de solution	La concentration n'est pas comprise comme une proportion	Le vocabulaire adéquat n'est pas correctement utilisé	Calcul numérique incorrect	Les unités utilisées sont incorrectes	Réponses correctes
Q1	a d	a c d	c d			b
Q2			a b d			c
Q3		a		a c d e		b
Q4	b		c			a
Q5				b d e	c	a
Q6		b (c)			b	a
Q7		(a) b				c
Q8				b c d e f	d	a
Q9	a (b) c			c	a c	d
Q10		a b c				d
Q11				a c d e		b
Q12				b c d e		a
Q13	a b d					c
Q14		(a) b				c
Q15		(a) c d				b

Tableau 35. Outil d'autoévaluation complété par l'élève 1 suite à sa passation du QCM en janvier 2014.

L'élève E1 en s'auto-corrigeant se rend compte qu'il commet quatre choix incorrects qui correspondent à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* ».

Ces résultats confirment bien l'analyse des réponses de E1 lors de son entretien d'explicitation. Il s'agit d'un élève qui considère la concentration comme « *la mesure d'un écart entre les entités de soluté* » et qui attribue « *une valeur plus grande à la concentration si le volume de solution est plus petit* ».

Par contre, son entretien montre qu'il a bien acquis le volume de solution comme un volume total supérieur au volume de solvant. Il est, en effet, l'un des rares à se rendre compte pour la QCM9, que le volume de solution ne lui est pas donné. Il résout également très clairement la QCM12 qui demande un calcul numérique plus complexe (calcul de C en fonction de n, V_{solution} et M).

Sur base de ces résultats et suite à une discussion avec son professeur, l'élève E1 peut être conduit vers une remédiation qui lui permettra de mieux acquérir la concentration comme une proportion.

Cet outil d'auto-évaluation répond à la troisième question de recherche QR3 : « *Quel outil didactique mettre en place pour identifier, mesurer et comprendre rapidement les erreurs commises par un élève lorsqu'il est amené à utiliser le concept de concentration chimique ?* ».

La partie suivante entame une nouvelle étape de notre recherche : construire des outils didactiques de remédiation aux différentes erreurs et répondre aux quatre dernières questions de recherche : quelles activités de remédiation concevoir (QR4 et 5) et quels impacts ont-elles ? (QR6).

**- Quatrième partie -
Outils didactiques de remédiation
et mesure de leurs impacts**

CHAPITRE 1. LES OUTILS DIDACTIQUES DE REMÉDIATION

La première étape de notre recherche a permis de mettre en évidence les erreurs récurrentes que les élèves commettent lorsqu'ils répondent à des questions faisant intervenir le concept de concentration chimique. Nous avons tenté de trouver des dysfonctionnements cognitifs qui expliquent ces erreurs.

Trois des cinq erreurs récurrentes sont directement liées au concept chimique de concentration :

1. la grandeur concentration chimique n'est pas comprise comme une proportion ;
2. le volume considéré par l'élève pour calculer les concentrations massique et molaire en soluté d'une solution n'est pas celui de la solution ;
3. le vocabulaire adéquat (soluté, solvant, solution) n'est pas correctement utilisé.

La deuxième étape de la recherche consiste à développer des outils didactiques qui permettent aux apprenants de remettre en question les conceptions qui les amènent à commettre ces erreurs.

Le cadre théorique de notre recherche se situe dans le contexte du changement conceptuel classique que nous avons développé dans la première partie de notre texte.

Les récentes recherches en neurosciences cognitives ont permis d'aborder les conceptions des apprenants sous un angle qui selon nous, est complémentaire. Nous nous appuyons donc sur les propositions faites par les auteurs de ces modèles classiques et neuroscientifiques pour concevoir nos outils.

Cette quatrième partie vise donc à répondre aux trois dernières questions de recherche :

QR4 « *Sur base des dysfonctionnements cognitifs à l'origine des erreurs de l'apprenant, quelles activités concevoir de façon à créer un conflit cognitif chez l'apprenant ?* » ;

QR5 « *Quelles activités concevoir de façon à permettre l'inhibition des conceptions non pertinentes dans le contexte de la concentration chimique chez des élèves du secondaire supérieur ?* » ;

QR6 « *Les outils didactiques permettent-ils de réduire le nombre d'erreurs commises par les élèves interrogés sur des questions portant sur la concentration chimique ?* ».

Les deux erreurs pour lesquelles nous avons conçu des outils didactiques sont « *La grandeur concentration n'est pas comprise comme une*

proportion » et « *Le volume considéré pour calculer une concentration n'est pas celui de la solution* ».

Elles correspondent à une non assimilation des deux notions pivots que nous avons mises en évidence précédemment et sans lesquelles le concept de concentration chimique ne peut être envisagé de façon experte.

L'erreur liée à une utilisation non adéquate du vocabulaire n'a pas été développée dans le cadre de cette recherche pour des raisons de temps. En effet, aborder le langage en chimie demande de développer d'autres cadres théoriques et d'autres analyses diagnostiques.

1. Outil de remédiation à l'erreur « *La (grandeur) concentration n'est pas comprise comme une proportion* »

1.1. Origine de l'outil

La phase diagnostique de notre recherche a mis en évidence que l'intensivité de la grandeur concentration chimique n'est pas un paramètre facile à envisager pour les apprenants.

En effet, plus de la moitié des élèves de grade 10 à 12 interrogés ne considèrent pas spontanément la grandeur concentration chimique comme un rapport et un élève sur cinq confond la concentration en soluté et la quantité de matière de ce soluté.

Nous avons montré également qu'un élève sur trois (grade 10) pense qu'une partie de solution n'a pas la même concentration en soluté que la concentration de la solution dont elle est prélevée et un élève sur quatre pense que le mélange de solutions de même concentration n'aboutit pas à une solution de concentration identique à celle des solutions individuelles.

Quelques dysfonctionnements cognitifs à l'origine de cette difficulté ont été décelés :

1. la concentration mesurerait l'écart entre les entités de soluté ;
2. un soluté dispersé serait « libre de voyager » ;
3. la concentration serait une ou des billes au sein de la solution ;
4. la concentration mesurerait le rassemblement des entités de soluté au sein de la solution ;
5. un petit volume de solution entrainerait une grande (ou une petite) concentration ;
6. la concentration d'une fraction de solution serait directement proportionnelle au volume prélevé de cette solution.

Ces quelques dysfonctionnements cognitifs mis en évidence parmi probablement bien d'autres ont tous un point commun : l'élève cherche une stratégie qui lui permette de répondre rapidement à une question où la grandeur concentration chimique intervient.

La plupart des apprenants tentent des stratégies utilisant des habitudes intuitives de causalité proportionnelle telles que « *More A then more B* » ou « *Less A then less B* » où les paramètres sont mis directement en lien et évolueraient de façon parallèle : « *Plus serré* (ou « *Plus rassemblé* » ou « *Moins libre de voyager* ») *donc plus concentré* » ou bien « *Volume plus petit donc concentration plus petite* (ou « *plus grande* », selon le contexte de la question) » ou encore « *Plus de billes de concentration donc plus concentré* ».

L'objectif de la remédiation à concevoir est donc de permettre à l'apprenant de remettre en question ses conceptions et de se rendre compte que la concentration correspond à une proportion de soluté dans un volume de solution. Nos remédiations doivent avoir un rôle métacognitif.

Selon notre cadre théorique du changement conceptuel, un moyen d'atteindre cet objectif est de permettre un conflit cognitif chez l'apprenant. Une façon de créer un conflit cognitif est de demander à l'élève de prévoir l'évolution d'un paramètre (dans notre cas, la concentration en soluté d'une solution) puis de lui faire réaliser une expérimentation qui modifie ce paramètre. Si une différence existe entre sa prévision et l'observation réelle du paramètre modifié, alors l'élève devrait-être en conflit percepto-cognitif.

Mesurer une concentration chimique n'est pas simple et nous voulons un lien rapide et direct entre la prévision faite d'une concentration en soluté d'une solution et l'observation de sa mesure.

L'outil numérique nous a semblé le plus adéquat pour répondre à cette condition.

Nous avons exploité une application déjà existante et libre d'utilisation sur le web qui correspondait à nos exigences. Elle est mise à disposition sur le site américain « PhET » de simulations interactives de mathématique et de sciences conçues à l'Université du Colorado Boulder par le prix Nobel Carl Wieman²⁹.

L'application dénommée « *Concentration* »³⁰ permet de simuler la mesure de la concentration d'une solution pour laquelle différents

²⁹ Site Web « PhET », en ligne : <https://phet.colorado.edu/fr/>

³⁰ Simulation « *Concentration* », en ligne : https://phet.colorado.edu/sims/html/concentration/latest/concentration_fr.html

paramètres (comme la quantité de soluté, de solvant ou de solution) peuvent être modifiés. Cette application répond donc à nos conditions.

La figure 28 présente la page d'accueil de l'application « *Concentration* ». Le solvant est de l'eau et le volume d'eau de départ est un demi-litre.

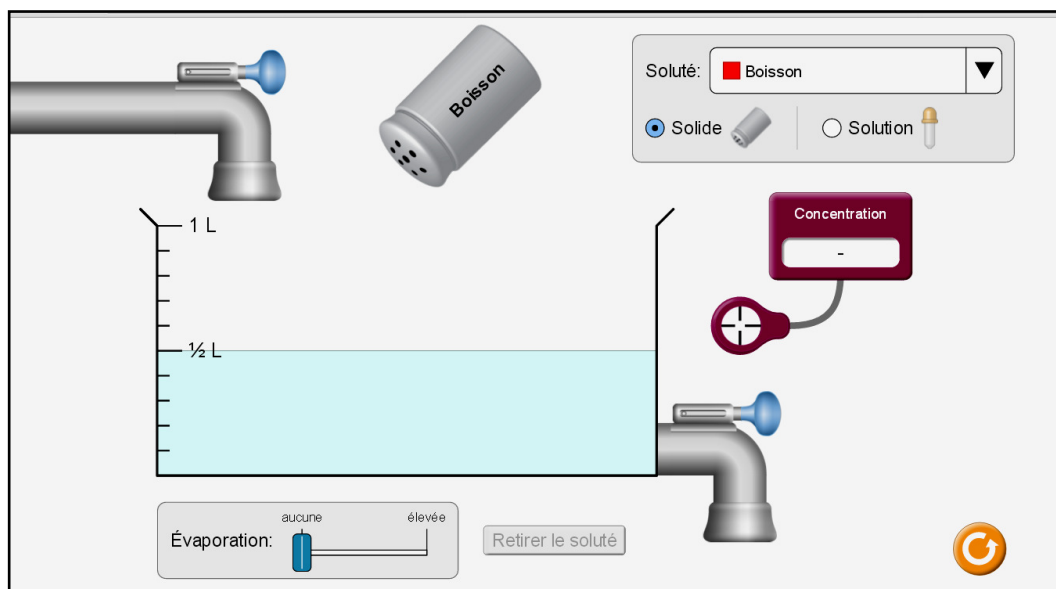


Figure 28. Page d'accueil de la simulation « *Concentration* » du site de simulations interactives « PhET ».

L'utilisateur de l'application peut modifier différents paramètres de la solution et mesurer à tout moment, grâce à une sonde virtuelle, la concentration de la solution. Ces paramètres sont :

- le type de soluté : choix d'une « boisson » ou d'un « sel », dans le menu déroulant en haut à droite ;
- la quantité de soluté : sa lière au dessus de la solution ;
- le volume de solvant : robinet en haut à gauche pour ajouter de l'eau ou le curseur du bas à gauche pour en enlever par évaporation ;
- le volume de solution : robinet de vidange en bas à droite.

Plusieurs paramètres de la solution peuvent être modifiés successivement ce qui permet de proposer plusieurs situations différentes à l'élève. Celui-ci peut ainsi être confronté à plusieurs conflits cognitifs tous amenant à lui faire reconsidérer sa conception de la grandeur concentration chimique comme une proportion d'une quantité de soluté dans un volume de solution.

1.2. Description de l'outil utilisant le conflit cognitif

L'outil tel qu'il a été donné aux élèves est en annexe 19.

Il consiste en quatre pages où les cinq étapes de la remédiation sont expliquées aux élèves :

Avant l'étape 1, différentes informations sont demandées et fournies à chaque élève qui va réaliser l'activité :

1. il est demandé à l'élève d'écrire ses prénom et nom, son école et la date ;
2. le matériel nécessaire est précisé à l'élève : un ordinateur avec la simulation interactive « *Concentration* » du site web PhET, une calculatrice et un bic ou crayon ;
3. les consignes à suivre par l'élève : il doit lire toutes les indications et répondre dans les encadrés au fur et à mesure des étapes.

Etape 1 : Préparation de la solution de départ

Il est demandé à l'élève de plonger la sonde dans le demi-litre d'eau puis d'ajouter du chlorure de nickel en secouant la salière (via un va-et-vient avec la souris de l'ordinateur) de façon à obtenir une concentration molaire comprise entre 1 et 2 mol/L. L'élève doit noter la concentration en chlorure de nickel obtenue dans un encadré prévu à cet effet.

La simulation respecte les solubilités des différents sels et certains conduisent, pour des ajouts faibles de soluté, à des solutions saturées avec excès. Pour éviter ce type de solutions, nous avons choisi le chlorure de nickel (solubilité de 642 g/L soit 4,95 mol/L à 20°C). De plus, ce composé apparaît de couleur verte sur l'écran, couleur bien distincte du bleu (couleur attribuée à l'eau).

Le choix de la plage de concentration (entre 1 et 2 mol/L) a été fait de façon à ce que l'ensemble des élèves travaillent avec des valeurs supérieures et proches de l'unité de façon à uniformiser les résultats et leur analyse.

Etape 2 : Ajout de solvant

L'élève doit écrire la concentration en soluté de la solution qu'il prévoit s'il double le volume de solution en ajoutant 0,5 litre d'eau.

L'élève est ensuite invité à réaliser la simulation.

Il note ensuite la valeur de la concentration indiquée par la sonde après l'ajout de solvant.

Il doit finalement comparer sa prédiction à la valeur observée.

Si sa prédiction est identique à son observation, il lui est demandé de passer à l'étape 3 sinon, il doit expliquer l'évolution de la concentration en soluté observée lors de l'ajout de solvant.

Etape 3 : Vidange de la solution

L'élève doit écrire la concentration en soluté de la solution qu'il prévoit s'il vide 0,5 litre de solution du récipient.

Puis il doit procéder comme à l'étape 2 : il réalise la simulation, écrit la valeur donnée par la sonde et la compare à sa prédiction.

Il passe alors à l'étape 4 si sa prédiction est correcte sinon, il doit expliquer l'évolution de la concentration en soluté observée suite à la vidange d'une partie du récipient.

Etape 4 : Evaporation de solvant

Il est demandé à l'élève de vider le récipient jusqu'à obtenir un volume de 0,4 litre.

Puis il doit prédire la concentration en soluté de la solution s'il fait s'évaporer 0,2 litre d'eau.

Le fait de vider le récipient jusqu'à un volume de 0,4 litre au départ permet de garder visible les graduations qui indiquent le volume de solution (à gauche du récipient) même après réduction du volume de moitié après évaporation du solvant.

Puis tout comme aux étapes 2 et 3, l'élève doit réaliser la simulation, lire la valeur de la concentration mesurée par la sonde, comparer à sa prévision et expliquer par écrit la différence entre les deux valeurs si sa prévision est incorrecte.

Pour les étapes 2, 3 et 4, la démarche est donc identique. Elle est synthétisée dans la figure 29.

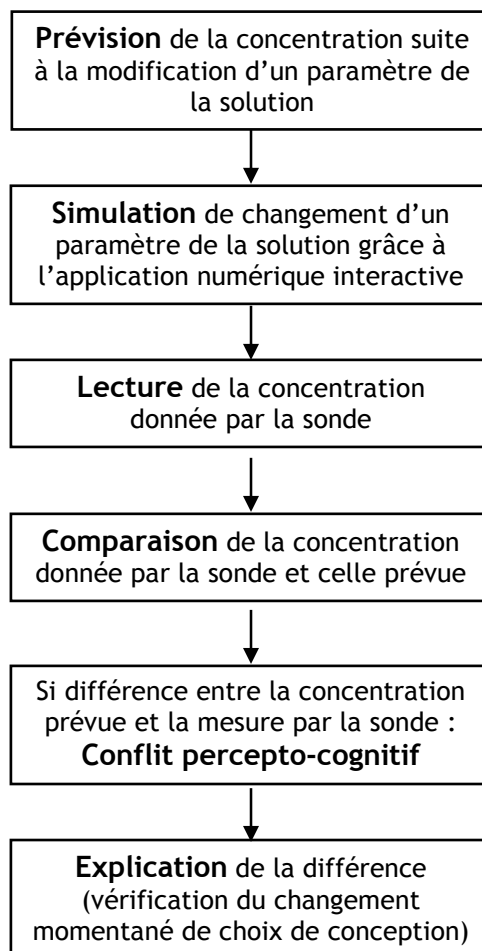


Figure 29. Démarche à suivre par l'élève pour chaque étape de l'activité de remédiation à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* » impliquant un éventuel conflit percepto-cognitif (étapes 2, 3 et 4).

Ainsi, au cours de l'activité de remédiation, l'élève est invité à prévoir la valeur de la concentration en soluté après :

- l'ajout de solvant jusqu'à doubler le volume de solution (étape 2) ;
- la vidange de la moitié de la solution du récipient (étape 3) ;
- l'évaporation de solvant jusqu'à diviser par deux le volume de solution (étape 4).

Pour chacune des trois étapes, l'élève écrit la concentration qu'il prévoit puis il manipule l'application numérique de façon à réaliser les modifications proposées. Lorsque sa prévision et la valeur lue à l'écran ne sont pas identiques, un conflit perceptivo-cognitif devrait avoir lieu obligeant l'apprenant à modifier sa façon de raisonner dans ce contexte.

L'explication qu'il donne permet de vérifier que le conflit cognitif a bien eu lieu et à quelle conception il aboutit.

Nous avons noté à la figure précédente « *changement momentané* » du fait de la possible persistance à plus long terme de la conception initiale de l'élève et « *choix de conception* » car selon les modèles proposés par les scientifiques utilisant les outils neuroscientifiques, le changement de conception correspondait plutôt à un changement de choix de conception autrement dit à un changement de prévalence conceptuelle (Potvin, 2011 et 2013 ; Potvin *et al.*, 2015).

Etape 5 : Auto-évaluation par un texte à trous

L'élève doit compléter un texte court avec les mots « *diminue* », « *augmente* », « *proportion* » et « *ne change pas* » (figure 30).

La concentration d'un soluté est une mesure de la _____ de la quantité de soluté dans le volume de solution : • Si tu ajoutes du solvant, la quantité de soluté diminue par rapport au volume de solution : la concentration _____ lors de l'ajout de solvant. • Si tu vidanges de la solution, tu ne modifies pas le rapport entre la quantité de soluté et le volume de solution : la concentration _____ lors de la vidange de solution. • Si tu évapores du solvant, le volume de solution diminue mais pas la quantité de soluté. La quantité de soluté augmente donc par rapport au volume de solution : la concentration _____ lors de l'évaporation de solvant.

Figure 30. Texte à trous de l'étape 5 de l'activité de remédiation à l'erreur
« La concentration n'est pas comprise comme une proportion ».

L'élève peut s'auto-corriger à l'aide du texte complété qui est donné à la page 4 de l'outil. Cette page est donnée par l'enseignant lorsque les trois premières pages de l'activité sont finalisées par l'élève.

Elle lui permet de réaliser un bilan de l'activité et vérifier sa compréhension de chacune des étapes de l'activité.

2. Outil de Remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* »

2.1. Origine de l'outil

Lors de la phase diagnostique, nous avons montré que de nombreux élèves considèrent le volume de solvant et non de solution pour le calcul de la concentration en soluté.

Pour mieux comprendre l'origine de cette erreur liée à la non considération du volume de solution, nous avons réalisé un test préliminaire qui consistait à présenter un bécher contenant 100 mL d'eau et un autre avec 20 g de sucre en poudre (saccharose) puis à demander aux apprenants de prédire ce que ferait le niveau de liquide si le sucre était dissous dans les 100 mL d'eau.

Les entretiens d'explicitation ont mis en évidence que l'un des principaux dysfonctionnements cognitifs est la non considération de la place supplémentaire occupée par le soluté. Pour certains élèves, « *Le soluté se dissout et donc il disparaît* » et pour d'autres « *Le soluté comblerait les espaces entre les molécules de solvant* ».

L'activité construite s'appuie sur ces résultats. Nous avons repris le dispositif proposé lors du test préliminaire aux entretiens que nous avons légèrement modifié.

D'une part, le sucre est remplacé par du sel car le matériel de verrerie est alors plus facile à nettoyer.

D'autre part, les béchers sont remplacés par des tubes à essai. L'augmentation du niveau de liquide pour une même quantité de soluté ajoutée est plus visible dans un tube à essais de faible section par rapport à un bécher. Avec ce dispositif, l'élève ne peut nier l'augmentation du volume de la solution. Si c'était le cas, le conflit percepto-cognitif pourrait ne pas avoir lieu.

Le tube à essais contenant le sel est plus petit que celui qui contient l'eau de façon à montrer une quantité de sel non négligeable par rapport au volume d'eau dans lequel il sera dissous. Ceci toujours dans le but que l'élève ne puisse nier la quantité non négligeable de sel et favoriser le conflit percepto-cognitif.

2.2. Description de l'activité utilisant le conflit cognitif seul

Nous faisons appel à la même démarche que celle suivie pour la remédiation à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* ».

L'outil tel qu'il a été donné aux élèves est en annexe 20.

Il consiste en trois pages où les quatre étapes de la remédiation sont expliquées aux élèves :

Avant l'étape 1, différentes informations sont demandées et fournies à chaque élève qui suit l'activité :

1. l'élève doit indiquer ses prénom et nom, son école et la date ;
2. les consignes à suivre : lire toutes les indications et répondre dans les encadrés au fur et à mesure des étapes sans revenir en arrière une fois l'étape complétée ;
3. le matériel nécessaire est précisé à savoir un tube à essais contenant de l'eau dont le niveau est indiqué par un trait et un autre tube contenant du sel de cuisine.

La photo 1, à gauche, montre les tubes présentés à l'élève au début de l'activité. Le tube de droite contient 20 millilitres d'eau (niveau d'eau marqué par un trait) et celui de gauche contient 3 grammes de sel de cuisine (chlorure de sodium de formule NaCl).

Ces quantités ne sont pas précisées aux élèves.

Les deux tubes à essais contenant l'eau et le sel sont identiques pour tous les élèves.

La hauteur d'eau dans le tube avant l'ajout du chlorure de sodium est de 11 centimètres et le niveau monte de 0,5 centimètre après l'ajout et la dissolution du sel (photo 2, à droite).

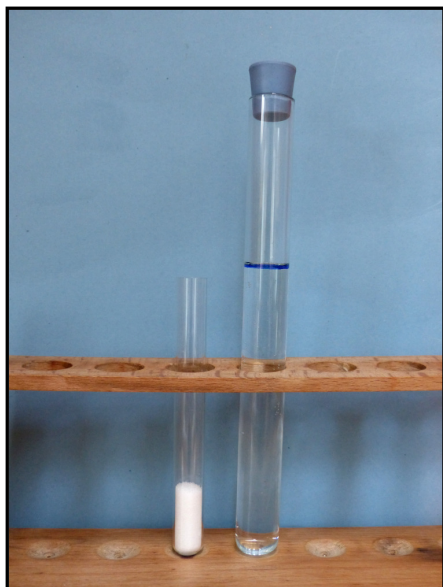


Photo 1 : tubes à essais utilisés pour la remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* ».

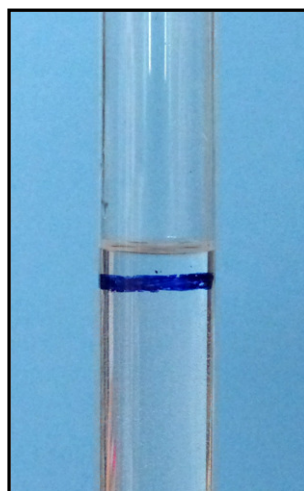


Photo 2 : Visualisation de la montée du niveau de liquide après la dissolution du sel dans l'eau.

Etape 1 : prévision du niveau de liquide après ajout de sel dans l'eau

Il est demandé à l'apprenant de prédire ce que va devenir le niveau de liquide suite à la dissolution de tout le sel dans l'eau. Il doit choisir

parmi trois propositions : « *Le niveau reste le même* », « *Le niveau diminue en dessous du trait* » ou « *Le niveau monte au dessus du trait* ».

Etape 2 : dissolution du sel dans l'eau et observation du niveau réel de liquide

L'élève réalise la manipulation et il doit ensuite observer le niveau de liquide. Il doit à nouveau choisir parmi l'une des trois propositions : « *Le niveau reste le même* », « *Le niveau diminue en dessous du trait* » ou « *Le niveau monte au dessus du trait* ».

Il lui est alors demandé de confronter sa prévision à son observation.

Si une différence est observée, un conflit perceptivo-cognitif devrait se réaliser.

Il est finalement demandé à l'élève d'expliquer la différence. Ici encore, cette explication permet de vérifier que le conflit cognitif a bien eu lieu et à quelle conception il aboutit.

La figure 31 synthétise la démarche suivie pour l'activité de remédiation afin de créer un éventuel conflit cognitif.

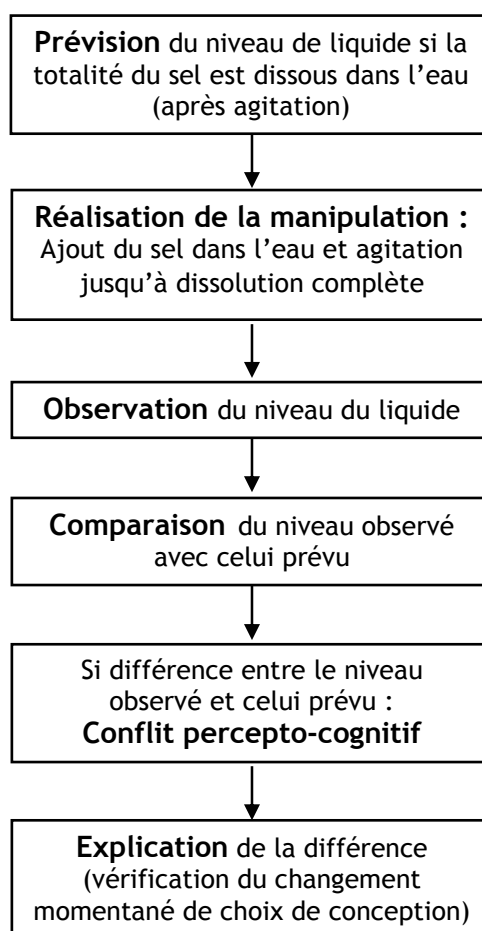


Figure 31. Démarche à suivre par l'élève lors l'activité de remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » impliquant un éventuel conflit percepto-cognitif.

Etape 3 : texte à trous

L'étape 3 vise à vérifier que l'élève a acquis que le volume de solution est le volume à considérer pour le calcul des concentrations massique et molaire en un soluté. Il s'agit d'une institutionnalisation du concept de concentration chimique du point de vue du volume à considérer pour son calcul.

L'élève doit compléter un texte court avec les mots « *différent* », « *volume de solution* », « *l'eau salée* », « *place* » et « *volume total* » (figure 32).

<i>La solution (ici _____) est composée du solvant (ici l'eau) et du soluté (ici le sel).</i> <i>Le volume de solution est _____ du volume de solvant seul :</i> <i>Le sel occupe en effet une certaine _____ au sein de la solution.</i> <i>La concentration d'un soluté est une proportion de la quantité de soluté dans le volume de solution et donc dans le _____.</i> <i>La concentration d'un soluté est calculable que si le _____ est connu.</i>

Figure 32. Texte à trous de l'étape 3 de l'activité de remédiation « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » impliquant un conflit percept-cognitif.

L'élève peut s'auto-corriger à l'aide du texte à trous complété qui est donné à la troisième et dernière page de l'outil que l'élève a en main.

Etape 4 : Institutionnalisation du concept par lecture du document « *Vérifie que tu as compris* »

Il s'agit de rappeler les conceptions expertes liées au concept savant de concentration chimique que les trois premières étapes de l'activité ont mises en évidence.

Nous nous sommes appuyés sur la partie diagnostique pour créer ce document. Les expressions littérales sont complétées d'expressions mathématiques pour aider l'élève à mieux imprimer dans ses ressources cognitives, les conceptions liées à la concentration chimique.

La figure 33 reprend le texte donné à l'élève pour l'étape 4 de la remédiation, intitulée : « *Vérifie que tu as compris* ».

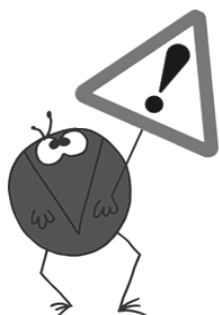
Etape 4. Vérifie que tu as compris

Le volume de solution (l'eau salée) est supérieur au volume de solvant (l'eau seule). La manipulation que tu as faite le prouve :

$$V_{\text{solution}} > V_{\text{solvant}}$$

Pour calculer la concentration d'un soluté, tu dois considérer le volume de solution et pas celui de solvant.

La concentration se rapporte à V_{solution} :



$$\gamma = \frac{m_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$$

et

$$C = \frac{n_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$$

*m est la masse
du soluté dissous (en g)*

*n est la quantité de matière
du soluté dissous (en mol)*

Ceci implique que si le volume total de la solution n'est pas connu, tu ne peux pas calculer la concentration du soluté même si tu es tenté de la calculer à partir du volume de solvant seul.

Figure 33. Etape 4 de l'activité de remédiation « Le volume considéré n'est pas celui de la solution » impliquant un conflit percept-cognitif.

Il est rappelé à l'élève que :

1. le volume de solution est supérieur au volume de solvant ;
2. pour calculer la concentration d'un soluté, il faut considérer le volume de solution et pas celui de solvant ;
3. si le volume total de la solution n'est pas connu, il est impossible de calculer la concentration du soluté même si l'on peut être tenté de la calculer à partir du volume de solvant seul.

2.3. Description de l'activité de remédiation utilisant le conflit cognitif suivi d'un entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes

Notre cadre théorique est celui du changement conceptuel au sens large : nous nous intéressons au modèle classique du changement conceptuel mais nous l'élargissons à celui intégrant les avancées récentes en neurosciences cognitives.

Comme nous le développons dans la première partie de cet écrit, les études en neuroéducation ont montré l'importance du contrôle inhibiteur dans les apprentissages.

En pratique, dans une situation d'entraînement à l'inhibition, une alerte est mise en place de façon à prévenir l'apprenant d'un piège qu'il doit éviter lorsqu'il est face à une question dans un contexte défini. L'élève est prévenu de « *ce qu'il ne faut pas faire* », de l'heuristique à ne pas utiliser. Il s'agit donc d'un protocole métacognitif (Lubin *et al.*, 2012 ; Rossi *et al.*, 2012).

Le modèle de prévalence conceptuelle proposé par Patrice Potvin (Potvin, 2011 et 2013 ; Potvin *et al.*, 2015) développe l'idée que plusieurs conceptions entrent en compétition et que l'une d'entre elles doit être prévalente dans le contexte de la question.

L'outil à construire doit donc amener l'apprenant à se rendre compte de la compétition entre plusieurs conceptions et à le mettre en garde qu'il doit inhiber les conceptions non pertinentes dans le contexte de la dissolution d'un sel dans l'eau et du calcul de sa concentration et au contraire activer la conception pertinente dans ce contexte.

Le conflit cognitif initial joue dans ce cas, un rôle différent : plutôt que d'« attaquer » la ou les conception(s) non pertinente(s), il sert à identifier les contextes où ces conceptions sont non appropriées. L'élève prend alors conscience que plusieurs conceptions peuvent être présentes « dans sa tête » et qu'elles peuvent interférer avec la conception pertinente dans ce contexte. Le conflit cognitif doit amener à un changement de prévalence conceptuelle en freinant l'augmentation du statut donné aux conceptions non appropriées dans ce contexte (Potvin et Cyr, 2017).

L'apprentissage au contrôle inhibiteur qui suit le conflit cognitif doit renforcer l'approche métacognitive : son rôle est de mettre en garde l'élève, via une alerte, qu'il doit rendre prévalente la conception pertinente et inhiber celles qui interfèrent dans le même contexte que celui du conflit cognitif.

Un deuxième rôle de cet apprentissage à l'inhibition est de permettre une automatisisation du choix de prévalence de façon à limiter la

surcharge cognitive lors des raisonnements ultérieurs dans le même contexte. Il s'agit bien d'un entraînement à l'inhibition.

Afin de mieux déterminer les conceptions qui entrent en compétition lorsqu'un élève réfléchit au volume à considérer pour le calcul d'une concentration, nous avons réalisé un test avant la construction de l'outil impliquant un entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes dans le contexte étudié.

2.3.1. Test initial soumis à des élèves de la première primaire à des étudiants en AEES

Présentation du test

Nous avons soumis la première étape de la remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » à cent trente-cinq élèves de différents niveaux scolaires : des élèves de première primaire, sixième primaire, quatrième secondaire et des étudiants préparant l'Agrégation en sciences. Tous les élèves sont issus du système scolaire belge francophone.

Nous leur avons donc posé la question : « *Que fait le niveau de liquide lorsque du sel de cuisine est ajouté puis dissous (après agitation) dans un volume d'eau ?* ». La question était accompagnée du même support matériel : un tube à essais contenant de l'eau et un second avec quelques grammes de sel.

Les résultats de ce test initial sont proposés dans le tableau 36.

Classe des interrogés	Effectif	Réponses à la question		
		le niveau reste le même	Le niveau monte (réponse correcte)	Le niveau baisse
1 ^{ère} primaire	36	3%	91%	6%
6 ^{ème} primaire	30	40%	47%	13%
4 ^{ème} secondaire	40	60%	37,5%	2,5%
AEES en sciences ³¹	29	62%	34,5%	3,5%

Tableau 36. Réponses selon la classe des interrogés à la question « *Que fait le niveau de liquide lorsque du sel de cuisine est ajouté puis dissous (après agitation) dans un volume d'eau ?* ».

Ainsi, 91% des élèves de première primaire, non experts en chimie, répondent correctement à la question. Dès la sixième primaire ce pourcentage chute à 44% et continue de diminuer pour les élèves de

³¹ Elèves préparant l'Agrégation de l'Enseignement Secondaire Supérieur et possédant déjà un Master dans le domaine scientifique (études secondaires + 5 ans).

quatrième secondaire à 37,5% pour atteindre 34,5% chez les futurs enseignants de sciences.

Les élèves interrogés ont été amenés à expliciter leur conception :

1. Les élèves de première primaire

Pour les trente-six élèves de 6-7 ans, la question a été posée en entretien individuel.

Chacun des élèves a été interrogé seul et face au chercheur. Les deux tubes à essais de l'activité de remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » utilisant le conflit percepto-cognitif était présenté à l'élève de première primaire.

Avant de poser la question, l'explication suivante a été faite à chacun des enfants : « *Dans le petit tube il y a du sel comme tu trouves dans ta cuisine. Dans le grand tube, il y a de l'eau et son niveau est marqué par un trait* ».

Pour 91% des élèves interrogés, la réponse est simple et ne tarde pas : « *Ça monte (ça grandit) car il y aura quelque chose en plus* ». La plupart des enfants a des difficultés à expliciter ce qu'ils ont dans la tête car pour eux, la réponse est évidente.

Nous associons cette réponse à l'habitude intuitive : « *Plus de matière donc plus de volume* ». Ici, cette stratégie est efficace et amène à la bonne réponse.

Le passage suivant (figure 34) est une retranscription de l'entretien réalisé avec Timothée qui représente bien les réponses données par les élèves de première primaire.

Chercheur : *Timothée, regarde* (en montrant le tube contenant l'eau). *Ici, j'ai un tube avec de l'eau dedans. Tu vois l'eau ?* (Timothée acquiesce de la tête). *Il y a un trait qui marque le niveau de l'eau. Si je mets ce sel* (en présentant le tube contenant le sel), *le sel que tu as dans ta cuisine, si je le mets dans l'eau, que va faire le niveau* (en montrant le trait) ?

Timothée (spontanément) : *Il va grandir.*

Chercheur : *Pourquoi il va grandir ?*

Timothée : *Parce qu'on va mettre quelque chose dedans.*

Chercheur : *Il va passer où le sel ?*

Timothée : *A travers l'eau* (Timothée accompagne sa réponse d'un mouvement de son doigt qui montre le trajet du sel du trait vers le bas du tube).

Chercheur : *On va le retrouver où après ?*

Timothée : *En bas.*

Chercheur : *Et si je mélange ?*

Timothée (spontanément) : *Ça fera plus d'eau et ça fera de l'eau de mer parce que ce sera très salé.*

Chercheur : *Et le niveau sera monté ?*

Timothée acquiesce spontanément de la tête.

Chercheur : *Tu es sûr de toi ?*

Timothée acquiesce spontanément de la tête. Il semble sûr de lui.

Figure 34. Retranscription de l'entretien avec Timothée, élève de première primaire (Les phrases en italiques correspondent à ce que Timothée et l'interviewer disent).

Une remarque importante doit être faite : pour obtenir une autorisation parentale afin de présenter le passage filmé de l'entretien de Timothée lors d'une communication, une rencontre à son domicile a été réalisée sept mois plus tard. Les parents de Timothée sont tous les deux kinésithérapeutes et un poids de 1 Kg était à disposition. Il a été demandé à Timothée de prévoir quel objet entre le poids de 1 Kg et le stylo en carton ayant servi à signer la décharge tomberait plus vite (les deux objets étaient présentés devant Timothée, à environ 1,50 m du sol). Spontanément, Timothée a répondu « *Ce sera le stylo car il est plus léger...euh non, ce sera le poids car il est plus lourd* ».

Dans l'air, la stratégie intuitive de causalité proportionnelle est pertinente puisque du fait des frottements de l'air, l'accélération est fonction de la masse du corps et c'est bien le corps le plus lourd qui tombe le « plus vite ». Mais dans le cas de la chute libre (libre de tout

frottement), l'heuristique ne fonctionne plus ; lâchés d'une même hauteur à même vitesse initiale, tous les corps arrivent au sol en même temps et ce, quelles que soient leur masse.

2. Les élèves de sixième primaire

Les trente élèves de 11-12 ans qui finissent le cycle primaire ont été interrogés par écrit. La première page de la remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de solution* » (annexe 20) leur était fournie avec les deux tubes à essais (sel et eau).

Qu'ils aient prévu correctement le niveau de liquide ou non, tous ont expliqué leur idée. L'annexe 21 donne les explications données par les élèves.

Parmi ces élèves, 47% répondent que le niveau monte et leurs explications sont beaucoup plus variées que ceux de première primaire et souvent accompagnées de dessins. Ils font appel à leur vie quotidienne ou dernières leçons avec leur enseignant. Les termes de masse, poids, minéraux, cristaux, pression, réaction chimique, matière organique, ... sont utilisés. La figure 35 illustre ce constat : l'élève répond correctement que le niveau de liquide monte mais sa justification fait référence à des concepts peu pertinents dans ce contexte.

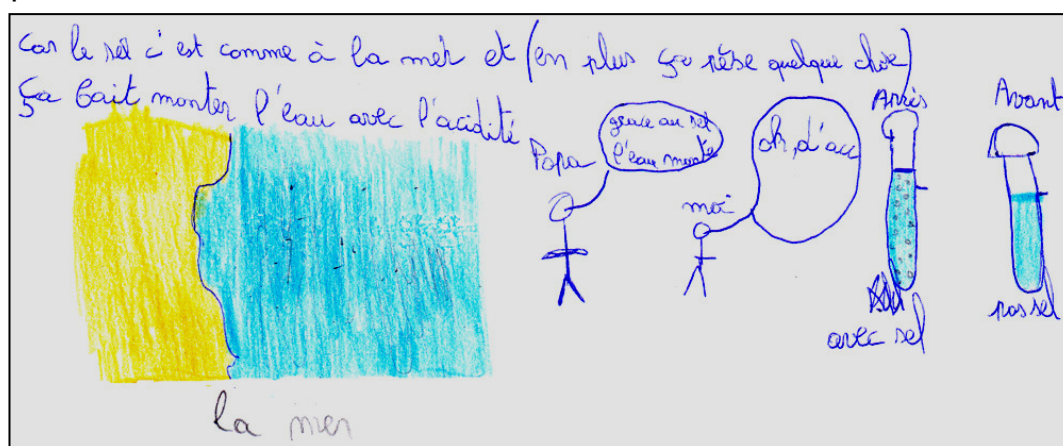


Figure 35. Copie d'un élève de 6^e primaire qui explique pourquoi le niveau de liquide monte quand du sel est dissous dans l'eau.

A cet âge, ils tentent de répondre à une question scientifique en puisant dans les outils scientifiques qu'ils commencent à manipuler pour justifier leurs conceptions premières.

Signalons toutefois que quatre des trente élèves (13%) choisissent la proposition « *le niveau diminue en dessous du trait* » en expliquant que « *le sel absorbe l'eau* ». Un élève précise que « *le sel fait descendre l'eau en faisant grossir le sel* ». Pour ces élèves, la vie quotidienne influence probablement leur stratégie de réponse.

3. Les élèves de quatrième secondaire

Les quarante élèves de 15-16 ans interrogés sont en option sciences et ils ont répondu à la première page de l'activité de remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de solution* » utilisant le conflit percepto-cognitif expliqué précédemment (annexe 20).

Parmi ces élèves, 62,5% répondent de façon incorrecte. Leurs explications à la réponse erronée « *Le niveau reste le même* » sont similaires à celles déjà exposées dans la partie diagnostique de cet écrit :

« *car le sel se dissout* ». La dissolution permet d'obtenir un mélange homogène. Pour ces élèves, le soluté « disparaît » et ils semblent en déduire qu'il n'existe plus (« *Ce qui ne se voit plus -le soluté dans notre cas- n'existe plus* » ;

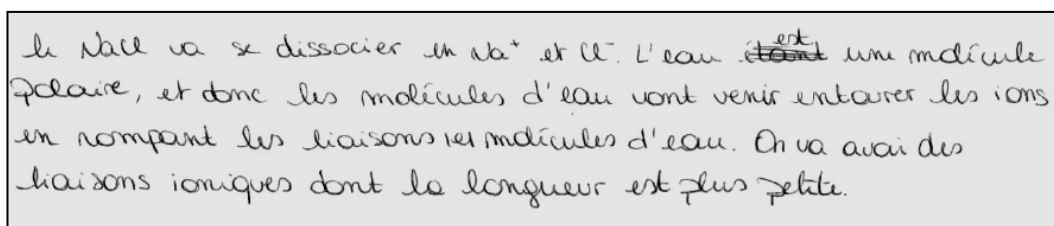
« *car le sel absorbe l'eau* » ;

« *car le sel va combler l'espace entre les molécules d'eau* ». Pour ces élèves, la représentation iconographique des molécules d'eau en forme de cercles amène probablement à cette conception.

4. Les étudiants universitaires, futurs enseignants de sciences

Pour les futurs enseignants de sciences qui répondent majoritairement de façon incorrecte que le niveau de liquide reste le même, les explications sont extrêmement variées.

La figure 36 est la copie d'un étudiant qui justifie que le niveau reste identique en utilisant le modèle de dissolution d'un sel combiné à celui de la liaison ionique.



Le sel va se dissocier en Na^+ et Cl^- . L'eau ~~est~~^{est} une molécule polaire, et donc les molécules d'eau vont venir entourer les ions en rompant les liaisons des molécules d'eau. On va avoir des liaisons ioniques dont la longueur est plus petite.

Figure 36. Copie d'un élève universitaire, futur enseignant de sciences.

L'ensemble des réponses données par les étudiants en AEES sont en annexe 22.

Les nombreuses justifications différentes proposées par les étudiants universitaires interrogés ont toutefois un point commun : elles utilisent un langage issu de la chimie et se réfèrent à de multiples modèles chimiques. Pour ne citer que quelques exemples de modèles cités par les étudiants en AEES : interactions entre les ions sodium et chlorure, dissociation des ions constitutifs du sel, modification de la masse volumique, solvation des ions

présents, saturation de l'eau en sel, propriétés « dessicantes » du sel, réarrangement des atomes par interaction avec l'eau, polarité de la molécule d'eau, densité de l'eau salée, force de répulsion entre molécules d'eau, réaction chimique (production de gaz, production d'hydroxyde de sodium NaOH et de chlorure d'hydrogène HCl), ...

Bilan du test initial

Ainsi, différentes stratégies de réponse sont utilisées par les élèves interrogés. Certaines sont pertinentes pour répondre à la question posée comme celle utilisée par les élèves de première primaire « *Plus de matière donc plus de volume* ». Comme nous l'avons signalé précédemment, l'utilisation de cette même p-prim ne fonctionne plus dans le contexte d'un objet qui tombe en chute libre (« *Plus lourd donc tombe plus vite* ») ou d'un autre qui coule (« *Plus lourd ou plus gros donc coule plus* »). Cette stratégie de réponse pose d'ailleurs de nombreux problèmes aux enseignants de physique (Brault Foisy, Potvin, Riopel et Masson, 2015 ; Dunbar, Fugelsang et Stein, 2007).

Les explications données par les élèves de 15-16 ans qui répondent de façon incorrecte que le niveau reste le même sont toutes liées à des utilisations ou interprétations erronées des modèles chimiques et de leurs représentations iconographiques.

Dans notre contexte en chimie, la p-prim utilisée par les plus petits n'est plus prévalente chez de nombreux élèves du supérieur. Ils utilisent plutôt, dans le cadre d'une question sur la dissolution d'un sel, les conceptions qu'ils se sont construites à partir de modèles chimiques proposés pendant leur cursus scolaire.

L'activité de remédiation que nous devons construire doit permettre de réactiver la prévalence d'une habitude intuitive que la plupart des apprenants utilisent spontanément lorsqu'ils sont encore en première primaire à savoir « *More A then more B* ». Elle n'est plus prévalente dans le contexte chimique de la concentration au fur et à mesure que les apprenants approfondissent les modèles chimiques utilisant les représentations symboliques des constituants de la matière et de leurs interactions.

L'activité doit donc permettre de réactiver la conception pertinente « *Plus de matière donc plus de volume* » autrement dit « *Le volume de solution est supérieur au volume de solvant* » dans le contexte de la dissolution d'un soluté dans un solvant et du calcul d'une concentration chimique. Nous appellerons cette conception pertinente « V_{solution} ». Le dispositif doit également entraîner à l'inhibition de la conception non pertinente « *Le volume de solution est égal ou inférieur au volume de solvant* » (conception non pertinente « V_{solvant} »).

2.3.2. Les « attrape-piège »

Un outil utilisé par l'équipe d'Olivier Houdé au LaPsyDÉ³² pour développer l'apprentissage au contrôle inhibiteur est d'utiliser des « attrape-piège ». Cette méthode a montré l'utilité d'exercer le sujet à activer la stratégie pertinente mais surtout à inhiber celles qui ne le sont pas pour résoudre un problème donné. Le sujet doit apprendre à corriger ses erreurs à l'aide d'alertes exécutives verbales (« *Attention, dans ce type de tâches, il y a un piège* ») et d'un dispositif didactique tel qu'un « attrape-piège » (Lubin *et al.*, 2012).

Des « attrape-piège » ont été testés dans une étude de Rossi, Lubin, Lanoë et Pineau (2012) avec des élèves de 4 à 5 ans ainsi que dans une étude de Lubin, Lanoë, Pineau et Rossi (2012) avec des élèves de 6 à 11 ans en calculs et en orthographe.

Un « attrape-piège » utilise une alerte visuo-spatiale qui formalise le répertoire de schèmes de l'élève. Il permet de rendre consciente l'inhibition de la stratégie inefficace au profit d'une nouvelle stratégie pertinente.

Rossi *et al.* décrivent leur « attrape-piège » :

« Il se matérialise par une planche sur laquelle est apposé un transparent que l'enfant peut soulever et replacer à sa guise. Sur ce transparent apparaît une zone hachurée qui matérialise les processus attentionnels d'inhibition, sous laquelle l'enfant va être amené à placer la réponse erronée. Ce transparent est troué en son centre laissant apparaître une zone d'activation attentionnelle non hachurée dans laquelle l'enfant va être amené à placer la réponse correcte. Les cartons réponses, d'autres alertes visuo-spatiales, sont colorés en rouge ou vert selon qu'ils représentent la mauvaise ou la bonne réponse. » (Rossi *et al.*, 2012, page 40).

Dans ce dispositif, l'enseignant doit expliquer l'utilisation de l'attrape-piège :

« Dans le carré que vous voyez là, on va mettre les réponses. Les mauvaises, celles qui correspondent aux cartes rouges, on va les mettre sous les rayures, parce que c'est ce qu'il ne faut pas faire ! Les bonnes réponses, celles qui correspondent aux cartes vertes, on les placera au milieu, là où il n'y a pas de rayures, parce que c'est ce qu'il faut faire. » (Rossi *et al.*, 2012, page 42).

³² Le LaPsyDÉ est le Laboratoire de Psychologie du Développement et de l'éducation de la Sorbonne, Unité CNRS 3521 depuis 2000.

La figure 37 propose le cache et les outils utilisés par l'équipe du LaPsyDÉ.

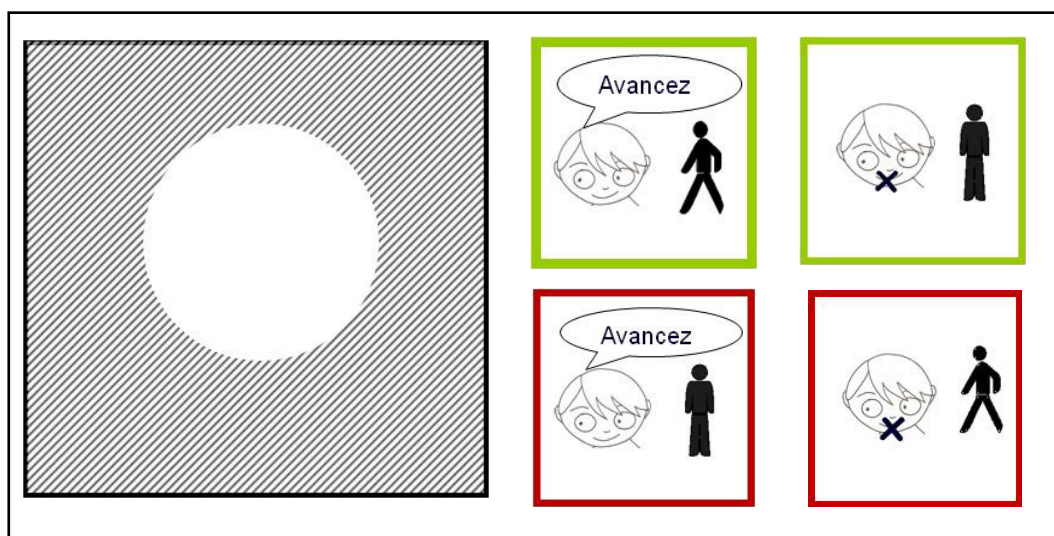


Figure 37. L'attrape piège (à gauche) et les cartes vertes et rouges (à droite) utilisés par Rossi *et al.* (2012, pages 41 et 42).

L'intérêt de ce dispositif didactique expérimental n'est pas que visuel, il est aussi kinesthésique car « *l'action et la manipulation sont importantes dans les processus pédagogiques : on apprend aussi avec les mains surtout chez les plus jeunes* » (Lubin *et al.*, 2012, p.60).

Nous avons testé ce dispositif sur trois élèves de quatrième année (grade 10) dans le cadre d'entretiens individuels.

Sur la carte rouge (ce qu'il ne faut pas faire) était indiqué « *Je calcule la concentration en divisant par le volume de solvant* » et sur la carte verte (ce qu'il faut faire) « *Je calcule la concentration en divisant par le volume de solution* » (voir figure 38).



Figure 38. Cartes vertes et rouges utilisées dans le cadre de la création de la remédiation « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » utilisant l'entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes.

L'élève avait comme consigne d'utiliser un attrape-piège constitué d'un cache transparent en plastique rouge, troué en son centre. La carte rouge doit disparaître sous le cache rouge : elle représente la conception non pertinente « V_{solvant} » et elle doit être inhibée. La carte verte doit être placée sous le trou (zone d'activation attentionnelle) de manière à rester visible : la conception pertinente « V_{solution} » est la conception à activer et à rendre prévalente dans le contexte du calcul d'une concentration.

L'apprenant devait utiliser ce dispositif pour chacune des questions 1, 4, 9 et 13 du QCM qui demandent, pour répondre correctement, d'avoir acquis que le volume à considérer dans le contexte de la concentration est celui de la solution.

Les trois élèves qui ont testé le dispositif ne se sont pas sentis à l'aise lors de sa manipulation ; ils lui ont reproché d'être puéril.

Ils n'ont réalisé la manipulation que pour la première question. Ils n'ont donc pas suivi la consigne puisqu'ils n'ont pas répété l'opération pour les trois autres questions. L'automatisation du processus d'inhibition n'a donc pas été réalisée.

Nous avons préféré développer un autre dispositif qui conviendrait davantage à l'âge des élèves ciblés par notre étude (adolescents de 16-17 ans) et dont l'utilisation serait inévitable à chaque question posée.

2.3.3. Les outils construits et utilisés dans le cadre de notre recherche

Pour la remédiation impliquant une approche neuroscientifique centrée sur le contrôle inhibiteur, les étapes 1 à 3 de la remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » utilisant le conflit cognitif seul restent inchangées (étape 1 : prévision du niveau de liquide - étape 2 : dissolution du sel dans l'eau et observation du niveau réel de liquide - étape 3 : texte à trous).

Nous pensons que le conflit cognitif reste nécessaire pour que les élèves qui pensent que le volume de solution est égal ou inférieur au volume de solvant puissent « voir » que le volume de solution est bien supérieur au volume de solvant et ainsi se rendre compte de l'existence de la conception pertinente « V_{solution} ».

La suite de la remédiation est remplacée par une activité qui amène l'apprenant à s'entraîner à inhiber la conception non pertinente « V_{solvant} » dans le contexte de la dissolution d'un soluté dans un solvant et du calcul d'une concentration chimique ; l'objectif étant de rendre prévalente la conception pertinente « V_{solution} ».

Les deux nouvelles étapes (étapes 4 et 5) qui complètent les trois premières telles qu'elles sont données aux élèves en remédiation sont fournies en annexe 23.

L'étape 4 de la remédiation impliquant uniquement le conflit cognitif qui consistait en un bilan de l'activité et qui s'intitulait « *Vérifie que tu as compris* » est modifiée de façon à permettre une approche davantage métacognitive. Cette nouvelle étape 4 s'intitule maintenant « *Bien activer les bonnes conceptions* ».

Cette étape explique à l'apprenant ce qu'est une conception (« *Une conception est l'idée que tu te fais d'un sujet* ») et que plusieurs conceptions peuvent entrer en compétition dans sa tête. Pour répondre correctement à une question dans un certain contexte, il doit activer la bonne conception dans ce contexte. Il lui est précisé que dans le contexte de la dissolution d'un soluté dans un solvant, la conception pertinente qu'il doit activer est « *Le volume de solution (l'eau salée) est supérieur au volume de solvant (l'eau seule)* » (conception « V_{solution} ») et mis en garde de ne pas employer la conception non adéquate (conception « V_{solvant} »).

Il lui est ensuite répété d'activer la conception « $V_{\text{solution}} > V_{\text{solvant}}$ » (écriture plus visuelle correspondant à une symbolisation sous forme d'expression mathématique) et il est ajouté qu'il doit activer une conception associée « *La concentration se rapporte à V_{solution}* ».

La dernière partie de l'étape 4 reste identique à celle pour la remédiation utilisant le conflit cognitif seul : les expressions mathématiques du calcul des concentrations massique et molaire sont données puis il est rappelé que si le volume total de la solution n'est pas connu, il est impossible de calculer la concentration du soluté même si l'on peut être tenté de la calculer à partir du volume de solvant seul. Notons que dans le cas de la remédiation utilisant l'entraînement à l'inhibition, cette dernière phrase prend probablement plus de sens pour l'élève.

La figure 39 reprend le texte donné à l'élève pour la nouvelle étape 4 intitulée « *Bien activer les bonnes conceptions !* ».

Etape 4. Bien activer les bonnes conceptions !

Une conception est l'idée que tu as à propos d'un sujet.

Plusieurs conceptions peuvent entrer en compétition dans ta tête. Pour répondre correctement à une question dans un contexte particulier, tu dois activer la conception pertinente (la bonne conception) dans ce contexte.

Dans le cas de la dissolution d'un soluté (ici, le sel) dans un solvant (ici, l'eau), tu dois activer cette conception : « le volume de solution (l'eau salée) est supérieur au volume de solvant (l'eau seule) ».

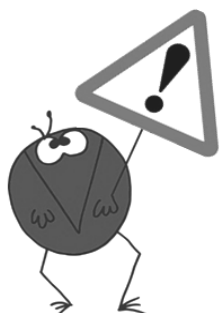
La manipulation que tu as faite le prouve.

Pour calculer la concentration d'un soluté, tu dois considérer le volume de solution et pas celui de solvant.

Ainsi, voici deux conceptions que tu dois activer lorsque tu travailles le concept de concentration en chimie :

Conception 1 : $V_{\text{solution}} > V_{\text{solvant}}$

Conception 2 : La concentration se rapporte à v_{solution}



$$\gamma = \frac{m_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$$

m est la masse
du soluté dissous (en g)

et

$$C = \frac{n_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$$

n est la quantité de matière
du soluté dissous (en mol)

Ceci implique que si le volume total de la solution n'est pas connu, tu ne peux pas calculer la concentration du soluté même si tu es tenté de la calculer à partir du volume de solvant seul.

Figure 39. Etape 4 de l'activité de remédiation « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » impliquant un conflit percepto-cognitif et l'entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes.

L'étape 5 a pour objectif d'automatiser l'activation de la conception pertinente « V_{solution} » et d'entraîner à l'inhibition de la conception non pertinente « V_{solvant} ».

Comme nous l'avons développé dans le point précédent, nous n'avons pas opté pour un dispositif d'« attrape-piège » fait d'un cache et de cartons rouge et vert mais nous avons plutôt pensé que l'élève en remédiation de grade 10 pouvait être lui-même un « attrape-piège. En effet, il est invité à vérifier la copie d'un élève de grade 9, prénommé Alex, qui a écrit cinq affirmations en lien avec le volume considéré dans le calcul d'une concentration. L'élève de grade 10 en activité doit contrôler, pour chaque phrase écrite par Alex, que celui-ci a bien activé la conception pertinente « V_{solution} » pour le calcul d'une concentration et inhibé la conception non pertinente « V_{solvant} ». De cette façon, l'adolescent de grade 10 ne manipule pas un dispositif qu'il juge trop enfantin mais au contraire, il est responsabilisé à vérifier que l'un de ses pairs progresse correctement dans son apprentissage.

Nous avons donné un prénom à cet élève imaginaire (Alex) et associé une photo d'un jeune en âge d'être en grade 9 dans le but de motiver et d'impliquer davantage l'élève en remédiation. Le prénom « Alex » a été choisi car il est court et il correspond à un prénom raccourci donné par les amis à une personne qui leur est proche. Ceci pour renforcer l'affectivité.

Nous nous basons sur les études des équipes de Damasio (1994), Craig & Lazarus (1991) et Houdé, Zago, Crivello, Moutier, Pineau, Mazoyer & Tzourio-Mazoyer (2001) qui ont mis en évidence que les émotions jouent un rôle biologique dans le raisonnement et la prise de décision. Lazarus précise que l'émotion dépend d'une combinaison entre motivation, intérêt et environnement, induisant l'individualisation de la décision. Nous pensons donc que notre outil faisant appel à l'émotion devrait permettre un apprentissage optimisé.

La figure 40 reprend le texte donné à l'élève pour introduire l'étape 5 intitulée « *Vérification de la copie d'Alex* ».

Etape 5. Vérification de la copie d'Alex

Voici la copie d'Alex, un élève de troisième. Vérifie que les phrases qu'il a écrites sont correctes autrement dit, vérifie qu'Alex a bien activé la bonne conception : « *Pour le calcul de la concentration, j'utilise le volume total de solution et pas celui de solvant* ».

Pour chaque phrase écrite par Alex, coche la case :

- « *Activation de V solution* » si la phrase d'Alex est correcte : il a correctement considéré le volume de solution et pas celui de solvant.
- « *Non activation de V solution* » si la phrase d'Alex est incorrecte : il n'a pas considéré le volume de solution mais celui de solvant. **Corrige alors sa phrase.**

Figure 40. Texte introduisant l'étape 5 de l'activité de remédiation « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » impliquant un conflit percepto-cognitif et l'entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes.

Le tableau 37 donne les cinq phrases écrites par Alex.

Les trois premières des cinq phrases sont suivies d'une correction. La première et la troisième phrases sont erronées ; le volume considéré n'est pas celui de la solution mais celui du solvant. Il ne faut pas que l'élève en remédiation commette lui aussi les mêmes erreurs qu'Alex et il doit donc vérifier que l'examen qu'il fait des phrases d'Alex est correct. Si l'élève en activité a mal corrigé Alex, il est mis en garde pour la suite : « *Si tu as mal corrigé Alex, reste vigilant pour la suite : active bien la conception : la concentration se ramène au volume de solution.* ».

Puis il poursuit avec les deux dernières phrases où la quatrième est erronée. La dernière ligne du tableau correspond à la correction de ces deux dernières phrases.

Phrases écrites par Alex	Activation de V solution Bien !	Non activation de V solution Pas bien !
1. La concentration en sel est le rapport entre la quantité de sel et le volume d'eau.		
2. Si je mets du sucre dans de l'eau, je calcule la concentration en sucre en divisant la quantité de sucre par le volume d'eau sucrée.		
3. Pour préparer 1 litre d'une solution de sel dont la concentration sera 120 g/L, je dois mettre 1 litre d'eau dans une fiole de 1 litre puis rajouter 120 g de sel.		
Correction des 3 premières phrases d'Alex (ne coche rien à droite) : 1. Pas bien : il faut diviser par le volume d'eau salée 2. Bien : Alex divise bien par le volume total d'eau sucrée 3. Pas bien : il faut d'abord mettre 120 g de sel puis ajouter l'eau jusqu'au trait de jauge pour que le volume total soit de 1 litre. Si tu as mal corrigé Alex, reste vigilant pour la suite : active bien la conception : « la concentration se ramène au volume de solution ».		
4. Une solution préparée avec 10 g de sel dissous dans 100 mL (0,100 L) d'eau a une concentration de 100 g/L		
5. Pour préparer 1 litre d'une solution de sucre dont la concentration sera 50 g/L, je dois mettre 50 g de sucre puis ajouter l'eau jusqu'au trait de jauge pour avoir un volume total de solution de 1 litre.		
Correction des 2 dernières phrases (ne coche rien à droite) : 4. Pas bien : Alex ne connaît pas le volume total de la solution après l'ajout du sel dans l'eau – <u>il ne peut pas calculer</u> la concentration en sel. 5. Bien ! Alex a bien considéré le volume total de solution.		

Tableau 37. Phrases écrites par Alex dans l'étape 5 de l'activité de remédiation « Le volume considéré n'est pas celui de la solution » impliquant un conflit percepto-cognitif et l'entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes.

Les injonctions courtes « *Bien !* » et « *Pas bien !* » sont indiquées dans les colonnes où l'élève en activité doit cocher ainsi que dans la correction. Nous pensons qu'elles peuvent renforcer la métacognition et la réflexion

quant à la distinction des conceptions pertinentes de celles qui ne le sont pas.

Notre objectif est de rendre à nouveau prévalente la conception pertinente « *Plus de matière donc plus de volume* » et donc l'idée que le volume de solution est supérieur au volume de solvant. L'objectif ultime étant que l'élève considère le volume de solution pour le calcul d'une concentration.

L'organigramme de la figure 41 permet de synthétiser les deux remédiations à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » utilisant le conflit cognitif seul (étape 4 à gauche) ou associé à l'entraînement au contrôle inhibiteur des conceptions non pertinentes (étape 4 à droite).

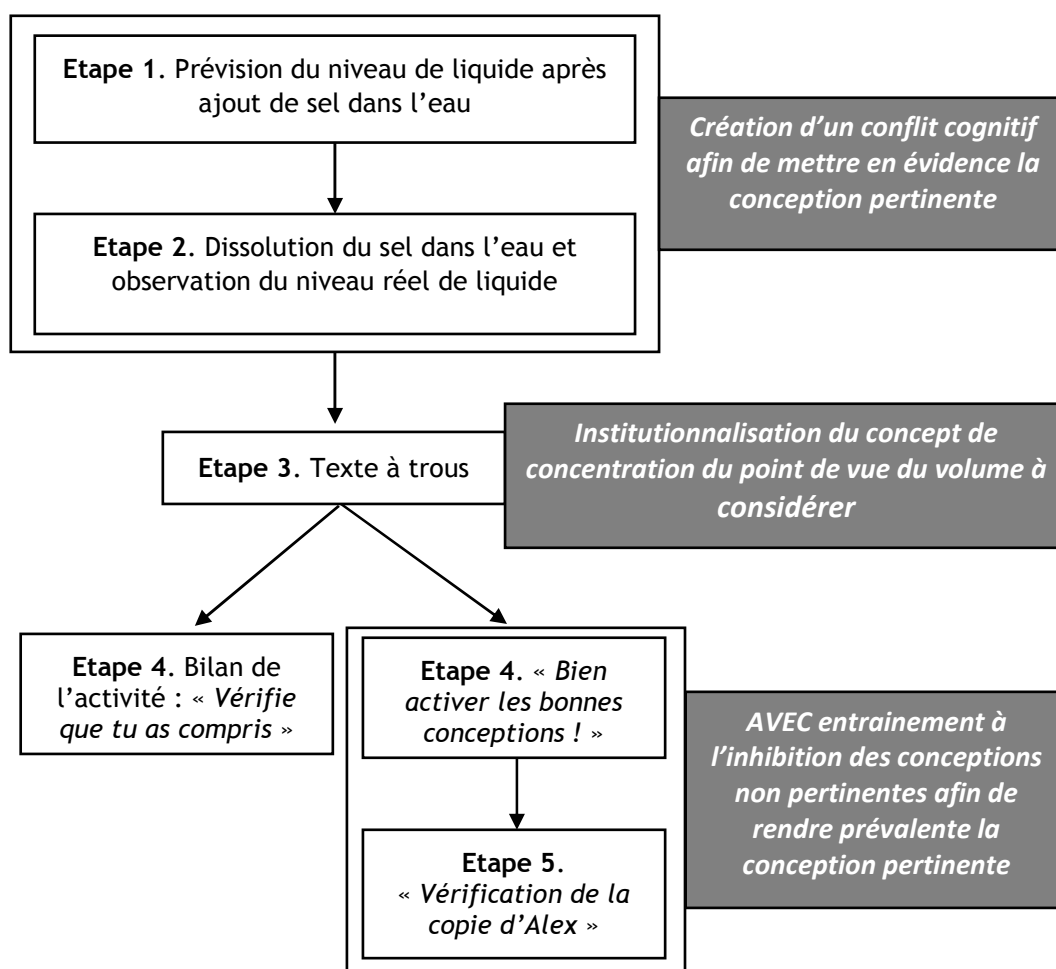


Figure 41. Synthèse et comparaison des activités de remédiation utilisant le conflit cognitif sans et avec entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes.

Ce premier chapitre a permis de répondre aux questions 4 et 5 de la recherche concernant les activités à concevoir pour créer un conflit cognitif chez l'apprenant (QR4) et l'entraîner à l'inhibition des conceptions non pertinentes dans le contexte de la concentration chimique (QR5).

Il s'agit maintenant de vérifier que ces outils permettent de remédier aux difficultés d'apprentissage du concept de concentration chimique en réduisant le nombre d'erreurs commises par les apprenants interrogés sur ce concept. Nous pourrons ainsi répondre à la dernière question de notre recherche (QR6).

C'est le sujet du chapitre suivant.

CHAPITRE 2. MESURE DES IMPACTS DES OUTILS DE REMEDIATION

1. Outil de Remédiation à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* »

1.1. Méthodologie de passation de l'activité

Entre mars et mai 2015, cinquante-six élèves de quatrième année du secondaire (grade 10) ont réalisé l'activité de remédiation à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* » décrite au chapitre 1 de cette partie.

Les élèves étaient issus de trois classes d'option sciences générales de deux écoles différentes : deux classes de dix-sept élèves et une classe de vingt-deux élèves.

Au total, vingt-et-un garçons et trente-cinq filles ont participé à l'activité (cinquante-six élèves).

Les élèves ont tous suivi, dans l'année, l'apprentissage du concept de concentration chimique, tant massique que molaire.

L'activité a été réalisée dans une salle équipée de matériel informatique. Chaque élève avait à sa disposition un ordinateur avec l'application numérique « PhET » déjà installée ainsi que l'outil de remédiation décrit dans le premier chapitre de cette partie (annexe 19).

La photo 3 montre des élèves qui réalisent l'activité sur l'application interactive « *Concentration* » de PhET.



Photo 3. Des élèves réalisent l'activité de remédiation à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* ».

Les consignes orales données aux élèves avant l'activité ont été limitées à préciser que :

1. l'activité à laquelle ils participaient avait comme objectif une recherche scientifique ;
2. l'activité n'était pas notée et que leur enseignant ne serait pas tenu informé des résultats individuels obtenus ;
3. aucune limite de temps n'était imposée ;
4. ils devaient suivre les consignes indiquées au début de la première des pages de l'activité.

Afin de mesurer l'impact de l'activité, la méthode du pré- et post-test a été utilisée.

Avant de réaliser l'activité, les élèves ont répondu au QCM de 15 questions décrit dans l'analyse diagnostique. Il constitue le pré-test.

A la fin de l'activité de remédiation, les élèves ont répondu à un questionnaire composé des questions 1, 6, 10 et 15 du QCM. Pour répondre correctement à ces quatre questions, l'élève doit avoir acquis que la concentration est une proportion. Elles constituent le post-test.

1.2. Méthodologie d'analyse des résultats

1.2.1. Les conflits cognitifs apparents réalisés

L'activité consiste à préparer une solution virtuelle qui va subir trois modifications successives : ajout de solvant, vidange d'une partie de la solution et évaporation de solvant.

L'élève doit prévoir la concentration en soluté avant chacune des modifications.

Les résultats obtenus sont donnés en annexe 24.

Ils sont écrits sous la forme d'un tableau qui énumère, pour chaque élève (de 1 à 56), la concentration de la solution :

1. de départ ;
2. prévue et lue grâce à la sonde suite à l'ajout de solvant jusqu'à doubler le volume de solution ;
3. prévue et lue suite à la vidange de la moitié de la solution ;
4. prévue et lue suite à l'évaporation de solvant jusqu'à diviser par deux le volume de solution.

Lorsque la valeur de la concentration prévue est différente de la valeur lue, l'élève devait expliquer l'évolution réelle de la concentration en soluté. Sur base des explications de l'élève, nous avons déterminé si un conflit cognitif apparent a eu lieu. Nous préférons ajouter le terme « *apparent* » car nous ne pouvons pas nous placer dans la tête de

l'apprenant. Nous déduisons un éventuel conflit cognitif uniquement sur la base de ce que l'élève écrit.

Nous donnons la dénomination :

« *Conflit cognitif positif* » (« CC+ ») si l'explication de l'élève est en adéquation avec une conception experte.

Exemple : suite à la vidange de la moitié de la solution, l'élève 11 prévoit que la concentration du soluté va doubler. Après avoir réalisé la manipulation grâce à l'application numérique PhET, il lit une concentration inchangée. Voici ce qu'il écrit pour expliquer la différence entre sa prévision et la valeur lue : « *L'eau se vide de moitié mais la concentration reste la même car le soluté se vide aussi à moitié* ». L'élève 11 semble réaliser que la moitié du solvant est évacuée lors de la vidange mais que la même proportion de soluté s'évacue également. Cette explication est en adéquation avec la conception experte qui envisage la concentration comme une proportion d'une quantité de soluté par rapport à une quantité de solution. Nous attribuons un conflit cognitif positif pour cet élève 11 à l'étape de vidange.

« *Conflit cognitif négatif* » (« CC- ») si l'explication de l'élève n'est pas en adéquation avec une conception experte.

Exemple : l'élève 48 prévoit que la concentration en soluté de la solution reste identique après évaporation de la moitié du solvant. Il explique la différence avec la valeur lue après la manipulation (valeur qui a doublé) : « *Le NiCl_2 s'est évaporé aussi* ». L'élève 48 n'utilise pas de conception experte pour expliquer la différence observée. Nous lui attribuons un conflit cognitif négatif.

« *Conflit cognitif non explicite* » (« CC ? ») si l'explication de l'élève ne permet pas de déduire si le conflit cognitif est positif ou négatif.

Exemple : l'élève 18 prévoit que l'ajout de solvant jusqu'à doubler le volume de solution va laisser la concentration inchangée. Suite à la manipulation, il se rend compte qu'elle change et écrit : « *Le soluté se dissout dans le solvant* ». Son explication ne nous permet pas de comprendre si le conflit cognitif a mobilisé une conception experte. Nous attribuons un conflit cognitif non explicite.

Il en est de même pour une absence d'explication ou une explication telle que « *Je ne sais pas* ».

L'annexe 24 donne le type de conflit cognitif que nous avons attribué à chaque élève pour chaque étape de la remédiation (ajout de solvant, vidange de solution et évaporation de solvant).

L'annexe 25 complète la précédente : elle donne les retranscriptions des explications données par chaque élève suite à un éventuel conflit cognitif et la dénomination donnée au conflit cognitif (CC+, CC- ou CC ?).

1.2.2. Les gains conceptuels par question et par élève

Les résultats des pré- et post-tests permettent d'établir des scores en fonction du nombre de réponses correctes. Nous appelons « *gain conceptuel* », la variation des scores entre les pré- et post-tests.

Les résultats sont analysés selon deux aspects : Le gain conceptuel par question et le gain conceptuel par élève.

Pour chacune des quatre questions des pré- et post-tests et pour l'ensemble des élèves, la fréquence de réponses incorrectes avant l'activité qui deviennent correctes après l'activité a été calculée. Le gain conceptuel par question correspond à cette fréquence en pourcent.

Pour chaque élève ayant répondu aux 4 questions des pré- et post-tests, un gain conceptuel, compris entre -4 et +4 a été calculé. Un gain de +4 correspond à 4 réponses incorrectes au pré-test qui deviennent toutes correctes au post-test. Un « gain » de -4 correspond à 4 réponses correctes au pré-test qui deviennent toutes incorrectes au post-test. Une valeur intermédiaire telle que +2 est calculée si l'élève qui répondait correctement à une question au pré-test répond correctement à 3 questions au post-test.

Une moyenne du gain pour l'ensemble des élèves est calculée.

Le gain conceptuel pour chaque élève est donné dans le tableau de l'annexe 24.

1.3. Résultats

1.3.1. Les conflits cognitifs apparents réalisés

Le tableau 38 présente pour chacune des trois modifications effectuées sur la solution de départ et pour l'ensemble des cinquante-six élèves interrogés :

1. le nombre et la fréquence de prévisions incorrectes ;
2. la concentration incorrecte C prévue et le nombre d'élèves associés ;
3. le nombre de conflits cognitifs (CC) positifs, négatifs et non explicites.

N = 56	Ajout de solvant jusqu'à doubler le volume de solution		Vidange de la moitié de solution		Evaporation de solvant jusqu'à diviser par 2 le volume de solution	
Prévisions incorrectes	13/56		14/56		23/56	
Concentration incorrecte C prévue et nombre d'élèves associés (nombre de CC+ entre parenthèses)	C=	9 (7CC+)	2C	9 (7CC+)	C=	17 (12CC+)
	C diminue mais pas C/2	2	C/2	4 (3CC+)	C/2	2 (2CC+)
	2C	2 (2CC+)	C diminue	1 (CC+)	C diminue	2 (2CC+)
					C augmente	2 (1CC+)
CC positifs	9/13		11/14		17/23	
CC négatifs	-		-		2/23	
CC non explicites	4/13		3/14		4/23	

Tableau 38. Prévisions incorrectes et conflits cognitifs pour l'activité de remédiation à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* ».

1.3.2. Le gain conceptuel par question

Nous appelons gain conceptuel par question, la fréquence en pourcent des réponses incorrectes avant l'activité qui deviennent correctes après l'activité. Le tableau 39 donne les gains conceptuels obtenus pour chacune des quatre questions.

Ainsi pour la question Q1, nous obtenons vingt-sept réponses erronées sur cinquante-six avant l'activité dont dix-huit deviennent correctes après l'activité soit un gain conceptuel pour la question 1 de 67%.

Questions du QCM	Fréquence des réponses incorrectes avant remédiation	Fréquence des réponses devenues correctes après remédiation	Gain conceptuel par question
QCM1	27/56	18/27	67%
QCM6	21/56	15/21	71%
QCM10	9/56	4/9	44%
QCM15	15/56	10/15	67%

Tableau 39. Activité de remédiation à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* » : Fréquence des réponses incorrectes avant l'activité, fréquence des réponses qui deviennent correctes après l'activité et gain conceptuel par question.

1.3.3. Le gain conceptuel par élève

Sur base des quatre questions des pré- et post-tests, une moyenne du gain conceptuel pour l'ensemble des cinquante-six élèves a été calculée et indiquée dans le tableau 40. L'écart-type est également précisé.

Effectif n	56
Moyenne du gain conceptuel pour 4 questions (moyenne des gains conceptuels individuels). Entre -4 et +4	+0,518
Ecart-type	1,118

Tableau 40. Activité de remédiation à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* » : moyenne du gain conceptuel par élève et écart-type.

Le gain conceptuel moyen est de +0,518 pour 4 questions.

Afin de vérifier que le gain conceptuel est significatif, la distribution t de student a été utilisée. L'augmentation des scores est statistiquement significative : $t(55)=3,47$, $p<0,0001$.

1.4. Discussion

1.4.1. Les conflits cognitifs apparents réalisés

Le nombre de prévisions incorrectes pour les deux premières modifications réalisées sur la solution (ajout de solvant et vidange d'une partie de la solution) est équivalent (respectivement 13 et 14 sur 56) : en moyenne, un élève sur quatre prévoit une concentration erronée suite à l'ajout de solvant ou à la vidange d'une partie de solution.

Le plus grand nombre de prévisions incorrectes est obtenu pour l'évaporation d'une partie du solvant : 4 élèves sur 10 ont une prévision erronée.

Ajout de solvant

Sur les cinquante-six élèves, treize ne prévoient pas que la concentration en soluté est divisée par deux après l'ajout d'eau jusqu'à doubler le volume de solution.

Parmi ces treize élèves, deux prévoient bien que la concentration diminue mais sans préciser qu'elle serait divisée par deux. Ils ne semblent toujours pas y arriver après la manipulation. L'élève 37 semble émettre un doute sur la valeur observée sur l'écran :

Elève 37 : « *Peut-être que le solvant n'est pas « pur » et qu'il y a des choses qui font varier l'évolution.* »

Notons que cette explication est la seule sur l'ensemble des cinquante explications, toutes modifications confondues, où l'élève émet un doute sur l'application numérique et par conséquent sur la simulation.

Pour neuf des treize élèves, la concentration n'est pas modifiée suite à l'ajout de solvant. Comme nous l'avons mis en évidence dans la phase diagnostique, il est probable que ces élèves confondent la quantité de soluté et la concentration puisque en effet, l'ajout d'eau ne modifie pas la quantité de soluté.

Parmi ces élèves, sept développent un conflit cognitif apparent positif. Pour exprimer le fait que la concentration diminue, certains élèves utilisent des expressions utilisant les termes « s'éparpiller » ou « s'étendre » :

Elève 17 : « *Lorsqu'on ajoute du solvant, les particules s'éparpillent.* » ;

Elève 25 : « *De l'eau est rajoutée ce qui fait que la concentration « s'étend » un peu plus dans le récipient. Elle diminue donc.* »

D'autres réfléchissent en utilisant des valeurs numériques :

Elève 45 : « *Il y avait 1,250 mol/L pour 0,5 L d'eau. Si on ajoute 0,5 L d'eau c'est-à-dire le double de la base au total, la concentration est divisée par 2.* »

Un élève s'exprime en parlant de dilution :

Elève 27 : « *La concentration est divisée en 2 car la solution a doublé de volume et est donc 2 fois plus diluée.* »

Notons que certaines explications restent fragiles : l'élève 25 qui exprime que la concentration « s'étend » dans le récipient semble comprendre qu'une dilution a lieu mais il ne fait peut-être que modifier légèrement un dysfonctionnement cognitif qui lui fait comprendre la concentration comme la mesure d'un espace entre particules tout comme le fait l'élève 17 lorsqu'il s'exprime en « *éparpillement des particules* ». Seuls des entretiens d'explicitations permettraient de mieux comprendre l'évolution de la conception de ces élèves.

Les deux élèves qui prévoyaient que la concentration double après l'ajout de solvant se rendent compte après la manipulation que la concentration diminue :

Elève 53 : « *L'eau a dilué.* »

Vidange d'une partie de la solution

En ce qui concerne la vidange de la solution, sur les quatorze élèves qui ne prévoient pas que la concentration reste la même, neuf pensent qu'elle va doubler. Ce résultat est surprenant. Nous nous attendions à ce que davantage d'élèves utilisent une stratégie du type « *Volume de solution plus petit donc concentration plus petite* ». En effet lors de la phase diagnostique, à la question qui demande : « *Un litre de solution sucrée a une concentration de 10 g/L. Quelle est la concentration de*

seulement 100 mL de cette solution ? », un élève sur deux utilise un p-prim du type « *Less A then less B* ». Dans le cas de la vidange, nous pensions que de nombreux élèves se tromperaient et prévoiraient une concentration deux fois plus petite (« *Volume deux fois plus petit donc concentration deux fois plus petite* »). Il semble qu'ils aient plutôt utilisé une stratégie du type : « *Moins de place donc concentration plus grande* ».

Pourtant pour prévoir correctement la concentration suite à une vidange ou à un prélèvement d'une partie de solution, le raisonnement correct est identique. Nous confirmons ici que si le contexte de la question est différent, la stratégie de réponse en est directement impactée. Les stratégies utilisées et conduisant à des réponses erronées restent liées à des p-prim mais la façon de les employer diffère.

Sur ces neuf élèves, sept aboutissent à un conflit cognitif apparent positif dont 4 s'expriment en écrivant que « *Lors de la vidange, le solvant part du récipient mais le soluté part avec* » (élèves 9, 11, 12 et 17). Ils semblent comprendre que le rapport entre la quantité de soluté et le volume de solution reste inchangé puisque le soluté ET le solvant partent ensemble dans les mêmes proportions.

Seulement quatre élèves des cinquante-six prévoient avant l'activité que la concentration sera divisée par deux du fait de la division par deux du volume de solution et un élève prévoit que la concentration diminue. Quatre de ces cinq élèves remettent en question leur conception après l'activité :

Elève 37 : « *Des molécules de NiCl_2 sont parties donc cela n'a pas été modifié.* »

Evaporation de solvant

La diminution de la quantité de solution par évaporation d'une partie du solvant est le paramètre qui conduit au plus grand nombre de prévisions incorrectes : vingt-trois élèves des cinquante-six (41%) ne prévoient pas que la concentration en soluté va augmenter. Pour dix-sept élèves soit presque un élève sur trois, l'évaporation de solvant n'a pas d'impact sur la concentration. L'analyse des explications données montrent que la plupart des apprenants imaginaient que le soluté s'évaporerait avec le solvant. L'interaction avec l'application « *Concentration* » de PhET leur permet de se rendre compte que seule l'eau s'évapore et d'en déduire que la concentration augmente puisque le rapport entre la quantité de soluté et le volume de solution augmente.

La modification du volume de solvant par son évaporation pose problème non pas seulement à cause de la difficulté d'acquisition du paramètre « intensivité » de la grandeur concentration mais aussi et surtout du fait que pour de nombreux élèves, un sel peut s'évaporer avec le solvant.

Notons que le procédé d'évaporation est peu utilisé dans les exercices d'application en chimie.

Les conflits cognitifs qui semblent aboutir (13 sur 23) correspondent davantage à une approche plus experte du phénomène d'évaporation de l'eau d'une solution salée plutôt que de celle de l'intensivité de la grandeur concentration.

Deux élèves qui prévoyaient une concentration inchangée suite à l'évaporation de solvant donnent des explications que nous avons attribuées à un conflit cognitif négatif :

Elève 48 : « *Le NiCl_2 s'est évaporé aussi.* »

Elève 52 : « *Lorsque la solution s'évapore, une partie du soluté s'évapore avec lui : comme une partie du solvant puisqu'ils forment un tout (solution).* »

Ils ont pourtant bien noté la valeur de la concentration qui est double après la manipulation. Ces deux élèves semblent rester sur leur conception initiale.

1.4.2. Le gain conceptuel par question

Commençons par la question qui obtient le gain conceptuel le plus grand.

Question 6 du QCM : « *Un litre d'une solution sucrée a une concentration en sucre de 10 g/L. Quelle est la concentration de 100 mL (0,100 L) de cette solution ?* »

Cette question est celle qui obtient le meilleur gain conceptuel (71%). Nous interprétons cette donnée comme sept élèves sur dix acquièrent après l'activité qu'une fraction de solution a la même concentration que la solution dont elle est issue.

La QCM 6 est directement liée à l'étape de la vidange de l'activité de remédiation. Six des quinze élèves (élèves 9, 18, 28, 37, 49 et 53) qui répondent correctement après l'activité ont eu un conflit cognitif positif à cette étape. Citons deux exemples d'explication suite à l'activité :

Elève 9 : « *Comme ça se vidange, tout part donc la concentration reste la même.* »

Elève 37 : « *Des molécules de NiCl_2 sont parties donc cela n'a pas été modifié.* »

Dans le modèle de prévalence conceptuelle (Potvin, 2011 et 2013 ; Potvin *et al.*, 2015), il semble que le conflit cognitif réalisé lors de l'étape de vidange semble permettre un changement de prévalence pour ces élèves. Ils n'utilisent plus la règle intuitive « *Less A then less B* » mais ils reconnaissent un contexte où une partie de soluté est prélevée

dans les mêmes proportions que le solvant laissant ainsi le rapport entre les deux identique.

Question 15 du QCM : « Soient 5 solutions identiques (même soluté et même solvant) de concentration 10 g/L. On rassemble dans un même récipient les 5 solutions. Quelle est la concentration finale ? ».

Pour cette question, le gain conceptuel est de 67%.

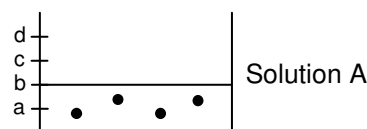
Il s'agit d'une question similaire à la QCM6 mais il s'agit de donner la concentration du mélange de plusieurs solutions de même concentration. Comme nous l'avons mis en évidence dans la phase diagnostique, moins d'élèves répondent erronément dans le contexte d'un mélange que dans le contexte d'un prélèvement (QCM6). Le gain conceptuel est légèrement inférieur mais la différence n'est pas significative (67% contre 71%).

Tous les élèves qui répondent correctement après la remédiation pensaient que la concentration du mélange dépendait du volume de chaque solution. Après la remédiation, ils envisagent correctement que la concentration n'est pas modifiée sans que cela dépendent des volumes.

Question 1 du QCM : « Quelle expression correspond le mieux au concept de concentration chimique ? »

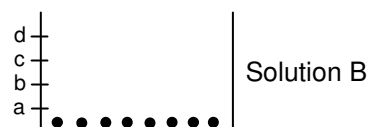
La QCM1 est une question qui demande de définir la concentration. Sur les vingt-sept élèves qui répondent erronément avant l'activité, dix-huit (67%) modifient leur réponse pour en choisir une correcte après la remédiation. Parmi ces dix-huit élèves, onze choisissaient la proposition où la concentration est définie comme « Une quantité de soluté dans un volume de solvant ». L'activité leur fait choisir une réponse où la notion de rapport est présente (« Rapport entre la quantité de soluté et le volume de solution »). Il est possible que la répétition de la notion de rapport et de proportion tout au long de la remédiation soit à l'origine de ce changement de réponse. Au niveau cognitif, il est possible qu'une nouvelle association se soit réalisée pour ces élèves entre le concept de « concentration » et celui de « rapport ». Un changement de prévalence a peut-être eu lieu.

Question 10 du QCM : « Le schéma suivant représente une solution A où la quantité de matière dissoute est symbolisée par des boules noires.



On veut préparer une solution B de concentration identique à la solution A mais avec un nombre différent de quantité de matière dissoute.

A quel niveau doit arriver la solution B ?



La QCM10 est celle qui obtient le gain conceptuel le plus bas (44%). Moins d'un élève sur deux corrige son erreur pour cette question. Notons que seuls neuf élèves sur cinquante-six répondaient erronément avant l'activité. Il s'agit d'une question faisant intervenir une représentation symbolique d'une solution. Nous avons déjà mis en évidence dans la phase diagnostique que cette question est l'une des deux du QCM qui pose le moins de problème aux élèves. Paradoxalement, les élèves qui sont en difficulté pour cette question ont du mal à accéder à une réponse plus experte. Sur les cinq élèves dans ce cas, deux ne changent pas de réponse et les trois autres modifient leur réponse mais elle reste incorrecte. Pour ces trois derniers, un changement de raisonnement a eu lieu mais sans parvenir à rendre prévalente une conception qui lui permette de répondre correctement dans le contexte de cette question. Ces élèves semblent avoir du mal à envisager des représentations symboliques du niveau microscopique de la matière et l'activité ne leur permet pas d'y remédier.

1.4.3. Le gain conceptuel par élève

Le gain conceptuel moyen pour l'ensemble des cinquante-six élèves est de +0,518. Cette augmentation des scores entre le pré- et le post-test est significative.

Ce chiffre signifie qu'en moyenne un élève répond mieux à une demi-question sur quatre suite à l'activité. Nous pouvons l'interpréter comme un élève sur deux répond correctement à une question supplémentaire sur les quatre grâce à l'activité de remédiation.

Nous nous sommes intéressés aux élèves dont le gain conceptuel est négatif. Ce sont des élèves qui commettent au moins une erreur supplémentaire après la remédiation.

Ils sont au nombre de 6. Cinq de ces élèves ont un « gain » de -1 (élèves 12, 20, 33, 38 et 50) et un sixième de -2 (élève 54).

Nous mettons en évidence des points communs entre certains de ces élèves :

Les élèves 20, 38 et 54 avaient répondu correctement à la QCM1 en choisissant la bonne définition de la concentration (« *Rapport entre la quantité de soluté et le volume de solution* ») mais modifient leur choix après la remédiation et choisissent tous les trois une définition où la notion de rapport est absente (« *Quantité de soluté dans un volume de solvant* »).

Les élèves 12 et 54 répondaient correctement à la question 15 du QCM en donnant à la concentration d'un mélange de solutions, la même concentration que celle des solutions individuelles. Après la remédiation, ils commettent l'erreur classique de multiplier la concentration de départ par le nombre de solutions mélangées.

Seuls des entretiens auraient peut-être permis de mieux comprendre l'origine de ces changements de réponse.

Cette activité de remédiation à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* » utilisant un outil didactique visant au conflit cognitif permet à la plupart des apprenants en difficulté d'augmenter leur score sur des questions liées au concept de concentration chimique. Il semble que des changements de prévalence aient lieu.

Pour mieux comprendre ce qui peut amener l'apprenant à modifier ses réponses dans le cadre de ce concept, nous avons développé un autre outil didactique visant à remédier à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » utilisant également le conflit cognitif. L'un des outils ajoute une approche métacognitive forte de façon à développer le contrôle inhibiteur des conceptions non pertinentes dans le but de renforcer le changement de prévalence.

La méthodologie utilisée pour la passation de ces activités de remédiation et les résultats obtenus sont le sujet de la suite de cet écrit.

2. Outil de Remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* »

Les deux activités décrites dans le premier chapitre de cette partie ont été testées : l'une utilisant le conflit cognitif seul et l'autre associant le conflit cognitif et l'entraînement du contrôle inhibiteur des conceptions non pertinentes afin de rendre prévalente la conception pertinente.

2.1. Méthodologie de passation des activités

Entre mars 2015 et mars 2016, cent cinquante élèves de quatrième année du secondaire (grade 10) ont réalisé l'activité de remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* ».

Les élèves étaient issus de huit classes en option sciences générales de deux écoles différentes.

Quatre classes ont suivi l'activité impliquant un conflit cognitif seul soit septante-deux élèves et quatre classes ont suivi l'activité impliquant un conflit cognitif suivi d'un entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes soit septante-huit élèves.

Au total, vingt-neuf garçons et quarante-trois filles ont participé à l'activité utilisant le conflit cognitif seul (groupe CC pour « Conflit Cognitif ») ; quarante-six garçons et trente-deux filles ont réalisé l'activité alliant conflit cognitif et entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes (groupe CC+EI pour « Conflit Cognitif » et « Entraînement à l'Inhibition »).

Tous les élèves ont suivi, dans l'année, l'apprentissage du concept de concentration chimique, tant massique que molaire.

Les consignes orales données aux élèves avant l'activité ont été les mêmes que pour l'activité précédemment décrite concernant la remédiation à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* », à savoir :

1. l'activité à laquelle ils participaient avait comme objectif une recherche scientifique ;
2. l'activité n'était pas notée et leur enseignant ne serait pas tenu informé des résultats individuels obtenus ;
3. aucune limite de temps n'était imposée ;
4. ils devaient suivre précisément les consignes indiquées au début de la première des pages de l'activité.

Afin de mesurer l'impact de chaque activité, la méthode du pré- et post-test a été utilisée.

Avant de réaliser l'activité, les élèves ont répondu au QCM de quinze questions décrit dans l'analyse diagnostique. Il constitue le pré-test. A la fin de l'activité de remédiation, les élèves ont répondu à un questionnaire composé des questions 1, 4, 9 et 13 du QCM. Pour répondre correctement à ces quatre questions, l'élève doit avoir acquis que le volume de solution est supérieur au volume de solvant et que pour calculer une concentration, le volume de solution doit être utilisé. Elles constituent le post-test. Le post-test a été proposé juste après les activités.

L'organigramme, figure 42, synthétise les phases de l'expérimentation.

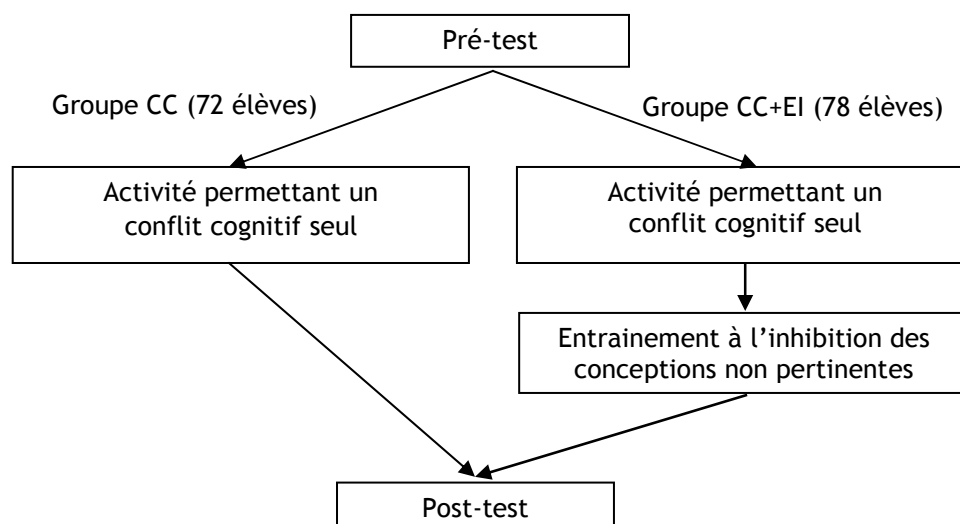


Figure 42. Chronologie de l'expérimentation pour les activités de remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » sans et avec entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes.

2.2. Méthodologie d'analyse des résultats

2.2.1. Les conflits cognitifs apparents réalisés

L'activité consiste à demander à l'élève de prévoir ce que fera le niveau de liquide après l'ajout d'une quantité visible de sel dans un tube à essai contenant de l'eau dont le niveau est marqué par un trait.

Lorsque le niveau prévu par l'élève avant la manipulation est différent de ce qu'il observe après avoir réalisé la manipulation, un conflit percepto-cognitif doit avoir lieu.

Sur base des explications de l'élève, nous avons déterminé si un conflit cognitif apparent a eu lieu.

Tout comme pour l'activité de remédiation à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* », nous donnons la dénomination :

« *Conflit cognitif positif* » (« CC+ ») si l'explication de l'élève est en adéquation avec une conception experte. Nous avons attribué un CC+ aux explications où l'apprenant admet que le sel « *prend de la place* » ou s'il admet que « *plus de matière amène plus de volume* » (utilisation pertinente de la p-prim « *More A then more B* »).

Par exemple, l'élève 1 écrit « *Les molécules de sel prennent de la place donc le niveau de la solution augmente* » : il se rend compte que le niveau monte et justifie correctement que le sel prend de la place. Sa conception semble avoir évolué vers une conception plus experte et nous lui attribuons un conflit cognitif positif.

De même, l'élève 22 écrit : « *Il y a plus de molécules, elles occupent donc un plus grand volume* ».

« *Conflit cognitif négatif* » (« CC- ») si l'explication de l'élève n'est pas en adéquation avec une conception experte.

Par exemple, l'élève 12 trouve une explication à l'augmentation du niveau de liquide en écrivant « *Je pense que le liquide monte car le sel était en trop grande quantité et n'a pu se dissoudre dans l'eau* ». Cet élève ne semble pas concevoir que le sel dissous occupe de la place.

« *Conflit cognitif non explicite* » (« CC ? ») si l'explication de l'élève ne permet pas de déduire si le conflit cognitif est positif ou négatif.

L'élève 25 écrit : « *Le sel s'est dissous mais a augmenté le niveau de l'eau. Je ne sais pas comment.* » ; il se rend compte que le niveau monte mais ne trouve pas d'explication. Un conflit cognitif a sans doute eu lieu mais a-t-il permis le changement même momentané de sa conception initiale ? Nous n'en sommes pas sûrs d'où l'attribution d'un conflit cognitif non explicite.

Les explications écrites par les élèves qui prévoient erronément le niveau de liquide après dissolution du sel ainsi que le type de conflit cognitif associés sont transcrits à l'annexe 26.

2.2.2. Les gains conceptuels par question et par élève

Les résultats des pré- et post-tests permettent d'établir des scores en fonction du nombre de réponses correctes. Nous appelons « *gain conceptuel* », la variation des scores entre les pré- et post-tests.

Tout comme pour l'activité de remédiation à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* », les résultats sont analysés selon deux aspects : Le gain conceptuel par question et le gain conceptuel par élève selon les mêmes modalités.

2.3. Résultats

2.3.1. Les conflits cognitifs apparents réalisés

Le tableau 41 présente pour l'ensemble des deux groupes ayant réalisé la remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » avec CC et CC+EI :

1. le nombre et la fréquence de prévisions incorrectes en fonction de la prévision de l'élève ;
2. le nombre de conflits cognitifs (CC) positifs, négatifs et non explicites.

N = 150	« <i>Le niveau reste le même</i> »		« <i>Le niveau diminue</i> »	
Nombre de prévisions incorrectes	64/150	43%	2/150	1,5%
Nombre de CC positifs (CC+)	46/64	72%	1/2	50%
Nombre de CC négatifs (CC-)	7/64	11%	-	-
Nombre de CC non explicites (CC ?)	11/64	17%	1/2	50%

Tableau 41. Prévisions incorrectes et conflits cognitifs pour l'activité de remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* ».

2.3.2. Le gain conceptuel par question

Nous appelons gain conceptuel par question, la fréquence en pourcent des réponses erronées avant l'activité qui deviennent correctes après l'activité.

Le tableau 42 donne les gains conceptuels obtenus à chacune des quatre questions pour l'activité de remédiation utilisant le conflit cognitif seul (groupe CC, N = 72 élèves). Ainsi, pour la question 1, nous obtenons trente-quatre réponses erronées sur septante-deux avant l'activité dont vingt-cinq deviennent correctes après l'activité soit un gain conceptuel pour la question 1 de 73,5%.

Questions du QCM	Fréquence des réponses erronées avant l'activité CC	Fréquence des réponses devenues correctes après l'activité CC	Gain conceptuel par question
Q1	34/72	25/34	73,5%
Q4	32/72	19/32	59,4%
Q9	63/72	14/63	22,2%
Q13	41/72	15/41	36,6%

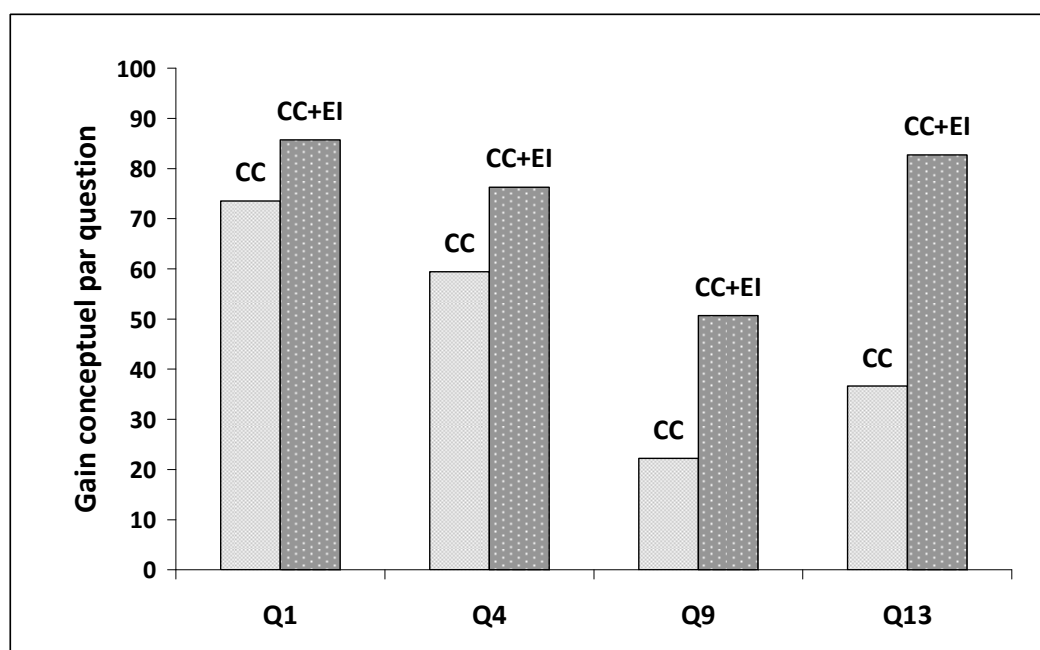
Tableau 42 : Fréquence des réponses erronées avant l'activité, fréquence des réponses qui deviennent correctes après l'activité et gain conceptuel par question pour l'activité de remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » utilisant le conflit cognitif seul (groupe CC).

Les résultats obtenus pour le groupe ayant réalisé l'activité alliant conflit cognitif et entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes (groupe CC+EI, N = 78 élèves) sont présentés dans le tableau 43.

Questions du QCM	Fréquence des réponses erronées avant l'activité CC+EI	Fréquence des réponses devenues correctes après l'activité CC+EI	Gain conceptuel par question
Q1	40/78	35/40	85,7%
Q4	38/78	29/38	76,3%
Q9	69/78	35/69	50,7%
Q13	52/78	43/52	82,7%

Tableau 43 : Fréquence des réponses erronées avant l'activité, fréquence des réponses qui deviennent correctes après l'activité et gain conceptuel par question pour l'activité de remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » alliant conflit cognitif et entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes (groupe CC+EI).

Le graphique 2 et le tableau 44 proposent une confrontation des deux séries de résultats pour les groupes CC et CC+EI.



Graphique 2. Confrontation des gains conceptuels par question pour les activités de remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » sans et avec entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes.

Questions du QCM	Gain conceptuel par question en %		Tests statistiques	
	CC (N = 72)	CC+EI (N = 78)	χ^2 (tseuil : 3,84)	P valeur
Q1	73,5	85,7	2,34	0,13
Q4	59,4	76,3	2,30	0,13
Q9	22,2	50,7	11,51	0,0007
Q13	36,6	82,7	20,77	<0,0001

Tableau 44 : Confrontation des gains par question et tests statistiques selon la distribution de Pearson pour les activités de remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » sans et avec entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes.

Le groupe ayant suivi l'activité avec conflit cognitif et entraînement à l'inhibition (groupe CC+EI) obtient un gain conceptuel significativement supérieur uniquement pour les questions Q9 et Q13 du QCM par rapport au groupe ayant suivi l'activité avec conflit cognitif seul.

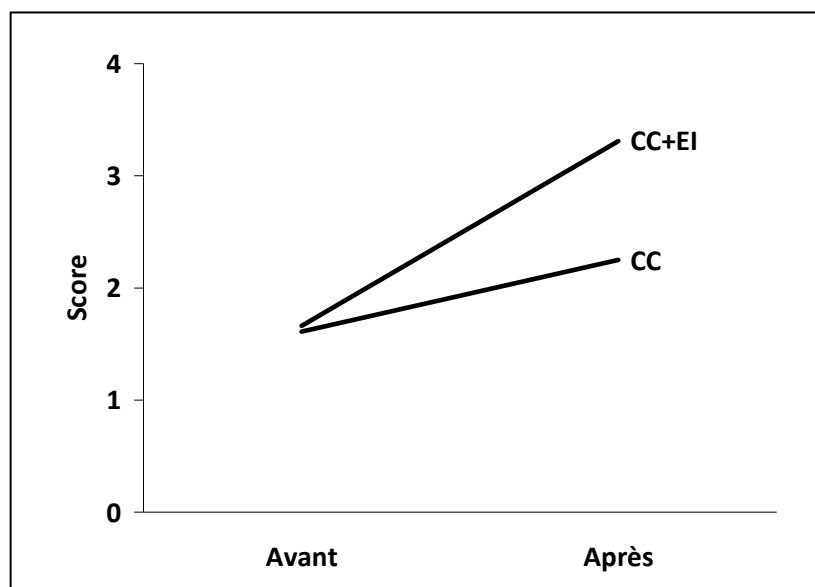
2.3.3. Le gain conceptuel par élève

Sur base des quatre questions des pré- et post-tests, une moyenne du gain conceptuel pour l'ensemble des élèves de chaque groupe a été calculée et indiquée dans le tableau 45 (un interrogé du groupe CC+EI n'a pas répondu à deux questions au post-test ; la moyenne du gain a été calculée pour un effectif de 77).

	Activité avec conflit cognitif seul	Activité avec conflit cognitif et entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes
Groupe d'élèves	CC	CC+EI
Effectif n	72	77
Moyenne du gain conceptuel pour 4 questions. <i>Entre -4 et +4</i>	+0,64	+1,65
Ecart type	1,23	1,16
d de Cohen	0,85 (effet fort)	

Tableau 45. Confrontation des moyennes du gain conceptuel par élève pour les activités de remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » sans et avec entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes.

La graphique 3 permet de visualiser l'augmentation des scores (moyenne des réponses correctes pour l'ensemble des élèves) pour les deux groupes (CC et CC+EI) suite aux activités de remédiation sans et avec entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes.



Graphique 3. Moyenne des réponses correctes (score) pour les 4 questions avant et après les activités de remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » sans et avec entraînement à l'inhibition.

Pour le groupe CC soumis uniquement à un conflit cognitif, le gain conceptuel est de +0,64 (SD=1,16). L'augmentation des scores est statistiquement significative ; $t(71)=4,45$, $p<0,0001$.

Dans le groupe CC+EI soumis à un conflit cognitif suivi d'un entraînement à l'inhibition, le gain conceptuel ($M= +1,65$, $SD=1,16$) est significativement plus important que pour le groupe CC ($M= +0,64$, $SD=1,23$) ; $t(76)=5,2$, $p<0,0001$, $d=0,85$.

La magnitude de l'effet (d de Cohen) entre les deux groupes est de 0,85 qui correspond à un effet fort.

2.4. Discussion

Pour améliorer les scores des apprenants qui répondent à des questions sur la concentration chimique, notre méthodologie a été d'utiliser le conflit percepto-cognitif associé ou non à une approche métacognitive centrée sur le contrôle inhibiteur des conceptions non pertinentes.

L'objectif du conflit cognitif est de mettre en évidence la conception pertinente « *Après dissolution d'un soluté dans un solvant ; le volume de solution est supérieur au volume de solvant* » (conception « V_{solution} »). Analysons les résultats obtenus lors de cette première étape de l'activité de remédiation.

2.4.1. Les conflits cognitifs apparents réalisés

Sur l'ensemble des cent cinquante élèves de grade 10 qui ont suivi l'activité demandant de prévoir ce que fera le niveau de liquide après ajout d'une quantité de chlorure de sodium, soixante-six (44%) ne pensent pas que le niveau va monter. Ils sont soixante-quatre à prévoir que le niveau va rester le même et deux élèves pensent que le niveau va baisser.

Après avoir ajouté le sel dans l'eau et mélangé l'ensemble de façon à ce que le sel soit totalement dissous, 71% des élèves (47 élèves sur 66) qui sont en conflit cognitif semblent aboutir à une conception plus experte juste après la manipulation (CC+).

Douze des soixante-six élèves n'ont pas explicité ce qu'ils pensent ou leur explication ne permet pas de déduire si la conception qu'ils tentent d'exprimer est experte (CC ?).

Sept des soixante-quatre élèves qui pensaient que le niveau resterait le même ne semblent pas aboutir à une conception experte même momentanément. Pour autant, ils n'explicitent pas une conception moins erronée après le conflit cognitif. Pour ces élèves, le niveau monte car le sel ne s'est pas dissous complètement et c'est la partie non solubilisée qui fait monter le niveau de liquide. Ils semblent rester sur leur conception initiale.

Les conflits cognitifs apparents positifs (CC+)

Soixante-six des cent-cinquante élèves ne prévoient pas l'augmentation du niveau de liquide après l'ajout du chlorure de sodium dans l'eau. Suite à l'activité de remédiation par contre, quarante-sept justifient correctement que le niveau monte. Deux stratégies sont mises en évidence : 47% des élèves expliquent que « *le sel prend de la place* » et 53% déclarent que « *plus de matière entraine plus de volume* ».

Nous attribuons ce changement d'expression à la réutilisation de la p-prim « *More A then more B* ». Nous utilisons le terme « réutilisation » puisque lors du test initial à la remédiation, nous avons mis en évidence que la presque totalité des élèves de première primaire utilisent cette habitude spontanée et prévoient correctement l'augmentation du niveau de liquide suite à la dissolution du sel de cuisine dans l'eau.

Suite à l'activité de remédiation, un élève sur deux exprime clairement cette p-prim par le fait que s'il a plus de matière donc il y a plus de volume et l'autre moitié des apprenants passe par une pensée moins directe en exprimant que le sel prend de la place et en conséquence, le volume total augmente. Ces derniers élèves sont dans une vision microscopique de la matière puisqu'ils s'expriment en termes de « *place occupée par les entités de sel* ».

Nous avons cherché à vérifier si un lien existe entre la stratégie acquise après la remédiation et celle que l'élève utilisait dans sa prévision, avant l'activité. Pour ce faire, les explications clairement explicitées avant et après l'activité sont indispensables. C'est le cas pour vingt-six des quarante-sept élèves.

La figure 43 permet de visualiser les changements de stratégies que les apprenants réalisent entre les conceptions erronées qu'ils explicitent avant l'activité de remédiation (lors de la prévision du niveau de liquide suite à l'ajout de chlorure de sodium) et les conceptions plus correctes explicitées après la manipulation de dissolution du chlorure de sodium dans l'eau, suite au conflit cognitif. Elle permet de visualiser les « *liens cognitifs* » privilégiés qui existent entre certaines conceptions.

Nous avons utilisé un code couleur qui permet de mettre en évidence les conceptions impliquant une vision davantage macroscopique de la matière, en rouge, et celles impliquant une vision plus microscopique, en bleu.

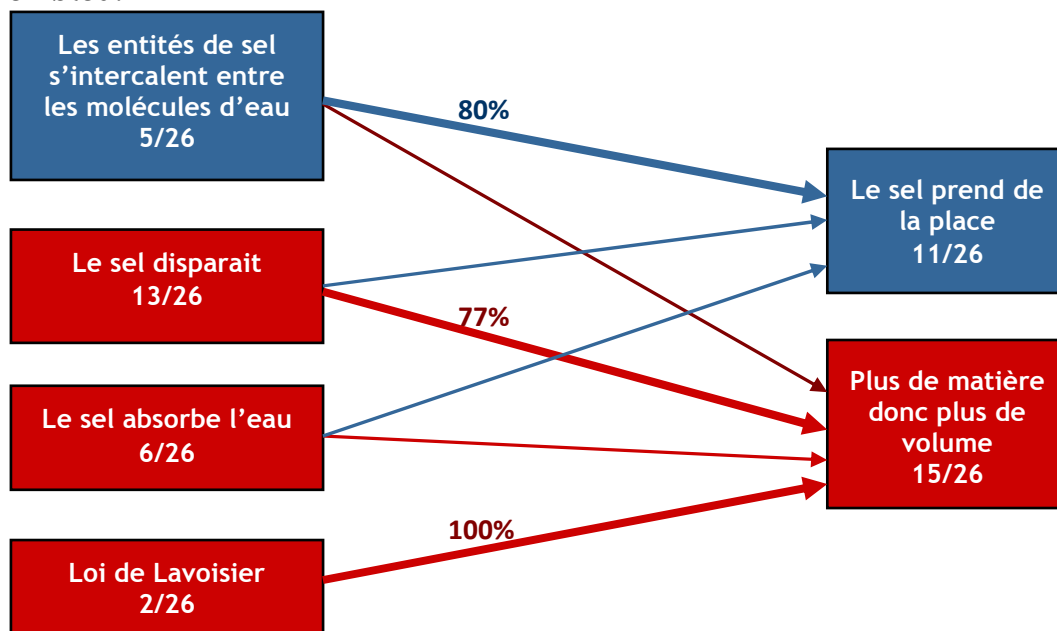


Figure 43. Changement de stratégie pour vingt-six élèves suite à l'activité de remédiation.

Les flèches symbolisent les « *liens cognitifs* » (les pourcentages correspondent aux liens cognitifs privilégiés).

En rouge, les conceptions impliquant une vision davantage macroscopique de la matière et en bleu, les conceptions impliquant une vision plus microscopique.

Malgré le faible effectif, nous avons exprimé les résultats à l'aide de pourcentages pour faciliter la lecture des données.

Cinq élèves sur les vingt-six prévoient avant la remédiation que le niveau ne monterait pas car les « *entités de sel s'intercalent entre les molécules d'eau* ». Ces élèves ont une vision davantage microscopique

de la matière. Quatre d'entre eux la conserve en admettant après l'activité que « *le sel prend de la place* » soient 80% des cinq élèves. Un « *lien cognitif* » privilégié semble se dégager.

Vingt-et-un élèves avaient une vision impliquant davantage une vision macroscopique de la matière. Pour certains, le niveau ne monte pas ou diminue car « *le sel disparaît* » (13/26), pour d'autres « *le sel absorbe l'eau* » (6/26) et deux élèves pensent que selon Lavoisier « *Rien ne se perd, rien ne se gagne, tout se transforme* ».

Pour les treize élèves qui pensent que « *le sel disparaît* », dix aboutissent après l'activité (soient 77%) à la conception que « *plus de matière entraîne plus de volume* ». Un point commun entre ces deux conceptions est leur rapport à l'intuitif sans utilisation des modèles chimiques. Que ce soit lors de la prévision ou suite à la manipulation, ces élèves n'utilisent pas de modèle microscopique de la matière comme le font les élèves qui s'expriment en utilisant des termes tels que « *espace entre molécules* ». Ces dix élèves avaient une vision macroscopique de la matière avant l'activité et la conserve après.

Cette remarque se confirme pour les deux élèves qui n'explicitent pas directement une disparition du sel mais expriment avant la manipulation que le niveau ne montera pas car selon Lavoisier « *Rien ne se perd, rien ne se gagne, tout se transforme* ». Pour ces deux élèves également comme les dix cités juste avant, le conflit cognitif les amène à penser que « *Plus de matière donc plus de volume* » et le « *lien cognitif* » part et aboutit à une conception liée à une vision également macroscopique de la matière.

Si l'on se place du point de vue du modèle de prévalence conceptuelle de Patrice Potvin, un changement de prévalence semble se réaliser suite au conflit cognitif. Les « *liens cognitifs* » symbolisés par des flèches dans nos figures, permettent de visualiser ce changement de prévalence.

Une hypothèse est que les élèves qui utilisent avant l'activité, une conception plus intuitive sans référence aux modèles microscopiques de la matière (« *le sel disparaît* » ou « *rien ne se perd, rien ne se gagne, tout se transforme* ») rendent prévalente une conception tout aussi intuitive liée directement à une p-prim (« *plus de matière donc plus de volume* ») et qui reste sur une vision macroscopique de la matière.

Ceux qui prévoyaient que le niveau de liquide ne monte pas en se référant à une conception impliquant davantage une visualisation microscopique de la matière (« *les entités de sel s'intercalent entre les molécules d'eau* ») telle que mise en apprentissage en chimie, rendent prévalente une conception où cette vision reste présente tout en y intégrant l'utilisation de la p-prim « *More A then more B* » (« *les entités de sel prennent de la place donc le volume augmente* »).

Pour la moitié des élèves ayant suivi l'activité, la remédiation s'arrête à créer un conflit cognitif mais l'autre moitié des apprenants a été soumise à un apprentissage à l'inhibition des conceptions non pertinentes. Cette étape consiste en une approche métacognitive où l'apprenant est renseigné sur la façon dont la pensée se construit. Elle vise à créer une automatisation de l'activation de la conception pertinente.

Afin de mesurer l'effet du conflit cognitif seul et du conflit cognitif associé à l'inhibition des conceptions non pertinentes, discutons les résultats obtenus pour les gains conceptuels par question puis par élève.

2.4.2. Le gain conceptuel par question

Quatre questions ont été posées aux élèves aux pré- et post-tests. Il s'agit des questions 1, 4, 9 et 13 du QCM directement liées au concept de concentration chimique où le volume à considérer est celui de la solution et non celui de solvant.

Question 1 du QCM : « *Quelle expression correspond le mieux au concept de concentration chimique ?* » et

Question 4 du QCM : « *Dans l'expression de la concentration C , que représente V ?* »

Ces deux questions qui correspondent à la définition que l'élève donne au concept de concentration chimique obtiennent une augmentation significative des scores que ce soit pour le groupe CC (gain de 73,5% pour la QCM1 et 59,7% pour la 4) que pour le groupe CC+EI (gain de 85,7% pour la QCM1 et 76,3%).

Le gain conceptuel est supérieur pour le groupe CC+EI mais l'augmentation n'est pas statistiquement significative.

Le conflit cognitif seul permet déjà une approche plus experte de la définition donnée au concept de concentration chimique. Le fait d'avoir mis en évidence lors de la manipulation, la conception pertinente « V_{solution} » permet à une grande majorité des élèves de choisir une définition en adéquation avec la vision experte de ce concept à savoir la proposition « *Rapport entre une quantité de soluté et le volume de solution* » (QCM1) ou « *Dans l'expression de la concentration, V est le volume de solution* » (QCM4).

Question 9 du QCM : « *Une solution est préparée en dissolvant 100 g de chlorure de sodium NaCl dans 500 mL d'eau. Quelle est la concentration massique en NaCl obtenue ?* »

Pour rappel, dans la partie diagnostique de cet écrit, les résultats obtenus pour cette question étaient d'à peine 10% de réponses correctes (« *Il manque des informations pour répondre* »). La plupart des répondants de grade 10 à 12 (ainsi que les étudiants en AESS) choisissent

la proposition donnant une concentration égale à 200 g/L puisqu'ils calculent la fraction 100/0,500 en considérant le volume d'eau et donc de solvant pour calculer la concentration massique.

Ce faible score est confirmé ici puisque cent trente-deux des cent cinquante élèves ne répondent pas correctement avant les activités de remédiation (soit 88%).

Le conflit cognitif seul permet de doubler le score (22,2%) mais le gain reste faible. Le groupe CC+EI obtient un score significativement supérieur en doublant le gain obtenu par le groupe CC.

Cette question 9 du QCM demande une mobilisation supérieure à celle nécessaire pour répondre aux questions 1 et 4 puisqu'il s'agit de calculer une concentration. Il s'agit d'une question de savoir-faire et plus uniquement de savoirs.

De plus dans la question 9, le sujet doit oser aller contre le contrat didactique implicite en sciences à savoir « *Des valeurs numériques dans un énoncé, impliquent un calcul numérique dans la réponse* » et répondre qu'il manque des informations pour répondre. Il doit en quelque sorte inhiber deux habitudes : celle d'utiliser spontanément les valeurs numériques de l'énoncé et celle de considérer le volume de solvant pour le calcul de la concentration massique en NaCl.

Les résultats montrent que le conflit cognitif seul a permis à presque un élève sur quatre de répondre correctement à la question alors que le conflit cognitif associé au contrôle inhibiteur permet à un élève sur deux de répondre correctement. Ces résultats montrent toutefois que l'habitude d'utiliser les données numériques d'un énoncé même si elles ne sont pas pertinentes pour répondre à la question reste prévalente pour de nombreux apprenants. Ce contrat didactique implicite en sciences reste fortement appliqué par les répondants.

Question 13 du QCM : « *Pour préparer une solution aqueuse de chlorure de sodium à 2 g/L, que faut-il faire ?* »

Cette question s'intéresse à la façon de préparer une solution. Le fait que le soluté prenne de la place au sein de la solution implique au chimiste d'ajouter le soluté avant de compléter son volume au volume désiré de solution.

Le conflit cognitif seul permet un gain de presque 37% ce qui signifie que un tiers des interrogés qui répondait erronément avant la remédiation répond correctement après l'activité mais le contrôle inhibiteur fait évoluer ce résultat à plus de huit élèves interrogés sur dix. Le fait de se rendre compte grâce à la manipulation que le niveau de liquide augmente n'est pas suffisant pour la majorité des élèves à rendre prévalente la conception pertinente V_{solution} . C'est l'inhibition de la conception V_{solvant} et l'automatisation de la conception V_{solution} qui permet de rendre cette conception pertinente prévalente dans le contexte de la préparation d'une solution de concentration connue.

2.4.3. Le gain conceptuel par élève

Pour discuter des gains par élève, l'analyse des résultats montre qu'une augmentation des scores est statistiquement significative pour les élèves ayant été confrontés au conflit cognitif. La moyenne du gain conceptuel par élève pour 4 questions est de +0,64 dans le cas du groupe CC ; ce résultat est interprété comme le fait que deux élèves sur trois répondent correctement à une question supplémentaire sur les 4 questions après l'activité impliquant le conflit percepto-cognitif.

Le conflit percepto-cognitif leur permet d'acquérir que le volume de solution est supérieur au volume de solvant. Le calcul de la concentration impliquant la division par le volume total, la conception pertinente « *J'utilise le volume de solution pour calculer une concentration* » est donc davantage mobilisée par les apprenants.

L'ajout au conflit cognitif d'un entraînement à l'inhibition permet d'améliorer davantage les scores. Le gain conceptuel moyen pour le groupe ayant été soumis au conflit cognitif puis à un entraînement à l'inhibition (+1,65 pour 4 questions) montre qu'en moyenne chaque élève répond correctement à une question supplémentaire sur 4 par rapport aux élèves du groupe conflit cognitif seul.

L'acquisition du concept de concentration chimique est favorisée par un apprentissage à l'inhibition de la conception non pertinente « V_{solvant} ».

L'approche métacognitive qui suit le conflit cognitif permet à davantage de sujets d'augmenter leur score à des questions posées sur le concept de la grandeur concentration chimique en mobilisant la conception pertinente V_{solution} liée à la réactivation de l'habitude délaissée « *More A then more B* ».

Notons que le gain supplémentaire obtenu pour le groupe CC+EI est peut-être lié au fait que chaque élève de ce groupe a été confronté à un exercice supplémentaire et a passé plus de temps sur le sujet avant de répondre au post-test. Afin d'éliminer ce paramètre, nous aurions dû donner à chaque élève du groupe CC un exercice (ou des exercices) classique(s) d'application sur le calcul d'une concentration dont la durée de résolution aurait été équivalente à celle suivie par les élèves du groupe CC+EI pour corriger les phrases d'Alex.

La remédiation avec l'entraînement à l'inhibition permet de mettre l'élève au niveau métacognitif et de lui faire prendre conscience qu'il doit contrôler ses habitudes en fonction du contexte. La remédiation crée en quelque sorte, une rationalisation de la pensée intuitive. L'élève est mis en garde que des conceptions sont en compétition lorsqu'il raisonne sur un concept et qu'il doit rester maître de la conception à utiliser de façon à la rendre prévalente dans ce contexte. Les différentes conceptions ne sont pas en soi erronées mais leur utilisation peut l'être dans certains contextes.

Cette approche est positive puisqu'elle part du principe qu'aucune conception n'est mauvaise en soi, qu'aucune logique n'est incorrecte. Seule l'utilisation d'une conception particulière dans un contexte particulier peut amener à se tromper.

Il s'agit donc de créer une alerte via l'approche métacognitive qui permet au sujet de contrôler mieux ses habitudes spontanées.

La répétition de cette mise en garde de l'existence d'un piège permet d'automatiser le nouveau « *lien cognitif* » qui aboutit à activer la conception prévalente dans le contexte de la question.

L'activité que nous proposons et qui entraîne à l'inhibition des conceptions non pertinentes implique que l'apprenant soit lui-même l'attrape piège et sa responsabilisation est convoquée puisqu'il contrôle ce qu'un pair de classe inférieure a écrit. L'émotion fait donc partie intégrante de la remédiation.

Dans le contexte de la dissolution d'un soluté et du calcul de sa concentration au sein de la solution, nos résultats montrent donc l'intérêt du conflit cognitif suivi d'un entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes et ils vont en faveur du modèle de prévalence conceptuelle pour l'acquisition de connaissances en adéquation avec les modèles scientifiques.

Sur base du test diagnostique réalisé dans les classes de différents niveaux (de la primaire aux futurs enseignants de sciences), les activités proposées aux apprenants permettraient une réactivation d'une habitude délaissée dans le cadre de la dissolution d'un soluté chez les plus experts en chimie : « *More A then more B* ». Cette p-prim n'est pas pertinente dans tous les contextes scientifiques. Ainsi, dans le contexte de la chute des corps, cette habitude de causalité proportionnelle est celle à inhiber puisque ce n'est pas parce que la masse d'un objet est plus grande que sa vitesse de chute augmente (Brault Foisy *et al.*, 2015 ; Dunbar, Fugelsang et Stein, 2007). De même, en mathématiques, cette même habitude est également à inhiber dans le cas, par exemple, de la comparaison de l'aire et du périmètre de différentes figures géométriques. En effet, ce n'est pas parce qu'une surface est plus petite ou plus grande que le périmètre est proportionnellement plus petit ou plus grand (Babai, Zilber, Stavy et Tirosh, 2010).

La reconnaissance du contexte dans lequel le sujet doit apprendre à bloquer certaines réponses intuitives erronées est donc essentielle. Il s'agit donc d'entraîner l'apprenant dans un premier temps à reconnaître le contexte de l'apprentissage ou de la question puis dans un second temps à contrôler ses réponses intuitives.

2.4.4. Propositions pour l'enseignement

Notre étude montre que l'apprentissage d'un concept passe aussi par un contrôle de ses intuitions, de ses habitudes intuitives pour rationaliser sa pensée.

L'enseignant qui est au cœur de l'apprentissage de ses élèves a donc un rôle majeur à jouer. Il doit être celui qui participe à la prise de conscience que chacun a emmagasiné des conceptions utiles mais qui doivent être mobilisées de façon pertinente en fonction du contexte. Il s'agit de rendre prévalente celle qui permettra d'envisager le concept de façon experte.

Le conflit cognitif qui précède l'apprentissage au contrôle inhibiteur joue un rôle essentiel. L'élève en difficulté n'envisage pas la conception pertinente comme celle à rendre prévalente du fait qu'il accorde un statut trop important aux conceptions non appropriées. Le conflit lui fait prendre conscience qu'il doit modifier ce statut. Le conflit cognitif n'est pas vécu comme une arme qui attaque l'intelligence de l'individu mais comme une lampe qui éclaire la conception à rendre prévalente.

L'élève doit ensuite s'entraîner à allumer cette lampe tout en laissant dans l'obscurité les conceptions non adéquates dans le contexte considéré. Il devra les éclairer en fonction du contexte. Cette étape d'entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes est donc fondamentale pour automatiser l'éclairage, l'activation de la conception appropriée dans le bon contexte.

Les outils tels que les alertes émotive (ou « inhibitive stop signs ») sont les signaux déclencheurs d'un contrôle de ses intuitions afin d'« attraper le piège » et mobiliser ainsi la conception pertinente. L'automatisation de ce processus permettra de changer, non pas sa conception, mais de prévalence conceptuelle.

Une récente étude de Potvin et Cyr (2017) menée sur le thème de la flottabilité de différentes boules de masse, volume et matière différente suggère que l'éducation a permis de rendre prévalente les conceptions scientifiques des experts. Notre étude montre que l'éducation peut à l'inverse, rendre prévalentes des conceptions non appropriées. L'enseignant doit en être conscient. Il doit rester lui-même vigilant quant aux conceptions qui interfèrent et dont le statut peut-être renforcé suite à la mise en apprentissage des modèles scientifiques. D'autant plus en chimie, où les représentations symboliques du niveau microscopique d'une matière visible macroscopiquement peuvent conduire à créer des interférences supplémentaires dont le statut trop important empêche de rendre prévalente la conception experte pour le contexte considéré.

Nous n'avons pas mesuré à long terme l'impact d'une remédiation impliquant un conflit cognitif et un apprentissage à l'inhibition des conceptions non pertinentes, mais il semble qu'une étape de renforcement soit nécessaire pour rendre durable la prévalence conceptuelle (Potvin et Cyr, 2017). Il peut de faire par des retours réguliers pendant l'année sur les alertes mises en place pendant les remédiations.

Conclusion et perspectives

Après avoir développé nos cadres théoriques dans une première partie, nous avons posé nos questions de recherche dans une seconde. Elles se résument en deux interrogations principales : Quelles difficultés ont les apprenants face au concept de concentration chimique ? Comment y remédier ?

Les parties trois et quatre ont tenté de répondre respectivement à chacune de ces questions.

L'acquisition experte de la grandeur concentration chimique comme le rapport entre la quantité de soluté et le volume de solution n'est pas simple. L'enquête réalisée au fil de ce mémoire en est le témoin.

Cinq erreurs récurrentes ont été mises en évidence dont trois sont directement liées au concept : la grandeur concentration n'est pas comprise comme une proportion, le volume considéré n'est pas celui de la solution et le vocabulaire (soluté, solvant, solution) n'est pas correctement utilisé. Les deux autres erreurs sont plus générales aux sciences et concernent les calculs et les conversions d'unités.

Les dysfonctionnements cognitifs à l'origine de ces erreurs sont multiples. Ils sont tantôt liés à une utilisation d'habitudes intuitives ou acquises non pertinentes dans le contexte de la question, tantôt à une vision microscopique ou une représentation symbolique de la matière non abouties, pour ne citer que ces exemples.

Pour tenter de remédier à ces difficultés, nous avons créé différents outils didactiques.

Le premier est un QCM d'auto-évaluation qui permet à l'apprenant en difficulté de se rendre compte de la (ou des) erreur(s) récurrente(s) qu'il commet. De lui-même, il peut alors s'orienter vers une activité ayant pour objectif de lui faire prendre conscience du dysfonctionnement à l'origine de son erreur.

Nous avons ensuite développé des outils de remédiation pour les deux premières erreurs citées précédemment et liées aux notions pivots qui caractérisent le concept de concentration chimique : les notions de proportion et de dissolution d'un soluté dans un solvant pour obtenir une solution.

Ces activités sont axées sur la création d'un conflit cognitif qui est censé perturber l'élève afin qu'il remette en question la conception qu'il utilise dans le contexte de la question.

L'un des outils ajoute une approche basée sur le contrôle inhibiteur des conceptions non pertinentes dans le but de rendre prévalente la

conception adéquate dans le contexte de la question. Il est demandé à l'apprenant de mettre en place une alerte cognitive. Concrètement, il est lui-même l'attrape-piège qui doit faire barrage aux conceptions non pertinentes en les inhibant afin d'activer correctement la conception adéquate dans le contexte de la question. Une automatisation de la mise en place de cette alerte fait partie intégrante de l'activité de remédiation.

Les outils didactiques utilisant le conflit cognitif tels qu'ils ont été testés permettent d'augmenter les scores des apprenants à des questions demandant d'utiliser le concept de concentration chimique. Le conflit cognitif seul semble donc permettre à l'apprenant de remettre en question ses conceptions.

Le contrôle inhibiteur et son automatisation améliorent davantage encore les scores pour des questions impliquant un savoir-faire. L'apprenant mobilise mieux la conception pertinente dans le contexte de la concentration chimique et son gain conceptuel est majoré.

La discussion qui a suivi les résultats obtenus par les élèves qui ont participé aux activités de remédiation a mis en évidence que des liens privilégiés semblaient exister entre certaines conceptions. Un individu qui a une vision davantage microscopique de la matière peut changer de prévalence mais active une conception toujours centrée sur une vision microscopique de la matière. De même, un sujet qui active plus facilement une conception liée à une approche macroscopique de la matière avant l'activité reste à cette échelle après l'activité en envisageant une conception plus experte mais toujours de l'ordre du macroscopique.

Que la recherche se base sur l'imagerie cérébrale, la mesure des temps de réaction ou la variation des scores suite à des questions dans un contexte bien défini, les conclusions convergent vers une nécessité du contrôle des habitudes spontanées pour accéder à un raisonnement logique et à une approche plus experte des concepts savants.

Dans un contexte de classe, l'enseignant a donc tout intérêt à centrer sa démarche didactique sur un apprentissage à l'inhibition. Il doit identifier le(s) piège(s) et mettre en œuvre une réflexion métacognitive avec les élèves en difficulté. L'élève développe alors des connaissances réflexives sur ses propres processus mentaux. Il doit être conscient que lorsqu'il raisonne, il puise dans une réserve de conceptions utiles mais pas toujours pertinentes dans le contexte scientifique où il se trouve. A lui de contrôler le lien cognitif qui l'amènera à rendre prévalente la conception pertinente dans ce contexte afin de concevoir de façon experte le concept étudié.

Les perspectives directes de ce travail sont multiples. Nous en abordons quelques unes dans les lignes qui suivent.

Nous n'avons pas testé à plus long terme l'efficacité du conflit cognitif et du contrôle inhibiteur. Une première perspective de ce projet serait de suivre des élèves sur une durée plus longue et vérifier régulièrement si l'impact positif des outils reste constant.

Nous n'avons pas approfondi l'erreur récurrente liée à une utilisation non adéquate du vocabulaire spécifique au concept de concentration chimique : « *solution* », « *solvant* » et « *soluté* ». Ces trois termes commencent tous les trois par la même syllabe « *sol* » ce qui ne facilite pas la distinction entre eux.

La piste des signifiants et signifiés (Vergnaud, 1991) a été évoquée. Plus récemment, Loïc Depecker (2014) développe les liens entre signes et concept. Il écrit :

« (...), le terme, élément fondamental de la terminologie, est pris entre : la pensée constituée (le concept), la langue (le signe linguistique) et le réel (l'objet). » (Depecker, 2014, p.22).

Pour lui, traiter un terme (ou unité terminologique) amène à faire la part de ce qui relève du signe, du concept et de l'objet. Il ajoute que dans les domaines scientifiques, c'est le concept qui est visé et défini en premier lieu et non son expression en langue qui est de l'ordre du signifié. Selon lui, c'est ce qui peut amener des distorsions entre le concept et son expression linguistique.

Un champ entier lié à la terminologie³³ est donc à explorer afin de mieux comprendre l'origine des difficultés d'utilisation des termes spécifiques à la concentration chimique. Il sera alors possible d'envisager des remédiations pour les erreurs liées à l'emploi du vocabulaire associé à ce concept.

Les liens privilégiés mis en évidence lors du changement de prévalence conceptuelle suite à la remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » n'ont pas été mesurés sur un nombre conséquent d'élèves. Il faudrait creuser cette piste et vérifier nos hypothèses. Des études menées pour d'autres erreurs et d'autres concepts sont à envisager. Il est possible que selon le type de prévalence que chaque individu accorde à une conception, il soit possible d'affiner les remédiations proposées aux élèves en difficulté.

³³ La « terminologie » comme la correspondance entre un concept et une désignation linguistique (Depecker, 2014, p.19).

Il serait également possible d'approfondir ce travail en vérifiant le lien qui existe entre la capacité d'inhibition d'un élève et sa réactivité aux outils utilisant le contrôle inhibiteur développés dans notre recherche. Lise Van Lerberghe (2017), dans son mémoire de Master en Sciences de l'éducation³⁴, a cherché à établir ce lien lors de l'apprentissage du concept de concentration chimique. Une étude de Monchi, Petrides, Petre, Worsley et Dagher de 2001 citée par Van Lerberghe (page 46), a montré l'efficacité du test « Wisconsin Card Sorting Task (WCST)³⁵ » pour mesurer la capacité d'inhibition.

La recherche de Van Lerberghe n'a pas permis d'établir une corrélation entre la capacité d'inhibition et la capacité d'apprentissage de la grandeur concentration chimique mais cette piste est à approfondir.

Les résultats des études de l'équipe de l'Institut de Recherche en Sciences Psychologiques de l'Université de Louvain-la-Neuve sur la représentation mentale des fractions chez les enfants et les adultes pourraient permettre d'approfondir des dysfonctionnements cognitifs à l'origine de l'erreur liée à la fraction que représente la grandeur concentration : « *la concentration n'est pas comprise comme une proportion* ».

Meert, Grégoire, Seron et Noël (2012) montrent, en effet, que la représentation mentale d'une fraction peut se réaliser via une approche holistique (la fraction considérée comme un tout) mais aussi via une approche où le numérateur est distingué du dénominateur. La capacité à comparer correctement des fractions est influencée par les valeurs numériques de ceux-ci. Ainsi, lorsqu'il est demandé à l'apprenant de comparer la concentration de solutions, il est possible que la représentation mentale que se fait l'élève se trouve impactée en fonction des valeurs numériques correspondant aux quantités du soluté (numérateur) et aux volumes de solutions (dénominateur).

Une autre étude menée sur des enfants de 10-12 ans par Meert, Grégoire et Noël (2010) met en évidence que pour répondre correctement à la comparaison de deux fractions de même numérateur mais de dénominateurs différents, l'enfant doit inhiber la grandeur du nombre naturel qui est au dénominateur (une fraction a en effet un résultat d'autant plus petit que le dénominateur est grand), ce qui complique la comparaison.

³⁴ Mémoire réalisé en 2016-2017 dans le cadre du Master en Sciences de l'éducation de la Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation de l'UCL : « *Des conceptions naïves aux conceptions expertes grâce à un apprentissage alliant contrôle inhibiteur et conflit cognitif. Mise en application au travers de l'acquisition du concept de concentration massique en 3^{ème} générale option sciences.* »

³⁵ Le WCST est un test où le sujet doit réaliser un tri de cartes selon une règle qui est modifiée régulièrement. Pour le tri qui suit un changement de règle, le sujet doit inhiber la règle précédente afin d'arriver à trier correctement selon la nouvelle règle.

Au-delà donc de la grandeur chimique, il serait intéressant d'étudier le concept de concentration comme une grandeur mathématique et ainsi réunir davantage d'informations sur les difficultés de son acquisition et améliorer les outils de remédiation.

L'introduction de notre recherche a débuté par un constat de la difficulté de transfert des concepts scientifiques dans des tâches inédites. Annie Presseau définit le transfert d'un concept comme :

« Le processus par lequel des connaissances construites dans un contexte particulier sont reprises dans un nouveau contexte, que ce soit pour construire de nouvelles connaissances, pour développer de nouvelles compétences ou pour accomplir de nouvelles tâches. » (Presseau, 2004, p.134).

Le transfert d'un concept tel que la grandeur concentration chimique dans une situation nouvelle n'est pas un processus spontané. Il passe par un travail mental difficile qui suppose la capacité de sélectionner et orchestrer les ressources cognitives appropriées (Perrenoud, 2011). Encore faut-il que les ressources cognitives soient effectivement disponibles. Le terme « disponible » signifie pour nous que les notions pivots que nous avons développées dans ce mémoire soient présentes et clarifiées dans le modèle mental de l'élève.

Lors de notre recherche, nous avons soumis une activité de transfert à deux groupes : l'un n'ayant pas suivi les activités de remédiation et un autre les ayant effectuées. L'énoncé complet de la tâche est donné en annexe 27 et voici son synopsis : lors du barbecue organisé par ses parents, Sophie s'amuse à préparer des tasses de limonade (eau citronnée sucrée) où elle ajoute du sucre dans l'une, de la limonade dans une autre et elle en laisse une dernière au soleil. La tâche consiste à trier les solutions préparées par la petite fille, de la moins sucrée à la plus sucrée. Dans une deuxième question, il s'agit de calculer la concentration des différentes limonades préparées (le volume d'eau, la masse de sucre et le volume de limonade sont fournis en début d'énoncé). Cette activité de transfert pose des difficultés à de nombreux élèves. Nous n'avons pas constaté d'impact des activités de remédiation sur la résolution de la tâche qui reste compliquée pour les élèves. Comme nous le montrons dans ce mémoire de thèse, les activités de remédiation ont permis une meilleure mobilisation des conceptions expertes quant au concept de concentration chimique. Devons-nous en déduire qu'une meilleure disponibilité ou prévalence des conceptions expertes d'un concept n'influencerait pas directement la capacité de transfert de ce concept ? Il faudrait approfondir très largement cette piste pour pouvoir répondre à cette question.

La didactique et les neurosciences cognitives sont des domaines jeunes. Un foisonnement extraordinaire de recherches se développe. Leur

objectif est de permettre un apprentissage efficace où le processus de construction des savoirs savants serait optimisé pour l'élève. Ceci ne peut se réaliser cependant que si les acteurs de la recherche et les enseignants sur le terrain sont reliés les uns aux autres.

Tous en sortent gagnants : l'élève, d'une part, dont l'expertise est facilitée et qui peut développer un esprit critique et une liberté de pensée plus larges et l'enseignant, d'autre part, qui voit aboutir son enseignement et pour lequel la motivation de ses élèves est renforcée. En effet, une pédagogie efficace ne passe-t-elle pas par une didactique efficiente ?

Pour conclure, ce travail semble confirmer que allier didactique (« *montrer le chemin* ») et neurosciences cognitives (« *comprendre le chemin* ») semble être une méthode efficace pour aider l'apprenant à avancer sur la route périlleuse mais ô combien passionnante des connaissances. La route est longue mais c'est ce qui en fait un si beau défi !

Publications

Ce travail de recherche a été ponctué par des publications dans des revues et des communications dans des congrès.

Publications dans des revues avec comité de lecture

Willame, B. & Snauwaert, P. (2017, *en cours de lecture au moment de l'impression de la thèse*). Entraînement au contrôle inhibiteur et apprentissage en chimie dans le secondaire supérieur - Favoriser un changement de prévalence conceptuelle. *Neuroéducation, Revue de l'Association pour la Recherche en Neuroéducation au Québec*.

Willame, B. & Snauwaert, P. (2016). Et si nous mettions du sel dans l'eau - Comment évoluent les conceptions des apprenants au fur et à mesure des apprentissages en chimie? *Spectre, Revue de l'Association pour l'enseignement de la science et de la technologie au Québec*, 45(3), 18-21.

Willame, B. & Snauwaert, P. (2015). Les difficultés rencontrées dans l'apprentissage du concept de concentration en chimie. *Spirale, Revue française de Recherches en Education*, 55, 177-205.

Publications et communication dans des congrès

5^{ème} Congrès de l'Association pour la recherche en neuroéducation.

Mai 2016- UQAM - Montréal - Canada.

« *Comparaison du gain conceptuel dans le cas de remédiations en chimie avec et sans inhibition de conceptions non pertinentes.* »

Congrès « La recherche en didactique au service de l'enseignement. »

Mai 2016 - UNamur - Belgique.

« *Les outils didactiques et neuroscientifiques au service de l'apprentissage : exemple de la concentration chimique.* »

9^{ème} rencontre scientifique de l'ARDiST.

Mars 2016 - Lens- France.

« *Difficultés d'apprentissage du concept de concentration en chimie : impact de remédiations impliquant des conflits cognitifs.* »

Congrès des sciences.

Août 2015 - Liège - Belgique.

« *La concentration chimique : comment remédier aux difficultés d'apprentissage ?* »

Week-end des jeunes chercheurs de l'ARDiST.

Octobre 2014 - Fontainebleau - France.

« Les difficultés rencontrées dans l'apprentissage du concept de concentration en chimie. »

Bibliographie

TEXTES OFFICIELS ET SEMI OFFICIELS

B.A.M.I.P : Bulletin Administratif du Ministère de l'Instruction Publique (1898). Circulaire relative à l'enseignement scientifique et agricole dans les écoles normales, n° 1312.

Eurydice (2011). *L'enseignement des sciences en Europe : Politiques nationales, pratiques et recherche*. Agence exécutive : Éducation, Audiovisuel et Culture (EACEA P9 Eurydice). Consulté en ligne : <http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice>

Fédération Wallonie-Bruxelles (2001). *Compétences terminales et savoirs requis en sciences pour les Humanités générales et technologiques*. Consulté en ligne : <http://www.enseignement.be/index.php?page=24917&navi=536>

Fédération Wallonie-Bruxelles (2001). *Enseignement secondaire ordinaire et de plein exercice - Humanités générales et technologiques - deuxième degré - cours de chimie* : 125/2001/240. Consulté en ligne : <http://www.wallonie-bruxelles-enseignement.be/progr/125-2001-240.pdf>

Fédération Wallonie-Bruxelles (2016). *Organisation générale de l'Enseignement en Belgique francophone*. Consulté en ligne : <http://www.enseignement.be/index.php?page=25568>

Moniteur de la Fédération Wallonie-Bruxelles (1997, complété en 2015). *Décret définissant les missions prioritaires de l'enseignement fondamental et de l'enseignement secondaire et organisant les structures propres à les atteindre*. Consulté en ligne : http://www.galilex.cfwb.be/document/pdf/21557_023.pdf

OCDE (2012). *Cadre d'évaluation de l'enquête PISA 2009 : Les compétences clés en compréhension de l'écrit, en mathématiques et en sciences*, PISA. Paris : Editions OCDE. Consulté en ligne : <http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/49539189.pdf>

OCDE (2016). *Cadre d'évaluation et d'analyse de l'enquête PISA 2015 : Compétences en sciences, en compréhension de l'écrit, en mathématiques et en matières financières*, PISA. Paris : Editions OCDE. Consulté en ligne : <http://dx.doi.org/10.178/9789264259478-fr>

SEGECE (2000). *Programme pour les Humanités générales et technologiques en Sciences - 1er degré - 1A et 2ème commune* : D/2000/7362/012. Consulté en ligne : <http://admin.segec.be/documents/4066.pdf>

SEGEC (2009 et 2014). *Programmes pour les Humanités générales et technologiques de l'enseignement catholique de la fédération Wallonie-Bruxelles en Sciences générales* : D/2009/7362/3/09 et D/2014/7362/3/23. Consulté en ligne : <http://enseignement.catholique.be/segec>

Socles de compétences de la fédération Wallonie-Bruxelles (2016). *Eveil et initiation scientifique*. Consulté en ligne : <http://www.enseignement.be/index.php?page=24737&navi=295>

ARTICLES DE REVUES, COMMUNICATIONS ET LIVRES

Adam, Close, Lousberg & Tromme (1997). *Espace math 3 (2^e éd.)*. Bruxelles : De Boeck & Larcier s.a.

Arnaud, P. (1989). *Cours de chimie physique*. Dunod. Paris : Bordas.

Astolfi, J.-P. (1992). Apprendre par franchissement d'obstacles ? *Repères*, 5, 103-116.

Astolfi, J.-P. (1997). *L'erreur, un outil pour enseigner*. Issy-les-Moulineaux : ESF.

Astolfi, J.-P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y. & Toussaint, J. (2008). *Mots-clés de la didactique des sciences (2^e éd.)*. Bruxelles : De Boeck.

Babai, R., Younis, N., & Stavy, R. (2014). Involvement of inhibitory control mechanisms in overcoming intuitive interferences. *Neuroeducation*, 3(1), 1-8.

Babai, R., Zilber, H., Stavy, R., & Tirosh, D. (2010). The effect of intervention on accuracy of students' responses and reaction times to geometry problems. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8, 185-201.

Baciu, M. (2011). *Bases de neurosciences. Neuroanatomie fonctionnelle. Collection Neurosciences et Cognition*. Bruxelles : De Boeck.

Boilevin, J.-M. (2013). *Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants. Regards didactiques*. Bruxelles : De Boeck.

Borst, G., Moutier, S., & Houdé, O. (2014). Negative priming in logicomathematical reasoning: the cost of blocking your intuition. In W. De Neys and M. Osman (Eds), *New approaches in Reasoning Research - Current Issues in Thinking & Reasoning* (pp. 34-50). New York : Psychology Press.

Boulet, V., Chabanas, A., & Chabanas, C. (1933). *Leçons de choses. Cours élémentaire et moyen*. Paris : Hachette.

- Brault Foisy, L.-M., Potvin, P., Riopel, M., & Masson, S. (2015). Is inhibition involved in overcoming a common physics misconception in mechanics ? *Trends in Neuroscience and Education*, 4, 26-36.
- Brown, D.,E. (1993). Refocusing core intuitions: A concretizing role for analogy in conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), p.1273-1290.
- Calik, M., Ayas, A., & Ebenezer, J. (2005). A review of solution chemistry studies: insights into students' conceptions. *Journal of Sciences Education and Technology*, 14(1), 29-50.
- Cassotti, M., & Moutier, S. (2010). How to explain receptivity to conjunction-fallacy inhibition training: Evidence from the Iowa Gambling Task. *Brain and Cognition*, 72, 378-384.
- Charbonnier, L., & Charbonnier, J. (1952). *Premiers pourquoi, premiers comment*. Paris : Les éditions de l'école.
- Chastrette, M. (1992). Nouvelles tendances dans la didactique de la chimie et rôle du comité pour l'enseignement de la chimie de l'IUPAC. *Investigacion y experiencias didácticas*, 10(1), p.17-24.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La pensée sauvage.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive Models of Science: Minnesota studies in the Philosophy of Science* (pp.129-160). Minneapolis. MN : University of Minnesota Press.
- Chittleborough, G., & Treagust, D.F. (2007). The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chemistry Education Research and Practice*, 8 (3), p.274-292.
- Clement, J., Brown, D.E., & Zietsman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: finding "anchoring conceptions" for grounding instruction on students' intuitions. *International Journal of Sciences Education*, 11 (special issue), 554-565.
- Cloos, S., Donadei, E, & Foltrauer, F. (2001). *Manuel de Physique-Chimie - 5^e*. Paris : Belin.
- Closset, J.-L. (2002). La didactique des sciences : ses acquis, ses questions. *Cahiers du Service de pédagogie expérimentale de l'Université de Liège*, 9-10, 101-111.
- Cornet, M. (2009). *L'enseignement de la biologie en 5^e au cours de sciences générales*. Bruxelles : De Boeck.
- Craig, A.S., & Lazarus, R.S. (1991). Emotion and adaptation. In L.A. Pervin (Ed.), *Handbook of Personality: Theory and Research* (pp.609-637). New York: Guilford.

- Damasio, A.R. (1994). *Descartes' Error: Emotion, reason, and the human brain*. New York: Grosset, Putman.
- Danion-Grilliat, A., & Bursztejn, C. (2011). *Psychiatrie de l'enfant*. Médecine et Sciences Publications. Paris : Lavoisier.
- De Berg, K. (2012). A study of first-year chemistry student' understanding of solution concentration at the tertiary level. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, p.8-16.
- Dehon, J., & Snauwaert, P. (2015). Quelle est la place de l'équation de réaction dans les théories des niveaux de savoirs en chimie ? In T. Evrard & B. Amory (Eds), *Les modèles. Des incontournables pour enseigner les sciences !* (pp.177-190). Louvain-la-Neuve : De Boeck.
- De Ketele, J.-M. (2016, 14 novembre). *L'évolution des théories de l'apprentissage*. Communication personnelle, Séance macro de l'Ecole doctorale thématique en didactique des disciplines, Université catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve (Belgique).
- Depecker, L. (2014). *Entre signe et concept. Eléments de terminologie générale*. Paris : Presses Sorbonne Nouvelle.
- Develay, M. (1995). *Savoirs scolaires et didactique des disciplines. Une encyclopédie pour aujourd'hui*. Paris : ESF.
- Develay, M. (2014, 12 novembre). *Donner du sens aux savoirs*. Communication personnelle, Journée d'étude du Cripedis et du Cecafof, Université catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve (Belgique).
- Devetak, I., Vogrinc, J., & Glazar, S.A. (2009). Assessing 16 year old students' understanding of aqueous solution at sumicroscopic level. *Research in Science Education*, 39, p.157-179.
- diSessa, A.A. (1983). Phenomenology and evolution of intuition. In D. Gentner & A.L. Stevens (Eds), *Mental models* (pp.15-33). Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum.
- diSessa, A. A. (2006). A history of conceptual change research: Threads and fault lines. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 265-281). Cambridge, UK : Cambridge University Press.
- diSessa, A. A. (2013). A Bird's-Eye view of the "Pieces" vs. "Coherence" controversy (From the "Pieces" side of the fence). In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change, 2nd Edition* (pp.31-48). New York : Routledge.
- Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Sciences Education*, 11 (special issue), 481-490.

- Duit, R., & Treagust, D.F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Sciences Education*, 25(6), 671-688.
- Dunbar, K.N., Fugelsang, J.A., & Stein, C. (2007). Do naïve theories ever go away? Using brain and behavior to understand changes in concepts. In P. Shah & Lovette (Eds.), *Thinking about data: 33rd Symposium on cognition* (pp. 193-205). Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- Durandeau, J.-P., Bramand, P., Caillet, D., Comte, M.-J., Faye, P., Raynal, C., & Thomassier, G. (2002). *Physique Chimie - cinquième. Collection étincelle*. Paris : Hachette éducation.
- Fodor, S., & Gilson, M.-J. (2002). *Chimie. 3^{ème} année. 5 périodes par semaine*. Bruxelles : Plantyn.
- Fugelsang, J.A., & Dunbar, K.N., (2005). Brain-based mechanism underlying complex causal thinking. *Neuropsychologia*, 43, 1204-1213.
- Giordan, A., & De Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir : des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchâtel, Paris : Delachaux & Niestlé.
- Giordan A., & Martinand, J.-L. (1988). Etat des recherches sur les conceptions des apprenants à propos de la biologie. *Annales de didactique des sciences*, 2(2), 13-68.
- Goh Ngho Khang, & Chia Lian Sai (1987). Secondary school students' difficulties in learning the " Mole Concept " - A preliminary study in Singapore. *Singapore Journal of Education*, 8(1), 80-88.
- Grandillet, E., & Le Maréchal, J.-F. (2003, octobre). *Conceptions et chimie des solutions ioniques*. Acte de colloque aux 3^{èmes} Rencontres scientifiques de l'ARDiST, Toulouse.
- Houdé, O. (2004). *La psychologie de l'enfant (6^e éd.)*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Houdé, O. (2012). *Inhibition et correction d'erreurs dans le cerveau humain*. Communication présentée au 17^{ème} Congrès international de l'AMSE, Reims. Consulté en ligne sur le site de l'Association pour la recherche en Neuroéducation.
- Houdé, O. (2016). Apprendre à résister aux automatismes. Dossier Neurosciences et pédagogie. *Cahiers pédagogiques*, 527.
- Houdé, O. (2016, mai). *Comment aider les élèves à inhiber leurs erreurs scolaires persistantes*. Conférence présentée au 5e Congrès de l'Association pour la recherche en neuroéducation, UQAM, Montréal (Canada), 24-27 mai 2016.
- Houdé, O., & Tzourio-Mazoyer, N. (2003). Neural foundations of logical and mathematical cognition. *Nature reviews. Neuroscience*, 4, p.1-8.

- Houdé, O., Zago, L., Crivello, F., Moutier, S., Pineau, A., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2001). Access to deductive logic depends on a right ventromedial prefrontal area devoted to emotion and feeling: Evidence from a training paradigm. *NeuroImage*, 14, 1486-1492.
- Houdé, O., Zago, L., Mellet, E., Moutier, S., Pineau, A., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2000). Shifting from the perceptual brain to the logical brain : the neural impact of cognitive inhibition training. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5), 721-728.
- IUPAC (2014) : International Union of Pure and Applied Chemistry. Compendium of Chemical Terminology, Gold Book, version 2.3.3. du 24 février 2014.
- IUPAC (2016): International Union of Pure and Applied Chemistry (s.d.). *La dissolution d'un cristal de sel dans l'eau*. Disponible en ligne : <http://old.iupac.org/didac/Didac%20Fr/Didac01/Content/H04%20%20H05.htm>
- Johnstone, A.H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705.
- Johnstone, A.H., Morrison, T.I., & Sharp, D.W.A. (1971). Topic difficulties in chemistry. *Education of Chemistry*, 8, p.212.
- Kermen, I., & Méheut, M. (2009). Different models used to interpret chemical changes : analysis of a curriculum and its impact on French student's reasoning. *Chemistry Education Research and Practice*, 10, p.24-34.
- Kuhn, T.S. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion.
- Larousse (2017). *Dictionnaire de la langue française*. Paris : Larousse.
- Legendre, M.-F. (1994). Problématique de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences au secondaire : un état de la question. *Revue des sciences de l'éducation*, 20(4), p.657-677.
- Legrand, J.-C. (2006). *Cours de thermodynamique*. Formation d'ingénieurs en Matériaux. Ecole polytechnique universitaire Pierre et Marie Curie. Consulté en ligne : http://www.edu.upmc.fr/chimie/jclegrand/partie1_06_07.pdf
- Lubin, A., Lanoë, C., Pineau, A., & Rossi, S. (2012). Apprendre à inhiber : une pédagogie innovante au service des apprentissages scolaires fondamentaux (mathématiques et orthographe) chez des élèves de 6 à 11 ans. *Neuroeducation*, 1(1), 55-84.
- Lyonnet, A. (1932). *Le français par les choses et par les images*. Paris, Strasbourg : Maison d'édition de l'imprimerie strasbourgeoise.
- Madeline, P., & Moriceau, J.-M. (2012). *Les paysans*. Paris : Les arènes.

- Martinand, J.-L. (1993). Histoire et didactique de la physique et de la chimie : quelles relations ? *Didaskalia*, 2, p.89-99.
- Martinand, J.-L. (1998). Introduction à la modélisation. In G.-L. Baron & A. Durey (Eds.), *Les technologies de l'information et de la communication et l'actualisation des enseignements scientifiques et technologiques au lycée d'enseignement général et au collège - Université d'été*. Paris : INRP - ENS.
- Masson, S. (2012). *Etude des mécanismes cérébraux liés à l'expertise scientifique en électricité à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle*. Thèse de doctorat en didactique des sciences, Service des bibliothèques, Université de Montréal, Québec, 153 p. Consulté en ligne : <http://www.archipel.uqam.ca/4876/1/D2287.pdf>
- Masson, S. (2016, mai). *Cerveau, apprentissage et enseignement des mathématiques et des sciences : Comment aider les élèves à surmonter leurs difficultés ?* Conférence présentée au 5e Congrès de l'Association pour la recherche en neuroéducation, UQAM, Montréal (Canada), 24-27 mai 2016.
- Masson, S. & Brault Foisy, L.-M. (2012). Les conceptions erronées des élèves en électricité ne disparaissent peut-être jamais de leur cerveau. *Spectre*, 42, 15-17.
- Meert, G., Grégoire, J., & Noël, M.-P. (2010). Comparing the magnitude of two fractions with common components : Which representations are used by 10- and 12-year-olds? *Journal of Experimental Child Psychology*, 107, 244-259.
doi.org/10.1016/j.jecp.2010.04.008
- Meert, G., Grégoire, J., Seron, X., & Noël, M.-P. (2012). The mental representation of the magnitude of symbolic and non symbolic ratios in adults. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(4), 702-724.
doi.org/10.1080/17470218.2011.632485
- Minstrell, J. (2001). Facets of students' thinking: Designing to cross the gap from research to standards-based practice. In K. Crowley, C. D. Schunn and T. Okada (Eds.), *Designing for Science : Implications for Professional, Instructional, and Everyday Science*. Mahwah : Lawrence Erlbaum Associates.
- Moatti, D. (2016). Petite histoire des grandes vacances. Communication, informatique et pédagogie. Consulté en ligne : <http://communication.moatti.pagesperso-orange.fr/vacances.htm>
- Monchi, O., Petrides, M., Petre, V., Worsley, K., & Dagher, A. (2001). Wisconsin card sorting revisited: distinct neural circuits participating in different stages of the task identified by event-related functional magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience*, 21(19), 7733-7741.

- Nussbaum, J., & Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, p.182-200.
- Orange, C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF.
- Orange, C., & Orange-Ravachol, D. (2013). Le concept de représentation en didactique des sciences : sa nécessaire composante épistémologique et ses conséquences. *Recherches en éducation*, 17, 46-61.
- Özdemir, G., & Clark, D.B. (2007). An overview of conceptual change theories. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(4), 351-361.
- Parisi, J.-M. (2004). *Manuel de Physique-Chimie - 2^e, Collection Parisi* (nouvelle édition). Paris : Belin.
- Peeters, J. (1936). *Eléments de Sciences naturelles, troisième partie*. Bruxelles, Namur : La Procure.
- Perrenoud, P. (1998). La transposition didactique à partir des pratiques : des savoirs aux compétences. *Revue des sciences de l'éducation*, 24(3), 487-514.
- Perrenoud, P. (2011). *Construire des compétences dès l'école (6^e éd.)*. Paris : ESF.
- Pirson, P., Bordet, H., Castin, D., Snauwaert, P., & Van Elsuwe, R. (2009). *Chimie 3^e/4^e. Sciences de base et sciences générales*. Collection Chimie. Bruxelles : De Boeck.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W., & Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Potvin, P. (2011). *Manuel d'enseignement des sciences et de la technologie : pour intéresser les élèves du secondaire*. Québec : Multi Mondes.
- Potvin, P. (2013). Proposition for improving the classical models of conceptual change based on neuroeducational evidence: conceptual prevalence. *Neuroeducation*, 2(1), 16-43.
- Potvin, P., & Cyr, G. (2017). Toward a durable prevalence of scientific conceptions: Tracking the effects of two interfering misconceptions about buoyancy from preschoolers to science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*. DOI 10.1002/tea.21396
- Potvin, P., Riopel, M., & Masson, S. (2007). *Regards multiples sur l'enseignement des sciences*. Québec : Multi Mondes.

- Potvin, P., Sauriol, E., & Riopel, M. (2015). Experimental evidence of the superiority of the prevalence model of conceptual change over classical models and repetition. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(8), 1082-1108.
- Presseau, A. (2004). Quelles interventions pédagogiques qui tirent profit des interactions sociales doit-on poser pour favoriser le transfert de compétences? In A. Presseau & M. Frenay (Eds), *Le transfert des apprentissages : comprendre pour mieux intervenir* (pp.133-160). Sainte-Foy, Canada : Les presses de l'université de Laval.
- Reid, N. (2008). A scientific approach to the teaching of chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, p.51-59.
- Reuter, Y., (1998). La gestion des valeurs dans la didactique de l'écriture. *Spirale, Revue de Recherches en Éducation*, 22, 201-213.
- Reuter, Y., Cohen-Azria, C., Daunay, B., Delcambre, I., & Lahanier-Reuter, D. (2013). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques* (3^e éd.). Bruxelles : De Boeck.
- Rossi, S., Lubin, A., Lanoë, C., & Pineau, A. (2012). Une pédagogie du contrôle cognitif pour l'amélioration de l'attention à la consigne chez l'enfant de 4-5 ans. *Neuroeducation*, 1(1), 29-54.
- Shtulman, A., & Valcarcel, J. (2012). Scientific knowledge suppresses but does not supplant earlier intuitions. *Cognition*, 124, p. 209-215.
- Siegler, R.S. (1996). *Emerging minds. The process of change in children's thinking*. New York : Oxford University Press.
- Stavy, R., & Tirosh, D. (2000). *How students (mis-)understand science and mathematics. Intuitive rules*. New York: Teachers College Press.
- Taber, K.S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chemistry Education: Research and practice in Europe*, 2(2), p.123-158.
- Taber, K.S. (2009). Challenging misconceptions in the chemistry classroom: resources to support teachers. *Educacio Quimica*, 4, p.13-20.
- Taber, K.S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14, p.156-168.
- Talanquer, V. (2013). How do students reason about chemical substances and reactions? In G. Tsapalis & H. Sevin (Eds), *Concepts of Matter in Science Education. Innovations in Science and Technology Education*, Vol. 19 (pp. 331-346). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Tiberghien, A., Jossem, L., & Barojas-Weber, J. (Eds.) (1998). *Connecting research in physics education with teacher education*. International Commission on Physics Education (ICPE book).

- Toutain, J.-C. (1963). La population de la France de 1700 à 1959. *Cahiers de l'Institut de Sciences Economiques Appliquées (ISEA), série A.F.*, 3.
- Trabuc, M.J. (1906). *Mémento du Certificat d'Aptitude Pédagogique* (3^e éd.). Paris : Librairie Armand Colin.
- Tro, N.J. (2011). *Chemistry: a molecular approach (2nd ed.)*. Upper Saddle River, New Jersey : Pearson Prentice Hall.
- Tsoumpelis, L., & Grea, J. (1995). Essai d'application de la théorie des situations en sciences physiques - Apprentissage de la concentration molaire en classe de première S. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 15(2), 63-108.
- Tümay, H. (2016). Reconsidering learning difficulties and misconceptions in chemistry: emergence in chemistry and its implications for chemical education. *Chemistry education research and practice*, 17, 229-245.
- Van Lerberghe, L. (2017). *Des conceptions naïves aux conceptions expertes grâce à un apprentissage alliant contrôle inhibiteur et conflit cognitif. Mise en application au travers de l'acquisition du concept de concentration massique en troisième générale option sciences*. Mémoire de master en sciences de l'éducation non publié, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve (Belgique).
- Vergnaud, G. (1991). Langage et pensée dans l'apprentissage des mathématiques. *Revue Française de Pédagogie*, 96, 79-86.
- Vermersch, P. (2011). *L'entretien d'explicitation*. Collection Pédagogie (7^e éd.). Issy-les-Moulineaux : ESF.
- Verret, M. (1975). *Le temps des études*. Paris : Honoré Champion.
- Viennot, L. (2008). Learning and conceptual understanding: beyond simplistic ideas, what have we learned ? *International Commission on Physics Education*. Consulté en ligne : <http://web.phys.ksu.edu/ICPE/Publications/teach2/Viennot.pdf>
- Vosniadou, S. (2013). The framework theory approach to the problem of conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*, 2nd edition (pp. 11-30). New York: Routledge.
- Vosniadou, S., & Brewer, W.F. (1992). Mental models of the earth: A Study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535-585.
- Zapiti, S. (1999). *Difficulties in physics*. MSc. Thesis, University of Glasgow, Glasgow, Scotland.

**Construction d'outils didactiques
pour remédier aux difficultés
d'apprentissage
du concept de concentration en chimie
dans le secondaire supérieur**

Appui sur les neurosciences cognitives

ANNEXES

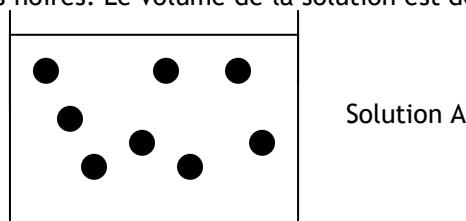
LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Le questionnaire diagnostique.	269
Annexes 2 à 14	Réponses aux questions diagnostiques QD1 à QD11.	271
Annexe 15	Le questionnaire à choix multiples et réponse unique (QCM).	310
Annexe 16	Résultats au QCM par question.	313
Annexe 17	Transcription et commentaires des treize entretiens d'explicitation.	317
Annexe 18	Test préliminaire aux entretiens d'explicitation.	366
Annexe 19	Outil de remédiation pour l'erreur « <i>La concentration n'est pas comprise comme une proportion</i> » impliquant un conflit percepto-cognitif.	369
Annexe 20	Outil de remédiation pour l'erreur « <i>Le volume considéré n'est pas celui de solution</i> » impliquant un conflit percepto-cognitif.	373
Annexe 21	Explications données par les élèves de sixième primaire suite à la question « <i>Que fait le niveau de liquide lorsque du sel de cuisine est ajouté puis dissous (après agitation) dans un volume d'eau ?</i> ».	376
Annexe 22	Explications données par les étudiants en AESS suite à la question « <i>Que fait le niveau de liquide lorsque du sel de cuisine est ajouté puis dissous (après agitation) dans un volume d'eau ?</i> ».	379
Annexe 23	Outil de remédiation pour l'erreur « <i>Le volume considéré n'est pas celui de solution</i> » impliquant un conflit percepto-cognitif et une inhibition des conceptions non pertinentes - Etapes 4 et 5.	383
Annexe 24	Résultats obtenus suite à l'utilisation de l'outil de remédiation à l'erreur « <i>La concentration n'est pas comprise comme une proportion</i> » impliquant un conflit percepto-cognitif.	385
Annexe 25	Résultats obtenus suite à l'utilisation de l'outil de remédiation à l'erreur « <i>La concentration n'est pas comprise comme une proportion</i> » impliquant un conflit percepto-cognitif : explications écrites par les élèves qui obtiennent une différence entre les concentrations prévues et celles lues - Type de conflit cognitif.	388
Annexe 26	Résultats obtenus suite à l'utilisation des outils de remédiation à l'erreur « <i>Le volume considéré n'est pas celui de solution</i> » (CC et CC+EI) : explications écrites par les élèves qui obtiennent une différence entre le niveau de liquide prévu et celui observé - Type de conflit cognitif et gain conceptuel par élève.	392
Annexe 27	Activité de transfert « Le barbecue de Sophie ».	399

Annexe 1. Le questionnaire diagnostique

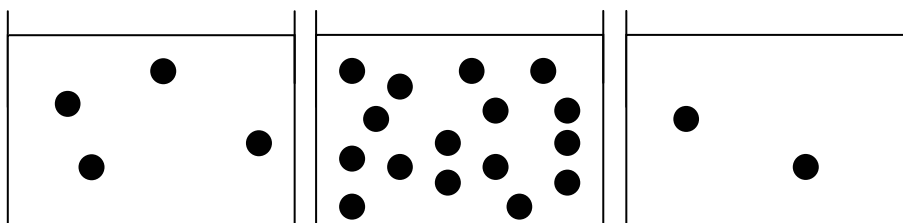
Question 1. Qu'est-ce que la concentration ? Tu peux utiliser tes propres mots.

Question 2. Le dessin suivant représente une solution A où les molécules dissoutes sont symbolisées par des boules noires. Le volume de la solution est de 0,5 litre.



On veut préparer des solutions de concentration identique à la solution A mais avec un nombre différent de molécules dissoutes.

Note en dessous de chaque récipient figurant ci-après, le volume dans lequel les molécules doivent se répartir pour que les trois solutions aient la même concentration.



Question 3. Lors d'une séance de laboratoire, le professeur demande à 5 équipes de peser 4 g de sucre fin et de le dissoudre dans l'eau afin d'obtenir un volume de 100 mL d'eau sucrée. Ensuite, le professeur rassemble les 5 solutions dans un ballon de 500 mL.

Quelle est la concentration de la solution contenue dans ce ballon ? Explique ta démarche.

Question 4. Coche la (les) bonne(s) réponse(s) :

La concentration massique de sucre dans un verre d'eau est le :

1. Quotient de la masse d'eau par la masse d'eau sucrée
2. Quotient de la masse de sucre par le volume d'eau
3. Quotient de la masse d'eau sucrée par le volume de sucre
4. Quotient de la masse de sucre par le volume d'eau sucrée
5. Quotient de la masse de sucre par la masse d'eau

Question 5. Un jeune papa doit préparer une solution de lait maternisé pour son bébé. N'ayant pas lu les instructions, il s'aperçoit que la solution obtenue, après dissolution de la poudre, est beaucoup trop concentrée (100 g/L). Oh malheur ! Il est 4 heures du matin et plus de poudre... Comment ce papa fatigué va-t-il s'y prendre pour réparer sa gaffe et obtenir 100 mL de lait à la bonne concentration, soit 20 g/L ? Justifie ton choix

Coche la bonne réponse :

1. Il devra prendre 5 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 95 mL d'eau
2. Il devra prendre 80 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 20 mL d'eau
3. Il devra prendre 20 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 80 mL d'eau

4. Il devra prendre 95 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 5 mL d'eau

Question 6. Réponds par vrai ou faux et justifie :

1. Quand on mélange deux volumes différents de deux solutions identiques, les concentrations des substances dissoutes changent
2. 100 mL d'une solution de glucose de concentration 0,10 g/L contiennent la même quantité de matière que 50 mL d'une solution de glucose de 0,20 g/L
3. Une solution dont 5 mL contiennent m grammes de sucre est 10 fois plus concentrée qu'une solution dont 50 mL contiennent la même masse m de sucre

Question 7. Dans quel cas la concentration en sucre du café est-elle la plus élevée (coche la bonne réponse et justifie ton choix) :

1. Un sucre dans une demi-tasse
2. Deux sucres dans une tasse
3. Deux sucres dans une demi-tasse
4. Un demi-sucre dans une demi-tasse

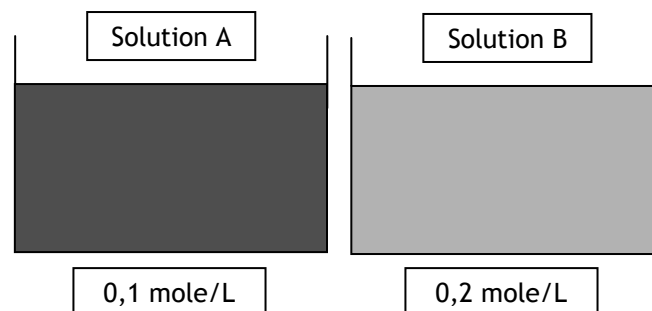
Question 8. On mélange deux volumes égaux d'une solution de chlorure de sodium NaCl à 0,10 mol/L et d'une solution de chlorure de potassium KCl à 0,10 mol/L. La concentration en ions chlorure dans le mélange est (entoure la bonne réponse et justifie ton choix) : 0,20 mol/L 0,10 mol/L 0,05 mol/L

Question 9. Pour augmenter la concentration en sucre d'un verre d'eau sucré, faut-il (coche la bonne réponse) :

1. Augmenter le nombre de mole de sucre
2. Augmenter le volume d'eau

Question 10. Un litre d'une solution sucrée a une concentration de 10 g/L. Quelle est la concentration en sucre de seulement 100mL de cette solution ? Explique ta démarche.

Question 11. Observe les 2 solutions suivantes :



Quelle est la solution la plus concentrée : la solution A ou la solution B ? Justifie

Réponses aux questions diagnostiques (Annexes 2 à 14)

Annexe 2. Question diagnostique 1

« Qu'est-ce que la concentration ? Tu peux utiliser tes propres mots. »

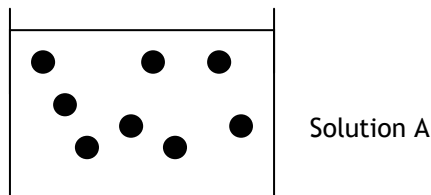
1	Il y a deux sortes de concentration il y a la concentration massique et la concentration molaire pour calculer le volume de certains atomes
2	Le nombre d'entités multiplié par le volume ? (<i>sourire dessiné</i>)
3	L'ensemble de la matière d'une dissolution
4	C'est la quantité de matière par superficie
5	C'est par exemple, dans une solution, le volume de soluté par rapport à la solution
6	C'est un mélange de plusieurs liquides
7	Concentration massique et molaire je sais comment les calculer mais pas vraiment à quoi ça sert...je dirais savoir la masse contenue ou le nombre de mole dans telle ou telle chose
8	C'est la quantité d'une chose dissoute dans un liquide
9	-
10	Nombre de mole par litre
11	Une concentration est le résultat d'une solution c'est-à-dire qu'on a un nombre de molécules qui sont mélangées avec un volume d'eau ou un autre liquide
12	Nous avons deux sortes de concentration : massique et molaire. La concentration massique pour la calculer nous avons besoin de la masse divisé par le volume de la solution. C'est le même pour le molaire sauf que nous avons besoin de moles
13	La concentration est le nombre de mole par litre
14	C'est la quantité de soluté dans une certaine quantité de solvant
15	C'est combien la quantité est présente dans un liquide, gaz
16	C'est le nombre de mole par litre
17	C'est lorsque qu'on mélange un solide et un liquide → on obtient une solution. Et on cherche la concentration du solide par rapport au liquide
18	La concentration c'est le nombre de molécules dans un endroit déterminé
19	Il existe 2 types de concentration : la concentration massique et la concentration molaire
20	C'est une masse par rapport à un volume
21	C'est par exemple, le nombre de mole de sel dans un verre d'eau ; Elle varie selon la quantité de soluté et de solvant
22	La concentration est une unité de sciences. Il en existe 2. Concentration massique → C_m et concentration molaire → C
23	C'est une capacité dans un liquide ou même une masse

24	C'est la quantité de soluté dans un solvant
25	C'est le nombre de molécules qui se trouvent dans un autre corps. Ex : Du sel dans de l'eau
26	Ca peut être une concentration massique ou molaire. C'est-à-dire par exemple le nombre de mole par litre ou de gramme de quelque chose par litre
27	Concentration massique et molaire L/mol kg/mol
28	Quantité de matière dans un certain volume → acquiert une certaine « concentration ».
29	C'est un nombre de gr, de mole ou de molécule par litre
30	Ce que contient un liquide, exprimé en mole
31	La concentration est le nombre de mole ou ... <i>illisible</i> ... (sucre, ... <i>illisible</i> ...) dans une solution aqueuse.
32	La masse de soluté divisée par le nombre de solvant
33	C'est quand il y a beaucoup de soluté pour le solvant
34	Une concentration est un ensemble de molécules concentrées à un même endroit
35	La concentration c'est le nombre de quelque chose compris dans une unité. Par ex : une concentration molaire c'est le nombre de mole se trouvant dans un litre.
36	Concentration c'est quand on met un solide dans un liquide
37	Une concentration est un volume dans lequel il y a 2 ou plusieurs substances qui réagissent (solutions) et ou on veut savoir combien il y a de substance initiale
38	C'est le nombre de molécules présentent dans un récipient. Celui-ci peut varier en fonction de l'état : liquide, solide et gazeux
39	La concentration c'est comme si on disait : la concentration de sirop de grenadine de l'eau
40	La concentration c'est la façon dont les atomes sont proches, plus ils sont proches, plus elle est grande
41	C'est le groupement de plusieurs molécules, la concentration à un même endroit de plusieurs molécules. La concentration peut varier en fonction du nombre de molécules.
42	n/v . C'est le nombre de molécules que contient une solution d'un certain volume.
43	C'est le nombre de moles qu'il y a dans un certain volume
44	$C = n/v$. La concentration c'est le nombre de mole d'une molécule dans un certain volume de liquide
45	C'est le nombre de mol sur le volume
46	C'est combien de molécules pour un volume donné
47	$C = g/V$ Concentration massique
48	C'est le nombre de composant par le volume. Plus tu rajoutes des composants

	dans un petit volume plus ce sera concentré
49	C'est le nombre de gr par litre d'un produit dans un autre
50	La concentration est le rapport entre la masse du matériau à dissoudre et le volume du liquide : $C = m/v$
51	C'est ce qui est concentré dans un même volume par rapport au nombre de moles (ou la masse totale) sur le volume. Ex : $C = n/v$ ou $C = m/v$
52	La quantité de molécules contenues dans un volume liquide
53	Ex : la concentration du sucre dans de l'eau, est le nombre de gr. de sucre par litre d'eau
54	$C = n/v$: la concentration est le nombre de mole par rapport au volume
55	C'est le rapport entre le nombre de molécules d'une ou plusieurs matières dans un liquide
56	La concentration
57	C'est quand la quantité de mole répartie dans un liquide, solide ou un gaz. Il y a 2 sortes de concentration : concentration molaire et concentration massique
58	C'est le nombre de mole que l'on peut trouver dans un composé
59	C'est le taux d'une substance contenue dans une solution
60	La concentration représente le rapport entre un volume et la masse
61	La concentration est la proportion de matière dissoute dans un volume donné → matière/volume = concentration
62	Le nombre de moles que contient une solution
63	C'est le nombre de molécules/atomes contenu dans une solution (plus il y a de molécules/atomes dans une même... <i>illisible</i> ..., plus la concentration est grande)
64	La concentration est une division du nombre de molécules ou d'atomes par un volume déterminé
65	C'est le nombre de moles d'une concentration divisé par le volume exprimé en litres
66	C'est le nombre de molécules rassemblées dans un litre de solution
67	La concentration est la quantité de matière pour un volume de solvant
68	La concentration est le nombre d'atomes présents dans une solution. Elle peut-être plus ou moins élevée. Il y a la concentration massique et la concentration molaire
69	La concentration peut-être massique ou molaire, c'est le nombre de moles par litre. La concentration, c'est le nombre d'éléments par unité de poids, masse, longueur,...
70	La concentration est la quantité ou la masse de molécule par unité de capacité (L)

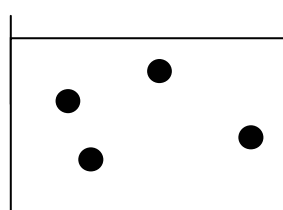
Annexe 3. Question diagnostique 2

« Le dessin suivant représente une solution A où les molécules dissoutes sont symbolisées par des boules noires. Le volume de la solution est de 0,5 litre.

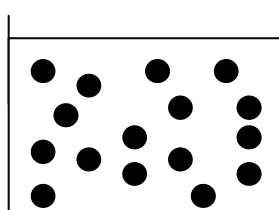


On veut préparer des solutions de concentration identique à la solution A mais avec un nombre différent de molécules dissoutes.

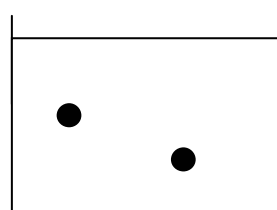
Note en dessous de chaque récipient figurant ci-après, le volume dans lequel les molécules doivent se répartir pour que les trois solutions aient la même concentration. »



Volume 1 :



Volume 2 :



Volume 3 :

Réponses correctes (en gras): Volume 1 : 0,25 mL / Volume 2 : 1 L / Volume 3 : 0,125 mL (ou des volumes équivalents).

N° copie	V1 (0,250 L)	V2 (1 L)	V3 (0,125 L)
1	0,125	7,5 l	0,25 l
2	0,25 L	1 L	0,125 L
3	$6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,5 / 2$	$6,02 \cdot 10^{23} \cdot (0,2 \cdot 2)$	$6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,5 / 4$
4	0,25 Litre	1 Litre	0,125 Litre
5	0,25 l (0,5/2)	1 l (0,5.2)	(0,5/4) l
6	0,25 L	1 L	0,125 L
7	1 litres	0,25	2 Litres
8	0,25 L	1 L	0,125 L
9	0,25 L	1 L	0,125 L
10	0,250 l	1 l	0,125 l
11	0,25 L	1, L	0,12 L
12	-	-	-
13	0,25 litre	1 litre	0,125 litre

14	0,25 l	1 l	0,125 l
15	2 x solution A	½ x solution A	4 x solution 4
16	0,25 litre	1,0 litre	0,125 litre
17	-	-	-
18	0,25 L	1 L	0,125 L
19	0,25 L	2 L	0,125 L
20	1 l	0,25 l	2 l
21	0,25 litre	1 litre	0,125 litre
22	0,25 l 0,5/2	1 l 0,5 x 2	0,125 l 0,5/4
23	7,525. 10²²	1,88125. 10²²	1,505. 10²³
24	0,25 l	1 l	0,125 l
25	4B → 0,25 l	16 B → 1 l	2 B → 0,125 l
26	0,25 l	1 l	0,125 l
27	1 L	0,25 L	2 L
28	0,25 l	1 l	0,125 l
29	0,25 L	1 L	0,125 L
30	0,25 l	1 l	0.125 l
31	0,5/2	0,5 x 2	0,5 / 4
32	0,25 L	1 L	0,125 L
33	0,25 litre	1 litre	0,125 litre
34	0,25 L	1 L	0,125 L
35	0,25 l	1 l	0,125 l
36	0,25 L	1 L	0,5/4 L
37	250 ml	1 L	125 ml
38	0,25 L	1 L	0,125 L
39	0,5/2 litre	1 litre	0,5/4 litre
40	0,25 L	1,0 L	0,6... L
41	0,25 L	1 L	0,125 L
42	0,5/2 L.	1 L.	0,5/4 L.
43	0,25 litre	1 litre	0,125 litre
44	0,25 L	1 L	0,125 L
45	0,250 l	1 L	0,125 l
46	0,25 l	1 L	0,125 l
47	0,25 litre	1 litre	0,125 litre
48	0,25 L	1 L	0,125 L

49	0,25 L	1 L	0,125 L
50	0,25 l	1 l	0,125 l
51	0,25 L	1 L	0,125
52	0,25 L	1 L	0,125 L
53	0,25 L	1 L	0,125 L
54	0,25 L	1 L	0,125 L
55	0,25 l	1 l	0,0625 l
56	0,25 litre	1 Litre	0,5/4 litre
57	0,25 L.	1 L.	0,125 L
58	0,25 litre	1 litre	0,125 litre
59	0,25 l	1 l.	0,125 l.
60	-	-	-
61	0,25 l	1 l	0,125 l.
62	<i>Je ne sais pas</i>		
63	0,25 l	1 l	0,125 l
64	$2,408 \times 10^{24}$	$9,635 \times 10^{24}$	$1,204 \times 10^{24}$
65	-	-	-
66	0,5 L	0,5 L	0,5 L
67	0,25 L	1 L	0,125 L
68	0,25 litre	1 litre	0,125 litre
69	0,250 litre	16/5 litre	2/5 litre
70	0,25 L	1 L	0,125 L
Réponses correctes	56/70	54/70	52/70
Réponses incorrectes	9/70	11/70	13/70
Absence de réponse	5/70	5/70	5/70

Annexe 4. Question diagnostique 3

« Lors d'une séance de laboratoire, le professeur demande à 5 équipes de peser 4g de sucre fin et de le dissoudre dans l'eau afin d'obtenir un volume de 100mL d'eau sucrée. Ensuite, le professeur rassemble les 5 solutions dans un ballon de 500mL. Quelle est la concentration de la solution contenue dans ce ballon ? Explique ta démarche. »

Réponse correcte : 40g/L.

N° copie	Réponse donnée	Explications
1	80 g	4 g → de sucre $CM = m/V \text{ d'eau} = 4 \text{ g} / 500 \text{ ml} = 4 / 0,05 \text{ L} = 80 \text{ g}$
2	2000 mol/L	500 ml x 4 = 2000 mol/L. Je multiplie le total x4 g de sucre...
3	2	100 ml = 0,1 L 4.0,1.5 = 2
4	4 g/100 ml	4 g/100 ml → les molécules restent où elles sont
5	40 g/L C1 sol = C mél	100 ml → 4 g x5 500 ml → 20 g La concentration de la solution contenue dans le ballon sera la même que dans les solutions de chacun des élèves → 4 g/100 mL x10 40 g/L
6	-	-
7	2000	On calcule la concentration massique = 4 $100.4 = 400 \text{ g.L}^{-1}$ 400 x 5 = 2000
8	20 g/500 mL (40 g/1L)	4 g → 100 ml x5 20 g → 500 ml → 20 g/500 ml (40 g/1L)
9	-	-
10	0,04 mol/L	$C = M/V_{\text{sol}}$ $V_{\text{solution}} : 500 \text{ ml} \rightarrow 5.100 \rightarrow 0,5 \text{ L}$ Donnée : 5 équipes 100ml d'eau sucrée 5.4 g = 20 g → 0,020 Kg $C = 0,020 / 0,5 = 0,04 \text{ mol/L}$
11	-	-
12	$8 \times 10^{-3} \text{ C}$	Nous avons 4 g pour 100 ml d'eau. → nous mélangeons le mélange et on obtient 500 ml → trouver la concentration : $C/V_{\text{solution}} = C = 4 \text{ g} = 0,004 \text{ Kg}$ $4,0.10^{-3} \text{ Kg}$ $V_{\text{sol}} = 500 \text{ ml} = 0,5 \text{ L}$ $4,0.10^{-3} / 0,5 = 8 \times 10^{-3} \text{ C}$
13	Calcul non fini C1 sol = C mél	la même que les 4 g de sucre dans 100 ml d'eau. Car ils sont proportionnelles (100 ml x 5 = 500 ml) (4 g x5 = 20 g) $0,4/4 = 0,025$ $0,5/20 = 0,025$ =
14	40 g/L C1 sol = C mél	La concentration = m/V Données : 4 g 100 ml = 0,1 l Calcul : $4/0,1 = 40 \text{ g/l}$ → Et la concentration massique est la même pour 4g...de sucre dans 100 ml qu'à la fin quand tout est rassemblé dans

		<i>un ballon de 500 ml</i>
15	<i>20 g de sucre pour 500 ml d'eau</i>	<i>Comme dans chaque récipient, il y a 4 g de sucre dans 100 ml et fait fois 5 car nombre de groupe ce qui donne 500 ml donc $4 \times 5 = 20$ g 20 g de sucre pour 500 ml d'eau</i>
16	<i>20 g/500 ml</i>	-
17	<i>20 gr/500 mL</i>	<i>4 gr/100 mL $\times 5$ 20 gr/500 mL</i>
18	<i>1 L = 40 g C1 sol = C mël</i>	<i>Si on a 5 solutions d'eau sucrée a 4 g de sucre pour 100 ml, on rassemble celle-ci, nous avons toujours la même concentration $100 \text{ ml} \rightarrow 4 \text{ g} \rightarrow 1 \text{ L} = 40 \text{ g}$ $500 \text{ ml} \rightarrow 20 \text{ g} \rightarrow 1 \text{ L} = 40 \text{ g}$</i>
19	<i>1 g/25 ml C1 sol = C mël</i>	<i>La concentration reste identique 4 g/100 ml 1 g/25 ml</i>
20	<i>40 g/L C1 sol = C mël</i>	<i>4 g/100 ml 40 g/L La concentration des 5 solutions est égale à celle que chaque solution. Car on augmente la masse mais aussi le volume.</i>
21	<i>C1 sol = C mël</i>	<i>La concentration reste la même que dans chaque ballon de 100mL, le volume change mais pas la concentration</i>
22	<i>2,5 l</i>	<i>5 équipes ont pesé 4 g de sucre fin $5 \times 4 = 20 \text{ g}$ en tout $\rightarrow 100 \text{ ml}$ d'eau sucrée $\rightarrow 500 \text{ ml} \rightarrow (500/20) \times 100 = 2500 \text{ ml}$ Je ne me rappelle plus trop comment on doit faire. Mais je pense qu'il y a 2,5 l $\rightarrow$ concentration</i>
23	<i>20 g/l</i>	<i>Je ne sais plus les formules mais je pense qu'il faut multiplier la masse du sucre et la quantité d'eau $\rightarrow 4.100 = 400$ $400.5 = 2000 \text{ g/ml} \rightarrow 20 \text{ g/l}$</i>
24	<i>20 g de sucre pour 500 ml d'eau</i>	<i>On a 4 g dans 100 ml puis on met les 5 solutions pour avoir 500ml donc $4.5 = 20$. On aura 20 g de sucre pour 500 ml d'eau.</i>
25	<i>10 g/l⁻¹</i>	<i>Il y a 4 g pour 100 ml. Il y a 5 équipes. Donc il y aura 20 g pour 500 ml. $CM = 20 \times 0,5 = 10 \text{ g/l}^{-1}$</i>
26	<i>20 g de sucre pour 500 ml d'eau</i>	<i>Données : 5 équipes 4 grammes de sucres $\rightarrow$ masse 100ml d'eau $\rightarrow$ volume $4 \times 5 = 20 \text{ g}$ $100 \times 5 = 500 \text{ ml}$ Il y a 20 g de sucre pour 500 ml d'eau.</i>
27	<i>10 g/L C1 sol = C mël</i>	<i>5.4g dissous dans 100 ml $\rightarrow 500 \text{ ml}$ La concentration ne change pas vu que c'est 5x la même chose et donc les rassembler ne change pas $\rightarrow 5.4.500.10^{-3} = 10 \text{ g/L}$</i>
28	<i>10</i>	<i>4 grammes dans 100 ml $\times 5$ 20 grammes dans 500 ml masse.volume $20.0,5 = 10 \rightarrow$ concentration</i>
29	<i>40 g/L</i>	<i>500 ml contenant 20 g (compris dans le volume) $\rightarrow 40 \text{ g/L}$</i>

30	40 g/L C1 sol = C mél	4 g de sel / 100 ml soit 40 g/L On rassemble les 4x5 g de sel = 20 g On rassemble les 100 ml x 5 d'eau = 500 ml ce qui fait 40 g/l La concentration n'a pas changé.
31	20 g	4 g = 100 ml x5 20 g = 500 mL La concentration est de 20 g
32	40 g/L C1 sol = C mél	Puisque nous avons 4 g/100 ml, et que nous ne rajoutons ni eau, ni sucre, la concentration ne change pas.
33	40 g pour 1 l ou de 4 g pour 100 ml	4 g → 100 ml x5 20 g → 500 ml x2 40 g → 1 l La concentration est de 40 g pour 1 l ou de 4 g pour 100 ml
34	40 g.L ⁻¹	Vfballon = 500 mL → Cm = ? 20/0,500 = 40 g.L ⁻¹
35	4,16 g de sucre/litre	dans 100 ml (100 g) → 4 g de sucre → 96 g d'eau dans 500 ml (500 g) → 20 g de sucre → 480 g d'eau. → 20 g/480 g = 0,0416667 g/l → 4,16 g de sucre/litre.
36	40 g/L	C'est une solution de 40 g/L parce que pour 100 ml on met 4 g. Donc 4x5 → nbre de solution = 20 g pour 500 ml, ça donne 40 g/L
37	20 g	il y a toujours les 20 g de sucre dans le ballon mais plus sous la forme solide mais liquide
38	-	Je ne sais pas
39	-	concentration → n/V
40	10 g/L	4 gr x5 = 20 gr dans 500 ml 500 ml = 0,5 L 20/0,5 = 10 g/L
41	20 g/500 mL	4.5 = 20 g/500 mL
42	20 g/500 mL	4 g/100 mL x5 20 g/500 mL
43	2 g/50 mL C1 sol = C mél	Cmassique = m/V 4/100 = 2/50 La concentration dans chaque est de 2 g/50 mL, c'est aussi la concentration dans le ballon car on ajoute les mêmes proportions
44	0,04 C1 sol = C mél	C = m/V → 4/100 = 0,04 (4x5)/(100x5) = 20/500 = 4/100 = 0,04 La concentration ne change pas.
45	-	-
46	4	Cm = 2/0,5 = 4
47	20 gr de sucre dissous dans l'eau (500 ml)	Vu qu'il y a 5 équipes qui mélangent 4 gr de sucre dans 100 ml, si on les rassemble, il doit donc avoir 20 gr de sucre dissous dans l'eau (500 ml).
48	10000/6,2.10 ²³	4 g 100 ml 500 ml 20 g n = m.V = 20.500 = 10 000

		$C = 10000/6,2 \cdot 10^{-23}$
49	40 gr/L	$C(\text{concentration massique}) = m/V \rightarrow C = 20/0,5 = 40$ $C = 40 \text{ gr/L}$
50	8 g/l	La concentration sera de 40g/dl $4/0,1 = 8 \text{ g/l}$
51	0,2 g de sucre fin	1°) Je recherche la concentration massique pour 100 ml $C_m = m/V = 4/0,1 = 0,4 \text{ g/L}^{-1}$ 2°) Je pars de la concentration obtenue pour résoudre l'équation $C_m = m/V$ $0,4 = m/0,5$ $0,4 \times 0,5 = m$ 0,2 g de sucre fin
52	-	-
53	40 $C_1 \text{ sol} = C \text{ mél}$	$CM = 4/0,1 = 40$ $CM = 20/0,5 = 40$ La concentration de la solution dans le ballon est la même que celle contenue dans le récipient de chaque équipe.
54	40 g.L^{-1} $C_1 \text{ sol} = C \text{ mél}$	La concentration du ballon est égale à la concentration des 5 solutions (des équipes) et est égale à $4 \text{ g}/0,1 \text{ L} = 40 \text{ g.L}^{-1}$
55	4 g/100 ml $C_1 \text{ sol} = C \text{ mél}$	4 g/100 ml. Pour une équipe, il y a 4 g de sucre pour 100 ml d'eau sucrée. Si les 5 groupes ont respecté les proportions, il n'y a que les quantités qui augmentent. La concentration reste la même.
56	20 g/l	1. $4/0,1 = 0,4$ 2. $0,4 \times 5 = 20 \text{ g/l}$
57	0,20 g/L	Concentration pour 1 équipe : $4/0,1 = 0,4 \text{ g/L}$ concentration pour 5 équipes : $0,4 \times 5 = 0,20 \text{ g/L}$
58	20 g → 500 ml d'eau sucrée $C_1 \text{ sol} = C \text{ mél}$	4 g → 100 ml d'eau sucrée $\times 5$ 20 g → 500 ml d'eau sucrée Il y a exactement la même concentration car il y a autant de sucre dans 100ml que lorsque l'on en met 5 x plus dans 5x plus d'eau.
59	2 g/l	$V = 4 \text{ g}/0,1 \text{ L} = 0,4 \text{ g/l}$ $\times 5 = 2 \text{ g/l}$
60	200 mol/L^{-1}	masse = 4 g $V = 100 \text{ ml} = 0,1 \text{ L}$ $C = 4/0,1 = 200 \text{ mol/l}^{-1}$
61	20 gr/500 ml	$(4 \text{ g}/100 \text{ ml}) \cdot 5 = 20 \text{ gr}/500 \text{ ml}$
62	-	Je ne sais plus comment on calcule la concentration
63	40 g/litre $C_1 \text{ sol} = C \text{ mél}$	elle est de 40 g/litre car les « ingrédients » et leur proportion sont les mêmes pour chaque équation
64	4 g de sucre/100 ml	$4 \text{ g}/100 \text{ ml} \rightarrow 20 \text{ g}/500 \text{ ml}$ La concentration est de 4 g de sucre/ 100 ml
65	40 g.l^{-1}	Il y a 4 g de sucre pour 100 ml (= 0,1 l) → la concentration est de $4/0,1 = 40 \text{ g.l}^{-1}$
66	0,04	$4 \text{ g}/100 \text{ ml} = 0,04$
67	$0,4 \text{ g.L}^{-1}$	La concentration de sucre est de $0,4 \text{ g.L}^{-1}$ dans la solution des élèves. La concentration dans le ballon sera la même.

	C1 sol = C mél	<i>Le ballon est rempli avec une solution identique à chaque fois. Donc elle sera de 0,4 g.L⁻¹</i>
68	-	-
69	4 g par 100 ml C1 sol = C mél	<i>Elle sera de 4 g par 100 ml. Effectivement, chacun a mis ses 4 g de sucre dans 100 ml d'eau. Après, si on rassemble tous les 4 g dans toute l'eau, forcément, la concentration ne change pas. Il n'y a juste plus le même volume. C'est normal !</i>
70	40 g.L ⁻¹ C1 sol = C mél	<i>La concentration massique ne changera pas et restera à 40 g.L⁻¹. Justification : $4/0,1 = 20/0,5 = 40/1 = 40 \text{ g.L}^{-1}$</i>

Annexe 5. Question diagnostique 4

« Coche la (les) bonne(s) réponse(s) :

La concentration massique de sucre dans un verre d'eau est le :

1. *Quotient de la masse d'eau par la masse d'eau sucrée*
2. *Quotient de la masse de sucre par le volume d'eau*
3. *Quotient de la masse d'eau sucrée par le volume de sucre*
4. *Quotient de la masse de sucre par le volume d'eau sucrée*
5. *Quotient de la masse de sucre par la masse d'eau »*

Proposition correcte : proposition 4 (en gras, si elle est la seule proposition choisie).

N° Copie	Propositions choisies	N° Copie	Propositions choisies	N° Copie	Propositions choisies	N° Copie	Propositions choisies
1	2	19	2	37	2	55	2, 5
2	3	20	4	38	-	56	2
3	2, 5	21	2, 5	39	2, 4	57	2, 3, 4
4	2	22	3	40	4	58	1
5	2, 4, 5	23	2, 5	41	5	59	2, 5
6	1	24	4	42	2	60	2, 4
7	3	25	2	43	2, 5	61	4
8	2, 4	26	2	44	2	62	2
9	-	27	2	45	-	63	2, 4
10	1, 5	28	2	46	1, 2, 5	64	2
11	2	29	4	47	2	65	2
12	1	30	5	48	2, 4	66	2
13	2	31	1	49	2	67	4
14	2	32	2	50	3	68	2
15	5	33	5	51	2	69	2
16	2	34	2	52	2	70	4
17	5	35	2, 5	53	2, 4		
18	2, 5	36	2	54	2		

Annexe 6. Question diagnostique 5

« Un jeune papa doit préparer une solution de lait maternisé pour son bébé. N'ayant pas lu les instructions, il s'aperçoit que la solution obtenue, après dissolution de la poudre, est beaucoup trop concentrée (100 g/L). Oh malheur ! Il est 4 heures du matin et plus de poudre... Comment ce papa fatigué va-t-il s'y prendre pour réparer sa gaffe et obtenir 100 mL de lait à la bonne concentration, soit 20 g/L ?

Coche la bonne réponse et justifie ton choix :

1. Il devra prendre 5 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 95 mL d'eau
2. Il devra prendre 80 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 20 mL d'eau
3. Il devra prendre 20 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 80 mL d'eau
4. Il devra prendre 95 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 5 mL d'eau »

Proposition correcte : proposition 3.

N° copie	Proposition choisie	Explications
1	1	La 1 car quand on divise 100 g par 5 on obtient 20 et il faut 20 g/l donc c'est cette solution.
2	3	Au hasard, j'en sais rien. Mais 20 g/L me pousse à mettre cette réponse. (le 20 de la proposition 3 est entouré)
3	2	Si on prend trop peu de solution trop concentrée et qu'on rajoute beaucoup d'eau, ce sera trop liquide et si on prend trop de solution trop concentrée pour trop peu d'eau, ce sera toujours trop concentré.
4	1	mettre plus d'eau
5	3	Il faut que la solution soit 5 fois moins concentrée
6	-	-
7	2	j'ai mis au hasard...= 5
8	3	Application d'une règle de 3 : $100 \text{ g/L} \div 5 \rightarrow 20 \text{ g/L}$ 0,20 L
9	3	Si il y a 100 g/L et qu'il ne faut que 20 g/L, on retire 80 g des 100 g pour arriver à ce qu'on souhaite : 20 g et on dissout dans de l'eau.
10	3	je pense que c'est la plus plausible
11	3	Réponse mise au hasard
12	4	J'ai mis au hasard. Et j'ai essayé de voir qui pourrait faire 20 g/L.
13	-	Je ne sais pas.
14	3	Il a mis 5x trop de poudre donc il faut prendre 1/5 de la solution trop concentrée et diluer avec 80 ml d'eau pour avoir 100 ml en tout.

15	-	<i>Il n'y a pas de bonne réponse car la somme donne 100ml 1000 ml = 1 L. Donc comme dans l'énoncé c'est par litre...</i>
16	3	<i>Je sais pas</i>
17	-	<i>Je ne sais pas.</i>
18	3	<i>Si il prend 20 ml a 100 g/L et qu'il rajoute 80ml on aura une solution à 20 g/L.</i>
19	Aucune	<i>Il devrait ajouter 4 L dans sa préparation car 100 g/1 L + 4 L 100 g/5 L %5 → 20 g/L la même chose (accolade entre 100 g/5 L et 20 g/L)</i>
20	3	<i>Il prend le nbre de ml qu'il a besoin (ici, 20 ml) et il le complète avec de l'eau pour arriver à 100 ml.</i>
21	3	<i>Car comme il lui faut 100 mL à 20 g/L et qu'au départ il a 100 g/L, il doit prendre 20 mL et ajouter 80 mL d'eau</i>
22	2	<i>car au début, il a 100 g/L et normalement c'est 20 g/L et entre les 2 il y a 80 g/L de différence donc j'opte pour la réponse 2.</i>
23	3	<i>car trop de poudre diluée ça ne fera plus du lait mais de l'eau.</i>
24	3	<i>100 g/L :5 = 20 g/L donc pour avoir 100 ml, on fait 100 : 5 = 20 donc 20 ml auquel on ajoute 80 ml pour avoir la bonne concentration.</i>
25	3	<i>Application d'une règle de 3 100 g → 1 L %5 donc 5 fois moins 20 g → 1 l 100 ml 5x moins = 20 ml Prendre 20 ml de poudre Je ne me souviens plus des formules applicables / essai de trouver un autre moyen.</i>
26	3	<i>100 g/L → 20 ml 100 :5 = 20 g 20 + 80 ml = 100 ml pour 20 g</i>
27	4	<i>100 g/L - 80 g/L → 20 g/L x5 → 100 g/L → 100 mL x5 → 500 mL</i>
28	3	<i>car 100 g/L 20 g/L 80 → 80 OK</i>
29	3	<i>100 mL → concentration (100 g/L) → 10 g de poudre il nous faut que de 2 g pour 100 mL donc on prend 1/5 de la solution trop concentrée (20 mL) + 80 mL d'eau pour obtenir les 100 mL</i>
30	4	<i>Comme cela il enlève un max de surplus et complète avec les 5 ml. Il se rapproche donc le plus près des 20 g/l.</i>
31	1	<i>La 1 car il doit obtenir 20 g/L car il a mis 100 g/L donc 100/x = 5/V</i>
32	-	-
33	3	<i>100 g/L = 10 g/ 100 ml = 2 g /20 mg (étourderie supposée 20 mg au lieu de 20 ml) 2 g/20 ml + 80 ml d'eau = 2 g/ 100 ml</i>
34	4	<i>5.20 = 100 mL et 95 + 5 mL = 100 mL</i>

35	3	<i>On dit que 100 g/L est = 100%. Si on prend 20 g de cette solution, elle sera toujours à 100% mais si on rajoute 80% d'eau, il n'y aura plus que 20% en tout.</i>
36	1	<i>100g/1L → 20g/1 L 0,005 x 100 g/1 L 0,5 g/L</i>
37	1	<i>Car il doit y avoir 20 g → 1 L. ici on en a 100 g/L donc on prend 1/5 de la solution qu'on dissout pour obtenir la bonne solution.</i>
38	3	<i>La concentration est 5x plus élevée que la normale.</i>
39	3	-
40	-	<i>Je ne sais pas</i>
41	3	<i>Car il faut rajouter beaucoup d'eau</i>
42	4	<i>Je ne sais pas, je mets 4 par pur hasard. C'est ce qui me semble le plus logique, mais je ne sais pas l'expliquer.</i>
43	3	<i>Car c'est 4 fois plus concentré que normalement donc on divise par 4.</i>
44	3	<i>0,1 Kg/1 L %5 → 0,02 Kg / 1 L 100 mL/5 = 20 mL + 80 pour être à 100 mL</i>
45	3	<i>Je sais que c'est ça.</i>
46	-	-
47	-	<i>Je ne sais pas, je ne comprends pas l'énoncé</i>
48	3	<i>pour obtenir 20 g/L j'ai divisé 100 g/L par 5.</i>
49	3	<i>On peut d'avance supprimer la 2 et la 4 : la solution serait toujours trop concentrée. On peut aussi supprimer la 1 car alors ne le serait plus assez → sol 3.</i>
50	-	-
51	-	-
52	-	<i>Selon moi, le papa ayant déjà fait l'effort de se lever à 4h du matin, il me paraît honteux de lui en plus reprocher le fait de s'être trompé dans le dosage. Maintenant si la maman se croit plus maligne, elle peut le faire à sa place.</i>
53	3	<i>Il doit ajouter 4 fois le volume prélevé pour obtenir la bonne concentration.</i>
54	3	<i>Si on divise la solution trop concentrée en 5 parts (celles-ci auront la même concentration !) et si on ajoute à une de ces parts 80 ML d'eau, on obtient : 20 g/0,2 L + 0 g/0,8 L = 20 g/1 L CQFD</i>
55	3	<i>L'instinct</i>
56	3	<i>100 g/l / 100 ml 1/5 100 g/l / 100 ml = 80 ml = 20 g/l / 100 ml</i>
57	-	<i>Pour que la concentration arrive à 20 g/L, il faut la diviser par 5. Il faut donc retirer 80ml.</i>
58	3	<i>Si il a 100 g/L sur 100 ml et qu'il veut 20 g/L, il a divisé 100 g/L en 5 ce qui nous donne 20 g/L et donc le 100 ml a aussi été</i>

		<i>divisé en 5, donc 20ml, il ne reste plus qu'à ajouter les 80 ml d'eau qu'il manque.</i>
59	-	-
60	-	<i>Au départ, on a 100 g/L et il doit arriver à 20 g/L</i>
61	3	<i>100 gr/L $\rightarrow$ 10 gr/100 ml $\rightarrow$ 2 gr/20 ml + 80 ml = 2 gr/100 ml = 20 gr/1 L</i>
62	4	<i>Hasard</i>
63	3	<i>car la solution trop concentrée est égale à 5 fois la bonne concentration, il faut donc la diviser par 5 $\rightarrow$ 20 + 80 = 100 $\rightarrow$ 100 = 5.20</i>
64	3	<i>Je ferais ça par logique mais je ne vois pas comment justifier</i>
65	3	-
66	3	-
67	3	<i>La concentration est 5 fois trop élevée donc il faut prendre 1/5 de la solution de départ puis remplir le reste d'eau</i>
68	3	<i>Si il a une solution de 100ml concentrée à 100 g/L et qu'il lui faut 20 g/L de concentration, il faut donc diviser par 5 la solution.</i>
69	2	<i>Cela devrait être à peu près bon.</i>
70	3	<i>$\rightarrow$ 20 mL de solution trop concentrée contient 2 g de poudre $\rightarrow$ en ajoutant 80 mL d'eau, nous avons donc 2 g par 100 mL ou 20 g.L⁻¹.</i>

Annexe 7. Question diagnostique 6.1

« Réponds par vrai ou faux et justifie :

1. Quand on mélange deux volumes différents de deux solutions identiques, les concentrations des substances dissoutes changent. »

Réponse correcte : Faux.

N° copie	Vrai ou Faux	Explications
1	F	car on les mélange mais c'est toujours la même solution on ajoute juste les concentrations.
2	F	elles restent les mêmes car les solutions sont identiques.
3	F	Non puisque ce sont les mêmes solutions donc, le volume change mais pas la concentration puisque c'est la même.
4	F	Il y a toujours la même quantité de matière
5	F	Car si une des 2 est plus concentrée que l'autre, ça va se compenser
6	F	C'est impossible
7	F	Je ne sais plus
8	V	car la concentration varie en fonction des volumes.
9	F	Si les solutions sont identiques, rien ne va changer sauf le volume de concentration.
10	V	ça dépend des volumes.
11	V	Si le volume est grand on aura une plus petite concentration tandis que si le volume est petit on aura une plus grande concentration.
12	F	Je ne pense pas puisque ce sont des solutions identiques
13	F	le volume va augmenter mais pas les concentrations.
14	F	car ce n'est pas proportionnel.
15	F	même si le volume est différent, la concentration est toujours la même pour les solutions
16	F	La concentration reste la même.
17	V	car s'il y a un volume plus petit, la concentration des substances sera plus élevée que dans un volume plus grand
18	F	Si les solutions sont identiques peut importe le volume de celle-ci.
19	V	si et seulement si les concentrations de départ sont différentes
20	V	les volumes vont s'équilibrer
21	F	La concentration reste toujours pareille sauf quand on ajoute uniquement du solvant
22	F	elle ne change pas car ce sont 2 solutions identiques.
23	F	car les substances sont les mêmes

24	V	<i>Si les deux volumes sont différents en les mélangeant leur concentration va changer</i>
25	V	<i>La concentration diminuera. Il y aura un plus grand V pour un concentration.</i>
26	V	<i>Car le volume est différent</i>
27	V	<i>Cela dépend des volumes.</i>
28	F	<i>car les solutions sont identiques : elles ont déjà la même concentration.</i>
29	V	<i>100ml d'une concentration de 100g/L + 100mL d'une concentration de 0g/L = 200 mL d'une concentration de 50g/L</i>
30	V	<i>car le V d'eau n'est pas le même</i>
31	V	<i>car à la base leur volume sont différents</i>
32	F	<i>on garde la même concentration car on ajoute pas de sucre et pas d'eau</i>
33	F	<i>elle ne change pas</i>
34	V	<i>Dans la solution où le volume sera plus grand, il y aura + de substances dissoutes que dans celui où il sera moins grand.</i>
35	F	<i>Car comme on ajoute un liquide avec le même rapport soluté-solvant, ça ne change pas.</i>
36	F	<i>La concentration restera la même, vu que la concentration des 2 récipients est la même.</i>
37	F	<i>car les 2 solutions sont proportionnelles donc les concentrations restent les mêmes.</i>
38	V	<i>On n'a pas forcément la même concentration dans les volumes.</i>
39	F	<i>les solutions identiques sont identiques et il n'y a pas de dissolution : ex : 100 ml de grenadine avec 500 ml de grenadine → ça ne changera rien</i>
40	F	<i>Non, le volume ne change rien car les 2 solutions sont identiques.</i>
41	V	<i>Car d'office, il y aura plus d'eau dans un des deux</i>
42	F	<i>une solution qui garde les mêmes proportions par rapport à l'autre, alors oui, sinon non.</i>
43	F	<i>car la concentration est identique, il y a le même nombre de substances par litre</i>
44	F	<i>elles restent les mêmes</i>
45	F	<i>Si le nombre mol et la concentration double tous les 2, ça change rien.</i>
46	F	<i>parce que si les solutions sont identiques, il n'y a pas de raison que ça change</i>
47	F	<i>Elle reste la même car le volume double et la concentration aussi</i>
48	F	<i>non ça reste le même</i>

49	F	si les solutions sont identiques, rien ne change.
50	F	-
51	F	$C1 = 100 \text{ g de grenadine} / 100 \text{ ml d'eau}$ $C2 = 100 \text{ g de grenadine} / 1 \text{ L d'eau}$ Seul le volume change
52	-	-
53	F	-
54	V	Si je mélange 1 litre de grenadine et $\frac{1}{2}$ L de grenadine (ayant la même concentration), alors j'obtiens 1,5 L de grenadine avec tjrs la même C
55	V	Elles prennent toutes les deux la même concentration. Les 2 concentrations s'équilibrent.
56	F / V	Si les substances ne sont pas les mêmes / si les substances sont les mêmes.
57	F	Si les solutions sont identiques, les concentrations le seront aussi.
58	-	-
59	V	-
60	F	si c'est les 2 solutions identiques → pas de changement.
61	V	La concentration finale sera la moyenne des 2 précédentes $(C1+C2)/2$
62	-	Je ne sais pas
63	F	Car lorsqu'on mélange deux solutions dont les concentrations sont égales, la concentration finale ne change pas
64	V	Les concentrations changeront car les concentrations ne sont pas les mêmes
65	F	Si 2 solutions sont identiques, alors leurs concentrations le sont aussi
66	V	La concentration va augmenter.
67	F	car les concentrations sont identiques
68	V	oui il change car le volume qui contient les substances dissoutes change.
69	V	si on mélange un verre d'eau avec trois gouttes de grenadine et un autre verre à demi-rempli, le goût final sera plus sucré que le goût du premier verre.
70	F	par exemple : $4 \text{ g} / 1 \text{ L} = 8 \text{ g} / 2 \text{ L}$ → si ajoute les deux volumes, la concentration ne changera pas, car elles ont la même concentration.

Annexe 8. Question diagnostique 6.2

« Réponds par vrai ou faux et justifie :

2. 100mL d'une solution de glucose de concentration 0,10g/L contiennent la même quantité de matière que 50mL d'une solution de glucose de 0,20g/L. »

Réponse correcte : Vrai.

N° copie	Vrai ou Faux	Explications
1	F	car il a plus de glucose dans la solution de 50 ml avec 0,20 g/L
2	F	Si on divise la concentration par 2, la solution doit aussi être divisée et non multipliée.
3	F	Il y aura plus de matière dans la solution de 100 ml. C'est juste que la concentration qui sera différente.
4	F	Pas le même coefficient de proportionnalité
5	F	100 ml d'une solution ne contiennent pas la même quantité de matière que 50 mL.
6	V	ça a l'air logique
7	V	je ne sais plus
8	F	0,10 g/L → 100 ml x2 0,20 g/L → 50 ml % 2
9	V	Non car son volume est différent.
10	Vrai	100 ml → 0,10 g/L proportionnel 50 ml → 0,20 g/L
11	V	on ne va rien changer. On va juste mettre une quantité de matière plus grande mais dans une solution plus grande.
12	V	on divise l'un par deux et l'autre on a fait x par deux.
13	-	Je ne sais pas
14	F	Il faut que ça soit proportionnel pour qu'il y ait la même quantité de matière. Ça devrait être pour 50ml 0,05g/l
15	F	car 100% 10 = 10 50% 20 = 2,5 100% 40 = 2,5
16	F	0,20 g/L est plus élevé que 0,10 g/L
17	V	car si on ajoute 50ml dans la 2 ^{ème} solution, la solution sera moins concentrée.
18	V	Si on divise le volume par deux, pour avoir une égalité il faut augmenter proportionnellement la concentration massique.
19	F	100 ml → 0,10 g/l %2 50 ml → 0,20 g/l x2 pas proportionnel
20	F	c'est proportionnel donc 100 ml de glucose pour une concentration de 0,10 g/l = 50 ml pour 0,05 g/L
21	F	Déjà dans le 2 ^{ème} cas, la concentration est x4 et concernant le volume il est divisé en 2 dans la 2ème

22	F	car si on divise par 2 100 ml pour que se soit proportionnel on fait diviser par 2 aussi le 0,10 g/L
23	F	100 → 0,10 % 2 50 → 0,20 x2
24	V	Si on divise par 2 la quantité de solvant, il faut multiplier par 2 la quantité de soluté
25	V	Je ne suis pas sûr. Je n'arrive pas à justifier
26	F	0,10 g/L → 0,01/100 ml 0,20 g/L → 0,01/50 ml 0,02/100 ml
27	F	100 → 0,10 % 2 50 → 0,20 x2 %2 différent X2
28	F	100 ml → 0,10 g/L 50 ml → 0,20 g/L x2 100 mL → 0,40 g/l 4 fois + de matière dans la 2ème solution
29	F	Pour 1L le 1 ^e à 2x moins
30	V	car le rapport entre les 2 est identique
31	V	car les données sont proportionnelles
32	F	Le premier a 1 g de matière l'autre en a 4 g
33	V	manipulation...
34	V	100 mL = 0,10 g/L x2 50 mL = 0,20 g/L
35	V	car 0,10/10 = 0,010 g (car 100 ml = 1 L/10) et 0,20/20 = 0,010 g aussi.
36	V	vu que le volume est divisé par 2, il faut 2 fois plus de matière pour avoir la même.
37	-	-
38	F	100 ml → 0,10 g/L X2 20 0mL → 0,20 g/L
39	F	-
40	V	oui car on a divisé la matière et doublé la concentration
41	F	Pour qu'il y ait la même quantité de matière, il aurait fallu diviser par 2 la concentration 0,10g/L.
42	V	-
43	V	0,010 g/100 ml → 0,05 g/50 ml 0,01 g/50 mL
44	F	1 L → 50 mL % 20000 → 10 g x 20000 je ne sais pas justifier.
45	F	Si on multiplie la quantité de glucose de la 2 ^{ème} solution, alors il y aura 0,40 g/L pour 100 ml ce qui est différent de la 1ère solution.
46	F	Il faut que la solution de glucose soit 0,5
47	F	elle doit être de 0,5 g/L
48	F	il faudrait une solution de glucose de 0,05 g/L
49	V	0,10 g/L → 0,01 g/100 ml = 0,20 g/L → 0,01 g/100 ml

50	V	$100\text{ ml} = 0,1\text{ l}$ $0,10/0,1 = 0,01\text{ g/dl}$ $50\text{ ml} = (0,1/2)\text{ l}$ $0,05/20 = 0,00125\text{ g/dl}$
51	V	$0,10 \times 0,1 = 0,01$ $0,05 \times 0,20 = 0,01$
52	-	-
53	-	-
54	V	Voyons clairement la concentration de chacun : $0,10\text{ g/1 L} = 0,01\text{ g/0,1 L}$ $0,2/1 = 0,01\text{ g/0,050}$ → ils possèdent tous les 2 $0,01\text{ g}$ de matière
55	F	Je ne sais pas
56	V	$100 \times 10 = 50 \times 20$
57	F	Si on divise le volume par 2, on doit aussi diviser la concentration par 2 sinon celle-ci sera trop grande.
58	F	Il y aurait la même quantité de matière dans 50 ml d'une solution de $0,05\text{ g/L}$
59	V	-
60	-	$100\text{ ml} \rightarrow 0,10\text{ g/L}$ $50\text{ mL} \rightarrow 0,20\text{ g/L}$
61	F	$0,10\text{ g/L} \rightarrow 0,01\text{ g/100 ml}$ $\rightarrow 0,005/50\text{ ml}$
62	Vrai	c'est proportionnel
63	V	car il y a 2 fois plus de matière à la $C = 0,20\text{ g/l}$ si les deux solutions seraient de 100 ml → $100 \cdot 0,20 = 20$ faut $\div 2 \rightarrow 50\text{ ml}$ $100 \cdot 0,10 = 10$
64	V	$0,1\text{ ml}$ $0,10\text{ g/L} \cdot 10 = 100$ $0,05\text{ ml}$ $0,20\text{ g/L} \cdot 5 = 100$
65	V	La solution de 50 ml contient $0,2\text{ g/L}$, celle de 100 ml en contient $0,10$. Comme la concentration est double au 50 ml, elle doit être divisée par deux aux 100 ml pour obtenir la même quantité de matière.
66	V	Dans un plus petit volume la solution est plus concentrée
67	V	car il y a deux fois plus de volume mais 2 fois plus de soluté
68	F	La solution sera 4 fois plus concentrée avec 50 mL d'une sol. De glucose de $0,20\text{ g/L}$
69	F	100 ml, c'est plus grand que 50 ml
70	F	car $0,01/0,1$ différent $0,01/0,05$

Annexe 9. Question diagnostique 6.3

« Réponds par vrai ou faux et justifie :

3. Une solution dont 5 mL contiennent m grammes de sucre est 10 fois plus concentrée qu'une solution dont 50 mL contiennent la même masse m de sucre. »

Réponse correcte : Vrai.

N° copie	Vrai ou Faux	Explications
1	V	car on ajoute des ml et donc la concentration est plus petite par apport au ml.
2	V	on multiplie par 10
3	V	moins il y aura d'eau pour le même nombre de sucre, plus la solution sera concentrée.
4	V	car le volume est plus petit → moins de place pour le sucre → plus de concentration
5	V	Car il y a 10 fois plus de matière
6	F	c'est celle de 5 ml la plus concentrée
7	V	-
8	V	$m = 2 \text{ gr}$ $5 \text{ ml} = 2 \text{ gr}$ $\times 10$ $50 \text{ ml} = 2 \text{ gr} =$
9	V	oui car la concentration est la même, mais avec un volume différent. Ca sera donc plus ou moins dissous en fonction de ça
10	V	$5 \text{ ml} \rightarrow m \text{ gr}$ plus concentrée de $10 \times$ $50 \text{ ml} \rightarrow m \text{ gr}$ → différence de volume pour même masse.
11	V	c'est plus concentré car dans un plus petit volume.
12	V	puisque la solution varie et que la concentration reste la même
13	V	la solution de 5 ml sera 10 fois plus concentrée que celle de 50 ml car il y a 10 fois moins de solution.
14	V	Car il y a dans 5 ml le même nombre de gramme de sucre que dans 50 ml donc c'est plus concentré comme c'est moins dilué.
15	V	oui car le volume change mais pas la concentration comme $5 \times 10 = 50$ celle de 5 sera $10 \times$ plus concentrée. (cet élève pense $C = m$)
16	V	Il y a 10 fois moins d'eau pour la même masse de sucre.
17	V	car quand il y a 5ml et 50ml, la solution de 5 ml sera plus concentrée
18	V	Car on divise par 10 le volume de solution sans diviser la masse m .
19	V	$m/5 \text{ ml}$ plus grande concentration $\times 10$ $m/50 \text{ ml}$ plus petite concentration
20	Vrai	car il y a la même dose de sucre pour un volume différent donc le volume le plus petit est plus concentré

21	V	Oui car il y a moins de volume
22	V	car le 50 ml est 10 fois plus grand que 5 ml et donc moins concentré. 5 ml est plus concentré vu qu'il a un volume plus petit.
23	V	car $5 \times 10 = 50$
24	V	Plus la quantité de solvant est petite plus la concentration est grande (quand le soluté est le même)
25	F	Oui le volume est beaucoup plus grand
26	V	Car il y a la même masse mais il n'y a pas le même volume donc là où le volume est plus petit, la concentration est plus grande.
27	V	50 ml est plus important que 5 ml donc la concentration sera plus petite
28	V	5 ml $\rightarrow$ m gramme $\times 10$ 50 ml $\rightarrow$ m gramme
29	V	5 ml $\rightarrow$ mgr de sucre 50 ml $\rightarrow$ mgr de sucre $\rightarrow$ 10x plus de volume pour le même nbre de gr de sucre
30	V	si 5 ml contiennent 10 g et 50 ml contiennent 10 g alors 5 ml est plus concentré
31	Vrai	car les données sont proportionnelles ($50/5 = 10$)
32	V	concentration 1 = $m/5 \text{ ml} = 200 \text{ m/L}$ concentration 2 = $m/50 \text{ ml} = 20 \text{ m/L}$
33	V	manipulation...
34	-	je ne sais pas.
35	V	oui car $(5/m) \cdot 10 = 50/m \rightarrow 50/m = 50/m \rightarrow 50m = 50m \rightarrow m = m$
36	V	Il y a 10 fois moins de liquide.
37	V	car le sucre va plus se répartir dans 50ml
38	V	oui car le volume (devient) est moins important que la masse de sucre
39	V	car un peu de solvant avec mgr de sucre est différent de bcq de solvant avec la même masse de sucre (schémas de récipients qui contiennent le même niveau de soluté mais niveau de solvant différent)
40	V	le volume augmente et diminue la concentration.
41	V	oui $50/10 = 5$ et comme la masse de sucre est la même, la concentration sera plus élevée dans le premier cas.
42	V	-
43	V	$10 \text{ ml}/50 \text{ ml} \times 10 \text{ m}/50 \text{ ml}$
44	V	$m/5 \times 10 \text{ m}/50$
45	V	Vu qu'il y a autant de mol dans un volume plus petit
46	V	Logique !
47	-	-

48	V	<i>car plus le volume augmente si il reste le même nombre de gramme la solution sera de moins en moins concentrée.</i>
49	V	<i>m/0,005 est 10x plus grand que m/0,05 puisqu'on le divise par un nbre 10x plus petit</i>
50	V	<i>oui car il n'y a 10 fois plus de solution dans le 1er que dans le 2ème donc les molécules de sucre vont être plus concentrées</i>
51	V	<i>$C1 = m/0,005 \quad \times 10$ au déno $C2 = m/0,05$</i>
52	-	-
53	-	-
54	V	<i>$C = m/V \rightarrow C = m/0,005 \quad \times 10 \quad C = m/0,05$</i>
55	V	<i>Je sais pas</i>
56	V	<i>$5 \times (m/5) > m/50$</i>
57	F	<i>Ces 2 solutions sont identiques puisqu'elles sont multiples de l'autre.</i>
58	V	<i>C'est logique pour moi car le sucre a pu plus facilement se dissoudre dans 50 ml.</i>
59	V	-
60	V	<i>La concentration est + forte pour la solution la + petite (5ml) que celle qui fait 50 ml.</i>
61	V	<i>$50 \text{ ml} = 5 \text{ ml} \cdot 10$</i>
62	-	<i>Je ne sais pas.</i>
63	V	<i>$5 = m$ et $50 = m \rightarrow 50 = 10 \cdot 5$</i>
64	V	<i>Oui la concentration de 5 ml est 10 fois plus concentrée</i>
65	V	<i>Les deux solutions ont la même masse de sucre et $50:10 = 5$ ($C = n/V$)</i>
66	V	<i>Le sucre est moins dilué donc la solution est plus concentrée.</i>
67	V	<i>car le volume est 10 fois plus grand dans le second cas</i>
68	V	<i>vrai car il y aura la même quantité de grammes de sucre pour une telle quantité de liquide. Elles seront donc de même concentration</i>
69	V	<i>S'il y a les mêmes quantités de grenadine dans 5 ml que dans 50 ml, la solution de 5 ml est forcément + goûtue.</i>
70	V	<i>car cette masse dans la solution de 50 ml est beaucoup plus diluée que celle de la solution de 5 ml</i>

Annexe 10. Question diagnostique 7

« Dans quel cas la concentration en sucre du café est-elle la plus élevée (coche la bonne réponse et justifie ton choix) :

1. Un sucre dans une demi-tasse
2. Deux sucres dans une tasse
3. Deux sucres dans une demi-tasse
4. Un demi-sucre dans une demi-tasse »

Proposition correcte : proposition 3.

N° copie	Proposition choisie	Explications
1	3	car on met plus de sucres dans la demi-tasse ce qui revient à mettre 4 sucres dans une tasse
2	4	si les doses sont égales, la concentration est plus élevée.
3	3	Plus il y a de matière et moins il y a de liquide, la concentration sera plus grande, tandis que plus il y aura de liquide et moins de matière, moins il y aura de concentration.
4	3	plus de sucre pour moins de volume
5	3	Car dans les 2 premiers cas, c'est la même concentration. Alors que dans le 3 ^{ème} cas, c'est 2 fois plus concentré que dans les 2 précédents. Et dans le dernier cas, c'est la moitié des premières concentrations.
6	3	Parce qu'il y a beaucoup de sucre dans un petit espace
7	3	Car plus de sucre pour moins de café
8	3	1 : 1 → 0,5 2 : 1 → 0,5 3 : 2 → 0,5 4 : 0,5 → 0,5
9	3	Car le volume est petit et la concentration est grande
10	3	1 : 2 sucres/tasse 2 : 2 sucres/tasse 3 : 4 sucres/tasse 4 : 2 sucres/tasse
11	3	On aura beaucoup plus de sucre en en mettant deux dans une demi-tasse. Le sucre dans une demi-tasse et deux sucres dans une tasse, ça revient à la même chose.
12	3	car on met plus de concentration dans une solution réduite
13	3	Car il y a plus de sucre et le volume de la tasse est plus petit que une qui est remplie.
14	3	car c'est la plus grande concentration car 2 sucres dans une demi-tasse équivalent à 4 sucres dans une tasse normale.
15	3	car la 1 et la 2 sont égale en concentration c'est-à-dire 1 sucre dans une demi tasse, la 4 est encore inférieur et la 3 est plus supérieur aux autres car il est deux fois plus concentré que la 1 et 2.
16	3	Je sais pas
17	3	car il y a peu de liquide pour dissoudre les solides, donc c'est plus concentré

18	3	1 : 2 sucres par tasse 2 : 2 sucres par tasse 3 : 4 sucres par tasse 4 : 1 sucre par tasse
19	3	Le plus grand nombre de sucres dans un plus petit volume nous donne la concentration la plus élevée.
20	3	1 : 2 sucres dans une tasse 2 : 2 sucres dans une tasse 3 : 4 sucres dans une tasse 4 : 1 sucre dans une tasse Si on rapporte tout pour une tasse, c'est dans le 3 qu'il y a le plus de sucre.
21	3	car si on met tout en 1 tasse : 1 : 2 sucres dans une tasse 2 : 2 sucres dans une tasse 3 : 4 sucres dans une tasse 4 : 1 sucre dans une tasse
22	3	1 sucre dans une tasse → 2 sucres dans $\frac{1}{2}$ tasse donc 2 sucres dans $\frac{1}{2}$ est plus concentré
23	3	c'est logique...
24	2	pour comparer les 4, je choisis une demi-tasse. Donc, une tasse je divise par 2 et je multiplie par 2 le sucre, j'aurai 4 sucres pour une demi-tasse.
25	3	Le volume est petit et le soluté qui doit être dissous est très grand.
26	3	1) = 2) 4) schéma d'un sucre dans une demi-tasse 3) schéma de 2 sucres dans une tasse
27	3	beaucoup de sucre dans peu de café → concentration élevée.
28	3	là où il y a le + de sucre dans un volume le plus petit → concentration + grande
29	3	1 : 2 sucres dans une tasse 2 : 2 sucres dans une tasse 3 : 4 sucres dans une tasse → le plus concentré 4 : 1 sucre dans une tasse
30	3	On considère un sucre = 5g et une tasse de café = 25cl 1) 5g/12,5cl 2) 10g/25cl 3) 10g/12,5cl 4) 2,5g/12,5cl 1) = 10g/25cl 2) = 10g/25cl 3) = 20g/25cl 4) = 5g/25cl → la 3
31	3	car le volume de café est plus petit ($\frac{1}{2}$ tasse) et qu'il y a beaucoup de sucres (2)
32	3	1 et 2 sont équivalentes 4 est inférieur à 3
33	3	car ça fait 4 sucres pour une tasse
34	3	2 x plus de sucres de $\frac{1}{2}$ tasses je ne sais pas comment expliquer.
35	3	car 2 sucres pour une demi-tasse x 2 pour une tasse est = à 4 sucres par tasse.
36	3	Parce que c'est la plus grande masse pour un plus petit volume

37	3	<i>car il y a moins de liquide pour que les sucres se dissolvent mais le font quand même</i>
38	3	<i>Le plus petit volume et la plus grosse masse.</i>
39	3	<i>supposons que : 1) concentration de 5 g/L 2) concentration de 5 g/L 3) concentration de 10 g/L 4) une concentration de 2,5 g/L</i>
40	3	<i>car il y a plus de matière.</i>
41	3	<i>car c'est le cas où il y a le plus de sucre (2 sucres) dans la plus petite quantité de café (une demi-tasse).</i>
42	3	<i>$1 : 1/(1/2) = 2$ $2 : 2/1 = 2$ $3 : 2/(1/2) = 4$ $4 : (1/2)/(1/2) = 1$</i>
43	3	<i>car il y a plus de sucre pour un plus petit volume.</i>
44	3	<i>il y a plus de sucre dans un plus petit volume de café.</i>
45	3	<i>Parce que pour si on multiplie par 2 ça fait une tasse et 4 sucres et c'est donc là où il y a plus 2 sucres pour une tasse.</i>
46	3	<i>la 1 et la 2 sont équivalentes. Et ce n'est pas la 4 car il y a moins de sucre ds celle là que ds la 1. Donc c'est la 3.</i>
47	3	<i>pour peu de liquide il y a beaucoup de sucre, donc la concentration est énorme</i>
48	3	<i>car pas bcq de volume et bcq de sucre</i>
49	3	<i>$1 : 1/(1/2) = 2$ $2 : 2/1 = 2$ $3 : 2/(1/2) = 4$ $4 : (1/2)/(1/2) = 1 \rightarrow 4$</i>
50	3	<i>car le rapport entre deux sucres dans une demi-tasse est plus important que deux sucres dans une tasse (vu que la tasse est deux fois plus petite)</i>
51	3	<i>car si un sucre = 1 g une tasse = 0,20 L pour la n°3 la concentration = 20 g/L^{-1} alors que pour les autres elle est plus faible</i>
52	3	<i>Car il y a plus de sucre pour un volume de café plus faible</i>
53	3	<i>La plus élevée est la 3. car on ajoute le plus de sucre dans le plus petit volume.</i>
54	3	<i>Si je mets deux sucres dans une tasse, alors il sera plus sucré étant donné que le volume est plus petit et la quantité plus grande</i>
55	3	<i>Il y a 2 sucres pour une demi-tasse de café. La concentration est importante</i>
56	3	<i>1) $2/0,5 > 1/1$ 2) $2/0,5 > 2/1$ 3) $0,5/0,5 < 2/0,5$</i>
57	3	<i>Le volume est le + petit des propositions et le nbre de sucres est le plus élevé. Le nombre de sucres est 2x plus grand que le volume.</i>
58	3	<i>Il y a forcément plus de sucre lorsque l'on en plonge deux seulement dans une demi-tasse.</i>

59	3	<i>plus la quantité de solvant (flèche vers le bas) plus la concentration en sucre (flèche vers le haut)</i>
60	3	<i>La 3e car une demi-tasse est le + petit volume qu'on peut avoir dans ce cas-ci et que justement 2 sucres dans un petit récipient va + se faire sentir que 1.</i>
61	3	<i>Plus grande quantité de sucre dans le plus petit volume</i>
62	3	<i>On a que la moitié de la tasse et il y a 2 sucres.</i>
63	3	<i>Car plus la masse est grande et le volume petit, plus la concentration est élevée</i>
64	3	<i>On aura plus de sucre pour moins de volume donc le 3</i>
65	3	<i>Evident</i>
66	3	<i>Dans un petit volume de solution, on met deux fois plus de sucre. Le sucre sera moins dilué donc plus concentré dans le café</i>
67	3	<i>Le volume est plus petit mais il y a plus de soluté</i>
68	3	<i>Evident</i>
69	3	<i>Deux sucres dans une demi-tasse = fort sucré.</i>
70	3	<i>→ car les deux sucres sont moins dilué dans une demi-tasse et donc plus concentré. Il y a plus de sucre dans une demi-tasse.</i>

Annexe 11. Question diagnostique 8

« On mélange deux volumes égaux d'une solution de chlorure de sodium NaCl à 0,10 mol/L et d'une solution de chlorure de potassium KCl à 0,10 mol/L. La concentration en ions chlorure dans le mélange est (entoure la bonne réponse et justifie ton choix) : 0,20 mol/L 0,10 mol/L 0,05 mol/L »

Réponse correcte : 0,10 mol/L.

N° copie	Réponse (en mol/L)	Explications
1	0,10	le volume est double et la concentration aussi donc ça revient au début comme dans une seule solution
2	0,10	comme les volumes sont égaux, la concentration reste la même
3	0,10	la quantité change mais la concentration reste la même.
4	0,10	même coefficient de proportionnalité
5	0,20	Les 2 solutions se compensent.
6	0,20	$10+10 = 20$
7	0,20	$\text{NaCl} + \text{KCl} = \text{NaKCl}$ $0,10 \quad 0,10 = 0,20 \text{ mol/l}$
8	0,10	1 L = 1 L dont il y a 0,10 mol/L revient à 2L avec 0,20 mol → 1L avec 0,10 mol.
9	0,20	je le sens bien.
10	0,10	imaginons que le volume égal = 10 → 0,10 mol NaCl → 0,10 mol KCl
11	0,20	on va additionner les deux solutions ce qui va nous donner 0,20 mol/L
12	0,10	La concentration reste la même puisque on ajoute au mélange la même quantité de solution donc la concentration n'a pas doublé ou diminué.
13	-	Je ne sais pas.
14	0,10	car $0,10 \text{ mol/L} + 0,10 \text{ mol/L} = 0,20 \text{ mol}$ pour 2 l donc pour un litre ça fait $(0,20 \text{ mol} / 2 \text{ L}) / 2$ qui égal 0,10 mol/L
15	0,10	comme le chlorure est égal à chaque fois, il n'y a pas de raison que cela change de concentration.
16	0,10	La concentration ne change pas
17	0,10	car dans chaque solution il y a 0,05 mol/L de chlorure donc quand on mélange les 2 solutions, on obtient 0,10 mol/L
18	0,10	On augmente le volume mais pas la concentration mais comme le type de chlorure n'est pas spécifié cela donne 0,10 mol/L car si on ajoute par exemple : 100 ml NaCl 0,10 mol/L à 100 ml KCl à 10 mol/L on obtient 200 ml avec 0,20 mole de chlorure.
19	0,10	$0,10 \text{ mol/L NaCl} + 0,10 \text{ mol/l KCl} \quad 0,20 \text{ mol} / 2 \text{ L} \rightarrow 0,10 \text{ mol/L}$

20	0,20	<i>Il est 2x plus concentré en Cl car il y en a dans les 2 volumes de départ.</i>
21	0,10	<i>La concentration reste la même si tout reste proportionnel</i>
22	-	<i>Je ne sais pas.</i>
23	0,20	<i>car comme c'est des volumes égaux on les additionne</i>
24	0,05	<i>Je crois qu'il aura une moitié d'ions chlorure et une moitié d'ions sodium ou potassium.</i>
25	0,20	<i>Les volumes sont égaux et les concentrations aussi c'est proportionnel puisque les solutions sont égales.</i>
26	0,10	<i>$0,10 \text{ mol/L} + 0,10 \text{ mol/L} = 0,20 \text{ mol/2 L} = 0,10 \text{ mol/l}$</i>
27	0,10	<i>$\text{NaCl} \rightarrow 0,10 \text{ mol/L} \quad \text{KCl} \rightarrow 0,10 \text{ mol/L} \quad 2 \text{ Cl}$</i>
28	0,10	<i>Même volume qui ont la même concentration $\rightarrow$ cela ne change pas.</i>
29	0,10	<i>$0,10 \text{ mol/L} + 0,10 \text{ mol/L} = 0,20 \text{ mol/2 L} = 0,10 \text{ mol/L}$</i>
30	0,10	<i>$0,10 \text{ mol/l KCl et } 0,10 \text{ mol/l NaCl} = 0,20 \text{ mol/2 l} \rightarrow 0,10 \text{ mol/l}$</i>
31	0,10	<i>Car rien ne change ($0,10/\text{L} = 0,10/\text{L} = 0,20/2\text{L} \rightarrow 0,10/\text{L}$)</i>
32	0,10	<i>$(0,10 \text{ mol/L}).2 = 0,20 \text{ mol/2L} = 0,10 \text{ mol/L}$</i>
33	0,10	<i>logique</i>
34	0,10	<i>Il reste le même car ce sont tous les 2 des solutions et dans chaque cas, la concentration molaire ne change pas car on ajoute un liquide à un autre liquide, on ajoute juste des molécules mais la concentration ne change pas car il y a le double de volume.</i>
35	0,10	<i>$0,10 \text{ mol/L}$ car le rapport soluté-solvant sera toujours le même.</i>
36	-	<i>Je ne sais pas.</i>
37	-	<i>-</i>
38	0,10	<i>Après on divisera le volume en deux pour avoir la réponse en L.</i>
39	-	<i>-</i>
40	-	<i>-</i>
41	0,10	<i>Car les 2 volumes au départ sont égaux et malgré qu'on les mélange, les concentrations restent à $0,10 \text{ mol/L}$ qu'il y ait 2 litres ou 100 litres.</i>
42	0,10	<i>Toujours la même concentration</i>
43	0,10	<i>$0,10 \text{ mol/L} + 0,10 \text{ mol/L} = 0,20 \text{ mol/2} = 0,10 \text{ mol/L}$</i>
44	0,10	<i>$\text{NaCl} + \text{KCl} \rightarrow 0,05 (\text{Cl}) + 0,05 (\text{Cl}) = 0,10$</i>
45	0,20	<i>-</i>
46	0,20	<i>Car $0,10 \text{ mol/L}$ de chlore ajouté à $0,10 \text{ mol/L}$ de chlorure = $0,20 \text{ mol/L}$</i>
47	0,20	<i>Il y a deux fois plus d'ions chlorure vu qu'on ajoute la même concentration</i>

48	0,20	car $0,10 \text{ mol/L} + 0,10 \text{ mol/L} = 20 \text{ mol/L}$.
49	-	-
50	0,10	Car on fait la moyenne des 2 concentrations
51	-	-
52	-	-
53	0,10	-
54	0,10	$C = 0,1/1 + 0,1/1 = 0,2$ dans un vol de 2 L : $0,2/2 = 0,1$
55	0,10	je sais pas
56	0,10	La concentration ne change pas.
57	0,10	KCl : $K = 0,5 \text{ g/L}$ et $Cl = 0,5 \text{ g/L}$ NaCl : $Na = 0,5 \text{ g/L}$ et $Cl = 0,5 \text{ g/L} \rightarrow 0,5/1 + 0,5/1 = 0,10$.
58	0,10	Hasard...
59	0,20	$0,10 \text{ mol} + 0,10 \text{ mol} = 0,2$
60	-	-
61	0,10	$2.1/2 = 1$
62	-	Je ne sais plus.
63	0,10	$(10+10)/(1+1) = 20/2 = 10/1$
64	0,10	Je saurais pas dire
65	0,10	On mélange deux solutions qui ont la même concentration en Cl.
66	0,10	Dans la concentration de départ de deux solutions, le chlorure fait la moitié de la concentration (soit 0,5) $\rightarrow \times 2$ donc le double. (0,10)
67	0,10	La concentration Cl ⁻ ne change pas
68	0,10	Si le volume est toujours égal ainsi que la concentration molaire, alors il n'y a pas de changement.
69	0,10	On les mélange, leur volume augmente mais ils avaient le même volume pour la même concentration, alors, elle ne change pas.
70	0,10	Car la proportion mol/L reste la même.

Annexe 12. Question diagnostique 9

« Pour augmenter la concentration en sucre d'un verre d'eau sucrée, faut-il (coche la bonne réponse) :

1. Augmenter le nombre de mole de sucre
2. Augmenter le volume d'eau »

Réponse correcte : 1 (la seule réponse incorrecte est en gras ; copie 2).

N° Copie	Proposition choisie	N° Copie	Proposition choisie	N° Copie	Proposition choisie	N° Copie	Proposition choisie
1	1	19	1	37	1	55	1
2	2	20	1	38	1	56	1
3	1	21	1	39	1	57	1
4	1	22	1	40	1	58	1
5	1	23	1	41	1	59	1
6	-	24	1	42	1	60	1
7	1	25	1	43	1	61	1
8	1	26	1	44	1	62	1
9	1	27	1	45	1	63	1
10	1	28	1	46	1	64	1
11	1	29	1	47	1	65	1
12	1	30	1	48	1	66	1
13	1	31	1	49	1	67	1
14	1	32	1	50	1	68	1
15	1	33	1	51	1	69	1
16	1	34	1	52	1	70	1
17	1	35	1	53	1		
18	1	36	1	54	1		

Annexe 13. Question diagnostique 10

« Un litre d'une solution sucrée a une concentration de 10 g/L.
 Quelle est la concentration en sucre de seulement 100 mL de cette solution ?
 Explique ta démarche. »

Réponse correcte : la concentration reste égale à 10 g/L.

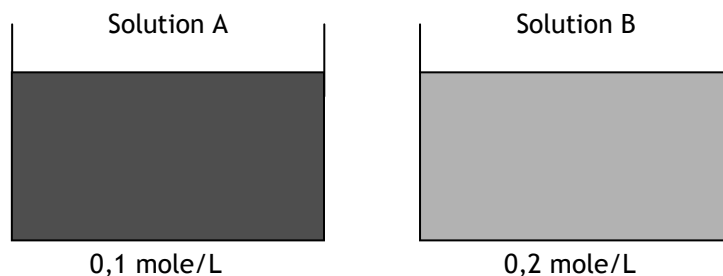
N° copie	Réponse donnée	Explications
1	0,10 g de sucre	un litre : 100 ml = 900 ml 10:100 = 0,10. concentration de sucre = 0,10 g de sucre
2	$100 \cdot 10^2 \text{ mol/L}$	$(100 \cdot 10^3 \text{ L}) / 10 \text{ g/L} = 100 \cdot 10^2 \text{ mol/L}$
3	1 g/L	100 ml = 0,1 L $\rightarrow 10 \text{ g} / 10 = 1 \text{ g/L}$
4	1 g/100 ml	10 g/1000 ml $\rightarrow :10$ 1 g/100 ml
5	10 g/L	Après application d'une règle de 3 qu'il barre, l'élève écrit La concentration ne change pas!! c'est donc toujours 10 g/L!! (mais il n'y a qu'1 g de sucre dans cette solution !)
6	-	-
7	1 g/L	1 L $\rightarrow$ 10 g/L $\rightarrow$ 100 ml de 1 l $\rightarrow$ 1/10 10 g/L :10 = 1 g/L
8	1 g/100 ml	10 g $\rightarrow$ 1000 ml %10 1 g $\rightarrow$ 100 ml
9	?	10 g $\rightarrow$ 1 L 10 g = 100 ml $\rightarrow$ 1 L
10	1 g/L	1 L = 10 g/L $\rightarrow$ 100 ml = 0,1 l $\rightarrow$ 1 g/L
11	1 g/L	On divise par 10 vu que 1L correspond à 100 ML. Cela vaudra 1 g/L.
12	0,1 g/L	1 litre $\rightarrow$ 10 g/L $\rightarrow$ 1000 ml il faudrait sûrement diviser par 10 pour arriver à 100 ml. 0,1 g/L.
13	1 g/100 ml	1 g/100 ml car 100 ml vaut 10 fois moins d'1 litre donc on divise 10 g par 10
14	1 g/100 ml	Je divise en 10 $\rightarrow$ il y a 1 g de sucre par 100 ml (car 1 l :10 = 100 ml)
15	10 g/L	car le volume change mais pas la concentration
16	10 g/100 ml	la concentration ne change pas
17	-	Je sais pas
18	10 g/L	Sa concentration reste de 10 g/L si elle n'est pas diluée.
19	10 g/L	La concentration est la même
20	10 g/L	La même ! On prélève de cette solution, la concentration des 100 ml sera égale à la concentration du litre de départ.
21	10 g/L	Elle reste la même ! c'est-à-dire de 10 g/L. Le volume peut changer mais pas la concentration

22	1000 g/L	$(1 \text{ l}/0,01) \times 10 \text{ g/L} = 1000 \text{ g/L}$
23	?	$100 \text{ ml} = 1 \text{ litre} \quad \%100 \quad 10 \text{ g} = 0,1 \text{ g}$
24	1 g/100 ml	1 g pour 100 ml la concentration reste la même
25	1 g/100 ml	$10 \text{ g} \rightarrow 1 \text{ l} = 1000 \text{ ml} \quad \%10 \quad 1 \text{ g} \rightarrow 100 \text{ ml}$ Dans 100 ml de solution il y a 1 g.
26	0,1 g/100 ml	$100000 \text{ ml} = 1 \text{ l} \rightarrow 10 \text{ g} \quad \%100 \quad 100 \text{ ml} \rightarrow 0,1 \text{ g}$
27	0,01 g/L pour 100 mL	$10 \text{ g/L} \rightarrow 100 \text{ mL} \quad 10/1000 = 0,01 \text{ g/L pour } 100 \text{ mL}$
28	même concentration	Après écriture d'un début de règle de trois, l'élève écrit : Même concentration $\rightarrow$ même solution. Cela ne change pas ?
29	1 g/100 ml soit 10 g/L	$1 \text{ L} \rightarrow \text{concentration } 10 \text{ g/L} \quad 100 \text{ ml} \rightarrow \text{concentration}$ $1 \text{ g/100 ml} = 10 \text{ g/L}$
30	1 g	règle de 3 $10 \text{ g/l} \quad \%10 \quad ?/100 \text{ ml} \rightarrow 1 \text{ g}$
31	1 g	$100 \text{ ml} = 0,1 \text{ L} \rightarrow 1 \text{ L} = 10 \quad \%10 \quad 10 \text{ m} = 1 \text{ g}$ la concentration est de 1 gramme
32	1 g/100 ml soit 10 g/L	1 g/100 ml soit 10 g/L
33	1 g	Elle est de 1 g car $10 \text{ g} \rightarrow 1 \text{ l} \quad \%10 \quad 1 \text{ g} \rightarrow 100 \text{ ml}$
34	100 g	10 grammes de sucre/10 L d'eau $\rightarrow$ L'eau diminue $\rightarrow$ moins il y aura de l'eau et plus la concentration en sucre sera grande $\rightarrow$ la concentration en sucre sera de 100 g.
35	1 g/100 mL	$100 \text{ ml} = 1/10 \text{ l} \rightarrow 10/10 = 1$ Il y a 1 g de sucre dans 100 mL.
36	1 g	parce que pour 1 L il y a 10 g, donc pour 100 ml, 10 fois moins.
37	?	je divise par 10 ma concentration qui se trouve dans la solution sucrée pour pouvoir obtenir celle dans 100 ml.
38	1 g/100 ml	$10 \text{ g} \rightarrow 1 \text{ L} \quad \%10 \quad 1 \text{ g} \rightarrow 100 \text{ ml}$
39	même concentration	La même concentration, car tout est mélangé et donc proportionnel
40	1 g/L	Un litre $\rightarrow 10 \text{ g/L} \quad 0,100 \text{ L} \rightarrow 1 \text{ g/L}$
41	0,1 g/L	$10/100 = 0,1 \text{ g/L}$
42	1 g/100 ml	$10 \text{ g/L} \quad \%1000 \rightarrow 0,01 \text{ g/ml} \quad \times 100 \rightarrow 1 \text{ g/100 ml}$
43	1 g/100 mL	$10 \text{ g/L} \quad \%10 \quad 1 \text{ g/100 mL}$
44	1 g/0,1 L	$10 \text{ g/1 L} = ?/0,1 \text{ L} \rightarrow 1 \text{ g/0,1 L}$
45	1 g/L	car si on divise le volume par 10, on divise aussi le nbre de mol par 10, pour ne pas changer la concentration
46	1 g/L	$1000 \text{ mL} \rightarrow 10 \text{ g/L} \quad \%10 \quad 100 \text{ ml} \rightarrow 1 \text{ g/L}$
47	1 g/100 ml	$10 \text{ gr} \rightarrow 1 \text{ L} \quad \%10 \quad 1 \text{ gr} \rightarrow 100 \text{ ml}$

48	1 g/L	0,1 L = 100 ml 1000 ml : 10 = 100 ml 10 g/L : 10 = 1 g/L
49	10 g/L	logique. Si on enlève du volume, comme la solution est déjà faite, la concentration ne changera pas
50	100 g/l	car la concentration sera 10 fois plus importante
51	?	$C = n/V$ $C \times V = n$ $10 \times 1 = 10$ $10/0,1 = 100$
52	-	-
53	10 g/L	La concentration est également 10 g/L. Tant que l'on ajoute ni de sucre, ni d'eau, la concentration ne change pas. $10 \text{ g} \rightarrow 1 \text{ L}$ %10 $1 \text{ g} \rightarrow 100 \text{ ml}$ $\times 10$ $10 \text{ g} \rightarrow 1 \text{ L}$
54	10 g/L	en effet, si on réduit le volume, et pour que la solution soit la même, on réduit proportionnellement le sucre
55	10 g/L	Je ne sais pas expliquer
56	10 g/L	-
57	-	10 g/L 100 ml = 0,1 L (les données sont recopiées)
58	1 g/L	$1 \text{ l} \rightarrow 10 \text{ g/L}$ %10 $100 \text{ ml} \rightarrow 1 \text{ g/L}$
59	100 g/l	$1 \text{ l} = 10 \text{ g/L}$ %10 $0,1 \text{ l} \rightarrow 100 \text{ g/l}$
60	0,001 g/100 ml	$10 \text{ g} \rightarrow 1 \text{ litre (1000 L)}$: 10000 $0,001 \text{ g} \rightarrow 100 \text{ ml (0,1 L)}$
61	1 g/100 ml	car $1 \text{ L} / 10 = 100 \text{ ml}$
62	-	Je ne sais plus.
63	elle ne change pas	Après application d'une règle de 3 qu'il barre, l'élève écrit elle ne change pas
64	1 g	Elle est d'un gramme de sucre : $10 \text{ G/L} \rightarrow 1 \text{ G/0,1}$
65	La même	La même. Le sucre est dissous, il y en a autant partout.
66	1 g/ml	$1 \text{ L} \rightarrow 10 \text{ g de sucre}$ %10 $100 \text{ ml} \rightarrow 100 \text{ g de sucre}$. La concentration sera de 1 g/ml.
67	10 g.L ⁻¹	La concentration ne change pas
68	identique	La concentration sera identique puisque le volume ne change pas la concentration
69	10 000 g/ml	utilisation d'une abaque g dg cg mg
70	10 g/L	Car la concentration est inchangée, car la proportion est conservée.

Annexe 14. Question diagnostique 11

« Observe les 2 solutions suivantes :



Quelle est la solution la plus concentrée : la solution A ou la solution B ? Justifie. »

Réponse correcte : Solution B.

N° copie	Solution choisie	Explications
1	B	car il y a plus de moles dans la solution.
2	A	Moins il y a de mole par litre, plus il y a de de concentration.
3	B	car il y a plus de moles par litre.
4	B	il y a plus de moles
5	B	car il y a la même quantité de liquide dans les 2 cas mais 2 fois plus de moles dans la solution B.
6	B	car c'est celle qui a le + de moles.
7	B	car il y a le double de la solution A
8	B	La couleur n'a aucune influence sur la concentration. Je dirais donc la solution B.
9	B	La B car il y a 0,1 mole en plus dans cette solution que dans l'autre.
10	B	car le double de moles pour un même volume.
11	A	car on aura plus de molécules dans le premier. Le cadre est plus noir ce qui donne l'impression que c'est une concentration plus forte.
12	B	dans les 2 cas nous avons la même quantité de solution.
13	B	car il y a plus de moles dans la B, pour le même nombre de L.
14	B	car 0,2 mole c'est plus que 0,1
15	B	car il y a deux moles de plus que le 1.
16	B	Il y a plus de moles par litre.
17	B	car il y a plus de solide dans la 2 ^{ème} solution.
18	B	car elle possède 0,2 mol/L contrairement à la A qui ne possède que 0,1 mole/L.

19	B	car plus de moles par litre
20	B	il y a le double de moles pour un même volume.
21	B	car le nombre de moles est plus important.
22	B	car il y a 0,2 mole/L donc 0,1 mole/L en plus que la solution A.
23	B	car il y a plus de moles pour un même volume.
24	B	car on a 2 fois plus de soluté pour la même quantité de solvant.
25	B	il y a 0,2 mole pour 1 l alors que dans la solution A c'est 0,1 mole pour 1 l.
26	B	car il y a le double de moles.
27	B	car c'est la + grande concentration
28	B	0,2 mole/L est plus concentré que 0,1 mol/L
29	B	2x plus de moles pour la même quantité
30	B	car pour un même volume elle possède plus de moles
31	B	car il y a plus de moles dedans par litre.
32	B	car il y a plus de soluté que dans la A
33	B	car il y a deux fois + de moles pour 1 litre
34	B	car il y a plus de moles dans 1 L.
35	B	car il y a plus de soluté pour un même nombre de solvant.
36	B	parce qu'il a plus de moles pour le même volume que dans la solution A.
37	A	car c'est moins clair donc il doit y avoir plus de matière mais on ne sait pas si on a la même solution avec les mêmes composants dans chaque récipient.
38	B	car le nombre de moles par litre est plus important.
39	B	car dans 1 L de solution, on trouve 0,2 mole : alors que dans la A, dans 1 L de solution on trouve 0,1 mole donc → on en trouve +
40	B	car il y a plus de moles par litre.
41	B	car il y a plus de moles par litre dans cette solution-là.
42	B	parce qu'il y a + d'atomes pour un même volume d'eau.
43	B	Pour le même volume, il ya plus de moles dans l'un que dans l'autre.
44	B	car $0,2/1 > 0,1/1$
45	B	car il y a plus de mol pour la même quantité d'eau.
46	B	car sur 1 litre il y à 0,2 mole donc elle est forcément + concentrée que la A.
47	B	La couleur peut varier. c'est pas parce que la couleur est foncée que la concentration est plus élevée.
48	B	car le même volume pour une masse plus grande est donc plus

		<i>concentré</i>
49	<i>B</i>	<i>0,2>0,1</i>
50	<i>B</i>	<i>car il y a deux fois plus de moles pour le même volume d'eau.</i>
51	<i>B</i>	<i>2x plus de moles par litre</i>
52	<i>B</i>	<i>car il y a 2 fois plus de moles par litre.</i>
53	<i>B</i>	<i>car il y a plus de moles (donc de molécules) pour un même volume.</i>
54	<i>B</i>	<i>car pour un même volume, il y a 2 fois plus de moles dedans.</i>
55	<i>B</i>	<i>Il y a 2x plus de moles/L dans la solution B par rapport à la solution a.</i>
56	<i>B</i>	<i>elle a une concentration plus forte</i>
57	<i>B</i>	<i>pour un même volume, la concentration en moles est 2x plus grande.</i>
58	<i>B</i>	<i>La couleur ne veut rien dire.</i>
59	<i>A</i>	<i>-</i>
60	<i>B</i>	<i>0,2 est plus grand que 0,1</i>
61	<i>B</i>	<i>-</i>
62	<i>B</i>	<i>Car il y a plus de moles/L</i>
63	<i>B</i>	<i>car il y a plus de moles par litre que la A</i>
64	<i>B</i>	<i>car sa concentration est de 0,2 mole/L</i>
65	<i>B</i>	<i>Il y a 0,2 mol.l⁻¹</i>
66	<i>A</i>	<i>-</i>
67	<i>B</i>	<i>La concentration B a 2 fois plus de moles pour 1L → c'est la B</i>
68	<i>B</i>	<i>puisque la quantité de mole est de 0,2 mole/L, ce qui est supérieur à 0,1 mole/L</i>
69	<i>B</i>	<i>car + de moles, donc, plus de molécules.</i>
70	<i>B</i>	<i>car elle est 2x plus concentrée que la solution A</i>

Annexe 15. Le questionnaire à choix multiples et réponse unique (QCM)

Entourez la lettre correspondant à votre réponse – une seule réponse possible. L'usage d'une calculatrice est autorisé.

1. Quelle expression correspond le mieux au concept de « concentration chimique » : a. Quantité de soluté dans un volume de solvant b. Rapport entre une quantité de soluté et le volume de solution c. Grande quantité de soluté dans une solution d. Molécules de soluté qui se regroupent dans un solvant e. Aucune des possibilités f. Je ne sais pas
2. Une recette de cuisine pour préparer du caramel consiste à peser du sucre, y ajouter de l'eau puis chauffer lentement pendant quelques minutes. Quelle proposition ci-dessous est correcte ? a. L'eau est le soluté et le sucre est le solvant b. Le sucre est le soluté et l'eau est la solution c. L'eau sucrée est la solution d. Aucune des possibilités
3. Quelle est la bonne expression mathématique de la concentration molaire d'un soluté ? (avec n la quantité de matière, V le volume et C la concentration) 1. $C = n \cdot V$ 2. $C = n / V$ 3. $C = V / n$ 4. Aucune des possibilités 5. Je ne sais pas
4. Dans l'expression de la concentration C, que représente V ? a. Le volume de solution b. Le volume de solvant c. Le volume de soluté d. Aucune des possibilités e. Je ne sais pas
5. Une solution est préparée en dissolvant 2,00 g de chlorure de sodium NaCl dans de l'eau. Le volume final est de 125 mL (0,125 L). Quelle est la concentration massique en chlorure de sodium obtenue ? a. 16,0 g/L b. 0,0625 L/g c. 0,0160 g/L d. Il manque des informations pour répondre e. Aucune des possibilités
6. Un litre d'une solution sucrée a une concentration en sucre de 10 g/L. Quelle est la concentration de 100 mL (0,100 L) de cette solution ? a. 10 g/L b. 0,10 g/mL c. 1,0 g/L d. Aucune des possibilités e. Je ne sais pas

7. Observez les 2 solutions suivantes :

Solution A



Solution B



Quelle est la solution la plus concentrée ?

- La solution A
- La solution B
- Il manque des informations pour répondre
- Aucune des possibilités

8. Quelle masse de sucre doit-on peser pour préparer 145 mL (0,145 L) d'eau sucrée à 12,0 g/L ?

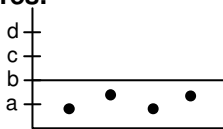
- 1,74 g
- 82,8 g
- 0,0121 g
- 12,1 g
- Aucune des possibilités
- Je ne sais pas

9. Une solution est préparée en dissolvant 100 g de chlorure de sodium NaCl dans 500 mL (0,500 L) d'eau. Quelle est la concentration massique en NaCl obtenue ?

- 0,200 g/L
- 200 g/L
- 5,00 mL/g
- Il manque des informations pour répondre
- Aucune des possibilités

10. Le schéma suivant représente une solution A où la quantité de matière dissoute est symbolisée par des boules noires.

d
c
b
a

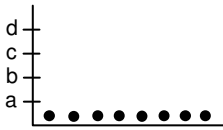


Solution A

On veut préparer une solution B de concentration identique à la solution A mais avec un nombre différent de quantité de matière dissoute.

A quel niveau doit arriver la solution B ?

d
c
b
a



Solution B

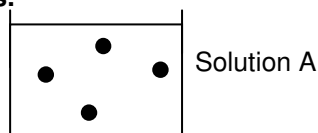
- Niveau a
- Niveau b
- Niveau c
- Niveau d
- Aucune des possibilités
- Je ne sais pas

11. Une solution est préparée en dissolvant 0,40 mol de chlorure de sodium NaCl dans de l'eau. Le volume final est de 200 mL (0,200 L). Quelle est la concentration molaire en chlorure de sodium obtenue ?

- 0,50 L/mol
- 2,0 mol/L
- 0,080 mol/L
- Il manque des informations pour répondre
- Aucune des possibilités

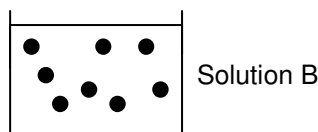
- 12. Une solution est préparée en dissolvant 2,00 g de chlorure de sodium NaCl dans de l'eau. Le volume final est de 125 mL (0,125 L). La masse molaire M du chlorure de sodium est 58,0 g/mol. Quelle est la concentration molaire en chlorure de sodium obtenue ?**
- 0,276 mol/L
 - 0,00108 L/mol
 - 928 mol/L
 - Aucune des possibilités
 - Je ne sais pas
- 13. Pour préparer une solution aqueuse de chlorure de sodium (NaCl dans l'eau) à 2 g/L, que faut-il faire ?**
- Placer 1 L d'eau dans une fiole et ajouter 2 g de NaCl
 - Placer 2 g de NaCl dans une fiole et ajouter 1 L d'eau
 - Placer 2 g de NaCl dans une fiole et compléter avec de l'eau jusqu'à obtenir un volume de 1 L
 - Les propositions a ou b parce que l'ordre d'ajout du soluté n'a pas d'importance
 - Aucune des possibilités
 - Je ne sais pas
- 14. Soit 200 mL d'une solution A de concentration 0,10 g/L. Quelle doit être la concentration de 100 mL d'une solution B afin d'avoir la même quantité de matière dissoute ?**
- 0,050 g/L
 - 0,10 g/L
 - 0,20 g/L
 - Aucune des possibilités
 - Je ne sais pas
- 15. Soient 5 solutions identiques (même soluté et même solvant) de concentration 10 g/L. On rassemble dans un même récipient les 5 solutions. La concentration finale sera :**
- 50 g/L
 - 10 g/L
 - la concentration finale dépend du volume de chaque solution
 - 2,0 g/L
 - Aucune des possibilités
 - Je ne sais pas

10bis. Le schéma suivant représente une solution A où la quantité de matière dissoute est symbolisée par des boules noires.



On veut préparer une solution B de concentration identique à la solution A mais avec un nombre différent de quantité de matière dissoute.

A quel niveau doit arriver la solution B ?



- Moitié moins
- Le double
- Egal
- Aucune des possibilités
- Je ne sais pas

Annexe 16. Résultats au QCM par question.

Les cases grisées indiquent les propositions correctes et les fréquences de réponses associées.

A côté de certaines propositions non correctes est précisée, entre parenthèses et en italiques, l'erreur commise.

1. Quelle expression correspond le mieux au concept de « concentration chimique »	N=223	%
a. Quantité de soluté dans un volume de solvant	30	13,45
b. Rapport entre une quantité de soluté et le volume de solution	164	73,55
c. Grande quantité de soluté dans une solution	1	0,45
d. Molécules de soluté qui se regroupent dans un solvant	11	4,93
e. Aucune des possibilités	7	3,14
f. Je ne sais pas	10	4,48

2. Une recette de cuisine pour préparer du caramel consiste à peser du sucre, y ajouter de l'eau puis chauffer lentement pendant quelques minutes. Quelle proposition ci-dessous est correcte ?	N=222	%
a. L'eau est le soluté et le sucre est le solvant	23	10,36
b. Le sucre est le soluté et l'eau est la solution	18	8,11
c. L'eau sucrée est la solution	165	74,32
d. Aucune des possibilités	16	7,21

3. Quelle est la bonne expression mathématique de la concentration molaire d'un soluté ? (avec n la quantité de matière, V le volume et C la concentration)	N=221	%
a. $C = n \cdot V$	4	1,81
b. $C = n / V$	201	90,95
c. $C = V / n$	10	4,53
d. Aucune des possibilités	5	2,26
e. Je ne sais pas	0	0

4. Dans l'expression de la concentration C, que représente V ?	N=223	%
a. Le volume de solution	159	71,30
b. Le volume de solvant	46	20,63
c. Le volume de soluté	13	5,83
d. Aucune des possibilités	1	0,45
e. Je ne sais pas	4	1,79

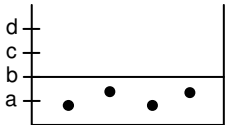
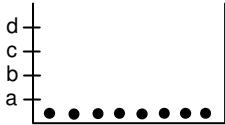
5. Une solution est préparée en dissolvant 2,00 g de chlorure de sodium NaCl dans de l'eau. Le volume final est de 125 mL (0,125 L). Quelle est la concentration massique en chlorure de sodium obtenue ?	N=223	%
a. 16,0 g/L	164	73,55
b. 0,0625 L/g (<i>V/m et erreur d'unité</i>)	11	4,93
c. 0,0160 g/L (<i>erreur d'unité</i>)	14	6,28
d. Il manque des informations pour répondre	29	13,00
e. Aucune des possibilités	5	2,24

6. Un litre d'une solution sucrée a une concentration en sucre de 10 g/L. Quelle est la concentration de 100 mL (0,100 L) de cette solution ?	N=222	%
a. 10 g/L	136	61,26
b. 0,10 g/mL (<i>C/V et erreur d'unité</i>)	24	10,81
c. 1,0 g/L (<i>V/10 alors C/10</i>)	47	21,17
d. Aucune des possibilités	9	4,06
e. Je ne sais pas	6	2,70

7. Observez les 2 solutions suivantes : A  B  Quelle est la solution la plus concentrée ?	N=223	%
a. Solution A	47	21,07
b. Solution B	2	0,90
c. Il manque des informations pour répondre	173	77,58
d. Aucune des possibilités	1	0,45

8. Quelle masse de sucre doit-on peser pour préparer 145 mL (0,145 L) d'eau sucrée à 12,0 g/L ?	N=223	%
a. 1,74 g	167	74,89
b. 82,8 g (<i>C/V</i>)	16	7,18
c. 0,0121 g (<i>V/C</i>)	10	4,48
d. 12,1 g (<i>V/C et erreur d'unité</i>)	2	0,90
e. Aucune des possibilités	11	4,93
f. Je ne sais pas	17	7,62

9. Une solution est préparée en dissolvant 100 g de chlorure de sodium NaCl dans 500 mL (0,500 L) d'eau. Quelle est la concentration massique en NaCl obtenue ?	N=223	%
a. 0,200 g/L (m/V_{solvant} et erreur d'unité)	17	7,62
b. 200 g/L (m/V_{solvant})	165	74,00
c. 5,00 mL/g (V_{solvant}/m et erreur d'unité)	18	8,07
d. Il manque des informations pour répondre	19	8,52
e. Aucune des possibilités	4	1,79

10. Le schéma suivant représente une solution A où la quantité de matière dissoute est symbolisée par des boules noires.  On veut préparer une solution B de concentration identique à la solution A mais avec un nombre différent de quantité de matière dissoute.  A quel niveau doit arriver la solution B ?	N=74	%
a. Niveau a	1	1,35
b. Niveau b	5	6,76
c. Niveau C	0	0
d. Niveau d	61	82,43
e. Aucune des possibilités	3	4,05
f. Je ne sais pas	4	5,41

11. Une solution est préparée en dissolvant 0,40 mol de chlorure de sodium NaCl dans de l'eau. Le volume final est de 200 mL (0,200 L). Quelle est la concentration molaire en chlorure de sodium obtenue ?	N=222	%
a. 0,50 L/mol (V/n)	9	4,05
b. 2,0 mol/L	168	75,68
c. 0,080 mol/L ($n.V$)	15	6,76
d. Il manque des informations pour répondre	20	9,01
e. Aucune des possibilités	10	4,50

12. Une solution est préparée en dissolvant 2,00 g de chlorure de sodium NaCl dans de l'eau. Le volume final est de 125 mL (0,125 L). La masse molaire M du chlorure de sodium est 58,0 g/mol. Quelle est la concentration molaire en chlorure de sodium obtenue ?	N=221	%
a. 0,276 mol/L	111	50,22
b. 0,00108 L/mol ($V/(m.M)$)	2	0,91
c. 928 mol/L ($(m.M)/V$)	24	10,86
d. Aucune des possibilités	40	18,10
e. Je ne sais pas	44	19,91

13. Pour préparer 1 L d'une solution aqueuse de chlorure de sodium (NaCl dans l'eau) à 2 g/L, que faut-il faire ?	N=222	%
a. Placer 1 L d'eau dans une fiole et ajouter 2 g de NaCl	20	9,01
b. Placer 2 g de NaCl dans une fiole et ajouter 1 L d'eau	10	4,51
c. Placer 2 g de NaCl dans une fiole et compléter avec de l'eau jusqu'à obtenir un volume de 1 L	124	55,86
d. Les propositions a ou b parce que l'ordre d'ajout du soluté n'a pas d'importance	54	24,32
e. Aucune des possibilités	5	2,25

14. Soit 200 mL d'une solution A de concentration 0,10 g/L. Quelle doit être la concentration de 100 mL d'une solution B afin d'avoir la même quantité de matière dissoute ?	N=222	%
a. 0,050 g/L ($C_B = C_A/2$)	50	22,52
b. 0,10 g/L ($C_B = C_A$)	57	25,68
c. 0,20 g/L	95	42,79
d. Aucune des possibilités	12	5,41
e. Je ne sais pas	8	3,60

15. Soient 5 solutions identiques (même soluté et même solvant) de concentration 10 g/L. On rassemble dans un même récipient les 5 solutions. La concentration finale sera :	N=222	%
a. 50 g/L ($C_{finale} = 5.C_{initiale}$)	20	9,01
b. 10 g/L	168	75,68
c. La concentration finale dépend du volume de chaque solution	32	14,41
d. 2,0 g/L ($C_{finale} = C_{initiale}/5$)	0	0
e. Aucune des possibilités	1	0,45
f. Je ne sais pas	1	0,45

Annexe 17. Transcription et commentaires des treize entretiens d'explicitation

Phrases dont les caractères sont :

- entre guillemets et en italiques : phrases écrites ou dites par l'élève interrogé ;
- en caractères normaux : phrases écrites ou dites par le chercheur et commentaires du chercheur.

Des conclusions partielles sont précédées d'une flèche.

Pour les tableaux indiquant les réponses au QCM, les cases grisées indique un choix de proposition incorrect.

1. Entretien avec Olivier M. - E1 (Mardi 14 janvier 2014 - 12h35 → 13h25)

Série 1

Q1.1

Qu'est ce que la concentration ? Tu peux utiliser tes propres mots.

Novembre 2013 :

« *Le rapport entre le nombre de mol sur le volume de solution pour la concentration massique. $C_m = m/V$. Le rapport entre le gramme en mol sur le volume de solution pour la concentration molaire. $C = n/V$* »

Janvier 2014 :

« *Pour moi, la concentration c'est un rapport entre un soluté et une solution. Pour la concentration molaire, le soluté est n par rapport au volume de solution et pour la concentration massique c'est le rapport du soluté qui est m par rapport au volume de solution* »

Q1.2

Schémas de deux solutions différentes : Une solution A plus concentrée qu'une solution B.

Premier schéma :

- Solution A1 : rectangle et 9 petits cercles à l'intérieur
- Solution B1 : rectangle beaucoup plus petit avec 8 cercles serrés sur la face inférieure

« *Le plus concentré, c'est celui où on trouve le plus de soluté donc c'est le A* »

« *Dans B, c'est plus serré* »

« *J'ai une hésitation* » « *Où alors c'est plus concentré quand le soluté est plus concentré, plus rapproché avec les autres - On pourrait parler de solides* »

Deuxième schéma :

- Solution A2 : rectangle et 10 petits cercles répartis
- Solution B2 : rectangle de même dimension avec 4 petits cercles répartis à l'intérieur

« *J'aurais pu les faire plus proches* »

Olivier rajoute un cercle collé à quatre autres dans le rectangle de la solution A2.

« *Je ne pense pas que le nombre ça doit changer mais le fait qu'elles soient plus à l'écart mais dans un même volume que la A ou la B* »

« *Quand il y a plus d'écart, c'est moins concentré* »

« *Le solvant, c'est le liquide* » en montrant l'espace entre les boules

« *On ne peut pas comparer des solutions qui n'ont pas le même volume de solvant* »

« Si on regarde par exemple dans 1 litre, la concentration elle sera moins importante que si on regarde dans 1 mL par exemple. Puisque là, le soluté va être plus proche car il y a moins d'espace où aller si on parle d'un liquide dans un liquide »

« Pour moi, le liquide a de l'importance » Suggestion « Le volume de liquide a de l'importance »

« Il y aura plus de concentration dans celui où il y aura moins de volume »

« Si il y a moins de volume, c'est plus concentré » Suggestion : pour la même quantité de soluté ?

→ Pour Olivier si V petit alors C grande et inversement

Q1.3

Choix 2 : Cm : quotient de la masse de sucre par le volume d'eau

Série 2. Questionnaire à choix multiples et réponse unique

N°Q	Prop. choisie	Explicites et commentaires
1	b	
2	c	
3	b	
4	a	
5	a	2,00/0,125 = 16,0 g/L
6	c	Long temps pour répondre. Après 2 minutes 20 : « C'est la b : 0,10 g/mL » « C'est 1 litre et 1 litre c'est 1000 mL si je ne me trompe pas donc on fait diviser par 10 - Là, si je fais diviser par 10, ça fait par 0,10 g/mL » « C'est la c - on divise les 2 par 10 » → V % 10 donc C % 10
7	a	« La A, elle est plus foncée » « Le fait que ça soit concentré, le fait que ça soit plus foncé »
8	a	m = C.V, transforme l'expression mathématique dans sa tête, sans rien écrire.
9	b	Olivier comprend que l'on ne dispose pas du volume de solution. Quand il effectue le calcul 100 g/0,500 L, il trouve une proportion (200 g/L). Il hésite beaucoup mais, non sûr de lui, il choisit de cocher la proposition b proposant 200 g/L. « Il me manquait une info » « La concentration massique c'est 100 g sur le volume de solution... » « Je peux essayer le calcul, voir si ça irait... » « Ce serait 200 g/L » « Je trouve une réponse mais j'hésite » « Je me demande si ou alors je me trompe, ça ne représenterait pas la solution donc pas V donc on ne peut pas l'utiliser pour le calcul ou alors ça ce serait la réponse ou alors je me trompe - je ne sais pas » Que vas-tu choisir ? « Il y a un truc qui me contredit donc je ne sais pas - je peux des fois me tromper - je vais mettre 200 g/L »

10	d	« puisqu'on a doublé le nombre de différentes quantités de matière qu'on a dissoute et bien on doit aussi doubler le volume de solvant »
11	b	$C = n/V$
12	a	« n c'est m/M » Olivier fait tous les calculs facilement sans écrire mais en tapant sur sa calculatrice.
13	c	« La a n'est pas bonne parce que les 2 g de NaCl ne se mettra jamais dans l'eau avant » « Ca va pas bien se mélanger » « La b, on ajoute 1 litre alors que ça doit être le sel et l'eau qui doit faire la solution d'1 litre »
14	a	« C'est la a, on divise la solution - là il y a 200 mL, là il y a 100 mL donc on doit mettre 2 fois moins aussi de... la concentration... la quantité de matière dissoute »
15	a	« Il y a même soluté (50 g/L) et même solvant donc on rajoute 5 fois la solution sans rajouter sans retirer donc il y a 50 g... » « Ca se cumule » « Si vous mettez 1 litre + 1 litre d'eau ça fait 2 litres d'eau donc c'est la même chose pour le soluté » « Je disais avant, si on divise, ça se divise aussi de l'autre côté donc si on multiplie d'un côté ça se multiplie forcément de l'autre »

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Novembre 2013	27%	b	a	c	a	c	b	a	d	b	c	d	a	b	c	c
Janvier 2014	67%	b	c	b	a	a	c	a	a	b	d	b	a	c	a	a

2. Entretien avec Mathilde G. - E2 (Jeudi 16 janvier 2014 - 12h35 → 13h25)

Série 1

Q1.1

Qu'est ce que la concentration ? Tu peux utiliser tes propres mots.

Novembre 2013 :

« La concentration est une quantité de molécules qui sont approchées les unes des autres ou soit plus éloignées. Plus elles sont proches une de l'autre plus c'est « fort » »

Janvier 2014 :

« C'est la masse de soluté sur le volume de solution. » (Mathilde avait mis masse puis volume de solvant puis volume de solution)

Donne moi un exemple avec de l'eau et du sucre et que serait la concentration en sucre ?

« Le soluté c'est le sucre et le solvant c'est le mélange du sucre et de l'eau »

Et le solvant ... « Ah c'est la solution » « Le soluté c'est le sucre et le solvant, c'est celui qui dissout donc en fait en tout c'est la solution »

Mathilde corrige volume de solvant par volume de solution.

« C'est plus concentré s'il y a plus de soluté »

Mathilde se rappelle de la grenadine auquel elle n'avait pas droit plus petite.

→ Pas de rapport à un volume de solution (supposé pour un même volume ?)

Q1.2

Schémas de deux solutions différentes : Une solution A plus concentrée qu'une solution B.

- Solution A : rectangle et 6 petits cercles à l'intérieur - Mathilde écrit « 100ml » au niveau supérieur.
- Solution B : rectangle de même dimension avec 3 cercles - « 100ml » sur le niveau supérieur

Que représentent les petits ronds ?

« C'est le soluté » « C'est du sel, de la grenadine, du sucre »

Q1.3

Choix 2 : Cm est le quotient de la masse de sucre sur le volume d'eau

Série 2. Questionnaire à choix multiples et réponse unique

N°Q	Prop. choisie	Explications et commentaires
1	b	Pourquoi tu ne choisis pas la proposition a ? « Parce qu'ils disent un litre de solvant et un litre... ça peut être plus ou moins ou... » Pourquoi pas la c ? « C'est la grande quantité... ça peut être n'importe quoi. Il ne faut pas que ça dépasse un chiffre pour qu'on dise que c'est un soluté » « D'office il y a une concentration quand il y a un mélange » Pourquoi pas la d ? « J'avais hésité mais c'est une molécule qui se regroupe... je ne pense pas... enfin quand je dis ça je vois plutôt une image... pour moi ça se disperse un peu partout » « (qui se regroupent) me dérange un peu »

		« <i>Ca fait pas une masse au milieu, par exemple ça se disperse un peu partout</i> »
2	c	
3	b	Mathilde utilise un brouillon et note un bout d'organigramme : n % Vsolution → C « <i>Je suis plutôt visuelle et un peu kinesthésique donc j'ai plus facile à refaire les chemins et refaire tout ça</i> » « <i>Je regardais et puis la concentration massique je sais bien que c'était à gauche</i> » « <i>Je sais bien que tous les autres c'est fois et que ceux là c'est les deux divisés qu'il y a dans le tableau</i> » → Souvenir d'une image de l'organigramme donné par l'enseignant
4	a	Pour Mathilde le solvant est quelque chose de « pur » et la solution, il y a un mélange avec un soluté
5	c puis a (a correct)	1 ^{ère} réponse : 2/125(en mL) puis assez rapidement 2/0,125 « <i>Il faut le temps que je me rappelle</i> »
6	d	Au début, Mathilde se demande si on a rajouté de l'eau. Elle relit la question. « <i>Je ferais diviser en 10</i> » « <i>Le 10 g puisque si on prend 100 mL c'est 1/10</i> » « <i>C'est mélangé - si on le sépare, on ne sait pas dire... on ne saurait, le soluté, on ne saurait pas le reprendre à part</i> » « <i>Il n'y a pas de possibilité</i> » On ne sait pas prendre 100 mL d'un litre ? « <i>Si mais on ne sait pas combien il y aura de grammes</i> » « <i>J'hésite... Si c'est plus lourd, ça reste au fond. Souvent quand on verse ça a tendance à repartir dans le fond</i> » « <i>J'hésite entre 1 g/L et aucune des possibilités</i> » Pourquoi le c ? « <i>Si on fait juste mathématiquement, on arrive à ça</i> » « <i>Dans 1 litre il y a 10 g si je prends 100 mL on va faire diviser en 10</i> » Comme le volume est 10 fois plus petit alors mathématiquement la C est 10 fois plus petite. C'est ça que tu veux dire ? « <i>Oui</i> » Au final, tu choisis quoi ? 1 g/L ou aucune possibilité ? « <i>C'est des sciences, c'est pas des maths donc c'est le d (aucune des possibilités)</i> » « <i>Instinctivement j'aurais mis c mais en réfléchissant un petit peu</i> » « <i>Les sciences c'est plutôt... Il y a des réactions</i> » « <i>Les maths vont dire si il y a ci, il y a ça alors il y aura ça aux résultats mais quand on fait l'expérience, c'est pas tout à fait ça auquel on arrive</i> » → Mathilde, par le calcul, arrive à 1 g/L mais selon elle en sciences, on ne peut pas en être sûr donc elle choisit au final « aucune des possibilités » → Mathématiques : résultats sûrs (calculs certains → résultats sûrs) différent des sciences

7	c (bon mais pas pour les bonnes raisons)	Le problème de Mathilde est le volume des solutions A et B - pour elle, ils ne sont pas forcément identiques. « Si même volume » « Alors c'est la réponse a. C'est plus, beaucoup plus foncé car c'est plus concentré comme pour la grenadine : quand on met plus de grenadine c'est d'office plus rouge que si on en mettait moins »
8	b puis a (a correct)	1 ^{er} calcul : $12 \times 22,4$: « 22,4 c'était l'unité qu'on devait retenir pour arriver au volume de solution - c'est ça ? » Grosse difficulté - Retracer une partie de l'organigramme donné en classe. Elle tente différents calculs. Qu'est-ce que pour toi que 12 g/L ? C'est quoi cette grandeur ? « C'est pas la masse ? » C'est g/L « Ah c'est la concentration... c'est massique - c'est pas la massique ? » 2 ^{ème} calcul : 82,8 g 3 ^{ème} calcul : 1,74 g → proposition a « Dans ce sens là, c'est bon » En se basant sur son organigramme fait au brouillon.
9	a puis b	1 ^{er} calcul : $100/500$ 2 ^{ème} calcul : pense à mettre en mL : 200 g/L
10 bis	b	Mathilde a-t-elle bien compris la question ? Elle est préoccupée par le volume supplémentaire de solution du fait de l'ajout de soluté (car 2x plus de soluté). Ne comprend pas qu'elle doit trouver le volume final. « Il faut mettre le double de la solution B pour que ça se disperse ... ? » « Il faut être sûr qu'il y a le même volume et puis on rajoute que du solvant » « Comme il y a 2x plus de soluté, ça va se disperser donc on aura la même solution que A » → Mathilde travaille par étape. L'image de la solution B montre la solution avant l'ajout de solvant. Elle comprend qu'il faut être sûr que le volume de B, avant l'ajout de solvant, soit le même que A (or possible que non car le double de soluté prend de la place). Bien vu Mathilde !
10	d	Choix du niveau d (niveau double) « La concentration, c'est un mélange entre le soluté et le solvant » « Quand on met une masse un peu plus lourde elle va au fond mais quand on la secoue, ça se disperse - même si on met de la grenadine dans le verre ça sera plus concentré au fond que vers le dessus » « Dans une solution plus concentrée, il y a plus de matière dedans - la quantité de matière est beaucoup plus grande »
11	b	Calcul : $0,4/0,200$
12	c	Calcul : $2/0,125 \times 58$ En regardant son organigramme : « Je sais bien que c'était fois la masse molaire »

13	c	Mathilde se rappelle de l'expérience en classe : « 1 litre en tout » → Mathilde a très bien compris que le volume à considérer est le volume total de solution mais parfois, elle s'emmêle sur le vocabulaire solvant et solution.
14	a	« J'hésite un peu... Normalement c'est moitié... C'est le a » « Parce que c'est la moitié » « C'est la même quantité de matière » « Le V est de 200 mL et on dit que le soluté, le glucose est de 0,10 g/L donc je suppose que c'est le b » Mathilde ne montre pas avoir compris la phrase de l'énoncé.
15	a	« J'hésite entre la a et la c » « Je pense que c'est la a » « Si on met le même soluté le même solvant si on additionne ça fait 50, si on multiplie plutôt » « 5 fois les 10 g/L »

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10bis	11	12	13	14	15
Novembre 2013	27 %	e	a	b	a	a	c	a	c	c	c	e	b	c	a	c
Janvier 2014	53 %	b	c	b	a	c	d	c	b	a	b	b	c	c	a	a

3. Entretien avec Marine VH. - E3 (Mardi 21 janvier 2014 - 12h35 → 13h25)

Série 1

Q1.1

Qu'est ce que la concentration ? Tu peux utiliser tes propres mots.

Novembre 2013 :

« Le rapport en un soluté et un solvant par litre. Il existe plusieurs sortes de concentration :

- Concentration massique qui s'exprime en g/L
- Concentration molaire qui s'exprime en mol/L »

Janvier 2014 :

« C'est le rapport entre un soluté et un solvant »

Dans ta tête, quelle image as-tu ?

« C'est comme du sable avec de l'eau »

Marine dessine des solutions et ajoute :

« Plus il y a d'eau, moins il y aura de concentration et moins il y a d'eau plus le sable va être concentré »

Marine ajoute la phrase :

« Plus il y a de soluté plus c'est concentré »

Q1.2

Schémas de deux solutions différentes : Une solution A plus concentrée qu'une solution B.

- Solution A : rectangle et 3 rangées de cercles collés entre eux et collés sur le côté inférieur (au total 32 cercles)
- Solution B : rectangle de même dimension et 1 seule rangée de 10 cercles collés les uns aux autres et collés au côté inférieur.

« Pour un même contenant et un même volume d'eau, là il y a plus de grains de sable (à gauche) donc ça va être moins concentré qu'ici (à droite) »

« L'eau c'est un liquide »

➔ Marine parle de soluté à la place de quantité de soluté et de solvant à la place de volume de solvant.

Spontanément Marine rapporte au volume de solvant. Pourtant, elle ne fait pas la confusion dans les questions suivantes.

Elle associe à concentration, du sable dans de l'eau

Marine parle en « soluté concentré »

Marine n'a pas la vision d'une solution comme un mélange homogène

Q1.3

Choix 4 : La Cm en sucre est le quotient de la masse de sucre sur le volume d'eau sucrée.

Série 2. Questionnaire à choix multiples et réponse unique

N°Q	Prop. choisie	Explications et commentaires
1	b	Pourquoi élimination de a (quantité de soluté dans 1 litre de solvant) ? « Parce que le solvant ça ne va contenir que l'eau et pas les grains de sable » Pourquoi élimination de c (grande quantité de soluté dans une solution) ?

		« <i>Ca aurait pu...mais...non dans une solution ça veut dire que c'est déjà un mélange donc c'est pas un corps comme de l'eau c'est déjà de l'eau sucrée</i> » Ce qui gêne Marine est le fait que le soluté est ajouté dans la solution qui est déjà un mélange. « Grande quantité » ne la gêne pas. C'est donc la 2^{ème} partie de la phrase qui l'embête et pas la 1^{ère}. Si le mot volume avait été mis : Marine aurait eu moins de soucis. Etrange car dans sa définition de départ, elle oublie les mots de quantité et de volume. Pourquoi élimination de la d (molécules de soluté qui se regroupent dans un solvant) ? « <i>Ca pourrait</i> » « <i>C'est un peu la même que la b</i> » « <i>La b c'est plus... pour moi c'est la b</i> » « <i>Sans avoir eu le cours j'aurais pu mettre la a</i> »
2	c	
3	d	Marine est embêtée par le fait que l'indice « solution » est absent à côté de V. Marine aurait choisi la b ($C = n/V$) si indice indiqué.
4	a	
5	a	Calcul assez rapide « $2,00/125$ » vite corrigé en « $2,00/0,125$ »
6	c	« <i>1 litre divisé par 10 c'est 100 mL, du coup la concentration on la divise par 10 aussi</i> » ➔ Habitude interprétative de causalité proportionnelle
7	c	« <i>On ne sait pas s'il y a le même volume de liquide</i> » « <i>Si c'est plus foncé avec un liquide c'est qu'il y a plus de matière, de soluté</i> » Selon Marine la solution A a peut-être moins de solvant et donc la solution est plus foncée. « <i>En général quand il y a plus de soluté et moins de solvant c'est beaucoup plus concentré</i> » « <i>Sans comparaison avec une autre solution</i> »
8	a	« $12 = .../0,145 \rightarrow 12 \times 0,145 = 1,74$ » assez rapide
9	a	Calcul : $100/500$ rapidement
10 bis	d puis e puis d	Grosse difficulté. Au départ Marine ne comprend pas qu'elle doit trouver une même concentration. Elle procède alors par élimination. Elle ne voit pas qu'il y a le double de boules noires. « <i>Le volume ne sera pas égal parce que là il y a quand même plus de soluté dans la solution B, le double, c'est pas possible... Enfin c'est possible mais ce serait quand même beaucoup même s'il y a 4 boules noires en plus et moitié moins c'est pas possible puisque on a quand même... Qu'il y en ait moins dans la A que dans la B ce serait pas normal vu qu'il y a plus de soluté dans la B</i> » ➔ Marine voit qu'il y a 4 boules en plus mais ne voit pas qu'il y a le double de boules ($2 \times 4 = 8$) - Elle ne trouve donc pas le volume final de B et coche « aucune des possibilités ».
10	d	Choix du niveau d (niveau double) « <i>Si on double le nombre de soluté il faut aussi doubler le nombre de solvant</i> » « <i>à b la concentration sera plus grande - à c encore plus grande et</i>

		à d elle sera la même »
11	b	Calcul rapide « $0,40/0,200 = 2$ »
12	d puis e	Marine pose des calculs par essais-erreurs - Pas de réelle réflexion $0,125 \times 58,0 = 7,25$ puis $58/0,125$ Au départ, elle confond M et C. Pas d'utilisation des 2,00 g d'où son choix final « je ne sais pas ». → g/mol confondu avec une unité de C. Très désorientée dans ce calcul avec M.
13	c	Pourquoi ton choix ? « On a vu en classe que l'on mettait d'abord le soluté puis seulement le solvant pour arriver jusqu'au volume obtenu » Pourquoi pas la solution a (1 L d'eau puis 2 g) ? « Depuis qu'on est au Collège, on met d'abord le soluté puis le solvant » « a et b sont égaux » Marine comprend qu'il faut 1 litre en tout.
14	c	200 mL :2 = 100 mL (diviser en 2 le solvant) $0,10 \text{ g/L} \times 2 = 0,20 \text{ g/l}$ (multiplier par 2 pour le soluté) « Quand on divise par 2 du côté du solvant on fait fois 2 du côté du soluté » « Il y a la même masse de soluté mais on divise le solvant en 2 donc ma concentration elle va doubler puisque j'ai moins de solvant mais un même nombre de soluté »
15	c puis a puis b (b correct)	Elimination de 15c car Marine pense que « même solvant et même soluté » signifie même volume. Il lui est précisé que le volume n'est pas indiqué : Marine comprend alors qu'une concentration peut être égale sans avoir le même volume. Elle dessine. Double de boules mais double de volume → C reste égale → Marine comprend que les proportions restent identiques grâce à l'utilisation d'une représentation symbolique du niveau microscopique → Marine semble passer d'une fausse conception (fonction de V) à la bonne conception (proportions égales) « casse tête dans sa propre tête » - Elle fait des allers-retours.

Question supplémentaire

Enoncé : Lors d'une séance de laboratoire, le professeur demande à 5 équipes de peser 4g de sucre fin et de le dissoudre dans l'eau afin d'obtenir un volume de 100 mL d'eau sucrée. Ensuite, le professeur rassemble les 5 solutions dans un ballon de 500 mL. Quelle est la concentration de la solution contenue dans ce ballon ? Explique ta démarche.

« 400 mL

$4/0,100 = 40 \text{ g/L}$

$20/0,500 = 40 \text{ g/L}$

Soluté augmente mais le solvant aussi avec le même rapport la concentration va être égale »

Marine se rend compte de la similitude avec la question 15 du QCM.

« Je ne sais pas si on peut généraliser seulement avec une question mais là quand on calcule, on arrive au même »

Ca ne te choque pas que ce soit le même ?

« Ca paraît bizarre quand même parce que... mais non parce que c'est le même. On me dit clairement que dans chaque solution il y aura le même nombre de soluté et le même nombre de solvant du coup ça paraît quand même logique que ce soit la même concentration »

Même quand on met les 5 ensemble ?

« On pourrait croire qu'on additionne toutes les concentrations »

« Non ! Ca paraît le même : si on met les 5 solutions ensemble et que chacune d'elle vaut le même de concentration il me semble que ça va être le même parce que... le nombre de soluté et de solvant a augmenté mais c'est le même... x5 x5 donc la concentration va être la même »

➔ De nouveau oscillation entre 2 conceptions mais au final, la bonne (le rapport) l'emporte.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 bis	11	12	13	14	15
Novembre 2013	67%	b	c	b	b	a	a	a	a	b	c	b	d	c	c	b
Janvier 2014	60%	b	c	d	a	a	c	c	a	a	d	b	d	c	c	c

4. Entretien avec Marine D. - E4 (Mardi 28 janvier 2014 - 12h35 → 13h25)

Série 1

Q1.1

Qu'est ce que la concentration ? Tu peux utiliser tes propres mots.

Novembre 2013 :

« C'est dans un liquide, le rapport entre le soluté et la solution et on trouve la concentration molaire ou massique »

Janvier 2014 :

« C'est comme un verre de grenadine, la dose de grenadine est la concentration par rapport au contenu du verre »

« Le goût va être différent. Plus on met de grenadine, plus ça va être fort et donc il y aura une plus grande concentration et moins on en met moins le goût il va être fort et donc il y aura moins de concentration »

→ Marine concrétise la concentration par l'apport du sensoriel : le goût (la couleur rouge) de la grenadine.

Q1.2

Schémas de deux solutions différentes : Une solution A plus concentrée qu'une solution B.

- Solution A : rectangle et 11 cercles répartis
 - Solution B : rectangle de même dimension et 5 cercles répartis
- Une légende accompagne les schémas : « un cercle → concentration »

Marine parle de « bille de concentration »

« J'ai mis plus de points dans le A parce qu'ils sont plus serrés donc... C'est comme le goût en fait, plus on en met donc plus il y a de points plus c'est concentré »

Les points représentent quoi ?

« J'ai fait comme on fait en cours - je sais pas comment expliquer - C'est ce qu'il y a dans la matière de l'eau on va dire - par exemple une eau est plus concentrée en fer qu'une autre donc il y a plus de molécules de fer... »

Ca représente de la matière ?

« C'est pas vraiment de la matière comme on peut voir du bois ou quoi, c'est comme un atome, c'est très petit »

On pourrait l'appeler comment ?

« Une boule de concentration ou billes car c'est petit »

→ Marine imagine des billes de concentration - La concentration est quelque chose de « palpable » - Plus il y a de billes de concentration, plus c'est concentré, plus c'est foncé, plus ça a du goût.

Q1.3

La concentration massique de sucre est le « quotient de la masse de sucre sur le volume d'eau » (proposition 2).

Série 2. Questionnaire à choix multiples et réponse unique

N°Q	Prop. choisie	Explicitations et commentaires
1	b	Marine hésite avec la c (grande quantité de soluté dans une solution) et la d (molécules de soluté qui se regroupent dans un solvant) Marine élimine rapidement la d. « La solution c'est tout ce qu'il y a, le soluté et le solvant c'est ce qu'il y a dans la solution et le soluté c'est... celui qui... qui

		<i>fond par exemple le café c'est le solvant - je sais plus... le sucre... »</i> <i>« Je pense que le café c'est le solvant et le soluté c'est le sucre »</i> <i>« La solution c'est le café sucré »</i> → d éliminée parce que le mot solution n'intervient pas <i>« molécules qui se regroupent » ne choque pas Marine.</i> Marine élimine la c. <i>« Grande quantité de soluté ça dépend c'est pas ce qui est typique d'une concentration chimique »</i> <i>« Quand on dit concentration chimique on donne pas de grandeur dedans tandis que « grande quantité » on sait déjà qu'il y en a beaucoup alors que pas nécessairement »</i> Pourquoi la proposition « a » a été éliminée ? <i>« Parce qu'il y a « 1 litre » alors que c'est pas nécessairement 1 litre »</i> → Dans la définition de concentration, Marine veut qu'il y ait le mot « solution ».
2	c	<i>« L'eau est un liquide donc c'est plus le solvant que le soluté »</i>
3	b	Spontanément, Marine voulait choisir la proposition a ($C = n.V$) puis finalement choisit la b ($C = n/V$) <i>« C'est la quantité de matière sur le volume - ah oui c'est la b puisque le volume c'est pas... aller... la quantité de matière on pourrait dire que c'est les molécules de la concentration donc on veut avoir que la concentration donc il faut diviser la quantité de matière par le volume »</i> → $C = \text{quantité de matière} = \text{masse}$ pour Marine Marine dessine un cercle avec trois petits cercles à l'intérieur. <i>« Donc ça c'est toute la solution... donc les boules on peut dire que c'est la quantité de matière et après le vide c'est le volume »</i> Le volume de quoi ? <i>« de la concentration enfin le volume de la solution »</i> <i>« On doit diviser la quantité de matière par le volume ainsi on a la concentration... en fait la quantité de matière... je sais pas comment on pourrait la représenter... J'ai déjà représenté la concentration par ça » (Marine montre les petits cercles)</i> → Pour Marine, le volume = le vide ce qui confirme que $C = n = m$ <i>« La concentration c'est les boules - la quantité de matière c'est le nombre de... comment dire... la concentration +... le volume »</i> Quantité de matière : <i>« C'est... par exemple 1 sucre... c'est... par exemple 5 g et sa quantité de matière c'est 5 g de... »</i> → Pour Marine, la quantité de matière = masse (5 g de sucre) et la concentration = billes de solution
4	a	
5	a	Marine calcule « $2,00/0,125 = 16$ » (sans unités)
6	b	Marine hésite entre b (0,10 g/mL) et c (1,0 g/L). Elle tente de calculer de combien de chiffres la virgule s'est

		déplacée pour le volume (1 L → 0,100 L) pour déplacer d'autant pour 10 g/L. → Marine ne semble montrer aucune allusion à la concentration comme un rapport.
7	a	Marine choisit TRES rapidement la proposition a. « <i>On voit que c'est plus foncé donc c'est plus concentré que la B qui est plus claire donc c'est moins concentré</i> » → Habitude interprétative : « Plus foncé donc plus concentré »
8	c puis b	Marine calcule « $0,145/12,0 = 0,0121$ » d'où proposition c puis « $12,0/0,145 = 82,8$ g » (proposition b). 1 ^{ère} réponse = Marine se base sur les unités. 2 ^{ème} réponse = « <i>Je pense que c'est le liquide qui va en bas... c'est... on va diviser par 0,145 je pense puisque c'est le liquide qui va en bas</i> » → Pour Marine, dans la division, on doit « mettre le liquide en bas »
9	b	Marine calcule rapidement « $100/0,500 = 200$ »
10 bis	c	Marine hésite avec « le double » ou « égal » « <i>Ca dépend du liquide que l'on met... je pense que c'est égal</i> » « <i>parce que si on veut une concentration identique et qu'on met plus de matière il faut moins de liquide. Mais on nous dit pas combien il y a de liquide dedans donc je pense que c'est égal</i> » Même nombre de boules pour Marine « concentration = » veut dire masse totale = ?
10	b	Choix du niveau b (niveau égal) « <i>La concentration doit être identique donc le volume aussi</i> »
11	a puis b (b correct)	Marine calcule d'abord « $0,200/0,40 = 0,5$ » d'où proposition a. Quand il lui est demandé d'expliquer, elle modifie son calcul : « <i>Pour une concentration molaire, on fait mol sur volume</i> » Pourquoi spontanément tu as calculé $0,200/0,40$? « <i>Peut-être parce que je voyais qu'il fallait diviser le volume par les mol parce que le volume est plus grand</i> » → 200 et 0,40 → Marine, spontanément, divise le grand par le petit → cadre théorique naïf vu en primaire ?
12	d	1 ^{er} calcul : $2,00/0,125 = 16$ - Pas de possibilités 2 ^{ème} calcul : $58/0,125 = 464$ - Pas de possibilités → Marine tâtonne puis choisit la proposition « aucune des possibilités » M peut clair pour Marine. « <i>Masse totale</i> »... « <i>C'est des g... Je sais pas</i> »
13	c	« <i>Parce que dans une expérience c'est comme ça qu'il faut faire</i> » Marine se rappelle de ce qui a été fait en classe. Elle élimine la proposition « a » car le volume total doit être d'un litre.
14	c	« <i>Il y a 2x moins de liquide donc il faut 2x plus de concentration pour que ce soit le même</i> » « <i>Il faut compenser</i> » « <i>Il faut la même masse de solution</i> » → La stratégie de Marine avec ses billes de concentration lui

		permet de répondre facilement à cette question qui pose problème d'habitude. La moitié de billes dans 200mL d'eau → double de billes dans 100mL pour avec la même masse de solution.
15	a puis c puis a	Spontanément Marine choisit la proposition a (50 g/L) mais très vite Marine choisit « c » (fonction du volume de chaque solution). Marine relit « même soluté et même volume » « <i>Même soluté et même solvant... ah bah non... ça veut dire que c'est le même volume... donc c'est pas le c</i> » « <i>Donc c'est 50</i> » « <i>Si on rassemble les 5 ça fait 10 fois 5</i> » « <i>Il y a 5 récipients avec chacun 10 g/L</i> » Marine voit des boules et elle rassemble toutes les boules « <i>Donc si on rassemble tout, il y a 50 g/L</i> »

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 bis	11	12	13	14	15
Novembre 2013	47%	b	a	b	a	a	d	c	c	b	b	a	e	c	a	a
Janvier 2014	47%	b	c	b	a	a	b	a	c	c	c	a	d	c	c	a

5. Entretien avec Valentine M. - E5 (Jeudi 30 janvier 2014 - 12h35 → 13h25)

Série 1

Q1.1

Qu'est ce que la concentration ? Tu peux utiliser tes propres mots.

Novembre 2013 :

« Pour moi une concentration est un mélange entre un soluté et un solvant qui donnent une solution. Cette solution s'appelle concentration.

$C = n(\text{soluté})/V(\text{solution})$

La concentration est le rapport entre un soluté et une solution »

Janvier 2014 :

« Beaucoup d'éléments rassemblés, enfin proches. Par exemple si c'est une concentration de personnes et bien c'est tout des personnes rassemblées ensemble »

« Rassemblement d'éléments dans un même lieu »

➔ Concentration = rassemblement

Avant d'écrire la suite, Valentine dit :

« Rassemblement de molécules ensemble pour former... je sais pas comment on dit... des groupements d'atomes »

Elle écrit :

« En chimie, ce sont des rassemblements d'atomes pour former des groupements »

Qu'entends-tu par groupements ?

« Par exemple, du CO_2 ... il y a des groupements carbone et oxygène »

Pour mieux se faire comprendre, Valentine dessine un rectangle et écrit « H_2O et C-O_2 » à l'intérieur.

Dans tout cela, la concentration se serait quoi ? Ca se voit, ca ne se voit pas ... ?

« Ca ne se voit pas à l'œil nu parce que sinon ce serait un mélange »

« Par exemple, dans un mélange il y a homogène, ..., on voit de l'eau avec ... du sucre ; on voit pas vraiment le sucre par contre de l'eau avec de l'huile, on voit quand même la différence. La concentration c'est ... on voit pas vraiment... Enfin »

La concentration « Ce serait une toute petite partie, enfin quand on va voir au microscope »

La concentration se serait une petite partie de la solution ?

« Oui »

➔ Mélange homogène = on ne voit plus le soluté - la concentration est comprise par Valentine comme une donnée microscopique.

Q1.2

Schémas de deux solutions différentes : Une solution A plus concentrée qu'une solution B.

- Solution A : rectangle sans côté supérieur et 7 cercles collés entre eux et situés au milieu
- Solution B : rectangle de même dimension toujours sans côté supérieur et 4 cercles répartis

Une légende accompagne le schéma : « cercle = molécule »

« Dans ma tête, j'arrive pas vraiment à différencier molécules et atomes enfin... sauf quand j'étudie mais quand c'est dans ma tête pour moi j'ai l'impression que c'est la même chose »

il est demandé à Valentine de schématiser un atome et une molécule.

« Quand on a la définition de l'atome, c'est la particule constitutive des molécules mais sinon je sais pas vraiment... »

« J'apprends plus du par cœur »

« Atome... beuh... je vois comme une boule qui... c'est le plus petit élément du corps »
 « Du corps humain »
 Pour un arbre, une grenouille... « Oui » Pour une roche « Non, j'imagine moins, c'est plus pour quelque chose de vivant »
 Pour toi c'est plutôt une boule qu'on va retrouver chez les vivants ? « Oui »
 Molécules « Ce serait juste le stade un peu plus grand que l'atome »
 Valentine dessine un cercle pour représenter un atome et trois cercles collés pour une molécule.
 Plus gros ou plusieurs ?
 « On le voit un peu mieux au microscope »
 « Parce qu'elle est plus grosse »
 Elle ajoute à côté des trois cercles, un autre cercle dont la taille est égale aux trois cercles.
 Mais Valentine préfère tout de même le schéma avec les trois cercles.
 ➔ Confusion atome - molécule. Difficulté à imaginer des atomes dans de la matière non vivante. « Plus petit élément d'un corps » Corps vivant.

Q1.3

Avant de répondre :

« Par rapport aux formules qu'on a vues en classe ? »

Valentine choisit d'abord la proposition 5 « quotient de la masse de sucre sur la masse d'eau »

« Parce que c'est la masse de sucre qu'on vient mettre dans l'eau mais l'eau n'est pas sucrée déjà à la base et je vois mal mettre une masse dans de l'eau sucrée »

« Parce que sinon la concentration... enfin étant donné qu'il y a déjà du sucre dans de l'eau le rapport ne sera pas le même de sucre vu qu'il y a en aura déjà dans l'eau »

En lisant les propositions, Valentine voit les manipulations réalisées et mettre du sucre dans de l'eau sucrée pose problème.

Pourquoi élimination de « $m_{\text{sucre}} / V_{\text{eau}}$ » ?

« En fait, c'est plus la 2 parce que l'eau c'est sûrement en volume »

« Un liquide, c'est forcément en volume »

Valentine modifie donc sa proposition.

Pourquoi élimination de « $m_{\text{eau sucrée}} / V_{\text{sucre}}$ » ?

« Quand je vois ça, j'imagine qu'on vient verser de l'eau sur du sucre et... je sais pas, c'est pas la même chose »

➔ Valentine veut mettre du sucre dans de l'eau - l'inverse lui semble difficile-

« Depuis qu'on est plus petits on nous dit... enfin quand on doit calculer des liquides c'est en volume »

Série 2. Questionnaire à choix multiples et réponse unique

N° Q	Prop. choisie	Explications et commentaires
1	b	« Je me souviens un peu de la formule » Pourquoi élimination de la proposition a ? « La formule c'était... enfin... la masse sur le volume... la fraction ça veut dire rapport » Dans la proposition a, il manque le mot « rapport » Pourquoi élimination de c ? « grande quantité, je sais si c'est spécialement obligé d'être grand » La d ? « C'est dans une solution qu'elles se regroupent, c'est pas dans un solvant »

		C'est le fait que les molécules se regroupent dans un solvant et pas dans une solution qui pose problème. Pas le fait qu'il y a regroupement.
2	b	Elimination de a « Je vois mal mettre de l'eau dans du sucre et en plus le sucre c'est le soluté ça... il y a pas solvant - ça aurait pu être sucre soluté et l'eau solution mais... » Différence soluté-solvant-solution ? « Le soluté... c'est par exemple... on fait du cacao, le soluté c'est le cacao, le lait c'est le solvant et le tout c'est... le lait chocolaté c'est la solution » Elimination de c (l'eau sucrée est la solution) « Ca pourrait être bon aussi mais c'est moins précis »
3	b	Choix vite fait « Je me souviens de la formule » « Je vois $C = n/V$ » ➔ La formule $C = n/V$ est une image très claire dans la tête de Valentine
4	a	« Ce qu'on obtient au total » Parlant de « solution »
5	a	Valentine pose : « 200 g/0,125 L »
6	c	« Je dois faire diviser pas 10 » Assez rapidement puis relit la question « Oui, donc il faut faire diviser par 10 » « On change pas les données, c'est juste qu'on en demande moins. C'est comme si on prélevait seulement une partie » « 10 fois moins » « Passer de 1 L à 100 mL, c'est divisé par 10 donc... » « C'est un peu comme si je faisais une règle de 3 » ➔ Application « les yeux fermés » d'une règle de 3. 1 l → 100 mL 10 g/l → ... 10x moins
7	c	Valentine choisit rapidement la proposition « manque d'infos » « Parce que la couleur ça dit pas ce que ça veut dire... ça sert à rien » « Par exemple, ..., je sais pas, si par exemple ils mettent un seul morceau de sucre dans une elle est moins concentrée que dans un autre où il y en a 10 » « On sait pas combien on a mis... la masse... on connaît pas la masse de soluté » La couleur n'intervient pas ? « Non »
8	a	Valentine écrit « $C = n/V$ $m = C.V$ » Rapidement et calcule avec sa calculatrice (0,145x12,0)
9	b	Rapidement, Valentine calcule « 100/0,500 »
10	a puis b	Choix de moitié - car cherche d'abord le volume de la solution A

bis	(b correct)	puis Valentine se rend compte de son erreur et corrige. Elle a vu qu'il y a 4 boules dans la solution A et 8 dans la B.
10	d	Choix du niveau d (niveau double)
11	b	Valentine pose le calcul « $0,40/0,200$ » Assez rapidement. Valentine se réfère à la formule.
12	c	Valentine pose « $C = n/V \quad mxM$ » « $C = 200 \times 58,0/0,125$ » → Erreur d'utilisation de M. Valentine se souvient de $n = mxM$
13	e	« <i>Moi je mettrais d'abord de l'eau - je mettrais plutôt 98cl pour qu'après quand on rajoute les 2 g ça fasse une solution d'1 litre</i> » Elimination de a : « <i>On aura de trop. On aura pas un litre, on aura plus</i> » Elimination de b : « <i>Pareil. Il y aura de trop. Et moi je vois plus mettre après NaCl</i> » Elimination de c : même problème. Valentine veut mettre l'eau puis le sel. Pourquoi ? : « <i>C'est une image que j'ai - Que l'on mette le soluté après</i> » Le soluté pourrait-il être du sable, par exemple : « <i>oui</i> » « <i>Mais on verrait les grains de sable dans l'eau et j'ai l'impression qu'on ne les voit pas</i> » (Qu'on ne devrait pas les voir pour avoir une solution)
14	a	Valentine pose « $0,10/0,200 = 0,05/0,100$ » Elle veut une égalité entre les fractions. « <i>Pour que le rapport soit le même</i> »
15	a	« <i>Si on additionne 5×10 g/L, ça fait 50 g/L</i> » Comment expliquerais-tu la concentration chimique a un enfant de début de 3 ^{ème} ? « <i>Je prendrais la formule et puis je dirais pour la concentration massique que c'est le rapport entre la masse sur un volume de solution</i> » Plus concrètement « <i>C'est, par exemple, on a du sucre dans de l'eau, c'est le rapport entre le sucre qu'on a mis et le total</i> » Et le rapport ; c'est quoi ? « <i>..., je sais pas comment dire...</i> » « <i>La formule</i> » « <i>Les formules c'est un moyen de réussir à faire tous les calculs qu'on nous demande</i> » « <i>Je les étudie parce qu'il faut les étudier mais...</i> » La concentration ? « <i>C'est un élément qui est dans un liquide... et cet élément peut être grand, petit,... Par rapport au volume du liquide, l'ampleur qu'il a par rapport au liquide</i> » Valentine pense que la concentration existe pour pouvoir vérifier par calculs qu'une solution est bonne à boire ou pas. Par exemple, selon Valentine, pour une femme enceinte il faut plus de minéraux.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 bis	11	12	13	14	15
Novembre 2013	67%	b	c	b	a	a	a	c	f	b	c	b	a	c	a	c
Janvier 2014	47%	b	b	b	a	a	c	c	a	b	a	b	c	e	a	a

Evolution de la question 6 entre novembre 2013 et janvier 2014 :

Novembre 2013 :

Choix de la proposition a et justifications écrites : « *Il reste le même : exemple : on met de l'eau et de la grenadine dans une cruche et on en verse dans un verre, le goût sera le même dans les 2 récipients.* »

Janvier 2014 :

Valentine applique la règle de 3 : 1 L → 100 mL → 10 g/L → 0,1 g/L

6. Entretien avec Lucie G.- E6 (Mardi 4 février 2014 - 12h35 → 13h25)

Série 1

Q1.1

Qu'est ce que la concentration ? Tu peux utiliser tes propres mots.

Novembre 2013 :

« Une concentration, c'est un rapport entre une masse ou une quantité de matière d'un solvant et un volume de solution »

Février 2014 :

« Si on prend de l'eau et de l'huile, là on verra la concentration »

« Si on met de l'eau et de l'huile ensemble, on verra que c'est... une concentration, comme il y en a un qui est plus lourd que l'autre on le voit tandis que par exemple pour de l'eau et du sel ça se voit moins, c'est mélangé ensemble »

Q1.2

Schémas de deux solutions différentes : Une solution A plus concentrée qu'une solution B.

- Solution A : rectangle sans côté supérieur et 2 rangées de petits carrés collés entre eux et collés sur le côté inférieur (au total 18 petits carrés)
- Solution B : rectangle de même dimension toujours sans côté supérieur et 7 carrés répartis

Lucie écrit à côté des schémas : « Dans une même quantité d'un même solvant, plus il y a de soluté plus la solution sera concentrée. Dans le cas où il y a moins de soluté, celui-ci pourra plus facilement se déplacer »

Au départ, Lucie n'indique pas de niveau puis elle indique des niveaux d'« eau » différents en ajoutant les côtés supérieurs aux rectangles représentant les solutions.

« Quand elle est concentrée, ça veut dire qu'ils sont fort... il y en a plus donc ils sont d'office plus les uns près des autres alors que quand elle est moins c'est un peu plus volatil »

Volatil ?

« Ils sont moins assemblés »

« Ils peuvent moins voyager tandis que si c'est comme ça (schéma où les entités sont séparées au sein du liquide) ils peuvent plus se disperser »

Lucie modifie son schéma et met le niveau de solution A au même niveau que B. Elle ajoute alors des cubes dans la solution A.

➔ Pour Lucie, dans une solution moins concentrée, le soluté peut mieux se déplacer, voyager.

Pour Lucie, disperser = voyager

Q1.3

Lucie demande si quotient = multiplication. Elle coche « quotient de la masse de sucre sur le volume d'eau sucrée ».

Série 2. Questionnaire à choix multiples et réponse unique

N°Q	Prop. choisie	Explications et commentaires
1	b	Lucie élimine la a car : « Ce n'est pas forcément 1 litre de solvant, ça peut être plusieurs » Elimination de c : pas forcément grande quantité Elimination de d : « Je n'ai jamais fait de rapport avec ça, en fait, molécules de soluté, c'est pas des molécules, c'est un ensemble » Lucie comprend « molécules de soluté » comme étant plusieurs

		solutés différents en solution et cela la gêne. Après discussion, Lucie admet que l'on peut parler de concentration même si plusieurs solutés et pense alors que la d est possible. Mais finalement, « se regroupent » l'embête. En revenant au schéma de la Q1.2, Lucie précise qu'elle aurait pu mettre des « <i>minis espaces entre les cubes</i> ».
2	c	Après lecture de l'énoncé, Lucie demande : « <i>Dans ce cas ci on a d'abord le sucre comme élément et puis seulement on met de l'eau ?</i> » Ca a de l'importance ? « <i>Oui !</i> » « <i>Ca peut changer. Si on avait mis le sucre dans l'eau, le sucre aurait été le soluté et si on avait mis l'eau dans le sucre, le sucre aurait été le solvant</i> » Proposition c : Lucie est sûre mais elle voudrait bien choisir aussi la a puis elle hésite... puis reste sur la proposition a possible. « <i>Le soluté, c'est celui qu'on rajoute</i> » « Comme à la base, on a du sucre moi je le vois comme le solvant et on rajoute de l'eau comme le soluté » Donc Lucie sûre de la c mais d'accord avec a. → La définition que donne Lucie à « soluté » et « solvant » vient du fait que celui qui est dans le récipient est le solvant et celui qu'on ajoute est le soluté. Si on met de l'eau dans un récipient qui contient de sucre alors pour Lucie, l'eau est le soluté et le sucre est le solvant.
3	b	Lucie aurait voulu qu'apparaisse « solution » en indice de V.
4	a	« <i>La solution c'est la combinaison du solvant et du soluté</i> »
5	a	Lucie écrit : « <i>Cm = 2,00/0,125</i> »
6	c puis e	Lucie écrit la règle de 3 « <i>1 L → 10 g/L 0,1 L → 1 g/L</i> » Lucie imagine qu'il y a un piège et relit. « <i>On parle de la même solution donc... c'est la même chose, en fait, je pense, quoi que...</i> » « <i>Oui, non c'est la même chose sauf que ici elles seront plus regroupées ensemble que dans celui là</i> » « <i>Le sucre : il y en a autant sauf que c'est dans un volume d'eau différent</i> » « <i>Le volume est plus petit</i> » Comme le volume final est plus petit (100 mL au lieu d'1 L), Lucie imagine des molécules qui auront moins d'espace. Lucie choisit e « je ne sais pas » car elle hésite entre les propositions a et c. → Difficulté de Lucie sur cette question. Spontanément règle de 3 puis elle pense à un piège et relit l'énoncé. « Même solution » la ferait opter pour la même concentration (10 g/L). Dans le même temps, elle imagine une solution de volume plus petit et donc des molécules plus serrées.
7	c	

8	a	Calculs longs à effectuer (3 min). Lucie écrit tout (inconnue, données, calculs) et les résultats sont corrects.
9	d	Lucie se rend compte qu'il manque le volume de solution. Le fait de bien écrire ses données lui permet de se rendre compte de la donnée absente (assez long : 2 min 20).
10 bis	e	Lucie comprend qu'elle cherche un volume pour une quantité de soluté différente mais ne trouve pas la réponse.
11	b	Calcul bien posé (assez long : 1 min 10).
12	e	« $n = M/m$ » 2 min 20 mais ne trouve pas.
13	b	Lucie place le sel puis l'eau. La sonnette retentit - l'entretien doit finir.
14	b	Lucie admet que ça lui « <i>semble du chinois</i> ». Elle est fatiguée. Elle compare à la question 6 (100 mL d'1 L) : pour elle il s'agit de la même question.
15	c	Fonction du volume de chaque solution.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 bis	11	12	13	14	15
Novembre 2013	73%	b	c	b	a	a	c	c	f	b	b	b	d	c	c	b
Février 2014	60%	b	c	b	a	a	c	c	a	d	e	b	e	b	b	c

7. Entretien avec Hugo F. - E7 (Mardi 11 février 2014 - 12h35 → 13h25)

Série 1

Q1.1

Qu'est ce que la concentration ? Tu peux utiliser tes propres mots.

13 Novembre 2013 :

« La concentration c'est le ~~nombre~~ masse de soluté est divisé par le volume pour trouver la réponse en mol »

19 novembre 2013 :

« Il y a deux types de concentration : molaire et massique.

Lors de la concentration massique c'est la masse de soluté en gramme par rapport à un volume.

Lors de la concentration molaire c'est le nombre de mol par litre »

Février 2014 :

« Une concentration c'est une mise en rapport d'un soluté soit g soit en mol sur un volume de solution en litre »

$C = n_{\text{soluté}} / V_{\text{solution}} \quad \text{mol/L}$

$C_m = m_{\text{soluté}} / V_{\text{solution}} \quad \text{g/L}$ »

Hugo a écrit solvant puis il barre et note solution. Pourquoi ?

« J'ai repensé aux formules »

C'est quoi le solvant pour toi ?

« Le solvant c'est la chose qui va être dissoute »

« Le soluté, c'est celui qui va dissoudre »

« La solution c'est... je pense à un mélange... enfin à mon avis ça va être le mélange du soluté avec le solvant »

Tu ne t'es jamais posé la question ?

« Non »

Hugo se base sur la formule. Hugo dit ne s'être jamais posé la question de ce que signifie « solution »

Q1.2

Schémas de deux solutions différentes : Une solution A plus concentrée qu'une solution B.

- Solution A : rectangle et 13 points répartis
- Solution B : rectangle de même dimension et 6 points répartis

« La A, elle doit être plus concentrée donc si elle est plus concentrée, les molécules sont plus serrées, elles ont moins d'espace »

Les points noirs sont des molécules.

Q1.3

La concentration massique de sucre est le quotient de la masse de sucre sur le volume d'eau.

Série 2. Questionnaire à choix multiples et réponse unique

Hugo est assez long dans la lecture des questions.

N°Q	Prop. choisie	Explications et commentaires
1	b	Les mots « concentration massique » le perturbe car Hugo ne retrouve pas C_{molaire} ou C_{massique} . Ce qui gêne Hugo dans la a est « le litre » et dans la c que le « volume de solution » ne soit pas noté. « Grande quantité » ne le

		gène pas. Il dit : « Une quantité de soluté et une grande quantité de soluté c'est le même » Hugo ne coche pas la d : le mot « solvant » le gêne - « molécules de soluté qui se regroupent » ne le gêne pas.
2	c	Proposition b éliminée. Dans la solution, Hugo veut retrouver le sucre et l'eau. La proposition a est bonne mais il hésite. Il est conscient qu'il ne maîtrise pas bien soluté et solvant. Que veut dire « se dissoudre » pour toi ? « De passer d'un état solide... - enfin pas obligé solide - mais passer d'un état à l'autre. Du sel dans de l'eau « Passe de l'état solide à l'état liquide » « Solide c'est quelque chose de résistant » « Liquide ça veut dire couler » « Il y a l'état gazeux » Hugo choisit la proposition c (l'eau sucrée est la solution) car il est sûr. ➔ Pour Hugo, se dissoudre veut dire changer d'état (pas forcément de solide à liquide - ce peut être un gaz)
3	b	Hugo est plus à l'aise car il lit concentration molaire. Hugo hésite beaucoup : au départ, Hugo est gêné à la lecture des formules car il pensait qu'il s'agissait de formules transformées. Il choisit a, b puis la c puis relit la c et choisit la b.
4	a	« Le C veut dire chimique ? » Hugo préfère la concentration massique car elle utilise la masse. Qu'est ce qu'une masse ? « Une masse c'est quelque chose qui a été pesé. C'est donné en g, en Kg » « C'est un nombre de Kg ou de g de chose » Hugo est plus à l'aise avec m que n car « On la connaît depuis longtemps, c'est normal » « La mole c'est pas plus dur mais ça fait moins longtemps qu'on l'a vue » ➔ Hugo se sent plus à l'aise avec C massique que C molaire. Il pense bien maîtriser la masse (« quelque chose de pesé ») Pour Hugo, élimination de V soluté car il doit être « au dessus » dans la fraction. Par contre, il hésite avec V solvant mais ne coïncide pas avec la formule qu'il a en tête.
5	a	Hugo calcule $2,00/0,125$. Il a mis quelques secondes pour repérer le volume en litre. Il trouve 16 mais hésite à cocher la a. Il cherche des pièges.
6	d	Difficultés à lire l'énoncé. Hugo relit plusieurs fois. Hugo divise 10 par 0,1 et trouve 100. Il refait plusieurs fois le calcul car surpris de trouver 100. Mais 100 n'est pas dans les propositions. Il relit l'énoncé. Pour Hugo, 100 mL (0,100 L) doit être au dénominateur car V solution. Es-tu sûr de ton calcul ? « Il n'y a pas assez de données »

		Il relit et découvre « 1 litre ». <i>Il souhaite cocher la a (10 g/L).</i> « 1 divisé par 0,1 » « 1 litre de solution sucrée a un C molaire... donc... divisé par 1... 10... non aucune des possibilités » Il finit par cocher la proposition d (« Aucune des possibilités »).
7	a	« C'est plus concentré... je vois les couleurs... Pour moi, c'est plus noir c'est qu'il y a plus de choses et ici elles doivent être moins serrées ou alors c'est la c » « Soit on joue sur les couleurs soit on n'a pas assez d'informations, on voit pas bien... Il aurait fallu un autre schéma » « Où on voit les molécules » « S'il y a des couleurs, c'est que la A est plus concentrée... Pour moi plus c'est clair, plus il y a de lumière et moins c'est clair donc moins la lumière sait passer donc plus c'est serré moins il y a de lumière... C'est la a » → Pour Hugo, concentré signifie serré et donc la lumière ne passe pas. A l'inverse, plus la solution est claire, moins elle est concentrée puisque la lumière peut passer.
8	a	Hugo pose assez vite « $C = m_{\text{soluté}}/V_{\text{solution}}$ » La transformation est plus longue. « $12,0 = m_{\text{soluté}}/0,145$ $m = Cm \cdot V1$ » « On manipule »
9	b	Hugo relit plusieurs fois l'énoncé. Il cherche à bien comprendre les données. $100/0,5 = 200 \text{ g/L}$ Il avait éliminé 5,00 mL/g du fait de l'unité.
10 bis	c	Hugo est assez lent. La fin de l'heure est proche et il faut accélérer. Plus le temps d'approfondir les réponses.
11	b	Hugo écrit « $n_{\text{soluté}}$ » et trouve la bonne réponse. Il fait très attention aux unités et élimine 0,50 L/mol.
12	?	« M c'est un nombre au hasard ? » « Par au hasard... on aurait pu mettre n'importe quelle lettre, en fait » Utilisation de M très floue. Il ne se souvient plus de M. Je préfère passer à la Q13 du fait du manque de temps.
13	c	Hugo pense à choisir une proposition où le volume total sera de 1 litre.
14	?	Interruption par l'arrivée du professeur suivant.
15	a	Pas le temps de beaucoup réfléchir mais spontanément, Hugo choisit la proposition a (50 g/L)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 bis	11	12	13	14	15
Novembre 2013	33%	a	c	b	c	d	b	c	a	c	c	a	/	c	e	c
Février 2014	53%	b	c	b	a	a	d	a	a	b	c	b	/	c	/	a

8. Entretien avec Marie D. - E8 (Jeudi 13 février 2014 - 12h35 → 13h25)

Série 1

Q1.1

Qu'est ce que la concentration ? Tu peux utiliser tes propres mots.

13 Novembre 2013 : « La concentration est la quantité d'une matière exprimée en mole ou en gramme qui est dissoute dans une autre matière. Et, ensemble elles forment le volume exprimé en L »

19 Février 2014 (lors d'une évaluation formative qui a suivi l'entretien) : « La concentration est une certaine quantité de soluté mises dans un solvant. Ils forment ensemble la solution. Pour calculer la concentration nous devons diviser le soluté par la masse de solvant »

13 Février 2014 : « Pour moi, c'est le soluté... la masse du soluté sur la masse totale de solvant » ... « De la solution totale, plutôt »

Pourquoi tu hésites ? « Je sais pas »

Puis Marie explique que l'on doit considérer le volume total.

« C'est la masse du solvant (ex : sucre) sur la masse de l'ensemble des composants après réaction »

Dissolution ?

« Que les, le sucre par exemple va dans l'eau mais ne se mélange pas avec les molécules d'eau et donc ne forme pas une nouvelle molécule »

« Je vois, je me mets une expérience dans la tête où on mélange du sucre et de l'eau et après on fait évaporer l'eau et le sucre sera toujours du sucre et l'eau se sera évaporée... voila... et je pense à d'autres expériences qui, quand après le soluté n'est pas égal au, à la fin qu'au début »

Solution ?

« Les molécules de sucre se sont mises n'importe où dans l'eau et forment un tout avec l'eau »

« Ils forment une chose mais si on enlève un, il y a toujours l'autre qui reste »

Q1.2

Schémas de deux solutions différentes : Une solution A plus concentrée qu'une solution B.

- Solution A : rectangle et 15 cercles répartis. Lucie indique avec une flèche un cercle et note « autre que le liquide - sucre ». Elle indique aussi avec une flèche l'espace entre les cercles et écrit « liquide »
- Solution B : rectangle de même dimension et 10 cercles répartis

« Concentré signifie qu'il y a plus de sucre dans l'eau et quand c'est moins concentré, il y en a moins »

« Les boules sont des molécules autres que le liquide »

Q1.3

La concentration massique est le « quotient de la masse de sucre sur le volume d'eau sucrée »

Série 2. Questionnaire à choix multiples et réponse unique

N° Q	Prop. choisie	Explications et commentaires
1	b	Pas la a car « solvant » embête Marie Pas la c car pas la notion de rapport (Marie répète $m_{\text{soluté}}/m_{\text{solution}}$) Pas la d car « ne se regroupent pas » la gène.
2	c	Marie est sûre de la c (l'eau sucrée est la solution) mais hésite avec

		la a. La notion de soluté n'est pas claire. Soluté ? « Le soluté c'est à la fin... au début, c'est ce qui est au début, ce dans quoi on dilue quelque chose d'autre... ah non c'est ce qui est dilué » Pas la b (eau : solution) « L'eau est pas la solution parce que la solution, c'est ce qu'on obtient à la fin » « La solution, c'est ce qu'on obtient après une réaction chimique... pas chimique physique plutôt » ➔ Marie a des difficultés lorsqu'elle doit parler du soluté. Elle en a conscience. « Soluté » : début ➔ « solide au début » et « solution » : fin. Elle envisage un processus qui a un début et une fin. Entre les 2 : réaction physique.
3	b	Marie coche C = n/V car elle l'« a étudié » et pas les autres propositions. Mais elle se rend compte qu'elle est d'accord avec cette formule.
4	a	Coche vite le volume de la solution mais tarde à expliquer pourquoi. Se base sur la formule pour expliquer puis parle en termes de « volume de tout ».
5	b puis c puis a	Marie effectue 2,00/0,125. Au départ, Marie ne veut pas de calculatrice. Elle élimine la b car l'unité est incorrecte (L/g). Marie choisit ensuite C. Elle prend ensuite sa calculatrice et choisit la proposition a.
6	a	Proposition a très vite cochée. Premières explications peu claires. Il lui semble évident que la concentration ne change pas. « Si c'est la même solution, la concentration changera pas » « On en prend moins mais la concentration ne changera pas parce qu'on prend la même solution qu'au début » « On a divisé le 1 litre, maintenant c'est 100 mL et donc les g par litre resteront les mêmes, même si, parce qu'on va aussi diminuer les g qu'il y a dans les 100 mL par rapport au 1 litre » ➔ Pour Marie, il est évident que 100 mL pris d'1 litre d'une solution à 10 g/L garde la même concentration. Le volume diminue mais la masse aussi. ➔ Bonne compréhension apparente du rapport m/V.
7	a	« Elle est plus noire que l'autre et donc pour moi ça veut dire qu'il y a plus... on va dire qu'il y a un colorant, on va dire qu'il y a plus de colorant dans celle là que dans celle là »
8	b	Marie calcule 12/0,145. Au départ, Marie voulait cocher « aucune des possibilités » car elle pensait ne pas avoir le volume final. Puis elle remarque qu'il est donné et donc calcule 12/0,145. Pour Marie, il y a une « solution au départ sans le sucre » et « une solution finale qui contient le sucre ». Elle tarde et finit par ne pas trouver. Elle hésite par multiplier au lieu de diviser. Pour résoudre cette question, elle voit du sucre en morceaux et de l'eau à côté. Puis elle réfléchit en unités. Elle note « g/L ». Elle cherche les g. ➔ Pour résoudre cette question numérique, Marie ne passe pas par le numérique mais imagine concrètement le sucre à côté de

		l'eau.
9	d	Marie est consciente qu'il manque « la solution obtenue à la fin ». Le soluté est le NaCl car solide. C'est le sel. → Une fois encore, Marie parle en termes de « début » et de « fin ».
10 bis	d	Pour Marie puisque CA = CB alors VA = VB donc la solution B n'est pas bonne car la solution B ne respecte pas CB = CA.
10	d	Marie est perturbée par l'image de la QCM10bis mais elle répond correctement à la question Q10.
11	b	« 0,4 : 0,2 »
12	c	Marie n'utilise pas M dans ses calculs mais aucune proposition ne correspond à son calcul. Marie multiplie m par M et divise ensuite par V : $2 \times 58 / 0,125 = 928$ → Mauvaise utilisation de M.
13	c	Marie a bien compris qu'il lui faut un litre en tout d'où son choix.
14	b puis c (C correct) puis a	Marie choisit b. Elle tente la même réflexion que Q6. Elle relit la question. Spontanément elle choisit la c puis après explication elle choisit la a. Elle divise par 2 (car de 200 à 100 : divisé par 2).
15	b	Pour Marie, c'est évident. « La concentration changera pas. Il y aura juste que le volume qu'on grandira et les g... il est pas dit quoi... augmenteront mais la concentration restera la même » → Confirmation du fait que Marie semble avoir bien acquis la notion de rapport entre m et V.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 bis	11	12	13	14	15
Novembre 2013	60 %	d	c	b	a	a	a	a	b	b	b	b	d	c	b	b
Février 2014	60 %	b	c	b	a	b	a	a	b	d	d	b	c	c	b	b

9. Entretien avec Thomas P. - E9 (Mardi 18 janvier 2014 - 12h35 → 13h25)

Série 1

Q1.1

Qu'est ce que la concentration ? Tu peux utiliser tes propres mots.

Novembre 2013 : « $C_{massique} = m/V$ ou $C_{molaire} = n/V$ »

C_m = la masse de soluté divisée par le volume de solution

C = la quantité (de la solution) → barré en rouge divisé par le volume de solution »

Février 2014 : « Un mélange entre un soluté et un solvant »

Q1.2

Schémas de deux solutions différentes : Une solution A plus concentrée qu'une solution B.

- Solution A1 : rectangle et 5 rangées de cercles collés entre eux et au centre du rectangle (au total 31 cercles)
- Solution B1 : rectangle de même dimension et 3 rangées de cercles collés entre eux et au centre du rectangle (au total 11 cercles)

Thomas ajoute une légende : « cercle = soluté - flèche montrant l'espace entre les cercles = solvant (liquide) »

Les « petits ronds » ?

« C'est le soluté qui est mélangé à un liquide »

Le liquide ?

« C'est l'eau »

Toujours de l'eau ?

« Non, ça peut être n'importe quel liquide »

Autre exemple que l'eau ?

« Du coca »

Exemple de soluté ?

« Du sucre - du sel »

« Une matière qui sait se dissoudre dans un liquide »

Dissolution ?

« C'est le soluté qui disparaît dans le liquide... le solvant »

« Il s'étale plus... Il se mélange avec le liquide, dans tout le liquide »

« Il est encore là sous une différente forme »

« C'est un solide au début puis c'est devenu liquide - il s'est dissout »

➔ Pour Thomas, la concentration est « un mélange entre un soluté et un solvant ». Spontanément, il représente des entités de soluté centrées et groupées. Se dissoudre signifie pour lui devenir liquide.

Q1.3

Un seul lui semble correct. « Quotient de la masse de sucre sur la masse d'eau »

Il lui est demandé de revenir sur la Q1.2. Pourquoi ces boules sont rassemblées ?

« J'aurais pu en mettre partout, en fait. Ça se dissout partout dans le liquide, avec le liquide »

Pourquoi tu les avais mises ensemble ?

« Je sais pas... Peut être qu'ils vont s'attirer dans le liquide pour ne pas être seuls »

Pourquoi ?

« Je sais pas »

Tu voudrais laisser ton schéma ou le changer ?

Thomas veut changer ses schémas : il répartit les cercles dans son rectangle

Deuxième schéma :

- Solution A2 : rectangle et 8 cercles répartis
- Solution B2 : rectangle de même dimension et 5 cercles répartis

Thomas préfère ce 2^{ème} schéma.

Il explique que le 1^{er} schéma correspond à l' « avant dissolution »

« Pour moi là c'est la solution solide (en montrant le 1^{er} schéma). C'est encore ensemble, c'est pas encore dissout et là comme c'est dissous (2^{ème} schéma) ça s'est mélangé avec l'eau... au liquide et ça s'est étalé partout »

→ Thomas rectifie son schéma de la Q1.2 où il avait regroupé les entités de soluté. Il disperse les entités de soluté dans son second schéma.

Série 2. Questionnaire à choix multiples et réponse unique

N° Q	Prop. choisie	Explicitations et commentaires
1	b	Thomas demande de confirmer si « rapport » = « quotient ». Pour lui, « quotient » signifie : « C'est une division... C'est mélanger quelque chose dans autre chose » « Pour la chimie, c'est mettre quelque chose dans autre chose » La proposition b ? « On a mis du soluté, une quantité de soluté, de sucre ou de sel dans un liquide, le « volume de solution » » « le volume de l'eau, le liquide et c'est une concentration chimique parce que la quantité du sucre ou du sel s'est dissous et il y a une transformation avec l'eau, au contact avec l'eau, il y a une transformation » Transformation ? « C'était à l'état solide, c'est passé à l'état liquide » Il lui est demandé de représenter cette transformation du sel et il dessine : - Schéma 1 de la solution avant dissolution : un rectangle et 10 cercles regroupés au centre - Schéma 2 de la solution après dissolution : un rectangle et le même nombre de cercles mais dispersés Thomas précise que le schéma 1 n'est pas bon car dans l'eau, le soluté ne peut pas être solide. Au final, pour Thomas le schéma 2 représente mieux la dissolution du sel. → Pour Thomas, diviser en chimie signifie « mettre quelque chose dans autre chose ». Pour lui, la dissolution correspond à une transformation : il y a passage du soluté de l'état solide à l'état liquide. C'est le contact avec l'eau qui permet cela. Pourquoi pas a ? « 1 litre » gêne Thomas Pourquoi pas c ? « grande quantité » pas obligé mais aussi le gêne du fait que le mot « volume » de solution ne soit pas indiqué. Pourquoi pas d ? Il faut que les molécules s'éparpillent.
2	c	Thomas est sûr de la proposition c. Au départ, il hésite avec la b. (L'eau est la solution). → Le mot soluté semble clair pour Thomas. Spontanément, il rapporte au volume d'eau ce qui le fait hésiter avec « l'eau est la solution ».
3	b	
4	b	Confirmation du fait que Thomas considère le volume d'eau pour calculer une concentration. Pour lui, le solvant, c'est le liquide et

		donc l'eau. → Raisonnement de Thomas : solvant = liquide et liquide = eau donc solvant = eau. $C = n/V$ (du liquide donc de l'eau donc du solvant)
5	b	En général, Thomas est lent. « La formule, c'est C égale, donc la concentration de tout, égale le... le sucre ou le sel sur... l'eau, dans l'eau qui va se dissoudre. Là on obtient un résultat final donc il faudrait faire ça donc 125 divisé par 2,00 pour obtenir » Thomas prend la calculette $0,125/2,00 = 0,0625$ - C'est la proposition b. Il lui est demandé de réexpliquer son calcul : « J'ai pris le volume entier divisé par... 2,00... ça donnait ça : 0,0625 et... 0,0625 c'est le... » « Le volume de soluté donc l'eau liquide » Que représente 0,0625 ? « Ça représente... Un sur l'élément qui est l'eau... on connaît pas l'eau... on connaît tout et on connaît le poids du solvant » « 0,0625... litre par gramme donc C divisé par n sur V » → Thomas pose $C_{\text{massique}} = m/V$ mais calcule $0,125/2,00$ (V/m)
6	c	Thomas pose une règle de 3. Il est sûr de lui. 10 g → 1 L 1 g → 0,100 L
7	c	Assez rapidement, il répond « c ». « C'est pas la couleur qui fait... on aurait pu mettre du rouge ou du bleu... et... on ne sait pas ce qu'il y a dedans. On ne voit combien, quelle quantité on a mis dedans donc on ne sait pas déterminer si c'est la A ou la B la plus concentrée » Il lui est rappelé qu'au 1^{er} questionnaire, il avait choisit la solution la plus claire qui lui semblait la plus concentrée. « Je me disais peut être que... c'était dissous, qu'on voyait peut être mieux » « Quand on a mélangé, quand on a dissous du sucre ou du sel dans l'eau, ... c'était à l'état liquide c'était plus à l'état solide et donc ça s'est mélangé avec l'eau, c'est allé partout et donc... comme tout s'est mélangé la couleur serait peut être plus claire » Le fait que ce soit solide ? « Que c'était à l'état solide » Etat solide : foncé - état liquide : clair parce que dispersé ? « Le sucre ou le sel s'il est dissous il sera encore dans la solution c'est encore dans l'eau mais on le verra plus à l'œil nu et donc si c'est de l'eau, ce sera une solution... claire et une matière qui ne se dissout pas on aura (verra) l'eau plus la matière à l'œil nu donc ce sera plus foncé » → Pour Thomas, en novembre la solution la plus claire était la plus concentrée car pour lui, si « concentré » alors « solution » donc le soluté est devenu liquide et donc « dispersé » et donc la solution est claire. Solide = foncé et liquide = clair.
8	a	Thomas résout par règle de 3 :

		12,0 g $\rightarrow$ 1 L 1,74 g $\leftarrow$ 0,145
9	b	Thomas pose $C = n(g)/V(L) \rightarrow C = 100/0,500 \rightarrow C = 200$ « <i>Il faut une formule pour faire ça</i> » Pourquoi tu utilises la formule ici ? « <i>Je ne peux pas faire une règle de 3</i> » Thomas pense qu'on peut appliquer une règle de 3 si on a « <i>une unité par quelque chose</i> » Q8 : 12,0 g/L $\rightarrow$ alors règle de 3 possible $\rightarrow$ Thomas applique les règles de 3 lorsqu'il voit après une donnée, une unité par une autre.
10 bis	c	Il hésite avec « le double » (4/8) Il opte pour « égal » car « <i>on veut préparer une solution identique donc la solution sera la même</i> » Pour obtenir une concentration égale, tu dois laisser des volumes égaux pour des quantités de matière différentes : c'est ça ? « <i>Oui</i> » « <i>Les points nous représentent le sucre ou le sel mais l'eau elle est quand même la même le volume d'eau est le même. C'est pas les points noirs qui vont changer le volume d'eau donc ce sera égal. La concentration à la fin elle sera égale sauf qu'il y aura plus, dans la solution B, il y aura plus de sucre ou de sel mais il y aura la même quantité d'eau</i> » Pour que C reste égal, que faut-il ? « <i>Pour que ce soit la même, le liquide donc le soluté... le soluté doit être le même, le solvant n'est pas obligé d'être le même</i> » « <i>S'il y a un litre là ça change rien s'il y a un litre là et moins de solvant</i> » Thomas note à côté des schémas 1 L + 4 et 1 L + 8 « <i>Ce sera toujours 1 litre... on ajoute 4</i> » La sonnette retentit. Donc la concentration change pas du moment que le volume est le même ? « <i>Oui</i> » $\rightarrow$ Pour Thomas, la concentration ne change pas si les volumes restent identiques même si la quantité de soluté change.
11	a	Thomas pose : $C_m = L/mol \rightarrow C_m = 0,200(L)/0,40(mol) = C_m = 0,5 L/m$ $\rightarrow$ Thomas utilise à nouveau la formule à l'envers (comme à la question 5)
12	e	Thomas ne se souvient pas de la formule. « <i>Il faut une formule et je la connais plus donc je pourrai pas résoudre sans cette formule</i> »
13	c	Assez rapidement Thomas coche c. Il veut 1 litre en tout. Les 2 g vont compléter le litre.
14	c	0,100/0,200 puis 0,200/0,100 = 2 $\rightarrow$ 0,20 g/L Thomas avoue répondre au hasard.
15	b	Pour les 5 solutions ensemble, C reste la même. Pas le temps d'approfondir, le professeur suivant est entré. $\rightarrow$ Pour Thomas, concentration = solution. Si solution identiques

		alors C = ?

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 bis	11	12	13	14	15
Novembre 2013	40 %	f	c	b	c	c	c	b	a	b	b	c	c	c	c	a
Février 2014	53 %	b	c	b	b	b	c	c	a	b	c	a	e	c	c	b

10. Entretien avec Marie P. - E10 (Jeudi 20 février 2014 - 12h50 → 13h25)

Série 1

Q1.1

Qu'est ce que la concentration ? Tu peux utiliser tes propres mots.

Novembre 2013 :

« C'est une concentration, c'est le rapport entre la quantité d'un soluté et le volume de solvant dans une solution »

Février 2014

« La masse d'une substance dans un volume »

« Une matière en rapport avec son volume »

La première image qui te vient ?

« La formule »

Marie écrit : « Pour moi, la concentration est un rapport entre la masse d'un solide et le volume dans lequel il est. $C = n_{\text{soluté}} / V_{\text{solution}}$ solution → soluté + solvant »

Le soluté c'est quoi ?

« Quand je pense à soluté et solution, moi je revois l'image avec le sucre et le café. Donc le sucre c'est le soluté, c'est la masse solide qui va se dissoudre dans le volume de café qui est la solution euh non c'est pas une solution, le tout forme une solution... le soluté c'est le... je pense que c'est le... le... sucre donc le solide et le volume de solution ça c'est le sucre avec le solide euh... avec le café et le café - solvant ! C'est ça ! Le café c'est le solvant et la solution c'est soluté, moi je pense, plus solvant. Enfin je pense, j'espère »

Marie se souvient que sur les bouteilles de Teisseire, on lit 1 dose de grenadine pour 7 doses d'eau et que cela correspond aussi à une concentration.

Q1.2

Schémas de deux solutions différentes : Une solution A plus concentrée qu'une solution B.

- Solution A : rectangle et 5 cercles colorés en noir et répartis - accolade à côté du rectangle : « 200 ml »
- Solution B : rectangle de même dimension et 3 cercles colorés en noir - accolade à côté du rectangle : « 200 ml » - Marie ajoute une flèche qui indique l'espace entre les cercles et écrit « l'eau » - elle ajoute une flèche qui indique un cercle noir et écrit « sel » (matière dissoute)

Marie trouve cette question plus facile. Elle dessine rapidement les rectangles avec les « petites bouboules ». Elle indique les 2 mêmes volumes (200 mL). Elle indique puis elle se demande comment appeler les boules. Elle ne trouve pas.

➔ Du fait de son schéma (boules apparentes), elle parle de « mélange qui n'est pas homogène » car on voit les boules. Pour elle dans un mélange homogène, on ne voit pas les substances.

Elle finit par écrire eau et sel. Sel et soluté : 2 choses différentes ? « Non, enfin... c'est pas différent. J'ai plus facile en donnant des exemples concrets. Là soluté (en montrant les boules de gauche), ça peut être une infinité de choses et moi j'ai plus facile en mettant que là par exemple ça peut être de l'eau et là du sel... alors que dans les labos ça pourrait très bien être d'autres choses mais comme je fais pas de labo, j'ai pas d'exemple. J'ai plus facile avec des exemples que je connais et qu'après je peux relier avec d'autres exemples par la suite »

Ca t'embête de mettre soluté pour sel ?

« Oui, dans ma tête c'est encore un peu fouillu »

➔ Elle n'est pas sûre du mot « soluté » et donc préfère parler de « sel »

Le mot soluté n'est pas clair pour Marie. Le mot sel oui.

Q1.3

Marie est sûre de la réponse 2 ($m_{\text{sucré}}/V_{\text{eau}}$). Quand il lui est demandé pourquoi elle élimine la 4 ($m_{\text{sucré}}/V_{\text{eau sucrée}}$), elle se demande si elle ne doit pas la choisir. Elle préfère la 2. Si une était à choisir, elle prendrait la 2.

→ Spontanément, Marie rapporte la concentration au volume de solvant.

Série 2. Questionnaire à choix multiples et réponse unique

N° Q.	Prop. choisie	Explicitations
1	b	Marie coche vite la proposition b car « <i>c'est celle qui correspond le mieux à la formule si c'est la bonne forme. Oui je pense</i> » La a éliminée car « <i>C'est pas forcément dans 1 litre de solvant, on peut avoir dans 200 mL</i> » La c éliminée : « grande quantité » la gêne. Pas forcément une grande quantité. La d éliminée : « <i>On utilise pas les molécules de soluté, on utilise les moles enfin... C'est pas les molécules</i> »
2	c	Sûre d'elle. a : inverse
3	b	
4	a	« <i>Le volume de solution, ça je m'en souviens !</i> » Elle se souvient de la formule. Il lui est demandé pourquoi elle n'était pas sûre à la Q1.3. « <i>J'hésite à suivre la formule ou ce que je pense</i> » Elle répond très vite au QCM à la Q4 « solution » car tout découle de la formule. Sinon instinctivement elle prendrait « solvant ». → Belle dualité entre V_{solution} et V_{solvant} . Du fait de la formule vue en cours, elle choisit V_{solution} mais instinctivement, elle voudrait prendre le volume de solvant (Q1.). Malgré le fait qu'elle est sûre de V_{solution} à la Q4 du QCM, elle ne veut pas choisir la proposition 4 de la Q.3 ou elle laisse V_{solvant} . Elle se rend compte de ce problème. Elle prend une feuille de son cartable pour schématiser ce qu'elle a dans sa tête.
5	c	Marie calcule $C_m = m/V = 2,00/125$. Elle laisse en mL.
6	b puis c (puis a) puis d	Marie en lisant la question, explique qu'elle a du mal avec les unités. Elle pose une règle de 3. « <i>En gros, on divise par 10</i> » Elle choisit la proposition b : 10 g/mL. En expliquant son calcul, elle se rend compte qu'elle n'a pas choisi la bonne proposition. Elle va vers la c (1,0 g/L) mais elle réalise qu'elle ne peut pas la choisir car elle voudrait 1,0 g/mL. Elle recommence les calculs en reposant la même règle de 3. Elle tarde. Elle aboutit à 1 g/mL. Elle est sûre. Elle finit donc par choisir « aucune des possibilités » → Marie résout la Q6 par une règle de 3. Aucune allusion au rapport. Pourtant c'est le 1 ^{er} mot qu'elle dit au début de l'entretien pour expliquer le mot concentration.
7	c	Pour Marie, il manque l'indication des volumes et le type de

		substances pour chaque solution.
8	a	Elle résout par règle de 3 (en 2 étapes) : 12,0 g $\rightarrow$ 1 L 0,012 g $\rightarrow$ 0,001 L 1,74 g $\rightarrow$ 0,145 L
9	b	Marie note 100 g $\rightarrow$ 0,500 L Puis elle utilise la formule : $C_m = m/V$ Elle réalise que le volume doit toujours être en litre. Elle repense à une erreur commise dans une question antérieure mais ne la trouve pas. Elle prend sa calculatrice et calcule $100/0,500 = 200$
10 bis	c	En lisant l'énoncé, elle résout son problème du schéma de la Q1.2. En dessous de « sel », elle note « matière dissoute ». Pour Marie, « concentration identique » signifie « même volume » (elle l'écrit sur le QCM). <i>« Concentration identique donc même volume »</i> <i>« S'ils veulent une concentration identique, normalement ils doivent avoir... »</i> Explication en utilisant la formule : Concentration identique donc n/V identique. Juste le n change. V reste de même. $\rightarrow$ Pour Marie, si une concentration reste identique même si n change alors le volume reste le même. Elle se base sur la formule mathématique pour établir cela.
11	b	Marie avoue ne pas aimer les moles. Elle hésite : n = nombre de mole ? Elle n'est plus sûre. Puis elle pense que oui (elle fait le lien avec la quantité de molécules mais pas sûre). Elle calcule $0,40/0,200$ mol/L. L'unité « mol/L » lui permet d'être sûre.
12	a	Marie pose ses données au brouillon puis ses formules : $C = n/V$ et $n = m/M$ Assez rapidement elle arrive au résultat. $\rightarrow$ Bonne gestion des formules avec n et M Suite à cette question, le professeur suivant rentre en classe. Il faut arrêter l'entretien (les 3 questions suivantes ont été abordées le lendemain).
13	c	Volume total 1L. $\rightarrow$ Marie a bien assimilé que doit être considéré 1L comme le volume total (soluté + solvant)
14	a	Marie explique qu'il s'agit d'une règle de 3. $200 \text{ mL} \rightarrow 100 \text{ mL}$ donc $0,10 \text{ g/L} \rightarrow 0,050 \text{ g/L}$ $\rightarrow$ Habitude de %
15	b	Pour Marie, il est évident que la mise en commun des 5 solutions laissera la concentration inchangée. Elle explique qu'il y a 5x plus de soluté mais 5x plus aussi de volume. Pour cette question, Marie semble avoir compris le rapport m/V . $\rightarrow$ 5 solutions identiques mises en commun $\rightarrow C =$

		Une solution dont on prend un dixième de volume → C/10 Contradiction dans la compréhension du rapport par Marie.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 bis	11	12	13	14	15
Novembre 2013	73 %	b	c	b	a	a	c	c	a	b	b	b	a	b	a	b
Février 2014	67 %	b	c	b	a	c	b	c	a	b	c	b	a	c	a	b

11. Entretien avec Louisa S. - E11 (Jeudi 27 février 2014 - 12h35 → 13h25)

Série 1

Q1.1

Qu'est ce que la concentration ? Tu peux utiliser tes propres mots.

Novembre 2013 :

Louisa a dessiné deux rectangles avec 9 cercles répartis (schéma 1) dans l'un et 4 dans un autre (schéma 2).

« Ex : dans le 1 la concentration est plus importante que dans la 2 car il y a plus de soluté par rapport à un même volume de solution »

« Une concentration c'est le rapport entre une quantité de matière dissoute (soluté) dans un certain volume de solution (soluté + solvant) »

$$C = n_{\text{soluté}} / V_{\text{solution}}$$

$$Cm = m_{\text{soluté}} / V_{\text{solution}}$$

Février 2014 : « Quantité de matière qu'on retrouve dans un... liquide enfin dans une masse... »

« Je prends des exemples »

Louisa est gênée du fait qu'on ne lui donne pas de réponse et se demande si elle a tort ou raison. Rires nerveux. Elle semble ne pas vouloir décevoir.

Si tu devais expliquer à quelqu'un ?

« Je prendrais deux cas, je comparerais deux cas : par exemple deux récipients de même volume, on va mettre de l'eau dedans, même volume d'eau et on va faire dissoudre du sel, par exemple, et la concentration ce serait la quantité de sel qu'il y a pour le nombre... pour le nombre d'eau que j'ai mis »

« Quantité de matière dans un volume déterminé de... de quelque chose »

Q1.2

Schémas de deux solutions différentes : Une solution A plus concentrée qu'une solution B.

- Solution A : un rectangle avec 6 cercles répartis - « 1 L » indiqué au niveau du côté supérieur.
- Solution B : un rectangle de même dimension avec 5 cercles répartis - « 1 L » indiqué au niveau du côté supérieur.

« Pour une même quantité d'eau, on retrouve un plus grand nombre de molécules de NaCl dans le A que dans le B donc la concentration est plus importante »

« A plus grande concentration de sel que dans le B »

Louisa précise que les volumes doivent être égaux. Pour elle, le litre qu'elle indique correspond à l'eau pure. Spontanément elle parle de rapport avec le volume de solvant.

Q1.3

Louisa coche la proposition 2 ($m_{\text{soluté}}/V_{\text{eau}}$). Mais elle se souvient qu'en cours, on rapportait au volume d'eau sucrée : elle entoure aussi la proposition 4 ($m_{\text{soluté}}/V_{\text{solution}}$) mais préfère la 2.

Série 2. Questionnaire à choix multiples et réponse unique

N°Q	Prop. choisie	Explications et commentaires
1	b	Louisa souligne le mot « rapport ». C'est ce qui compte pour Louisa. Pas la a car « dans 1 litre » gêne. « Solvant » ne correspond pas à ce qui a été fait en cours. Elle est embêtée. Pas la c car « grande quantité ». Ce peut être une petite quantité

		de soluté. Pas la d car « se regroupent » bizarre, pas approprié. « <i>C'est pas approprié à ce qui se passe. Les molécules vont plutôt se dissoudre donc...</i> » Se dissoudre ? « <i>Pas se mélanger... mais s'y éparpiller... enfin c'est un peu le contraire de se regrouper</i> »
2	c	
3	b	Louisa élimine C = n.V car pas de rapport. Elle choisit b car « c'est plus logique ». La proposition c ($C = V/m$) n'est pas logique pour elle. Louisa retrouve la formule en exprimant mathématiquement ce qu'est la concentration pour elle. Elle dit ne pas se servir de son cours.
4	a	Louisa se rapporte à son cours pour cocher la proposition a (V_{solvant}). Mais elle aurait voulu choisir la proposition b (V_{solvant}) Il lui est demandé si les volumes seront égaux (V_{solvant} et V_{solvant}). Au départ elle dit que solvant est différent de solution. « <i>Ca prend plus de place quand il y a plus de matière</i> » Louisa conclue : $V_{\text{solution}} > V_{\text{solvant}}$.
5	a	Louisa prend une calculatrice et calcule $2,00/0,125 = 16,0$ g/L
6	a	Assez rapidement, Louisa coche la bonne réponse. Cela lui semble évident que la concentration reste égale. « <i>On prend une partie de cette solution donc enfin c'est pas parce qu'on prend une partie que la concentration va changer... enfin... on n'a pas... comment dire, on a pas ni ajouté ni retiré de matière, on a juste prélevé une partie... donc ça change pas</i> » Louisa développe : « <i>Par exemple, on a un gâteau au chocolat,... on a utilisé 4 œufs, 100g de farine et si on prélève... ah non c'est pas logique ce que je dis... si on en prend une partie, la composition va pas changer... ça sera toujours le même gâteau au chocolat...</i> » Pourquoi ? « <i>Quand on a pris le morceau de gâteau au chocolat, on a pas, en le prenant, on n'a pas retiré de la farine, on n'a pas retiré du sucre... c'est le même quoi !</i> » « <i>La composition ne change pas, c'est la quantité qui diminue</i> » Composition ? « <i>Je sais pas comment l'expliquer</i> » « <i>La proportion... quand on prépare le gâteau, normalement tout est homogène, tout est bien réparti...</i> » ➔ Louisa semble avoir très bien compris que la concentration est une proportion (sans même vraiment s'en rendre compte). C'est évident pour elle.
7	c	Il manque des informations sur le soluté.
8	a	$C = m/V$ et $C.V = m$
9	d	Louisa a bien conscience qu'il manque le volume de solution. Il faudrait faire des calculs avant.

10 bis	b	Louisa est gênée par les niveaux = (traits à même hauteur). Elle pense bien qu'il faut le double de volume de solution B mais hésite avec « égal » car les dessins la perturbent. Peut être un piège ? → Les dessins perturbent : traits de niveau gênant.
11	b	Louisa pose à l'écrit $n = 0,40$ mol Puis elle utilise la calculatrice. $V = 0,200$ L
12	a	« <i>C'est dans le tableau périodique, la masse molaire ?</i> » Louisa pose $M = m/n$ et $M.n = m$ et $n = m/M$ La manipulation de M ne pose pas de problème. Elle se rend compte qu'il manque n . → Pas de problème d'utilisation de M
13	c	Il faut 1 litre en tout. Ce ne peut pas être a. Elle lit b et c et choisit c.
14	b	Louisa a du mal à comprendre la question. Elle en est consciente. La question la perturbe, dit-elle. « <i>Quantité de matière</i> » : le soluté ? » demande Louisa. Il lui est répondu que oui alors elle dit que la concentration reste égale et elle coche la proposition b. → Louisa ne comprend pas cette question.
15	b	« <i>C'est comme le gâteau au chocolat. On prépare 5 pareils et quand on les remet ensemble, ça sera toujours le même gâteau au chocolat</i> »

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 bis	11	12	13	14	15
Novembre 2013	80%	b	c	b	a	a	a	c	a	d	c	e	a	c	b	b
Février 2014	93%	b	c	b	a	a	a	c	a	d	b	b	a	c	b	b

12. Entretien avec Alexandre H. - E12 (Mardi 18 mars 2014 - 12h35 → 13h25)

Série 1

Q1.1

Qu'est ce que la concentration ? Tu peux utiliser tes propres mots.

Novembre 2013 : « Une concentration en chimie est le rapport entre m (concentration massique) et le volume total de solution ou c'est le rapport entre n (concentration molaire) et le volume total de solution »

Mars 2014 : « La concentration est le rapport entre une certaine quantité de matière (en mol ou en gramme) et un volume total de solution (en litre) »

Alexandre n'envisage pas le volume de solution mais le volume de solvant lorsqu'il répond d'abord oralement :

« 100 g de sel par exemple que l'on va dissoudre dans 1 litre d'eau, ben la concentration ce sera 100 g sur 1 litre »

Q1.2

Schémas de deux solutions différentes : Une solution A plus concentrée qu'une solution B.

- Solution A : un rectangle avec 12 points répartis
- Solution B : un rectangle de même dimension avec 6 points répartis

Alexandre ajoute une légende : Point → « Molécules de sucre » - rectangle vide → « bassin rempli d'eau contenant 1L de cette même eau »

Alexandre précise que les molécules de sucre (« élément soluble dans l'eau ») sont « dans un liquide ».

Q1.3

La concentration massique est le quotient de la masse de sucre sur le volume d'eau sucrée (proposition 4). Au départ, Alexandre avait coché la 2^{ème} proposition (m/V_{solution} d'eau). Il précise que m/V_{solution} est plus précis que m/V_{solvant} surtout si grande quantité de m .

Série 2. Questionnaire à choix multiples et réponse unique

N°Q	Prop. choisie	Explicitations et commentaires
1	b	Alexandre tient à rajouter V_{solution} total. Il définit correctement soluté (ce qui est dissous), solvant (ce qui dissout) et solution (solvant + soluté). Pour Alexandre, l'eau est déjà une solution (il y a déjà quelque chose dedans) puis il choisit l'exemple de la grenadine = l'eau + grenadine = solution puis ajout de sucre : V_{solution} total. Ce mot « total » semble important puisqu'il hésite avec la proposition e : aucune des possibilités. Ceci est d'autant plus vrai que la quantité de soluté est grande. Pas la a car V_{solvant} et pas V_{solution} total. Pas la c car « grande quantité » le gêne et également « dans une solution » : pas de précision sur l'unité. Alexandre semble confondre unité et grandeur (volume - litre). Pas la d car « qui se regroupent » le gêne.
2	c	
3	b	Pas la a car « produit » or Alexandre veut un rapport.

4	a	De nouveau, Alexandre rajoute le mot « total » après V_{solution} .
5	a	$2,00/0,125 = 16,0 \text{ g/L}$ Alexandre pense à préciser le nombre de chiffres significatifs (3 ici)
6	d	Au départ, Alexandre propose d'appliquer une règle de 3 : <i>« 1 litre d'une solution sucrée on va avoir une concentration massique de 10 g/L et donc pour 100 mL, pour passer de 1 L à 100 mL, pardon, je fais diviser pas 100... eh 10 et donc ça fait,... je fais la même chose pour la concentration massique donc 10 divisé par 10 ça fait eh... »</i> Alexandre arrête de parler puis demande la feuille de brouillon proposée quelques minutes avant. → Règle de 3 puis changement de stratégie. <i>« Pour 1 litre d'eau sucrée, on a une concentration de 100g de sucre par litre donc » « 10 g/L</i> <i>« Oui, pardon de 10 g/L... donc dans ma tête je fais, comme je l'ai dit là tantôt donc 1 litre on a... 10 g/L donc une concentration... j'ai refait le même calcul puisqu'on ne change pas la masse de sucre. Le seul problème c'est que je n'ai pas... »</i> L'explication d'Alexandre est confuse. Il trouve au final 100 g/L. Il lui est demandé pourquoi ? <i>« La concentration doit d'office augmenter puisque on diminue le volume donc c'est pas possible que ce soit resté tel quel puisque à la base pour avoir 10 g de sucre par litre on avait un volume d'1 litre et ici on n'a plus qu'un volume de... aller... 1 dl donc la concentration massique a du forcément augmenter... le seul truc qui me dérange c'est ma réponse »</i> → C augmente car le volume diminue Alexandre est embêté car « 100 g/L » n'est pas dans les propositions. Il lui est signalé qu'il peut répondre « aucune des possibilités » et c'est ce qu'il choisit. Il lui est demandé d'explicitier le numérateur et le dénominateur 10 g/0,1. <i>« Mais donc on n'a pas dit que la masse de sucre changeait donc j'ai gardé les 10 g puisque quand on nous dit 1 litre de solution sucrée finalement... ça fait 10 sur 1 litre et donc on obtient la même chose donc en fait ça ici c'est un peu la concentration de référence et donc quand on change le dénominateur donc quand on le divise par 10, normalement il devrait y avoir 10 fois plus et donc c'est ça ici mais ça me semble un peu beaucoup... si en fait parce que si je multiplie par 10 la fraction, donc 10 sur 10 ce qui revient à faire 1 donc ça fait 100 g sur 1 litre donc »</i> → Alexandre résout la question en posant la fraction m/V. m ne change pas (10g) mais V varie : V passe de 1 litre à 100mL soit 10 fois plus petit et donc C est 10 fois plus grande. $m =$ et V qui est au dénominateur diminue d'un facteur 10 → donc C augmente d'un facteur 10. Stratégie mathématique. Alexandre ne se rend pas compte de

		la proportion m/V. Il n'envisage pas que m diminue d'autant que V diminue et donc que C reste égale.
7	c	Alexandre demande une latte pour vérifier que les 2 rectangles colorés sont identiques. Pour « voir si les volumes sont identiques dans les 2 solutions ». Pour Alexandre, l'information manquante est la masse ou le nombre de mol de soluté contenu dans chaque solution. Il prend l'exemple d'une encre et du sel. Si on prend la même masse d'encre et de sucre dans un même volume alors leur concentration est égale et pourtant la couleur sera différente.
8	a	$12,0 \text{ g/L} = x/0,145 \text{ L}$ $12,0 \cdot 0,145 = x = 1,74 \text{ g}$ $1,74/0,145 = 12,0 \text{ g/L}$
9	b	Alexandre calcule rapidement $100/0,500 = 200 \text{ g/L}$
10 bis	b	4 boules noires - 8 boules noires donc V double pour C égale.
11	b	$0,40/0,200 = 2 \text{ mol/L}$
12	a	$2,00/0,125 \cdot 58,0 = 0,276 \text{ mol/L}$. Alexandre est embêté par le nombre de chiffres significatifs. Il en voit 3, or pour lui 0,276 en donne 4. Quand il lui est demandé si un zéro placé devant est significatif, il répond « Un peu oui » en souriant.
13	d	« Pour moi, les propositions a et b sont correctes puisque... selon moi ça change pas si on met d'abord l'eau puis les 2 g de NaCl ou bien les 2 g de NaCl puis l'eau parce que on aura moins tant qu'on fait pas comme à la c de rajouter jusqu'à faire 1 litre parce que c'est assez petit 2 g mais si on faisait avec des quantités plus importantes ça pourrait fausser le résultat donc le but c'est de rajouter 1 litre d'eau et puis voir si la solution finale... donc pour moi a et b sont bons » Pourquoi Alexandre élimine la c ? « On met 2 g de NaCl dans une fiole et après on met 1 litre d'eau jusqu'à ce que le volume soit 1 litre. Ici c'est pas très important parce que 2 g c'est pas beaucoup... enfin ça pourrait quand même fausser mais c'est pas trop si on faisait avec de plus grandes quantités. Ça pourrait fausser parce que ajouter de l'eau jusqu'à 1 litre c'est pas la même chose que si on ajoutait 1 litre d'eau » Alexandre est conscient que mettre 1 litre ou compléter à 1 litre ce n'est pas pareil. Pour lui, il faut ajouter 1 litre au soluté. Les résultats seront faussés si on complète à 1 litre. ➔ Alexandre semble convaincu à cette question que V est V de solvant. Il pense qu'il faut 2 g de NaCl + 1 litre d'eau (quelque soit le sens).
14	c	Assez spontanément, Alexandre pense à 0,20 g/L. Puis il demande à vérifier sur son brouillon. Son 1 ^{er} calcul lui montre qu'il s'est trompé. Il revérifie ses calculs et finit pas choisir 0,20 g/L. « J'ai d'abord cherché la quantité de matière donc j'ai fait $0,10 \text{ g/L}$ est égal à x donc la quantité de matière sur 2 dl et donc

		ensuite j'ai recherché ma quantité de matière j'ai fait 0,1 multiplié par 200 mL ça m'a donné 0,02 g et ensuite j'ai transposé puisque ici on dit on garde la même quantité de matière mais on a un volume de 100mL donc j'ai fait 0,02 divisé par 100 mL... Enfin, je l'ai remis en litre donc 0,100 donc ça fait 0,2 avec 2 chiffres significatifs » Son raisonnement est : $C1 = m1/V1$ soit $0,10 = x/0,200$ donc $0,10.0,200 = x = 0,02$ g puis $m2 = m1/V2 = 0,02/0,100 = 0,2$ g/L ➔ Alexandre n'utilise pas le raisonnement par la proportion : V diminue mais m reste égal donc la concentration augmente. Mais il pose mathématiquement le raisonnement. Il calcule m puis C avec un volume différent.
15	b	Assez rapidement choisi. « Si on prend une bouteille d'un litre de grenadine avec, je sais pas, à la base 20 cl de sirop et une autre bouteille avec toujours 20 cl de sirop on aura 2 litres mais avec 40 cl de sirop et donc quand on fait notre rapport pour avoir sur 1 litre ça fait toujours 20 cl sur 1 litre » ➔ Ici encore, la stratégie mathématique est mise en œuvre mais Alexandre arrive au résultat correct. $m1+m2/V1+V2 = m/V$ initial

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Novembre 2013	80%	b	c	b	a	a	a	c	e	b	b	b	a	e	c	b
Mars 2014	80%	b	c	b	a	a	d	c	a	b	b	b	a	d	c	b

13. Entretien avec Juliane F. - E13 (Jeudi 20 mars 2014 - 12h35 → 13h25)

Série 1

Q1.1

Qu'est ce que la concentration ? Tu peux utiliser tes propres mots.

Novembre 2013 : « C'est le rapport entre le soluté et le volume de solution / Le volume que le soluté occupe dans la solution.

Par exemple, lorsque l'on met du sucre dans de l'eau, le sucre (soluté), l'eau (solvant) et l'eau sucrée (solution).

Il peut y avoir 2 types de concentrations : massique (elle écrit « massic ») (m) et molaire (n) »

Mars 2014 : « C'est par rapport à un volume, admettons de l'eau sucrée, enfin, c'est la quantité de sucre par rapport à l'eau, je crois mais je ne suis pas sûre »

« Admettons de l'eau sucrée ou de la grenadine, c'est un... soluté ou solvant, je sais plus, qu'on met dans un liquide... donc c'est la quantité, le rapport »

« Exemple : la grenadine : une quantité par rapport à un volume, le liquide »

Veux-tu rajouter quelque chose ?

« C'est peut-être aussi par rapport à une solution... la solution, je crois que c'est le mélange de solvant et de soluté donc... avec la grenadine, c'est la grenadine la solution, je crois »

Juliane ajoute donc le mot « la solution »

« Par rapport à la grenadine par exemple, c'est une quantité donc là le sirop on va dire, qu'on met dans un liquide... ça forme une solution. La concentration c'est le rapport du sirop par exemple au volume total donc... par rapport à l'eau et la grenadine... mais je crois parce que quand on avait fait le test, je m'étais trompée parce que on devait faire par rapport au volume final et moi je faisais pas par rapport au volume final »

« Par rapport à l'eau »

« Quand on fait les calculs, à chaque fois je me trompe »

→ Juliane a besoin d'exemples concrets pour comprendre et se faire comprendre.

Tu laisses « la solution » seule ? Juliane répond oui car elle ne sait pas expliquer.

« J'ai du mal à visionner ce qu'est une solution. Avant on devait étudier des définitions et parfois on comprend pas forcément donc on étudie et enfin... les exemples c'est plus facile à comprendre ».

Q1.2

Schémas de deux solutions différentes : Une solution A plus concentrée qu'une solution B.

- Solution A : Un demi-cercle coloré en noir avec une flèche indiquant « soluté »
- Solution B : un demi-cercle de même taille mais seul le tiers inférieur est coloré en noir. Le niveau de liquide est plus bas que pour la solution A.

Ce que Juliane colore est le sirop. Elle précise que c'est « par rapport au même volume ». Elle ajoute donc un 2^{ème} niveau au dessus du 1^{er}.

« Il faut que A, le soluté, la masse soit plus grande chez le A que chez le B »

Q1.3

Juliane choisit « quotient de la masse de sucre sur le volume d'eau sucrée ». Il lui est demandé si elle veut ajouter autre chose. Elle hésite alors avec la proposition 1 : « masse de sucre/masse d'eau sucrée ».

« C'est toujours sur le volume de la solution donc je suis sûre que c'est eau sucrée mais vu que c'est massique je sais pas si c'est sur la masse ou le volume donc on peut être mettre les 2 »

De laquelle es-tu sûre ?

« Je suis pas sûre. C'est un truc des 2 mais je sais plus si c'est sur le volume ou sur la masse vu qu'on parle de masse ».

→ Du fait de C Massique, Juliane hésite entre $m_{\text{sucre}}/V_{\text{eau sucrée}}$ et $m_{\text{sucre}}/m_{\text{eau sucrée}}$.

Série 2. Questionnaire à choix multiples et réponse unique

N° Q	Prop. choisie	Explicitations et commentaires
1	b	Juliane hésite avec la a. Puis elle l'élimine car elle voit « solvant » or elle est sûre que c'est sur le volume de solution. Elle élimine c car « grande quantité » → ça peut être une petite quantité et « dans une solution » lui semble vague. Il manque le mot « volume ». Pas la d car « solvant » → solution et « molécules de soluté » lui rappelle C molaire. « Qui se regroupent » ne la gêne pas.
2	c	Eau : solvant et sucre : soluté (sûre d'elle).
3	b	Juliane se souvient de la formule (comme une image semble-t-il) m/V et de là elle voit n/V. Juliane se souvient qu'il fallait respecter des mesures (elle ne retrouve plus le mot « unité ») V en L, m en mg (elle ne sait plus). → Pour Juliane, la formule $C_m = m/V$ semble être une image bien imprégnée. Elle en déduit $C = n/V$. → Elle est sûre du dénominateur V : volume de solution finale. Le numérateur est plus flou. → Elle ne retrouve plus le mot « unité », notion à laquelle il faut faire attention.
4	a	Elle se souvient que c'est V_{solution} car elle faisait l'erreur avec V_{solvant} mais elle s'est corrigée.
5	a	$2,00/0,125 = 16,0 \text{ g/L}$
6	a	Assez rapidement : « C'est la même » « Parce que enfin admettons de l'eau sucrée... 1 litre d'eau sucrée si on prend, je sais pas, un verre, on aura toujours la même... concentration, enfin ce sera la même proportion de sucre et d'eau que dans le litre donc... oui donc je dirais que ça fait la même chose » → Juliane a très bien compris que C est une proportion entre le sucre et l'eau.
7	c	Pour Juliane, il manque le volume et la quantité du soluté → il manque des informations. Même si le volume était égal, il manquerait toujours la donnée du soluté.
8	a	« $C = 12,0/1$ » $m?$ « $C = m/V$ $C = 12,0/1 \rightarrow 1,74/0,145$ » Juliane cherche la masse qui permettra de garder le même rapport : $12,0/1 = m ?/0,145$ (% 6,90 pour le dénominateur) Elle cherche m en calculant $12,0/6,90$. → Règle de 3 mais en utilisant le rapport. Le rapport m/V

		doit rester égal.
9	b	Juliane ne voit pas que V est V_{eau} . Elle calcule $100/0,500 = 200 \text{ g/L}$. Elle fait attention aux unités.
10 bis	b	Assez rapidement, Juliane trouve la réponse. Pour elle, « concentration » semble vouloir dire « proportion ». Juliane a conscience que si VB était à moitié, alors CB plus grande (mais elle ne trouve pas 4x plus mais 2x plus sans être sûre). Si $VB = VA$ alors $CB = 2CA$.
11	b	$C = n/V = 0,40/0,200 = 2,0 \text{ mol/L}$.
12	a	$C = n/V$. Juliane cherche n. Elle pose $M = m/n$ et trouve $n = 2,00/58,0$ puis elle divise par V. Petit souci d'utilisation de la calculatrice. ➔ Dans les calculs, Juliane est claire et nette. Elle fait attention aux unités.
13	a	Le souci vient de comment considérer le volume final. « L'exemple de la grenadine, il faut mettre 1 litre d'eau... Je dirais parce que si on met 2 g enfin 2 g on va dire de sirop et qu'on rajoute pour que ça fasse 1 litre, ça fait pas la même chose donc je dirais qu'il faut d'abord mettre 1 litre d'eau et puis mettre les 2 g » Pourquoi pas la b ? « Parce que c'est pas la même chose vu que le volume ne sera pas le même enfin... si on met d'abord... le, les... admettons avec la grenadine, si on met d'abord le sirop et qu'on complète jusqu'à un litre...la solution va valoir 1 litre mais... je sais pas... c'est compliqué » « Il y aura en tout cas une différence dans le volume » « Ici ça vaudra 1 litre alors que là ça vaudra plus vu qu'on rajoute... Non moi je dis que c'est la 1 ^{ère} mais on m'avait expliqué avec la grenadine mais je sais plus, ça fait assez longtemps mais... si je crois, c'est le a » « Je me contredis, c'est toujours sur le volume final et... je sais pas » 2 g/L ? « Il y a 1 litre et les 2 g dedans » « 2 g de NaCl sur 1 litre d'eau... je me contredis en fait... parce que je dis que ça fait 2 g sur 1 litre d'eau donc ça devrait être la b mais je dis que c'est la a » D'instinct Juliane choisit la a mais ne sait pas expliquer pourquoi ce n'est pas la b. « Pourtant je me contredis parce que là quand vous me posez la question je dis que ça forme d'abord, enfin on met de g et... enfin que c'est compris dans les... c'est quand même la b donc je saurais pas expliquer pourquoi je dis la a » « L'exemple de la grenadine ça m'avait marqué et je me rappelle que j'avais dit que ça faisait la b, enfin... » « Pour moi, c'était la b, on met d'abord le sirop puis après l'eau jusqu'à 1 litre » « Mais j'avais tort, donc c'est la a »

		Juliane voudrait choisir la b mais elle se souvient s'être trompée et donc, non convaincue, elle choisit a. → Clairement pour Juliane, a est différent de b. D'instinct, elle préfère 2 g de NaCl dans 1 litre d'eau mais elle se souvient que cette façon de faire était incorrecte et elle choisit donc la proposition a : 1 L d'eau puis 2 g de NaCl.
14	b	Juliane bloque ; elle dit ne pas comprendre la question. Elle cite la b. « $V = 200\text{mL}$ et $C = 0,10/1$ » Ses calculs lui font trouver 0,10 g/L (b) mais il lui est signalé que c'est donc la même concentration que la solution de départ. Juliane tique... Elle est consciente qu'il faut trouver n.
15	b	Assez vite, pour Juliane la concentration reste la même. « <i>Un verre de grenadine, enfin 5 verres de grenadine séparément et si on met tout ensemble, ce sera toujours la même, enfin je parle du goût, ce sera toujours le même goût et ce sera toujours la même concentration que... oui</i> »

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 bis	11	12	13	14	15
Novembre 2013	67%	b	a	b	a	d	a	c	a	b	b	d	a	c	b	b
Mars 2014	80%	b	c	b	a	a	a	c	a	b	b	b	a	a	b	b

Annexe 18 - Test préliminaire aux entretiens d'explicitation

Réponses et justifications de quarante élèves de grade 10 à la question :

« Tu dissous 20 g de sucre dans 100mL d'eau. Selon toi, que fait le niveau de liquide ? Explique. »

Le niveau reste le même	
« Le sucre se dissout »	
1	Il va rester le même car le sucre se dissout dans l'eau donc se mélanger.
2	Le niveau va monter un peu car (je me suis trompé). Le niveau de l'eau va rester le même car le sucre sera dissous.
3	Le niveau ne change pas car les 20 g de sucre seront dissous dans l'eau
4	L'eau reste au même niveau car le sucre se dissout, il se mélange avec l'eau. Un objet insoluble prendrait de la place dans l'eau et ferait monter son niveau (exemple : un caillou). Les molécules de sucre se « lient » aux particules d'eau mais ne prennent pas de place.
5	Le niveau de l'eau ne change pas car le sucre va se dissoudre.
6	Il ne changera pas car le sucre sera dissous dans l'eau donc le volume restera le même.
7	Je pense que le niveau d'eau va rester le même car selon moi, le sucre va se dissoudre. Ou alors, il va légèrement augmenter.
8	Il ne bouge pas car les molécules de sucre vont se disperser. Le sucre va se dissoudre et prendre moins de place.
9	Le niveau ne va pas bouger si le sucre fait un mélange homogène avec l'eau (je sais pas comment expliquer mais je pense que le niveau d'eau ne va pas bouger). Le sucre n'aura pas de masse dans l'eau.
« Le sucre absorbe l'eau »	
10	Il va rester le même car le sucre absorbe l'eau mais je suis pas sûr car le sucre doit quand même prendre du volume.
11	On va verser le sucre dans l'eau qui va « couler ». A mon avis l'eau va rester à 100 mL. Le sucre va se dissoudre dans l'eau. C'est comme ci le sucre allait absorber l'eau qu'il faut pour qu'il y ait encore 100 mL d'eau, mais je ne suis pas certaine.
« Le sucre occupe l'espace entre les molécules d'eau »	
12	Le niveau de l'eau ne change pas car les grains de sucre vont se placer entre les molécules d'eau.
13	Rien. Le sucre se dissout et les molécules de sucre vont se mettre dans les espaces laissés par les molécules d'eau
14	Le niveau ne change pas car le sucre se dissout dans l'eau. Les molécules d'eau (liquide) s'écartent et les molécules de sucre (solide) s'attachent à celles d'eau. Le niveau ne changera que si on y ajoute un liquide.

15	Soit le niveau va légèrement augmenter car on ajoute de la matière. Soit le volume va rester égal car le sucre va occuper l'espace entre les molécules d'eau. J'hésite entre ces 2 possibilités.
16	Il reste le même car le sucre se dissout. Les molécules sont très fines et ne sont pas trop abondantes donc elles prennent la place des molécules « d'air » car l'eau n'est pas compacte sinon il serait appelé « solide ».
Le niveau monte (réponse correcte)	
« Plus de matière donc plus de volume » (« ajout » de matière)	
17	Le niveau de l'eau augmente car on lui ajoute une quantité de matière, le volume augmente, il y a plus de quantité.
18	Il augmente car il y a plus de matière dans le bécher. Quand les molécules de saccharose se mélangent avec celles de l'eau, elles prennent plus de place.
19	Il augmente si on ne mélange pas et si l'on mélange aussi car la matière ne disparaît pas elle reste dans le verre et s'ajoute à l'eau. Cependant la réponse semble trop évidente donc je ne suis pas sûr cela peut être un piège.
20	Le niveau de l'eau va augmenter un tout petit peu mais rien car une masse va s'y ajouter. Mais je ne sais vraiment pas, j'en suis pas sûre. J'hésite, il va peut-être rester le même.
21	Je pense qu'il va augmenter mais de très peu car on ajoute de la matière qui prend du volume et les volumes s'additionnent.
22	Il augmente car on met dans l'eau du sucre donc il y aura plus de matière et donc la solution occupera plus d'espace
23	Le niveau augmente parce que comme on y ajoute du sucre, de la masse, la concentration sera plus forte.
24	Il augmente car on y ajoute une certaine masse. Donc le niveau augmente.
25	Selon moi, le niveau de l'eau augmente légèrement (impossible de le voir à l'œil nu ou avec des cm) car le poids augmente aussi donc le niveau d'eau doit être proportionnel.
26	Le niveau de l'eau va augmenter car le sucre prend un certain volume. Mais il ne va pas augmenter du volume exacte de sucre, il va augmenter un peu moins.
27	Il augmente car aux molécules d'eau sont ajoutées les molécules de sucre qui vont se dissoudre dans l'eau. Le volume d'eau va donc augmenter.
28	Je sais pas mais peut-être que le sucre absorbe l'eau pour se diluer et donc les particules de sucre s'ajoute en plus de l'eau donc le niveau monte.
29	Il va augmenter à cause de la place que vont utiliser les 20g de sucre.
30	Il augmente même si le sucre se dissout dans l'eau, la quantité de sucre est toujours là.
« Le niveau monte car le sucre ne se dissout pas totalement »	
31	Il va légèrement augmenter car au début le sucre va combler l'espace entre les molécules d'eau mais après une certaine masse de sucre versé, l'eau va saturer et donc le sucre va prendre de l'espace supplémentaire.

32	Le niveau va légèrement monter car même si le sucre se dissout il a un certain volume, il ne se dissout pas totalement.
33	Il monte légèrement mais peu car une partie du sucre va se dissoudre alors que le reste va se déposer dans le fond si l'eau n'est ni chauffée, ni touillée.
34	Il « monte » (augmente) car le sucre va dans le fond du récipient donc il y a plus de matière.
35	Le niveau de l'eau va monter car le sucre va se déposer dans le fond de l'eau.
• Autre	
36	Le niveau augmentera un peu car le sucre déplacera les molécules de l'eau.
Le niveau monte et redescend au niveau de départ	
37	Au début, le niveau va un peu augmenter mais lorsque le sucre sera totalement dissous, le niveau reviendra à 100 mL.
38	Au début le niveau de l'eau va augmenter car les grains de sucre sont solides donc leurs molécules sont collées et donc le niveau augmente mais peu après, le sucre va se dissoudre dans l'eau et le niveau va baisser.
39	Il va d'abord augmenter car le sucre va prendre de la place mais une fois qu'il sera dissous le niveau redeviendra le même qu'au départ.
40	Je pense que le niveau de l'eau va augmenter un petit peu car le sucre va prendre de la place dans l'eau. Même si, à un moment, il va se dissoudre dans l'eau et donc le niveau redeviendra comme au départ.

Annexe 19 - Outil de remédiation pour l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* » impliquant un conflit percepto-cognitif

Prénom et nom :	Ecole :	Date

Remédiation C est une proportion	C est une mesure de la proportion de soluté au sein de la solution
	C est un rapport

Le matériel nécessaire :

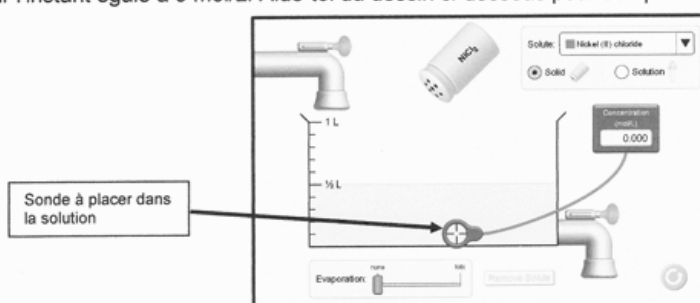
- Un ordinateur où la simulation interactive PhET « *concentration* » a été installée
- Une calculatrice
- Un bic ou un crayon

Les consignes à suivre :

- Lis attentivement toutes les indications données à chaque puce avant toute action.
- Réponds dans les encadrés aux questions posées au fur et à mesure des étapes.
- Dans le cas où tu commets une erreur de manipulation, clique sur la touche jaune « *Tout remettre à zéro* » (ou la flèche sur fond jaune en bas à droite) et tu peux alors recommencer les étapes.

Etape 1. Préparation de la solution de départ

- Un demi litre d'eau (le solvant) est déjà présent dans le récipient au démarrage de l'activité.
- Par un « cliquer-glisser », place la sonde qui permet de mesurer la concentration dans la solution (en bordeaux, à droite sur l'écran).
- Place la sonde le plus bas possible sans sortir de la solution. La valeur de la concentration en soluté est pour l'instant égale à 0 mol/L. Aide-toi du dessin ci-dessous pour comprendre.



- Pour ajouter du soluté solide, va dans la liste des solutés (en haut à droite) et clique sur le **chlorure de nickel** symbolisé en **vert** (en anglais : nickel chloride).
- Agite le récipient gris au dessus de la solution : il en tombe du soluté.
- Ajoute du soluté (sans aller trop vite) jusqu'à obtenir une concentration comprise entre 1 et 2 mol/L (lisible sur le petit écran bordeaux relié à la sonde).

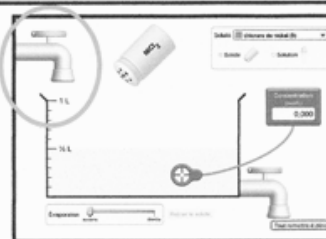
- Note la valeur de la concentration en soluté lue (avec les unités !) :

Etape 2. Ajout de solvant

- Sans rien modifier de ta solution pour l'instant, **prédis** comment va évoluer la concentration en soluté de ta solution si tu doubles le volume de solution en ajoutant uniquement de l'eau ; autrement dit si tu ajoutes ici 0,5 litre d'eau, que devient la valeur de la concentration ?

- Note ta **prévision** de la **valeur** de la concentration si tu ajoutais du solvant :

- A présent, ajoute 0,5 litre de solvant via le robinet du dessus à gauche. Tu peux compléter sans avoir peur de déborder car le volume final se limite de lui-même à 1 litre.
Observe comment évolue la concentration pendant l'ajout d'eau.
Le volume final de solution est de 1 litre.



- Note la valeur de la concentration **lue** après l'ajout de solvant :

- Compare cette valeur lue à ta prévision : est-elle la même (aux arrondis près) ? ☐ oui ☐ non

- Si tu as répondu « oui », passe à l'étape 3.
Si tu as répondu « non » : comment expliques-tu l'évolution réelle de la concentration en soluté lors de l'ajout de solvant ?

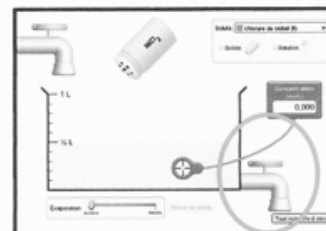


Etape 3. vidange de solution

- Sans rien modifier de ta solution pour l'instant, **prédis** comment va évoluer la concentration en soluté de ta solution si tu vidanges 0,5 litre de solution ; autrement dit si tu enlèves 0,5 litre de solution que devient la valeur de la concentration ?

- Note ta **prévision** de la **valeur** de la concentration si tu vidangeais de la solution :

- A présent, vidange 0,5 litre de solution via le robinet du bas à droite. Attention de ne pas aller trop vite pour ne pas dépasser le volume à vidanger (si c'est le cas, ce n'est toutefois pas la peine de tout recommencer).
Observe comment évolue la concentration pendant la vidange.
Le volume final de solution est de 0,5 litre.



- Note la valeur de la concentration **lue** après la vidange de solution :

- Compare cette valeur lue à ta prévision : est-elle la même ? ☐ oui ☐ non

- Si tu as répondu « oui », passe à l'étape 4.
Si tu as répondu « non » : comment expliques-tu l'évolution réelle de la concentration en soluté lors de la vidange d'une partie de la solution ?

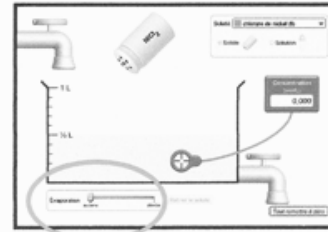


Etape 4. Evaporation de solvant

- Vidange encore de la solution de façon à obtenir un volume final de 0,4 litre (tu dois normalement vidanger 0,1 litre de solution : tu dois donc descendre de 1 trait le niveau de solution).
- Sans rien modifier de ta solution pour l'instant, **prédis** comment va évoluer la concentration en soluté de ta solution si tu fais évaporer l'eau correspondant à la moitié du volume de ta solution ; autrement dit si tu enlèves 0,2 litre d'eau (si tu as 0,4 litre au départ) que devient la valeur de la concentration ?

- Note ta **prévision** de la valeur de la concentration si tu évaporais du solvant :

- A présent, laisse évaporer l'eau correspondant à la moitié du volume de solution (0,2 litre si tu pars de 0,4 litre) via le curseur du bas à gauche. Observe comment évolue la concentration pendant l'évaporation d'eau. Le volume final de solution est de 0,2 litre.



- Note la valeur de la concentration **lue** après évaporation de solvant :
- Compare cette valeur lue à ta prévision : est-elle la même (aux arrondis près)? ☐ oui ☐ non
- Si tu as répondu « oui », passe à l'étape 5.
Si tu as répondu « non » : comment expliques-tu l'évolution réelle de la concentration en soluté lors de l'évaporation d'une partie du solvant ?



Etape 5.

Complète ce texte à trous avec les mots suivants (chaque mot ne peut-être utilisé qu'une fois) :
diminue / augmente / proportion / ne change pas

La concentration d'un soluté est une mesure de la _____ de la quantité de soluté dans le volume de solution :

- Si tu ajoutes du solvant, la quantité de soluté **diminue** **par rapport** au volume de solution : la concentration _____ lors de l'ajout de solvant.
- Si tu vidanges de la solution, tu ne modifies pas **le rapport** entre la quantité de soluté et le volume de solution : la concentration _____ lors de la vidange de solution.
- Si tu évapores du solvant, le volume de solution **diminue** mais pas la quantité de soluté. La quantité de soluté **augmente** donc **par rapport** au volume de solution : la concentration _____ lors de l'évaporation de solvant.

Vérifie au verso de cette feuille que ton texte est correct.

Texte à trous complété :

La concentration d'un soluté est une mesure de la **proportion** de la quantité de soluté dans le volume de solution :

- Si tu ajoutes du solvant, la quantité de soluté diminue par rapport au volume de solution : la concentration **diminue** lors de l'ajout de solvant.
- Si tu vidanges de la solution, tu ne modifies pas le rapport entre la quantité de soluté et le volume de solution : la concentration **ne change pas** lors de la vidange de solution.
- Si tu évapores du solvant, le volume de solution diminue mais pas la quantité de soluté. La quantité de soluté augmente donc par rapport au volume de solution : la concentration **augmente** lors de l'évaporation de solvant.

Annexe 20 - Outil de remédiation pour l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de solution* » impliquant un conflit percepto-cognitif

Prénom et nom :	Ecole :	Date :

Remédiation Le volume de la solution

Lis attentivement toutes les indications données, sans passer aucune ligne.

Le matériel nécessaire : Un porte tube avec

- 1 tube à essai contenant de l'eau dont le niveau est indiqué par un trait
- 1 tube à essai contenant du sel de cuisine

Complète les encadrés au fur et à mesure que cela est demandé sans revenir en arrière une fois l'étape complétée.

Etape 1. Prévisions

- 1.1. Si la totalité du sel contenu dans le tube à essai était versée dans l'eau et que l'agitation permettait la dissolution complète du sel, que ferait le niveau du liquide ?

Choisis l'une des propositions :

- ☐ Le niveau reste le même
- ☐ Le niveau diminue en dessous du trait
- ☐ Le niveau monte au dessus du trait

- 1.2. Explique ton choix en étant le plus explicite possible :

Etape 2. Observations

- 2.1. Verse maintenant la totalité du sel dans l'eau, bouche le tube avec le bouchon puis mélange pendant 30 secondes en bloquant le bouchon avec un doigt.

- 2.2. Que fait le niveau de liquide ? Choisis l'une des propositions :

- ☐ Le niveau reste le même
- ☐ Le niveau diminue en dessous du trait
- ☐ Le niveau monte au dessus du trait

- 2.3. Compare ce résultat à ta prévision. Avais-tu raison ? ☐ oui ☐ non

Si tu as répondu « oui », passe à l'étape 3 au verso de cette feuille.
Si tu as répondu « non » : comment expliques-tu l'évolution réelle du niveau de liquide ?

Passe ensuite au verso de cette feuille

2

Etape 3. Texte à trous

Complète ce texte à trous avec les mots suivants (chaque mot ne peut-être utilisé qu'une fois) :

différent / volume de solution / l'eau salée / place / volume total

La solution (ici _____) est composée du solvant (ici l'eau) et du soluté (ici le sel).

Le volume de solution est _____ du volume de solvant seul : $V_{\text{solution}} \neq V_{\text{solvant}}$

Le sel occupe en effet une certaine _____ au sein de la solution.

La concentration d'un soluté est une proportion de la quantité de soluté dans le volume de solution et donc dans le _____.

La concentration d'un soluté est calculable que si le _____ est connu.

Vérifie que ton texte est correct en sortant la feuille, page 4 du dossier.

Prénom et nom :	Ecole :	Date :

Texte à trous complété :

La solution (ici **l'eau salée**) est composée du solvant (ici l'eau) et du soluté (ici le sel).
 Le volume de solution est **différent** du volume de solvant seul :
 Le soluté occupe en effet une certaine **place** au sein de la solution.
 La concentration d'un soluté est une proportion de la quantité de soluté dans le volume de solution et donc dans le **volume total**.
 La concentration en un soluté est calculable que si le **volume de solution** est connu.

Etape 4. Vérifie que tu as compris

Le volume de solution (l'eau salée) est supérieur au volume de solvant (l'eau seule). La manipulation que tu as faite le prouve :

$$V_{\text{solution}} > V_{\text{solvant}}$$

Pour calculer la concentration d'un soluté, tu dois considérer le volume de solution et pas celui de solvant.

La concentration se rapporte à V_{solution} :



$$\gamma = \frac{m_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$$

m est la masse du soluté dissous
(en g)

et

$$C = \frac{n_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$$

n est la quantité de matière du
soluté dissous (en mol)

Ceci implique que si le volume total de la solution n'est pas connu, tu ne peux pas calculer la concentration du soluté même si tu es tenté de la calculer à partir du volume de solvant seul.

Si tu as lu et compris cette page, écris « j'ai lu et compris » (ou « j'ai lu et je n'ai pas compris ») ici à droite :

Rends les feuilles que tu viens de compléter au professeur responsable en vérifiant que ton nom est bien indiqué sur chaque recto.

Continue en sortant la feuille page 5 du dossier.

Annexe 21- Explications données par les élèves de sixième primaire suite à la question « *Que fait le niveau de liquide lorsque du sel de cuisine est ajouté puis dissous (après agitation) dans un volume d'eau ?* »

La colonne de gauche correspond au numéro attribué à l'élève.

La deuxième colonne précise le niveau de liquide prévu par l'élève :

- « Le niveau reste le même » : « N= » ;
- « Le niveau baisse » : « N- » ;
- « Le niveau monte » : « N+ ».

La troisième colonne donne l'explication écrite par l'étudiant (en italique) **après** la manipulation d'ajout du sel dans l'eau.

Elève	Niveau prévu	Explications écrites par l'élève après la manipulation
Le niveau reste le même (12 élèves sur 30)		
1	N=	<i>Le sel vient se dissoudre et ça fait monter l'eau.</i>
2	N=	<i>Le sel se dissout et il fait monter l'eau. Le sel devient non visible à l'œil et devient de l'eau. Le sel remonte à la surface et fais monter l'eau quand on secoue.</i>
3	N=	<i>Parce que le sel est lourd et ça fait monter l'eau et si on aurait mis la moitié du sel je crois que l'eau n'aurait pas monté. (schéma)</i>
4	N=	<i>Quand on a secoué l'eau + le sel l'eau a monté parce que le sel est --. Le sel s'est transformé en eau et s'est arraché donc, l'eau a monté. (schéma)</i>
5	N=	<i>Le sel redescend au fond du tube et fait donc monter l'eau. (schéma)</i>
6	N=	<i>Je croyais que le niveau allait être le même. Mais non. Avec la lourdeur du sel l'eau est montée. Je croyais que l'eau n'allait pas monter parce que le sel allait absorber l'eau. Mais la je crois qu'avec le sel qui était en bas l'eau n'allait pas passer à travers. Pourtant l'eau de la mer ne monte pas et il y a du sel dedans. Mais là elle est montée. (schéma)</i>
7	N=	<i>Parce que le sel se dissout. Parce que le poids du sel l'a fait monter. Le sel ou bicarbonate est plus lourd que l'eau donc il coule et en même temps fait monter l'eau.</i>
8	N=	<i>Peut-être que le sel prend un peu de place dans le fond du tube donc l'eau monte un petit peu. Le sel est toujours là mais il est devenu transparent. Par contre l'eau n'est plus transparente mais blanche. Je crois que le sel s'est dissous mais peut-être que ça a toujours le goût de l'eau salée. (schéma)</i>
9	N=	<i>Je crois que le niveau monte parce que ça fait une sorte de réaction chimique. Comme quand on plonge un mentos dans une boisson très sucrée et pétillante tels que le soda. Se dissoudre : se répartir en plusieurs morceaux à peine visibles, prendre la forme de l'eau.</i>
10	N=	<i>Je croyais que le sel se dissoudrait dans l'eau mais il ne s'est pas dissous, il s'est posé au fond du tube. Le sel a pris du volume dans</i>

		<i>l'eau. (schéma)</i>
11	N=	<i>Je croyais que le sel allait se dissoudre comme un comprimé et comme quand on met pour des pâtes dans le tube mais je me suis trompé. Et en plus quand on mélange le sel reste au fond. Pour moi dissoudre = c'est quand un « comprimé » rétrécit dans l'eau, il diminue de volume puis il disparaît complètement, comme les cachets de médicaments. (schéma)</i>
12	N=	<i>Elle a monté. Au début, je croyais que si on mettait le sel, il allait fondre mais rester normalement. Et bien non elle a monté d'au moins 1 centimètre. Non, c'est plutôt normal qu'elle monte. J'ai sûrement à ce moment là mal réfléchi. Mais quand on regarde tout n'a pas fondu, il reste la plupart du sel au fond. Quand Madame a bien tout mélangé il n'y a plus de sel du tout. Et ça n'a pas monté encore plus. (schéma)</i>
Le niveau baisse (4 élèves sur 30)		
13	N-	<i>Il a monté parce que le sel est descendu et protégé dans l'eau qu'il y a dans le tube. Puisque le sel se décompose dans l'eau. (schéma)</i>
14	N-	<i>Je croyais que les bulles prenaient de la place. Je crois que le sel va faire monter le niveau de l'eau.</i>
15	N-	<i>Je pensais qu'avec l'eau et le sel pouvait faire descendre l'eau en faisant grossir le sel. Le niveau liquide évolue parce qu'on rajoute de la matière organique ou parfois la matière organique se dissout et se transforme en pâte molle et liquide plus ou moins. Et l'eau avec le sel ça sent pas très bon. (schéma)</i>
16	N-	<i>J'ai répondu ça parce que je pensais que le sel allait absorber l'eau. Parce que la mousse fait monter l'eau.</i>
Le niveau monte (14 élèves sur 30)		
17	N+	<i>Parce que le sel c'est des cristaux donc quand on l'a mis le niveau a monté.</i>
18	N+	<i>Parce que le sel a coulé et alors l'eau est remontée puis le sel est descendu mais l'eau était toujours en haut. (Le poids du sel a fait remonter l'eau). Le sel va s'évaporer donc l'eau prendra moins de place ; le sel restera mais on ne le verra pas du tout. (schéma)</i>
19	N+	<i>Parce que le sel est un cristal = un minéral qui fait monter l'eau à la surface. Pour donner de l'eau dans les plantes. Et restera au même niveau il ne descendra jamais ! Comme ça l'arbre grandit et se nourrit. Les nuages produisent de la pluie qui tombe dans le sol. A cause de sels minéraux l'eau monte. Comme ça l'arbre se nourrit et peut vivre ! (schéma)</i>
20	N+	<i>Le sel allait faire une épaisseur dans l'eau, qui la fait monter. Le sel va se mettre au fond de l'eau et va pousser l'eau vers le haut. (schéma)</i>
21	N+	<i>Parce que le sel c'est quelque chose que tu ajoutes alors ça va monter.</i>
22	N+	<i>Car grâce à l'eau le sel fond et devient liquide comme quand on mange du sel avec notre salive le sel devient liquide. Sel = de l'eau + un produit → on cristallise → si on remet de l'eau. (schéma)</i>
23	N+	<i>Comme il y a du sel dans l'eau ça va faire une épaisseur au fond donc l'eau va se mettre dessus et comme il y a du sel dans l'eau le sel</i>

		<i>prend un peu de place alors l'eau monte.</i>
24	N+	<i>Parce que le sel donne une pression dans l'eau et l'eau monte. Le sel descend et l'eau monte. (schéma)</i>
25	N+	<i>Car le sel dans de l'eau redevient de l'eau salée qui fait monter l'eau. Ou alors le sel fait monter l'eau. Le sel se transforme en eau salée qui fait monter l'eau. (schéma)</i>
26	N+	<i>J'ai répondu oui parce que le sel fait monter le niveau d'eau parce que le niveau de sel est lourd par rapport à l'eau.</i>
27	N+	<i>Plus on met de sel dans l'eau plus ça monte c'est comme si on met quelque chose en plus ça augmente. (schéma)</i>
28	N+	<i>Car le sel c'est comme à la mer et (en plus ça pèse quelque chose) ça fait monter l'eau avec l'acidité. (schéma)</i>
29	N+	<i>Avec le sel si tu mélanges avec l'eau ça monte au dessus du trait. Quand tu secoues (fort) avec le sel ça devient amer et c'est pour ça que ça monte.</i>
30	N+	<i>Quand je mets de la grenadine dans ma bouteille d'eau elle déborde, alors je retire de l'eau (parce que il y a du volume). (schéma)</i>

Annexe 22- Explications données par les étudiants en AESS suite à la question « *Que fait le niveau de liquide lorsque du sel de cuisine est ajouté puis dissous (après agitation) dans un volume d'eau ?* »

La colonne de gauche correspond au numéro attribué à l'étudiant.

La deuxième colonne précise le niveau de liquide prévu par l'étudiant :

- « Le niveau reste le même » : « N= » ;
- « Le niveau baisse » : « N- » ;
- « Le niveau monte » : « N+ ».

La troisième colonne donne l'explication écrite par l'étudiant (en italique) avant et après (en gras) la manipulation d'ajout du sel dans l'eau.

Etudiant	Niveau prévu	Explications écrites par l'élève avant et après (en gras) la manipulation
Le niveau reste le même (18 étudiants sur 29)		
1	N=	Avant : Les ions Na^+ et Cl^- vont s'intercaler entre les molécules d'eau (dans les espaces « vides »). Le volume de la solution va donc rester le même. Après : les ions « prennent de la place » entre les molécules d'eau : les espaces intermoléculaires de l'eau augmentent, ce qui augmente son volume total. Les ions « bloquent » les interactions entre les moments dipolaires des molécules d'eau. Elles sont moins attirées entre elles et sont donc plus espacées.
2	N=	Avant : Si la dissolution est complète, le niveau de l'eau n'augmente pas sensiblement. Nous estimons que la quantité de sel est telle que la dissolution sera complète. Si par contre la solution est concentrée de telle sorte qu'il n'y a pas dissolution complète, le niveau augmenterait. Après : Nous avons estimé que le volume reste constant, ceci serait vrai dans des solutions très diluées.
3	N=	Avant : Lors de la dissolution, le sel devient des espèces Na^+ et Cl^-, les interactions entre les ions et l'eau sont des interactions électrostatiques importantes et donc, la distance diminue. Après : Le gain du aux distances entre les espèces du aux interactions électrostatiques entre les espèces sont négligeables en comparaison au volume des espèces.
4	N=	Avant : / Après : Même dissous le sel occupe un certain volume.
5	N=	Avant : La masse volumique changera, la masse va augmenter mais pas le volume. Après : Le sel change de phase mais garde un volume quand même.
6	N=	Avant : Le mélange permet la dissolution totale du sel → donc, le niveau va rester le même. Après : Le NaCl se dissout dans l'eau $\text{NaCl} \rightarrow (\text{H}_2\text{O}) \text{Na}^+$ et Cl^- les 2 ions vont s'entourer d'eau.

7	N=	Avant : le sel se dissout dans l'eau : $\text{NaCl} \rightarrow (\text{H}_2\text{O}) \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$. Les liaisons Na - Cl se cassent et les ions s'entourent d'eau. Ils prennent la place du vide situé ~~dans les atomes~~ entre les molécules d'eau ??? Après : Lavoisier : ~~rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme~~ → ???
8	N=	Avant : Les molécules d'eau vont dissoudre le NaCl et entourer les ions plus gros que les molécules d'eau → niveau reste le même (comme petits cailloux s'insèrent entre gros cailloux). Après : Les molécules d'eau demandent plus d'espace que les espaces entre les ions. L'eau entoure les ions.
9	N=	Avant : On n'est pas à saturation → le sel va complètement se dissoudre dans l'eau et le volume reste le même. Après : Le sel est parfaitement dissous et le niveau monte au dessus du trait. Différence avec ma prévision : j'avais pensé que l'ajout de matière (sel) dans l'eau allait faire monter le niveau du liquide (logique...) mais je pensais qu'il y avait un piège et j'ai donc choisi une autre réponse (comme quoi les conceptions peuvent être justes...)
10	N=	Avant : NaCl se dissocie en ions Na^+ et Cl^-, qui se mélangent aux molécules d'eau → laissent entre elles un espace suffisant. Après : volume 1 + volume 2 = volume 3...
11	N=	Avant : Le sel est totalement dissous dans l'eau donc le niveau de liquide ne va pas changer. Après : L'ajout de matière modifie le volume total.
12	N=	Avant : Le sel va se dissoudre dans l'eau. Le volume d'eau restera le même mais alors concentré en sel. Après : Je pensais, à tort, que le sel serait (en étant dissous) « intégré » à l'eau, rendant l'eau concentrée mais à volume inchangé. Il semble que le volume augmente, j'ai beaucoup hésité...
13	N=	Avant : Etape 1 : le niveau augmente car le sel prend un certain volume. Etape 2 : propriétés dessicantes du sel : absorption d'eau par les grains avant le passage en solution → « Volume de l'eau diminue » Etape 3 : équilibre après la mise en solution. Après : Pas d'espace entre les molécules d'eau → le sel dissous ne peut s'y glisser. Il se place donc entre les molécules d'eau et le volume augmente.
14	N=	Avant : Dissolution des cristaux et « réarrangement » des atomes par interaction avec l'eau → le volume ne varie pas. Après : Même s'il y a dissolution → « rien de se crée, rien ne se perd » → sel occupe quand même un certain volume qui s'ajoute à celui de l'eau.
15	N=	Avant : vu la dissolution complète, on n'observera pas de dépôt de NaCl, on n'observera dès lors pas une montée importante du trait.

		Après : Quantité faible → montée faible et quantité importante → montée importante.
16	N=	Avant : Les ions vont s'intercaler dans les espaces entre les molécules d'eau. Après : Il faut ajouter le volume du sel.
17	N=	Avant : le NaCl va se dissocier en Na^+ et Cl^- . L'eau est une molécule polaire, et donc les molécules d'eau vont venir entourer les ions en rompant les liaisons ioniques dont la longueur est plus petite. Après : La masse de sel ajoutée est importante et a donc un impact sur la quantité de matière finale.
18	N=	Avant : Car l'eau salée est plus dense que l'eau seule. Après : L'augmentation de densité n'est pas « compensée » complètement par le volume occupé par les ions Na^+ et Cl^-.
Le niveau baisse (1 étudiant sur 29)		
19	N-	Avant : Mélange homogène $\text{NaCl} \rightarrow (\text{H}_2\text{O}) \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$. Diminution forces répulsions entre molécules d'eau → diminution volume de solution. Après : Volume eau + volume NaCl, augmentation volume total.
Le niveau monte (10 étudiants sur 29)		
20	N+	Avant : Le sel a un certain volume propre. Et même si une fois dissous, on obtient de l'eau salée dont la densité est plus importante que l'eau, je pense que ce volume de sel ajouté va causer une augmentation du volume total.
21	N+	Avant : Dissolution de NaCl en Na^+ et Cl^- . Masse totale augmente et donc volume augmente mais quantité faible donc monte très peu.
22	N+	Avant : Une certaine quantité de matière (un certain volume) est ajouté à l'eau.
23	N+	Avant : Le sel à une masse, elle va donc déplacer un volume d'eau équivalent.
24	N+	Avant : quand on ajoute quelque chose dans une solution d'eau, le niveau augmente mais je n'ai pas d'explication précise. Après : volume du sel + volume de l'eau → augmentation du volume total.
25	N+	Avant : Le volume de sel s'ajoute au volume d'eau et les réactions entre NaCl et H_2O ne permettent pas de descendre en dessous du trait. Les molécules d' H_2O sont petites il est donc difficile de réduire le volume comme avec une solution d'alcool.
26	N+	Avant : Effectivement il y a dissolution, mais je m'attends à une augmentation du volume total suite à l'ajout de la masse de sel.
27	N+	Avant : Le volume final sera égal au volume d'eau de départ + le volume que le sel occupera.

28	N+	Avant : Les ions constitutifs du NaCl vont se dissocier sans qu'il y ait production de gaz donc la quantité totale de matière dans le tube va augmenter donc le volume également.
29	N+	Avant : Le sel se dissout pour donner NaOH et HCl. Le liquide augmente du volume du sel mis en solution car il n'y a pas de dégagement de gaz.

Annexe 23 - Outil de remédiation pour l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de solution* » impliquant un conflit percepto-cognitif et une inhibition des conceptions non pertinentes - Etapes 4 et 5

Les étapes 1 à 3 sont identiques à la remédiation de l'annexe 20 : Outil de remédiation pour l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de la solution* » impliquant un conflit percepto-cognitif.

Texte à trous complété :

La solution (ici **l'eau salée**) est composée du solvant (ici l'eau) et du soluté (ici le sel).
 Le volume de solution est **différent** du volume de solvant seul :
 Le soluté occupe en effet une certaine **place** au sein de la solution.
 La concentration d'un soluté est une proportion de la quantité de soluté dans le volume de solution et donc dans le **volume total**.
 La concentration en un soluté est calculable que si le **volume de solution** est connu.

Etape 4 : Bien activer les bonnes conceptions !

Une conception est l'idée que tu as à propos d'un sujet.

Plusieurs conceptions peuvent entrer en compétition dans ta tête. Pour répondre correctement à une question dans un contexte particulier, tu dois activer la conception pertinente (la bonne conception) dans ce contexte.

Dans le cas de la dissolution d'un soluté (ici, le sel) dans un solvant (ici, l'eau), tu dois activer cette conception : « le volume de solution (l'eau salée) est supérieur au volume de solvant (l'eau seule) ».
 La manipulation que tu as faite le prouve.

Pour calculer la concentration d'un soluté, tu dois considérer le volume de solution et pas celui de solvant.

Ainsi, voici deux conceptions que tu dois activer lorsque tu travailles le concept de concentration en chimie :

Conception 1. $V_{\text{solution}} > V_{\text{solvant}}$

Conception 2. La concentration se rapporte à V_{solution} :



$$\gamma = \frac{m_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$$

m est la masse du soluté dissous
(en g)

et

$$C = \frac{n_{\text{soluté}}}{V_{\text{solution}}}$$

n est la quantité de matière du
soluté dissous (en mol)

Ceci implique que si le volume total de la solution n'est pas connu, tu ne peux pas calculer la concentration du soluté même si tu es tenté de la calculer à partir du volume de solvant seul.

Si tu as lu et compris cette page, écris « *j'ai lu et compris* » (ou « *j'ai lu et je n'ai pas compris* ») ici à droite

Passe ensuite au verso de cette feuille.

Etape 5. Vérification de la copie d'Alex

Voici la copie d'Alex, un élève de troisième. Vérifie que les phrases qu'il a écrites sont correctes autrement dit, vérifie qu'Alex a bien activé la bonne conception : « Pour le calcul de la concentration, j'utilise le volume total de solution et pas celui de solvant ».

Pour chaque phrase écrite par Alex, coche la case :

- « Activation de V solution » si la phrase d'Alex est correcte : il a correctement considéré le volume de solution et pas celui de solvant.
- « Non activation de V solution » si la phrase d'Alex est incorrecte : il n'a pas considéré le volume de solution mais celui de solvant. **Corrige alors sa phrase.**



Phrases écrites par Alex	Activation de V solution Bien !	Non activation de V solution Pas bien !
1. La concentration en sel est le rapport entre la quantité de sel et le volume d'eau.		
2. Si je mets du sucre dans de l'eau, je calcule la concentration en sucre en divisant la quantité de sucre par le volume d'eau sucrée.		
3. Pour préparer 1 litre d'une solution de sel dont la concentration sera 120 g/L, je dois mettre 1 litre d'eau dans une fiole de 1 litre puis rajouter 120g de sel.		
Correction des 3 premières phrases d'Alex (ne coche rien à droite) : 1. Pas bien : il faut diviser par le volume d'eau salée 2. Bien : Alex divise bien par le volume total d'eau sucrée 3. Pas bien : il faut d'abord mettre 120g de sel puis ajouter l'eau jusqu'au trait de jauge pour que le volume total soit de 1 litre. Si tu as mal corrigé Alex, reste vigilant pour la suite : active bien la conception : « la concentration se ramène au volume de solution ».		
4. Une solution préparée avec 10g de sel dissous dans 100 mL (0,100L) d'eau a une concentration de 100g/L		
5. Pour préparer 1 litre d'une solution de sucre dont la concentration sera 50 g/L, je dois mettre 50g de sucre puis ajouter l'eau jusqu'au trait de jauge pour avoir un volume total de solution de 1 litre.		
Correction des 2 dernières phrases (ne coche rien à droite) : 4. Pas bien : Alex ne connaît pas le volume total de la solution après l'ajout du sel dans l'eau – <u>il ne peut pas calculer</u> la concentration en sel. 5. Bien ! Alex a bien considéré le volume total de solution.		

Rends les feuilles que tu viens de compléter au professeur responsable en vérifiant que ton nom est bien indiqué sur chaque recto.

Continue en sortant la feuille page 6 du dossier.

Annexe 24 - Résultats obtenus suite à l'utilisation de l'outil de remédiation à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* » impliquant un conflit percepto-cognitif

Les explications données par les élèves qui permettent de dénommer le conflit cognitif apparent comme positif (« CC+ »), « négatif (« CC - ») ou non explicite (« CC ? ») sont données dans l'annexe 25.

N° attribué à l'élève	C départ (mol/L)	Ajout solvant			Vidange solution			Evaporation solvant			Gain conceptuel par élève -4 à +4
		C prévue (mol/L)	C lue (mol/L)	Conflit Cognitif apparent	C prévue (mol/L)	C lue (mol/L)	Conflit Cognitif apparent	C prévue (mol/L)	C lue (mol/L)	Conflit Cognitif apparent	
1	1,130	C diminue	0,565	-	1,130	0,565	CC ?	1,130	1,130	-	+2
2	1,130	0,565	0,565	-	0,565	0,565	-	1,130	1,130	-	0
3	1,600	0,800	0,800	-	0,800	0,800	-	1,600	1,619	-	0
4	1,100	0,550	0,550	-	0,550	0,550	-	1,100	1,100	-	0
5	1,060	0,530	0,530	-	0,530	0,530	-	1,060	1,060	-	0
6	1,290	0,645	0,645	-	0,645	0,645	-	1,290	1,296	-	0
7	1,130	0,565	0,565	-	0,565	0,565	-	1,130	1,130	-	0
8	1,520	0,760	0,760	-	0,760	0,760	-	0,760	1,520	CC+	0
9	1,660	0,830	0,830	-	1,660	0,830	CC+	1,660	1,660	-	+1
10	1,520	0,760	0,760	-	0,760	0,760	-	1,520	1,520	-	0
11	1,370	0,685	0,685	-	1,370	0,685	CC+	0,685	1,370	CC+	0
12	1,080	0,540	0,540	-	1,080	0,540	CC+	0,270	1,078	CC+	-1
13	1,490	0,745	0,745	-	0,745	0,745	-	0,745	1,490	CC+	+1
14	1,060	0,540	0,540	-	0,540	0,540	-	1,060	1,060	-	0
15	1,500	0,750	0,750	-	0,750	0,750	-	1,500	1,500	-	+1

16	1,510	C diminue	0,755	-	C=	0,755	-	C=	1,510	CC+	+2
17	1,120	1,120	0,560	CC+	1,120	0,560	CC+	C diminue	1,120	CC+	+2
18	1,100	1,100	0,550	CC ?	1,100	0,550	CC ?	0,550	0,550	-	0
19	1,040	0,520	0,520	-	0,520	0,520	-	1,040	1,040	-	0
20	1,090	1,090	0,545	CC+	0,545	0,545	-	0,545	1,090	CC+	-1
21	1,070	0,535	0,535	-	0,535	0,535	-	1,070	1,070	-	0
22	1,500	0,750	0,750	-	0,750	0,750	-	1,500	1,500	-	0
23	1,010	1,010	0,505	CC ?	0,505	0,505	-	0,7575	1,010	CC ?	0
24	1,530	0,765	0,765	-	0,765	0,765	-	1,530	1,530	-	0
25	1,780	1,780	0,890	CC+	0,890	0,890	-	1,000	1,780	CC+	0
26	1,090	0,545	0,545	-	0,545	0,545	-	1,090	1,090	-	+1
27	1,130	1,130	0,565	CC+	0,565	0,565	-	1,130	1,130	-	+1
28	1,380	1,380	0,690	CC+	1,380	0,690	CC+	C diminue	1,380	CC+	+4
29	1,120	0,560	0,560	-	0,560	0,560	-	1,120	1,120	-	0
30	1,511	0,755	0,755	-	0,755	0,755	-	1,511	1,511	-	0
31	1,130	0,565	0,565	-	0,565	0,565	-	1,130	1,130	-	0
32	1,110	0,555	0,555	-	0,555	0,555	-	1,110	1,110	-	+1
33	1,170	2,340	0,585	CC+	1,170	0,585	CC+	0,585	1,170	CC +	-1
34	1,530	0,765	0,765	-	0,765	0,765	-	2C	1,530	-	+1
35	1,050	0,525	0,525	-	0,525	0,525	-	1,050	1,050	-	+2
36	2,000	1,000	1,000	-	0,500	1,000	CC+	1,000	2,000	CC+	+1
37	1,600	0,530	0,800	CC ?	0,600	0,800	CC+	1,600	1,600	-	+2
38	1,360	0,680	0,680	-	0,680	0,680	-	1,360	1,360	-	-1
39	1,500	1,000	0,750	CC ?	0,750	0,750	-	0,750	1,500	CC+	+3

40	1,520	0,760	0,760	-	0,760	0,760	-	0,382	1,520	CC+	0
41	1,510	0,755	0,755	-	0,755	0,755	-	1,510	1,510	-	0
42	1,500	C/2	0,750	-	C=	0,750	-	C=	1,500	CC+	+3
43	1,520	1,520	0,760	CC+	0,760	0,760	-	0,760	1,520	CC+	+1
44	1,500	0,750	0,750	-	0,750	0,750	-	1,500	1,500	-	+1
45	1,250	1,250	0,625	CC+	0,3125	0,625	CC ?	1,250	1,250	-	0
46	1,200	0,600	0,600	-	0,600	0,600	-	0,600	1,200	CC ?	+1
47	1,050	0,525	0,525	-	C=	0,525	-	1,050	1,050	-	0
48	1,200	0,600	0,600	-	0,300	0,600	CC+	0,600	1,200	CC -	0
49	1,540	0,770	0,770	-	0,385	0,770	CC+	0,770	1,540	CC ?	+3
50	1,290	0,645	0,645	-	0,645	0,645	-	0,645	1,290	CC+	-1
51	2,000	1,000	1,000	-	1,000	1,000	-	2,000	2,000	-	0
52	1,500	0,750	0,750	-	0,750	0,750	-	0,750	1,500	CC-	0
53	1,860	2,360	0,930	CC+	1,860	0,930	CC+	0,930	1,860	CC ?	+1
54	1,500	0,750	0,750	-	0,750	0,750	-	0,750	1,500	CC+	-2
55	1,400	0,700	0,700	-	0,700	0,700	-	1,400	1,400	-	0
56	1,040	0,520	0,520	-	0,520	0,520	-	1,040	1,040	-	+1
Bilan	13 CC dont 9CC+				14 CC dont 11CC+			23 CC dont 18CC+			Gain moyen : +0,518
	9 : C= 2 : 2C 2 : C diminue				9 : 2C 4 : C/2 1 : C diminue			17 = C= 2 : C/2 2 : C diminue 2 : C augmente			

Annexe 25 - Résultats obtenus suite à l'utilisation de l'outil de remédiation à l'erreur « *La concentration n'est pas comprise comme une proportion* » impliquant un conflit percepto-cognitif

Explications écrites par les élèves qui obtiennent une différence entre les concentrations prévues et celles lues - Type de conflit cognitif.

Dans ce tableau, ne sont repris que les élèves qui ont observé une différence entre la concentration qu'ils prévoient et celle qu'ils lisent à l'écran.

La colonne de gauche correspond au numéro attribué à l'élève.

La colonne centrale précise la concentration prévue par l'élève puis son explication suite à l'éventuel conflit percepto-cognitif (en italique). Les explications sont triées en fonction du paramètre modifié (ajout de solvant puis vidange puis évaporation de solvant).

Dans la colonne de droite est précisé le type de conflit cognitif apparent qui aurait eu lieu :

- « CC+ » : conflit cognitif positif (qui semble aboutir à une conception experte)
- « CC ? » : conflit cognitif non explicite (explication qui ne permet pas de déduire si le conflit cognitif est positif ou négatif)
- « CC- » : conflit cognitif négatif (qui ne semble pas aboutir à une conception experte)

Suite à l'ajout de solvant jusqu'à doubler le volume de solution		
17	Concentration prévue après ajout de solvant : la même « <i>Lorsqu'on ajoute du solvant, les particules s'éparpillent.</i> »	CC+
18	Concentration prévue après ajout de solvant : la même « <i>Le soluté se dissout dans le solvant.</i> »	CC ?
20	Concentration prévue après ajout de solvant : la même « <i>Si on double le solvant, la concentration est divisée par 2.</i> »	CC+
23	Concentration prévue après ajout de solvant : la même « <i>Même si on ajoute de l'eau, la concentration reste la même</i> »	CC ?
25	Concentration prévue après ajout de solvant : la même « <i>De l'eau est rajoutée ce qui fait que la concentration « s'étend » un peu plus dans le récipient. Elle diminue donc.</i> »	CC+
27	Concentration prévue après ajout de solvant : la même « <i>La concentration est divisée en deux car la solution a doublé de volume et est donc 2 fois plus diluée.</i> »	CC+
28	Concentration prévue après ajout de solvant : la même « <i>Plus on rajoute de solvant moins la concentration est élevée.</i> »	CC+
33	Concentration prévue après ajout de solvant : double « <i>On doit diviser par 2 la première concentration.</i> »	CC+
37	Concentration prévue après ajout de solvant : elle diminue mais pas moitié « <i>Peut-être que le solvant n'est pas « pur » et qu'il y a des choses qui</i>	CC ?

	<i>font varier l'évolution. »</i>	
39	Concentration prévue après ajout de solvant : elle diminue mais pas moitié <i>« Je ne sais vraiment pas. »</i>	CC ?
43	Concentration prévue après ajout de solvant : la même <i>« La quantité d'eau n'était pas un litre mais de la moitié avec le double d'eau on a la moitié de la concentration. »</i>	CC+
45	Concentration prévue après ajout de solvant : la même <i>« Il y avait 1,250 mol/L pour 0,5 L d'eau. Si on ajoute 0,5 L d'eau c'est-à-dire le double de la base au total, la concentration est divisée par 2. »</i>	CC+
53	Concentration prévue après ajout de solvant : double <i>« Car l'eau a dilué. »</i>	CC+
Suite à la vidange de la moitié de la solution		
1	Concentration prévue après vidange : double <i>« Elle ne change pas car on aurait la même concentration si on aurait 1 litre. »</i>	CC ?
9	Concentration prévue après vidange : double <i>« Le soluté reste le même, même si on retire du solvant car le soluté part avec. Comme ça vidange, tout part donc la concentration reste la même. »</i>	CC+
11	Concentration prévue après vidange : double <i>« L'eau se vide de moitié mais la concentration reste la même car le soluté se vide aussi à moitié. »</i>	CC+
12	Concentration prévue après vidange : double <i>« Car en vidangeant, le NiCl_2 est évacué aussi »</i>	CC+
17	Concentration prévue après vidange : double <i>« Quand on retire 0,5 L à la solution, il y a le solvant qui « part » mais aussi le soluté car celui-ci est compris dans le solvant. »</i>	CC+
18	Concentration prévue après vidange : double <i>« La concentration est une proportion. »</i>	CC ?
28	Concentration prévue après vidange : double <i>« Quand on retire une partie de la solution ça ne change pas la concentration. »</i>	CC+
33	Concentration prévue après vidange : double <i>« Elle reste la même. »</i>	CC +
36	Concentration prévue après vidange : la moitié <i>« Je pense qu'il n'y a plus que 0,5 mol mais pas dans 1L seulement dans 0,5L. Du coup, si on multiplie par 2, ça fera 1mol/L et non pas 0,5mol/L comme je l'avais pensé. »</i>	CC+
37	Concentration prévue après vidange : elle diminue <i>« Des molécules de NiCl_2 sont parties donc cela n'a pas été modifié. »</i>	CC+
45	Concentration prévue après vidange : la moitié	CC ?

	« La moitié du solvant est partie mais la concentration ne varie pas. »	
48	Concentration prévue après vidange : la moitié « Elle reste la même, elle ne bouge pas. »	CC+
49	Concentration prévue après vidange : la moitié « La concentration change seulement si on ajoute du soluté ou si on ajoute de l'eau. »	CC+
53	Concentration prévue après vidange : double « La concentration ne change pas. »	CC+
Suite à l'évaporation de solvant jusqu'à réduire de moitié le volume de solution		
8	Concentration prévue après évaporation : la même « Le chlorure de nickel ne s'est pas évaporé avec l'eau donc il y aura moins d'eau avec la même quantité ce qui donne une plus grande concentration. »	CC+
11	Concentration prévue après évaporation : la même « Car l'eau s'est évaporée mais le chlorure de nickel, lui est resté. La concentration change donc. »	CC+
12	Concentration prévue après évaporation : la moitié « Car l'eau s'évapore et le NiCl_2 reste dans le récipient donc la concentration augmente. »	CC+
13	Concentration prévue après évaporation : la même « L'évaporation ne fait partir que l'eau, le soluté reste donc et augmente la concentration. »	CC+
16	Concentration prévue après évaporation : la même « Car seulement l'eau s'évapore et pas le soluté. Si toute l'eau s'évapore on devrait avoir la même concentration qu'au départ. »	CC+
17	Concentration prévue après évaporation : elle diminue « Même nombre de soluté mais moins de quantité de solvant donc la concentration est plus élevée. »	CC+
20	Concentration prévue après évaporation : la même « Le soluté ne s'évapore pas, la concentration dans l'eau est donc plus grande vu qu'il n'y a plus la même quantité d'eau. »	CC+
23	Concentration prévue après évaporation : elle augmente sans doubler « Avec l'évaporation, l'eau se délie du NiCl_2 donc la concentration devient plus concentrée. »	CC ?
25	Concentration prévue après évaporation : elle augmente sans doubler « Elle a augmenté car il y a maintenant moins d'eau mais la concentration ne s'est pas évaporée. »	CC+
28	Concentration prévue après évaporation : elle diminue « Quand on évapore le solvant diminue donc la concentration augmente. »	CC+
33	Concentration prévue après évaporation : la même	CC +

	« Elle double. »	
36	Concentration prévue après évaporation : la même « Il y a 2 fois moins de solvant mais le même nombre de mol. Comme le soluté est moins dilué, la concentration augmente. »	CC+
39	Concentration prévue après évaporation : la même « Quand on évapore la solution, le nombre de mole double. »	CC+
40	Concentration prévue après évaporation : la moitié « Pendant l'évaporation, il n'y a que l'eau qui est partie. Donc le chlorure de nickel est resté et a doublé. »	CC+
42	Concentration prévue après évaporation : la même « La concentration devient plus importante. »	CC+
43	Concentration prévue après évaporation : la même « Seule l'eau s'évapore le produit lui reste présent donc le volume pour la quantité d'eau est plus important. »	CC+
46	Concentration prévue après évaporation : la même -	CC ?
48	Concentration prévue après évaporation : la même « Le NiCl_2 s'est évaporé aussi. »	CC -
49	Concentration prévue après évaporation : la même « Je ne sais pas. »	CC ?
50	Concentration prévue après évaporation : la même « La concentration est devenue celle de départ car il n'y a que l'eau qui s'est évaporée. »	CC+
52	Concentration prévue après évaporation : la même « Lorsque la solution s'évapore, une partie du soluté s'évapore avec lui : comme une partie du solvant puisqu'ils forment un tout (solution). »	CC -
53	Concentration prévue après évaporation : la même -	CC ?
54	Concentration prévue après évaporation : la même « Car le soluté ne s'évapore pas avec l'eau. »	CC+

Annexe 26 - Résultats obtenus suite à l'utilisation des outils de remédiation à l'erreur « *Le volume considéré n'est pas celui de solution* » (CC et CC+EI)

Explications écrites par les élèves qui obtiennent une différence entre le niveau de liquide prévu et celui observé - Type de conflit cognitif et gain conceptuel par élève.

Dans ce tableau, ne sont repris que les élèves qui ont observé une différence entre leur prévision de niveau de liquide et le niveau réel après dissolution du sel.

La colonne de gauche correspond au numéro attribué à l'élève.

La deuxième colonne précise le niveau de liquide prévu par l'élève :

- « Le niveau reste le même » : « N= »
- « le niveau descend » : « N- »

La troisième colonne donne l'explication écrite par l'élève (en italique) avant et **après** (en gras) l'éventuel conflit percepto-cognitif. Il n'avait pas été demandé d'explication suite à la prévision pour les 56 premiers élèves.

Dans la quatrième colonne est précisé le type de conflit cognitif apparent qui aurait eu lieu :

- « CC+ » : conflit cognitif positif (qui semble aboutir à une conception experte)
- « CC ? » : conflit cognitif non explicite (explication qui ne permet pas de déduire si le conflit cognitif est positif ou négatif)
- « CC- » : conflit cognitif négatif (qui ne semble pas aboutir à une conception experte)

La colonne de droite précise le gain conceptuel de l'élève.

Les élèves de 1 à 72 ont réalisé l'activité utilisant le conflit percepto-cognitif.

Les élèves de 73 à 150 ont réalisé l'activité alliant le conflit percepto-cognitif et l'entraînement à l'inhibition des conceptions non pertinentes.

Elève	Niveau prévu	Explications écrites par l'élève avant et après l'éventuel conflit cognitif	Type de CC	Gain
1	N=	Après : <i>Les molécules de sel prennent de la place donc le niveau de la solution monte.</i>	CC+	-1
12	N=	Après : <i>Je pense que le liquide monte car le sel était en trop grosse quantité et n'a pas pu se dissoudre dans l'eau.</i>	CC-	+1
18	N=	Après : -	CC ?	+3
19	N=	Après : <i>La masse de sel fait augmenter le niveau d'eau.</i>	CC+	0
20	N=	Après : <i>Le sel dissous occupe plus d'espace dans le tube.</i>	CC+	+1
21	N=	Après : <i>J'ai rajouté de la matière donc c'est logique que ça prenne plus de place.</i>	CC+	+1
22	N=	Après : <i>Il y a plus de molécules, elles occupent donc un plus grand volume.</i>	CC+	+2

23	N=	Après : <i>Il y a trop de sel pour que le niveau reste inchangé.</i>	CC ?	-2
24	N=	Après : <i>Car le soluté a du volume et donc prend de la place dans la solution.</i>	CC+	-1
25	N=	Après : <i>Le sel s'est dissous mais a augmenté le niveau de l'eau. Je ne sais pas comment.</i>	CC ?	-1
27	N=	Après : <i>Le sel, même s'il se dissout, prend du volume qui s'ajoute donc à l'eau.</i>	CC+	+2
28	N=	Après : <i>Quand on ajoute du sel dans une solution, celle-ci augmente. Le volume augmente.</i>	CC+	+1
31	N=	Après : <i>On ajoute des molécules dans le tube et donc le mélange prend plus de place</i>	CC+	+1
32	N=	Après : <i>Je pense qu'avec les molécules de NaCl, le niveau de l'eau a augmenté.</i>	CC+	-2
35	N=	Après : <i>Le sel prend de la place et fait monter le niveau d'eau.</i>	CC+	0
37	N=	Après : <i>Car vu que le tube a essais est petit avec la pression, l'eau monte.</i>	CC ?	+2
39	N=	Après : <i>Le sel ajoute du volume à l'eau.</i>	CC+	+3
40	N=	Après : <i>Je pensais que comme il y avait quelques bulles (espaces) dans l'eau, le sel allait les combler. Mais non, j'aurais dû rester sur ma première idée. C'est logique un volume avec un autre, c'est normal que le volume augmente.</i>	CC+	+3
42	N=	Après : <i>Les molécules de sel se sont incrustées entre celles d'eau.</i>	CC ?	-1
44	N=	Après : -	CC ?	+2
45	N=	Après : <i>Le volume de sel + le volume d'eau = volume total de base donc volume total > volume de l'eau à la base.</i>	CC+	0
48	N=	Après : <i>Le sel se dissout mais prend de la place et donc le liquide augmente de 1cm+-</i>	CC+	+1
49	N=	Après : <i>Parce que le sel se dissout dans l'eau.</i>	CC ?	+1
53	N=	Après : -	CC ?	+1
54	N=	Après : <i>Car on ajoute le sel, cela rajoute de la quantité.</i>	CC+	+1
55	N=	Après : <i>Le sel prend du volume.</i>	CC+	+1
57	N=	Avant : <i>Il reste le même car : d'une part mettre du sel dans l'eau va augmenter son niveau mais d'autre part, le fait qu'il se dissout va nous montrer qu'il pompe un peu d'eau et donc le niveau restera le même.</i> Après : <i>Je suppose que le sel ne pompe pas l'eau et</i>	CC+	+2

		donc il augmente le volume de l'eau.		
58	N=	Avant : Je pense que le sel va absorber l'eau puis va seulement se dissoudre après donc le volume d'eau ne va pas augmenter. Après : Peut-être que les molécules de sel prennent de la place dans les molécules d'eau et donc le volume augmente	CC+	-1
59	N=	Avant : Car le sel se dissout dans l'eau donc le volume ne change pas puisque le sel disparaît. Après : Les molécules de sel ont pris de la place et ont écarté les molécules d'eau donc il y a un plus grand volume.	CC+	0
60	N=	Avant : Je pense que le niveau reste le même car, OK, nous ajoutons quelque chose dans l'eau donc elle devrait être au dessus du trait, mais il va y avoir une dissolution, le sel va se dissoudre dans l'eau donc ça fera de l'eau salée mais le niveau d'eau restera le même. Après : Je pense que le sel ne se dissout pas entièrement et comme il y a plus de chose dans le tube (eau + sel), le niveau de l'eau augmente.	CC-	+1
61	N=	Avant : Je pense qu'en ajoutant le sel dans l'eau, le niveau d'eau n'augmentera pas car c'est une réaction chimique et Lavoisier a dit « Rien ne se perd, rien ne se gagne tout se transforme ». Réaction chimique car produit de départ différent de produit d'arrivée. Après : Ce n'était pas une réaction chimique car si je distille l'eau, je retrouve le sel → quand on ajoute le sel, le volume augmente c'est pourquoi je dépasse le trait.	CC+	+1
62	N=	Avant : Le sel va totalement disparaître dans l'eau mais sans modifier le volume. Après : Le sel de cuisine modifie la concentration massique ce qui fait changer le volume.	CC ?	-1
63	N=	Avant : Première réponse : « Le niveau monte » mais modifié pour « Le niveau reste le même ». ~~Car on rajoute des molécules dans le tube à essais donc~~ car le NaCl va se dissoudre dans l'eau donc « disparaître » sans influencer le niveau de l'eau. Après : Car il y a une évolution du nombre de molécules dans le tube à essais donc le niveau de l'eau va augmenter.	CC+	+3
64	N=	Avant : Le sel en se dissolvant se met entre les molécules d'eau. Après : Je ne sais pas, je pensais avoir bon ! Peut-être que le sel en se mettant ~~dans~~ entre les molécules d'eau les a écartées.	CC+	+1

75	N=	Avant : Car les molécules du sel (qui ne sont pas de la même taille que celles de l'eau) vont pouvoir se mettre dans les petits espaces que les molécules d'eau ont laissés. Après : Les molécules de sel sont sans doute plus grosses que celles d'eau donc elles se sont ajoutées au volume d'eau et donc le volume total a augmenté.	CC ?	+1
82	N=	Avant : Le sel absorbe l'eau et il va prendre la place de l'eau donc le niveau restera le même. Même si on peut penser que le niveau de l'eau pourra augmenter car le sel pourrait prendre de la place. Après : D'un côté je pensais que le niveau allait augmenter car le sel prend de la place.	CC+	+3
89	N=	Avant : Je pense que le niveau restera le même car le sel est dissous complètement dans l'eau. Mais, le niveau augmentera juste un tout petit peu. Après : On ajoute un soluté au solvant, il y a donc une substance en plus donc le niveau monte.	CC+	+1
96	N=	Avant : Les molécules ne sont pas collées l'une à l'autre ! Elles sont espacées. Quand les molécules de sel de cuisine sont dans l'eau, elles se mettent dans l'espace libre. Ça devient un mélange homogène. Après : Les molécules de sel ont une masse qui ont fait augmenter le niveau de l'eau.	CC+	+3
97	N=	Avant : L'eau étant un liquide, elle a des molécules ayant peu de liaison et plus agitées que celles d'un solide ; des espaces sont donc présents entre ces molécules. Le sel de cuisine dissous va se glisser entre ces molécules et ne fera que combler les vides (espace entre les molécules d'eau). Après : Peut-être j'ai sous-estimé la taille de la molécule de sel et exagéré les espaces entre les molécules d'eau. Donc, les espaces entre les molécules d'eau sont plus petits que la taille des molécules de sel. La mise en présence du sel avec l'eau fait augmenter le volume de cette solution.	CC+	+1
99	N=	Avant : Les molécules de sel vont se glisser entre les molécules d'eau donc le niveau va rester le même. Après : Comme l'a précisé un chercheur, rien ne se perd, rien ne se gagne, tout se transforme mais un autre chercheur a précisé que s'il y avait trop de réactif tout se transformait pas. Donc il y avait trop de sel pour ne pas faire monter le niveau.	CC-	+3
100	N=	Avant : Je pense que le sel va se dissoudre totalement dans le liquide (l'eau) mais il n'y aura pas d'impact sur le niveau une fois la solution obtenue. Après : Avec l'ajout de sel, il y a des molécules qui	CC+	+2

		<i>sont venues s'ajouter aux molécules déjà présentes qui explique une montée de l'eau.</i>		
101	N=	Avant : Car le sel ne prend pas de place il se dissout mais l'eau reste au même niveau. Il ne fait que disparaître. Après : Car le sel prend de la place et donc la solution augmente quand le solvant et le soluté sont mis ensemble.	CC+	+1
104	N=	Avant : Les molécules de sel se sont cassées entre les molécules d'eau sans faire augmenter l'écart entre celles-ci. Le volume reste donc le même. Après : Tout le sel n'a pas pu se dissoudre dans l'eau : il y a un dépôt au fond du tube. Le volume de ce dépôt de sel est le volume qui a fait monter le niveau.	CC-	+2
105	N=	Avant : Je pense que le niveau resterait le même car une fois le tube agité, le sel se dilue avec l'eau et crée un mélange homogène. Après : La masse de la totalité du sel fait monter le niveau de l'eau.	CC+	+2
108	N=	Avant : Le sel est un minéral et l'eau contient également des minéraux (calcaire, etc....). Donc le sel se mélange à l'eau et le volume d'eau ne monte pas. Après : Les minéraux prennent un volume et ne disparaissent pas donc le niveau d'eau augmente.	CC+	+3
110	N=	Avant : Le sel va se dissoudre dans l'eau, va se mélanger et donc le liquide ne dépassera pas le trait. Après : Des molécules de sel se sont ajoutées aux molécules d'eau ce qui a provoqué une hausse du niveau de l'eau.	CC+	+2
111	N=	Avant : Le niveau reste le même car le sel a été dissous dans l'eau donc il n'augmentera pas le volume d'eau. Après : On a secoué le liquide donc le niveau a augmenté avec la masse.	CC+	+1
112	N=	Avant : Le niveau au début devrait augmenter mais si le sel se dissout complètement le résultat doit revenir à la ligne. Je pense mais je ne suis pas sûre. Après : Le sel ne s'est pas dissous entièrement.	CC-	-
114	N=	Avant : Le sel va absorber une infime partie de l'eau → le niveau va baisser. Le sel va faire monter légèrement le niveau de l'eau → le niveau restera stable. Après : Il y avait beaucoup de sel si il y avait eu moins, le niveau serait monté moins haut.	CC ?	0
119	N=	Avant : Car les molécules vont se mettre entre celles	CC+	+1

		de l'eau. Après : Les molécules de sel ont séparé celles de l'eau et ont agrandi le niveau.		
122	N=	Avant : Car si l'on ajoute du sel dans l'eau et qu'il se dissout complètement il se place entre les molécules de l'eau. Après : Les molécules de sel prennent de la place entre celles de l'eau mais n'ont pas assez de place.	CC+	0
123	N=	Avant : Une loi dit : rien ne se perd, rien ne se gagne, tout se transforme. Si le sel fait l'effet d'une dissolution complète, l'eau ne bougera pas car il sera « fondu » dans l'eau. Après : Car on a ajouté une matière dans l'eau, c'est comme si on remplissait une bassine a ras bord, si on met dedans, l'eau va déborder.	CC+	+3
125	N=	Avant : Le sel ne va pas modifier le niveau de l'eau. Après : Je sais pas... → Peut-être que le sel prendra de la place dans le tube.	CC+	+3
126	N=	Avant : L'eau sera absorbée, la quantité est faible (le sel), le volume (leur position dans l'espace) n'est pas censé changer. Après : Les deux corps prennent place dans le tube. $V1+V2 = V_{total}$	CC+	+2
128	N=	Avant : Je pense que le sel, une fois dilué, n'augmentera pas la densité de l'eau mais si le sel ne se diluait pas, le volume de l'eau aurait augmenté. Après : Les molécules de sel aurait fait grossir les molécules d'eau ce qui aurait augmenté le volume du liquide et ainsi le faire passer au dessus du trait.	CC+	+3
129	N-	Avant : Je pense que le sel absorbe l'eau Après : Le sel se dissout donc forcément maintenant il y a le sel plus l'eau donc ça augmente.	CC+	0
130	N=	Avant : Comme le sel va se dissoudre, il va en sorte disparaître bien qu'il soit encore là. Après : Les molécules de sel prennent de la place donc même dissoutes, elles augmentent le contenu du tube à essais.	CC+	+2
131	N=	Avant : Le niveau reste le même car le sel se dissout et le sel se mélange à l'eau. L'eau est juste plus salée qu'avant mais c'est la concentration qui augmente. Après : Le sel prend de la place dans le volume d'eau, donc l'eau monte. Ou peut-être, parce que la concentration augmente donc il faut plus de	CC+	+2

		<i>place et donc il monte car le tube est étroit. Et comme c'est le même récipient qu'avant, il monte.</i>		
135	N=	Avant : Premier choix : « Le niveau baisse » <i>car le sel absorbe l'eau.</i> Deuxième choix : « Le niveau reste le même » <i>car si le sel se dissout, le niveau ne bouge pas.</i> Après : Les molécules de sel se sont intercalées entre les molécules d'eau faisant monter le liquide.	CC+	+3
136	N=	Avant : <i>Le sel va se dissoudre dans l'eau donc le volume d'eau ne va pas augmenter.</i> Le sel ne se dissout pas entièrement	CC-	+2
141	N=	Avant : <i>Car les molécules de sel se retrouveront dans un état liquide de l'eau, le volume ne va donc pas changer. Le sel va donc se dissoudre dans l'eau.</i> Après : Les molécules de sel se sont dissoutes, la quantité de molécules de sel a donc augmenté mais celles d'eau est restée la même.	CC+	0
142	N=	Avant : <i>Le sel n'étant pas un liquide ne peut augmenter le niveau dans le tube. Il sera juste dissous.</i> Après : Les cristaux de sel en se diluant font augmenter la concentration de l'eau et donc le volume car tout est en relation.	CC+	+1
143	N=	Avant : <i>Le niveau d'eau ne diminue ou n'augmente pas car le sel se dissout dans l'eau. Ce n'est pas le sel qui fait varier le niveau d'eau car (la concentration) la quantité de sel est inférieure à celle de l'eau.</i> Après : Je ne sais pas, peut-être que les molécules d'eau et de sel formeraient de nouvelles molécules ?	CC ?	0
145	N=	Avant : <i>Si le sel est complètement dissous, le niveau ne change pas car le sel rendra l'eau salée et ne prendra pas de place.</i> Après : En ajoutant du sel on ajoute de nouvelles molécules et donc ça prend plus de place. Alors le niveau monte.	CC+	+3
148	N=	Avant : <i>Pour moi, le niveau reste le même car le sel n'est pas assez lourd et va se dissoudre dans l'eau.</i> Après : A mon avis, les molécules de sel ont alourdi l'eau et l'ont fait monter au-dessus du trait.	CC+	0
150	N=	Avant : <i>Le sel va être dissous dans l'eau donc il n'y aura pas de changement.</i> Après : L'eau n'a pas dissous à fond le sel donc le volume du sel non dissous a fait augmenter celui de l'eau.	CC-	+2

Annexe 27 - Activité de transfert « Le barbecue de Sophie »



Le barbecue de Sophie

Prénom et nom :	Ecole :

*Il fait beau et la maman de Sophie organise un barbecue.
Elle prépare la table puis y pose une cruche contenant 1 litre de limonade.
Pour la préparer, la maman de Sophie a utilisé une recette qui indique qu'il faut 100 g de sucre et 940 ml d'eau citronnée.*

En attendant que la viande cuise, Sophie s'amuse à remplir les tasses de la table avec de la limonade et y ajoute de l'eau ou du sucre. Elle laisse même une tasse au soleil.

Elle goûte les différentes préparations et décide de les ranger sur la table selon leur goût sucré.

Voici les différentes préparations de Sophie :

Tasse 1 : Tasse qui contient 100 ml de la limonade préparée par la maman de Sophie.

Tasse 2 : Tasse qui contient 100 ml de la limonade préparée par la maman de Sophie et où Sophie a ajouté ensuite 10 g de sucre. Sophie a mélangé avec une cuillère.

Tasse 3 : Tasse qui contient 100 ml de la limonade préparée par la maman de Sophie et où Sophie a ajouté ensuite 10 ml d'eau citronnée. Sophie a mélangé avec une cuillère.

Tasse 4 : Tasse qui contient 100 ml de la limonade préparée par la maman de Sophie mais que Sophie a laissé une heure au soleil : il ne reste plus que 90 ml de limonade (le sucre ne s'évapore pas).

1. *Sophie place de gauche à droite sur la table les limonades de la moins sucrée à la plus sucrée.*

Sans réaliser de calculs, prévois le classement que va obtenir Sophie. Explicite clairement ta démarche.

2. *Vérifie ton classement par le calcul de la concentration en sucre dans chaque tasse. Détaille tes calculs.*

