

RESEARCH OUTPUTS / RÉSULTATS DE RECHERCHE

Les difficultés rencontrées dans l'apprentissage du concept de concentration en chimie

Willame, Bénédicte; Snauwaert, Philippe

Published in:

Spirale : revue de recherche en éducation

Publication date:

2015

Document Version

Version revue par les pairs

[Link to publication](#)

Citation for pulished version (HARVARD):

Willame, B & Snauwaert, P 2015, 'Les difficultés rencontrées dans l'apprentissage du concept de concentration en chimie: Construction d'un outil didactique permettant de mettre en évidence les erreurs d'élèves lors de l'utilisation du concept de concentration chimique', *Spirale : revue de recherche en éducation*, vol. 55, pp. 177-205.

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.

LES DIFFICULTES RENCONTREES DANS L'APPRENTISSAGE DU CONCEPT DE CONCENTRATION EN CHIMIE

CONSTRUCTION D'UN OUTIL DIDACTIQUE PERMETTANT DE METTRE EN EVIDENCE LES ERREURS D'ELEVES LORS DE L'UTILISATION DU CONCEPT DE CONCENTRATION CHIMIQUE

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. Le transfert de ce concept dans des situations inédites leur est alors très compliqué voire impossible. Cette recherche se situe dans le cadre théorique du changement conceptuel complété par des résultats d'études en neurosciences. Des questionnaires ouverts et à propositions multiples ont été soumis à des élèves francophones de l'enseignement belge de grade 10 à 12 afin de faire émerger les conceptions des apprenants face au concept de concentration chimique. L'analyse des résultats met en évidence les erreurs les plus fréquemment commises. Les plus récurrentes sont celles liées au caractère intensif de la concentration chimique et à la confusion entre le volume de solvant et celui de solution. Des entretiens individuels permettent de mieux expliciter les principaux dysfonctionnements 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.

Mots-clés : Concentration chimique – Difficultés d'apprentissage – Erreurs - Changement conceptuel – Neurosciences - Transfert.

INTRODUCTION

En Belgique et dans les curricula de nombreux pays, l'apprentissage des sciences ne se limite plus à maîtriser des connaissances et des procédures mais il doit permettre à l'apprenant de mobiliser ses acquis dans des contextes variés, inédits et de complexités différentes : il doit transférer (Perrenoud, 2011).

Des études montrent que cette mobilisation des acquis n'est pas innée (Rey, Carette, Defrance & Kahn, 2012).

L'un des buts de notre recherche est de proposer une stratégie didactique qui permette d'améliorer le transfert d'un concept fondamental en chimie : la concentration chimique.

La concentration en tant que « la mesure d'une masse ou d'une quantité de matière de soluté rapportée au volume de solution » est un concept introduit dès le début de l'enseignement de la chimie dans le système scolaire belge (élèves de 14-15 ans, grade 9).

La première étape de notre étude vise à créer un outil didactique permettant de repérer rapidement les difficultés d'un élève face au concept de concentration chimique afin de l'orienter vers une remédiation adaptée. C'est cette première étape que présente cet article.

Après avoir défini le concept scientifique de « concentration chimique » et analysé la transposition didactique de ce « savoir savant » en « savoir enseigné » à l'école, nous développerons différents cadres didactiques qui s'intéressent aux origines des conceptions des apprenants et aux processus de changement conceptuel qui permettraient de remplacer une conception inappropriée par une conception experte.

Pour rechercher les conceptions que se font les apprenants du concept de concentration chimique, la méthodologie d'enquête par questionnaires a été choisie. L'analyse des réponses sera développée afin de mettre en évidence les erreurs les plus fréquemment commises par les élèves amenés à manipuler ce concept.

Sur base de ces résultats, des entretiens d'explicitation ont été menés. Leur exploitation permettra une discussion dont l'objectif est de mieux comprendre les dysfonctionnements à l'origine de ces erreurs.

Finalement, la dernière partie proposera un outil didactique d'auto-évaluation et ouvrira les perspectives de cette recherche.

LE CONCEPT DE CONCENTRATION CHIMIQUE

La concentration (ou plutôt, les concentrations) en chimie

Dans le sens commun, le mot concentration signifie « *rassemblement, réunion en un point* », du latin : « *cum* » et « *centrum* » (Larousse, 2008). De nombreux exemples de la vie quotidienne illustrent cette idée : concentration de capitaux en économie, concentration des pouvoirs en politique, concentration de motards, les camps de concentration de prisonniers, ...

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 (Arnaud, 1989, p.44-45 ; Nivaldo, 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 M (*unités : mol/L ou mol/m³*) : rapport entre la quantité de matière¹ de soluté et le volume de solution.
- La molalité (*mol/kg*) : rapport entre la quantité de matière de soluté et la masse de solution.
- 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.

De ces différentes expressions de concentration chimique, il en ressort plusieurs constats :

1) Quelle que soit l'expression de la concentration, elle correspond à un rapport, une proportion de soluté dans la solution. Nous définissons dans cette étude le terme « *proportion* » comme « *un rapport entre une partie d'un ensemble et cet ensemble* »².

2) Le rapport se fait entre la quantité de soluté et la quantité totale de solution (et non de solvant). 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.

3) La concentration est une grandeur intensive : 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 10g/L et 20g/L. La concentration en sucre du mélange de ces deux solutions n'est pas égale à 30g/L mais dépendra du volume initial de chacune des solutions. La pression ou la température sont d'autres exemples de grandeurs intensives.

A l'inverse, les grandeurs telles que la quantité de matière ou la masse sont des grandeurs extensives : 10kg de sucre et 20kg de ce même sucre présentent une masse totale de 30kg.

4) 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* ».

¹ La quantité de matière est une grandeur qui exprime la discontinuité de la matière : une certaine masse de matière correspond à un certain nombre 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 (Nivaldo, 2011, p.66-67).

² En mathématiques, le terme « *proportion* » prend une définition différente : « *égalité entre deux rapports : $a/b = c/d$* » (Adam, Close, Lousberg & Tromme, 1997, p.64).

La concentration chimique transposée à l'école

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 1) :

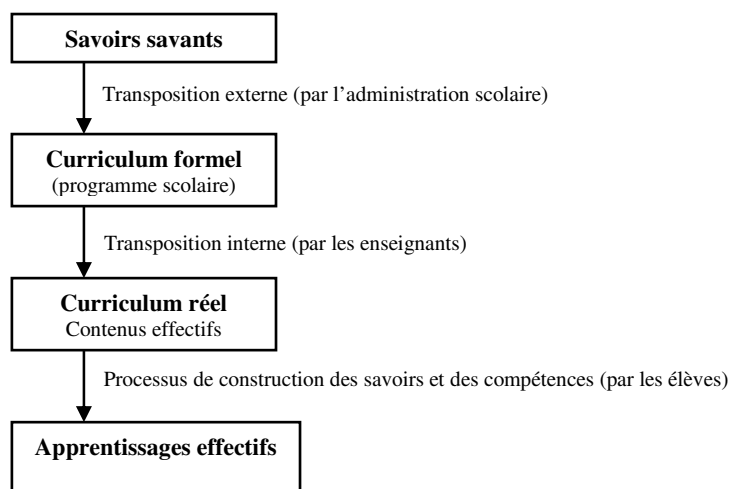


Figure 1. La chaîne de transposition didactique selon P. Perrenoud (1998).

Dans le cas de l'enseignement scientifique, une distinction doit donc être faite entre la chimie du chimiste, la chimie à enseigner, la chimie enseignée, la chimie apprise par les élèves et la chimie évaluée par le système didactique ou à l'extérieur dans le système d'enseignement et dans 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).

Ainsi, la concentration chimique comme tout concept scientifique est soumis à ce processus de transposition didactique.

Nous nous intéressons dans notre recherche à son appropriation dans les classes du secondaire supérieur de l'enseignement belge (élèves de 15-18 ans, grades 10 à 12).

En troisième de l'enseignement secondaire belge (grade 9), seule la concentration massique est introduite. 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.

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 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),...

La notion importante que l'élève doit construire lorsqu'il découvre cette grandeur est que la concentration est une proportion de soluté (comme partie de l'ensemble) dans la solution (qui représente l'ensemble). Dans le cadre de notre étude, nous nommerons cette notion l' « **élément pivot** » de la concentration chimique.

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 (curriculum réel). Certains manuels scolaires et enseignants réalisent cette transposition interne. L'extrait du manuel proposé ci-après en est une illustration. Il s'agit de la partie qui institutionnalise la notion de concentration massique pour des élèves de cinquième en France (grade 9). Le volume considéré est celui de solvant (« 0,1L 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 :

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

Extrait d'un manuel scolaire – 2002 - Edition Hachette Education
Collection étincelle – page 93.

Les apprentissages effectifs des apprenants sont le résultat d'un processus de construction des savoirs et compétences suivi à l'école et dans leur vie quotidienne. Dans le cas de la concentration, ce terme est couramment utilisé dans le langage quotidien des élèves mais il n'a pas le sens attribué à celui enseigné à l'école en tant que grandeur chimique.

DES CONCEPTIONS DES APPRENANTS AUX CONCEPTIONS EXPERTES

Les conceptions des apprenants

Une conception³ est une construction intellectuelle du sujet qui est mobilisée spontanément face à une question ou un problème. 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 (*δεικνω*, 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

³ Dans cet article, 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).

visé 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).

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

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

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.

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

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

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

Posner et al. étudient les conditions du changement :

“ 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).

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). Ce référentiel est formé d'un certain nombre de croyances ou « *cadres théoriques naïfs* » (« *framework theory and mental model* »).

Un exemple de cadre théorique naïf est : « *Ce qui ne se voit plus, n'existe plus* » (Potvin, 2011).

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* », le conflit cognitif permet le changement conceptuel. 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).

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 et 2008) 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* »).

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.

La causalité proportionnelle est un exemple classique de p-prim : « *Si la valeur de A augmente alors celle de B augmente aussi* » (« *More A then more B* »). Un autre exemple est la correspondance équivalente : « *Si deux objets présentent certains paramètres égaux, ils seront égaux en d’autres paramètres* » (« *Same A then same B* »).

Le contexte a 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.

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-prims afin de développer une classe de coordination plus conforme au savoir scientifique) plutôt que d’une modification profonde de son cadre théorique de pensée.

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),...

Les débats actuels portant sur l’origine des conceptions des élèves et le processus du changement conceptuel démontrent bien que nos 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).

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

Les études en neurosciences proposent notamment d’étudier les différences entre les activités cérébrales des novices et des experts lors de l’exécution de tâches cognitives reliées aux sciences.

Grâce à de l’équipement d’imagerie par résonance magnétique (IRM), Steve Masson (2012) a observé que les experts possèdent toujours la trace neurologique de leurs fausses conceptions, mais qu’ils les inhibent, ce qui leur permet, malgré cette trace erronée, de résoudre scientifiquement des problèmes.

Selon Olivier Houdé (2004), 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. Selon cette optique, l’individu met au point 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 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.

Ces recherches en neurosciences 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 (Houdé, 2012 ; Masson, 2012 ; Potvin, 2011 ; Potvin, Riopel & Masson, 2007).

Selon ce modèle, l'apparent changement conceptuel consiste plutôt en une correcte inhibition de la mauvaise conception et une activation de la conception experte :

“ (...) 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)

La figure 2 permet de synthétiser la vision des processus mentaux à l'origine des réponses des élèves à travers le filtre des neurosciences.

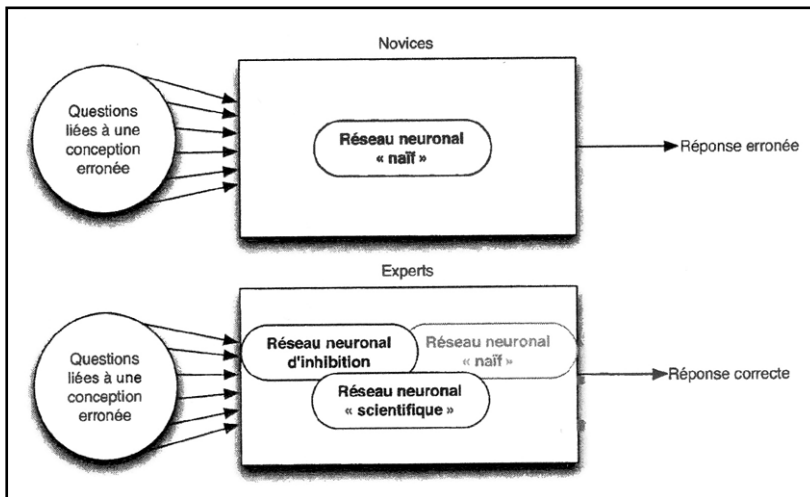


Figure 2. Comparaison des réseaux neuronaux des experts et des novices (Masson, 2012, p.100).

L'organigramme suivant (figure 3) permet finalement de synthétiser les différentes optiques actuelles du changement conceptuel. Les études en neurosciences se placent au niveau cérébral.

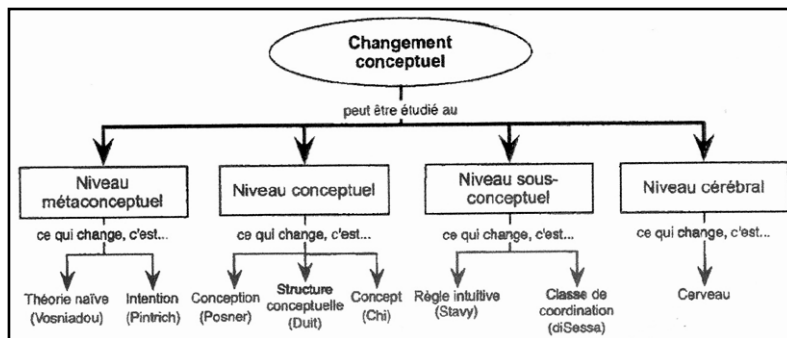


Figure 3. Modèles du changement conceptuel (Masson, 2012, p.34).

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).

QUESTION DE RECHERCHE

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 concentration chimique (en tant que proportion d'un soluté dans une solution) dans une situation inédite 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 la ressource cognitive soit effectivement disponible. Le terme « disponible » signifie pour nous que les éléments que nous appelons « **pivots** » soient présents et clarifiés dans le modèle mental de l'élève ; la notion de proportion est un élément pivot du concept de concentration chimique.

L'étude des erreurs permet de vérifier la disponibilité de ces 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).

Yves Reuter (1998) préfère le terme de « *dysfonctionnement* » qui pour lui est moins réducteur car ce terme associe un lien plus étroit avec le terme de « *fonctionnement* » alors que le terme « *erreur* » est davantage lié à la production de l'élève (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 (en nous limitant dans cet article, aux dysfonctionnements issus des élèves).

Notre question de recherche est : « Quel(s) est (sont) l'(les) outil(s) didactique(s) à 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 ? ».

METHODOLOGIE

Pour débiter ce travail, nous avons entrepris de réaliser une évaluation diagnostique des connaissances et des processus acquis par les élèves sur le concept de concentration chimique.

En mai 2013, une cohorte de 70 élèves du secondaire supérieur belge (15-18 ans, grades 10 à 12) a été soumise à une série de questions ouvertes sur différents concepts de chimie dont le concept de concentration (annexe 1).

Les objectifs de cette première étape étaient de :

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

Une évaluation à questions ouvertes entraîne des formulations de réponses différentes d'un élève à l'autre. Des critères tels que le choix du vocabulaire, l'utilisation de l'outil mathématique, la précision des unités ou encore la similitude de certaines expressions ont donc été définis pour classer les différentes réponses des élèves.

Après analyse du corpus composé des réponses aux questions ouvertes de la première étape, un questionnaire à propositions multiples et choix unique a été construit (annexe 2).

Un paramètre important dans la réalisation de ce questionnaire était que chaque proposition incorrecte permette d'identifier l'erreur que commet l'élève qui la choisit.

Entre novembre 2013 et mai 2014, le questionnaire a été proposé à 223 élèves de quatre écoles différentes (15-18 ans, grades 10 à 12). Ils disposaient de la durée nécessaire pour répondre aux quinze questions (20 à 25 minutes). Parmi les élèves ayant répondu au questionnaire, les 40 derniers ont été interrogés sur une question supplémentaire dont la réponse était ouverte ; ceci afin de préciser nos analyses.

Les objectifs de ce questionnaire étaient de :

- quantifier, pour l'ensemble des élèves interrogés, les fréquences de réponses correctes et incorrectes pour chacune des questions,
- construire un outil d'évaluation des erreurs commises par un élève face au concept de concentration chimique afin de l'orienter vers une remédiation différenciée.

Afin de mieux comprendre les processus cognitifs de l'élève lorsqu'il répond aux différentes questions, des entretiens individuels d'explicitation ont été réalisés (Vermersch, 2011) entre janvier et mai 2014 avec 13 élèves. Les élèves ont été choisis parmi ceux de grade 10 ayant répondu au questionnaire à propositions multiples et choix unique. Ces élèves avaient découvert le concept de concentration molaire quelques semaines avant l'entretien. Afin de limiter les facteurs interprétatifs, les 13 élèves étaient issus de deux classes ayant le même enseignant de chimie. Les élèves interrogés devaient expliciter le choix de la proposition fait au questionnaire à propositions multiples. La durée d'un entretien était d'environ 45 minutes. Chaque entretien a été enregistré et les passages que nous avons considérés les plus évocateurs d'informations pertinentes ont été retranscrits.

L'objectif de ces entretiens était de préciser les possibles dysfonctionnements inhérents aux erreurs commises.

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.

RESULTATS ET DISCUSSION

L'évaluation diagnostique

Nous nous limitons dans cet article à présenter deux questions dont les réponses sont représentatives des erreurs les plus fréquemment commises.

A la question ouverte « *Qu'est-ce que la concentration chimique ?* » (question 4, annexe 1), un tiers des élèves répond de façon erronée ou très incomplète (23 élèves sur 70).

Deux erreurs sont fréquemment rencontrées :

- La confusion entre dissolution et concentration, « *La concentration c'est quand on met un solide dans un liquide* » ;
- La confusion entre quantité de matière et concentration : « *L'ensemble de la matière d'une dissolution* » ou « *C'est la quantité d'une chose dissoute dans un liquide* ».

Ajoutons ici que certains élèves, plus rares toutefois, assimilent la concentration à un regroupement de particules : « *C'est le groupement de plusieurs molécules à un même endroit* » ou « *Une concentration est un ensemble de molécules concentrées à un même endroit* ».

D'autres, enfin, associent la concentration à la notion de grand nombre : « *C'est quand il y a beaucoup de soluté pour le solvant* ».

A ces erreurs, des imprécisions apparaissent dans les réponses :

- Les mots de « *soluté* », « *solvant* » ou « *solution* » ne sont que très rarement utilisés (seuls 6 élèves utilisent l'un de ces mots) ;
- Le volume n'est pas explicitement celui de la solution : un seul élève interrogé donne une définition correcte qui exprime le rapport entre la quantité de soluté et le volume de solution.

Trois élèves rapportent au volume de solvant et tous les autres ne précisent pas de quel volume il s'agit.

Seulement la moitié des élèves (33 sur 70) attribue à la concentration la notion de rapport. Parmi ces élèves, beaucoup s'expriment en utilisant les unités : « *C'est le nombre de gramme par litre* » ou « *C'est le nombre de mole par litre* ».

Peu utilisent l'expression mathématique de la concentration chimique (6 élèves sur 70).

A la question qui implique de comprendre le caractère intensif de la concentration « *Un litre d'une solution sucrée a une concentration de 10g/L. Quelle est la concentration en sucre de 100mL de cette solution ?* » (question 15, annexe 1) : seulement 20 élèves sur les 70 interrogés répondent correctement que la concentration ne varie pas. Leonidas Tsoumpelis (1995) avait déjà suggéré cette difficulté de compréhension du caractère intensif de la concentration chimique.

Un quart des élèves (18 sur 70) fournit un résultat final de 1g/100mL en justifiant que « *Puisque le volume est 10 fois plus petit alors la masse aussi* ». La figure 4 tirée d'une copie d'élève, montre la règle de trois appliquée. La réponse numérique reste correcte (les proportions 10g/L et 1g/100mL sont égales) mais ces élèves ne signalent à aucun moment que la concentration reste identique.

10g	→	1000 ml	} ÷ 10
1g	→	100 ml	

Figure 4 : Extrait 1 d'une réponse d'élève à la question 15 du questionnaire diagnostique.

Parmi les élèves qui répondent de façon erronée que la concentration varie, 11 d'entre eux (soit 15% des élèves interrogés) appliquent une règle de trois différente : « *La concentration est divisée par 10 puisque le volume est divisé par 10* ». La figure 5 tirée d'une copie d'élève montre la règle de trois appliquée. Dans ce cas, la réponse est incorrecte.

1 l	→	10g/L	} ÷ 10
: 10 ↓ 100 ml	→	1g/L	

Figure 5 : Extrait 2 d'une réponse d'élève à la question 15 du questionnaire diagnostique.

Ce dysfonctionnement est peut-être à lier à la p-prim de causalité proportionnelle citée par diSessa : « *More A then more B* » ou ici « *Less A then less B* » ; autrement dit ici : « *Un grand volume de solution entraîne une grande concentration* » ou « *Plus le volume de solution est petit, plus la concentration est petite* ».

L'analyse de l'ensemble des réponses a permis de mettre en évidence cinq erreurs fréquemment commises :

- Le volume considéré n'est pas celui de la solution
- La concentration n'est pas comprise comme une proportion
- Le vocabulaire adéquat (soluté, solvant, solution) n'est pas correctement utilisé
- La concentration est le résultat d'un calcul numérique incorrect
- Les unités utilisées sont incorrectes

Analyse des réponses au questionnaire à propositions multiples et choix unique

Le questionnaire (annexe 2) propose quinze questions afin de limiter la durée de l'évaluation. Les questions proposent des items permettant de cibler une ou plusieurs erreurs (tableau 1). Par exemple, pour la question 1 (« *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 et il n'associe pas à la concentration, la notion de proportion.

Les résultats croisés de l'ensemble des quinze questions permettent ainsi de tirer un maximum d'informations.

Pour des raisons de simplification de lecture, nous attribuons à chaque erreur, une lettre grecque (α , β , γ , δ et ϵ).

Erreurs étudiées	Lettre attribuée à l'erreur	Numéro de la question
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

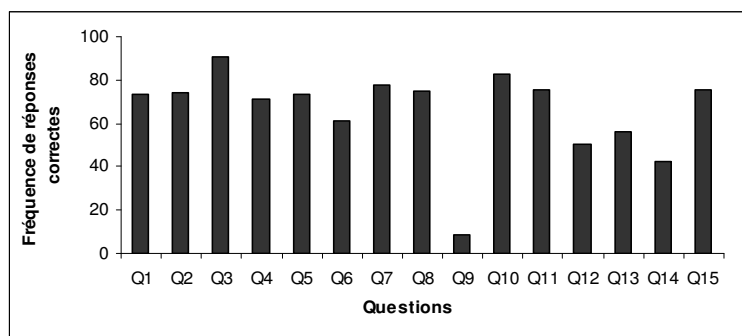
Tableau 1. Questions du questionnaire à propositions multiples associées à chaque erreur.

Le tableau 2 permet de mettre en évidence pour chaque question (Q1 à Q15), les erreurs commises (α , β , γ , δ et ϵ cf. tableau 1) par les élèves en fonction de la proposition qu'ils choisissent (propositions a, b, c, d, e ou f).

	a		b		c			d		e	f
Q1	α	β			γ	β	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 2. Mise en évidence des erreurs commises (α , β , γ , δ et ϵ cf. tableau 1) par choix d'une proposition incorrecte (les cases grisées correspondent aux propositions correctes).

La fréquence de réponses correctes pour chaque question est reprise dans le graphique 1.



Graphique 1. Fréquence de réponses correctes obtenue par question.

La question 3 est la question la mieux réussie (« *Quelle est la bonne expression mathématique de la concentration molaire d'un soluté ?* ») : 90% des élèves reconnaissent la bonne expression mathématique de la concentration molaire ($C = n/V$). Cette expression qui correspond à une représentation symbolique de la concentration semble être une image bien imprégnée dans la tête des élèves. Pourtant à la question ouverte « *Qu'est-ce que la concentration chimique ?* », seuls 6 élèves sur 70 avaient posé cette expression mathématique de la concentration.

A l'inverse, la question 9 est la moins bien réussie (« *Une solution est préparée en dissolvant 100g de chlorure de sodium NaCl dans 500mL (0,500L) d'eau. Quelle est la concentration massique en NaCl obtenue ?* ») : moins de 10 % des élèves remarquent que le volume de solution n'est pas fourni. En effet, le calcul de la concentration massique qui est demandé est impossible à réaliser puisque seul le volume de solvant est donné.

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 erronées 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 où 80% des élèves osent aller contre ce contrat en choisissant cette même proposition « *Il manque des informations pour répondre* ».

Les propositions erronées que les élèves choisissent à la question 9 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 interprétative 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.

Si la fréquence des réponses correctes est une première source d'informations, l'analyse des réponses incorrectes permet de tirer des informations très intéressantes.

Sur base du tableau 2, il est possible de quantifier les fréquences de réponses associées à une erreur en fonction de la question posée (tableau 3).

	Le volume considéré n'est pas celui de la 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	14 %	20 %	6 %		
Q2			26 %		
Q3		2 %		9 %	
Q4	21 %		6 %		
Q5				20 %	6 %
Q6		32 %			11 %
Q7		22 %			
Q8				25 %	1 %
Q9	90 %			8 %	16 %
Q10		8 %			
Q11				24 %	
Q12				50 %	
Q13	38 %				
Q14		48 %			
Q15		23 %			

Tableau 3. Fréquences de réponses associées à une erreur en fonction de la question posée.

Sur base de quelques résultats représentatifs, des hypothèses peuvent être émises pour expliquer d'éventuels dysfonctionnements associés aux erreurs commises.

«Le volume considéré n'est pas celui de solution ».

Nous avons déjà abordé précédemment la question 9 qui met en évidence que, si le volume de solution n'est pas fourni, un grand nombre des élèves interrogés (9/10) calcule la concentration en soluté en utilisant le volume de solvant donné dans l'énoncé.

La question 4 (« Dans l'expression de la concentration C , que représente V ? ») permet de préciser que un cinquième des interrogés (21%) choisit délibérément le volume de solvant.

Pour mieux comprendre l'origine de cette erreur, il a été proposé à 40 élèves ayant répondu au questionnaire à propositions multiples de répondre à une question supplémentaire dont la réponse était ouverte. Au préalable, l'enseignant avait versé dans un bécher 100mL d'eau et dans un autre, il avait pesé 20g de sucre (saccharose). Les deux béchers sont restés à vue des élèves et la question suivante leur a été posée : « Si tu dissous les 20g de sucre dans les 100mL d'eau, que fait le niveau d'eau ? ». Les réponses obtenues figurent dans le tableau 4.

Le niveau monte (réponse correcte)	Le niveau reste identique	Le niveau monte puis redescend au niveau de départ
20	16	4

Tableau 4. Nombre d'élèves par réponse à la question :
« Si tu dissous 20g de sucre dans 100mL d'eau, que fait le niveau d'eau ? ».

Les justifications données par les élèves qui répondent que « Le niveau d'eau reste identique » sont de trois types :

- « car le sucre se dissout ».
La dissolution permet d'obtenir un mélange homogène ; pour ces élèves, cela signifie que le soluté « disparaît » et ils semblent en déduire 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.
- « car le sucre absorbe l'eau ».
- « car le sucre va combler l'espace entre les molécules d'eau ».
Pour ces élèves, le soluté ne disparaît pas. Leur stratégie est logique et en partie vraie puisque le volume de sucre avant dissolution additionné aux 100mL d'eau de départ est supérieur au volume de solution une fois le sucre dissout dans l'eau.

Notons ici que les dysfonctionnements à l'origine de l'erreur peuvent être liés à la transposition interne réalisée par les enseignants qui assimileraient le volume de solution à celui de solvant. Certaines pratiques enseignantes pourraient également expliquer certains dysfonctionnements évoqués précédemment. Ainsi, au premier degré du cycle secondaire inférieur belge (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. Cette modélisation peut être une origine du dysfonctionnement « Le niveau d'eau reste identique car le sucre va combler l'espace entre les molécules d'eau ».

«La concentration n'est pas comprise comme une proportion ».

Les résultats obtenus au questionnaire à propositions multiples mettent en évidence la difficulté d'acquisition du caractère intensif de la concentration et confirment ceux obtenus aux questions ouvertes de notre première étape :

La question 1 (« Quelle expression correspond le mieux au concept de concentration chimique ? ») 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.

La question 6 du questionnaire à propositions multiples reprend dans les mêmes termes la question ouverte du questionnaire diagnostique sur le caractère intensif de la concentration (« *Un litre d'une solution sucrée a une concentration en sucre de 10g/L. Quelle est la concentration de 100mL (0,100L) de cette solution ?* ») : un tiers des répondants (32%) choisit une réponse erronée. La question 15 est assez similaire (« *Soient 5 solutions identiques (même soluté et même solvant) de concentration 10g/L. On rassemble dans un même récipient les 5 solutions. La concentration finale sera :>* ») mais cette fois le volume est multiplié plutôt que divisé. Un quart des élèves (plutôt que le tiers) commet l'erreur de ne pas considérer la concentration comme une proportion qui reste identique. Le contexte de la question intervient bien sur le choix stratégique de réponse (diSessa, 2008).

La question 14 (« *Soit 200mL d'une solution A de concentration 0,10g/L. Quelle doit être la concentration de 100mL d'une solution B afin d'avoir la même quantité de matière dissoute ?* ») met en évidence, selon nos hypothèses, que si la concentration n'est pas bien acquise comme une proportion, la charge cognitive impliquant l'utilisation de trois données complique la résolution : la moitié des élèves (48%) commet une erreur.

Les entretiens d'explicitation réalisés permettent d'émettre quelques hypothèses (non exhaustives) de dysfonctionnements pour cette erreur de non considération de la concentration comme une proportion de soluté dans un volume :

- « *La concentration comme la mesure d'un écart entre particules* » : 3 élèves sur les 13 interrogés en entretien, proposent cette conception de la concentration. L'un d'eux explique en parlant des entités de soluté : « *Quand il y a plus d'écart, c'est moins concentré* » ; un autre, en parlant de la solution : « *Si elle est plus concentrée, les molécules sont plus serrées, elles ont moins d'espace* ». Cette approche heuristique fonctionne très bien dans certains cas, notamment si, pour l'élève, le volume de solution ne varie pas. Notons ici que l'élève semble 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 volume (n/V).
- « *Un soluté dispersé est libre de voyager* » : un élève attribue au terme « *dispenser* » la signification de « *voyager* ». Il explique, en parlant des molécules de soluté d'une solution concentrée : « (...) *elles peuvent moins voyager* ».
- « *La concentration comme 'une bille'* » : un élève 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, il dessine des boules 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* ». En quelque sorte pour cet élève, $C = n$ (puisque le volume = le vide).

Cette approche heuristique erronée fonctionne très bien pour la question 14 qui pose tant de problèmes à d'autres élèves : « *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* ».

- « *Si le volume de solution est grand alors la concentration est grande et inversement* ».
- Les questions 6 et 15 qui interrogent directement sur le caractère intensif de la concentration chimique impliquent chez la plupart des élèves interrogés en entretien des réponses telles que (question 6) : « *1 litre divisé par 10 c'est 100mL, du coup la concentration on la divise par 10 aussi* » ou (question 15) « *Si on divise, ça se divise aussi de l'autre côté donc si on multiplie d'un côté ça se multiplie forcément aussi de l'autre* ».

Comme nous l'avons envisagé dans l'analyse des réponses ouvertes au questionnaire de la première étape, une habitude interprétative de causalité proportionnelle (« *p-prim* », diSessa, 1983) semble fréquemment utilisée par les élèves.

«Le vocabulaire adéquat n'est pas correctement utilisé ».

La question 2 est assez révélatrice de la confusion d'un quart des élèves (26%) entre les différents termes « soluté », « solvant » et « solution ».

Lors d'un entretien avec un élève, il explique que « *Le soluté, c'est celui qu'on ajoute. Comme à la base, on a du sucre, moi je le vois comme le solvant et on rajoute de l'eau comme soluté* ». Cet élève associe à « solvant » et « soluté », une notion de chronologie.

Il sera intéressant, lors d'entretiens futurs, de chercher à développer d'autres dysfonctionnements à l'origine de cette erreur ; la piste des « signifiants » et « signifiés »⁴ est à explorer.

«Calcul numérique incorrect ».

Comme nous l'avons déjà constaté, la reconnaissance de l'expression mathématique de la concentration molaire ne pose pas de difficulté (question 3). Dès qu'il s'agit de l'utiliser pour calculer la valeur d'une concentration, la fréquence de réponses incorrectes augmente.

A la question 5 qui demande un simple calcul de concentration massique γ à partir d'une masse m de soluté et d'un volume V de solution ($\gamma = m/V$), un cinquième des élèves interrogés commet une erreur de calcul.

Si le calcul concerne une concentration molaire C à partir de la quantité de matière n de soluté et du volume V de solution (pourtant le calcul mathématique est identique : $C = n/V$), ils sont alors un quart à se tromper (question 11).

La fréquence d'erreurs double (50%) si le calcul de la concentration molaire C est demandé à partir de la masse m de soluté et du volume V de solution (question 12). La masse molaire M est pourtant fournie ($C = n/V = m/MV$). Ces résultats montrent que le calcul d'une quantité de matière à partir d'une masse n'est pas acquis pour de nombreux élèves. Cette transformation est pourtant fondamentale en chimie.

Une autre erreur de calcul mise en évidence est celle commise lors de l'extraction d'une variable d'une expression mathématique. La question 8 demande de calculer la masse m de soluté à partir du volume V de solution et de la concentration massique γ ($m = \gamma V$). Un quart des élèves n'y arrive pas.

Les dysfonctionnements qui expliqueraient ce type d'erreurs sont probablement multiples. Nous nous limitons à fournir deux exemples obtenus lors des entretiens :

- Un élève déclare que dans une fraction, « *Le plus grand des deux nombres est toujours au dessus* ». Le dysfonctionnement semble lié à une habitude interprétative.
- Un autre élève utilise des stratégies de calculs différents en fonction des données de l'énoncé : dans la question 8, la concentration est fournie et son unité précise g/L. L'élève procède alors en utilisant une règle de trois alors que dans les questions 5 et 11, il applique une formule mathématique en déclarant « *Ici, je ne peux pas faire une règle de trois, il faut une formule pour faire ça* » (...) « *pour appliquer une règle de trois, il faut une unité par quelque chose* ».

«Les unités utilisées sont incorrectes ».

Cette erreur est assez limitée dans le cadre de ce questionnaire (entre 1% et 16% d'erreurs selon la question).

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.

Ainsi, 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

⁴ 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.

résoudre un problème. Ces stratégies fluctuent en fonction du contexte de la question (Özdemir & Clark, 2007).

Ceci ne simplifie pas la remédiation qui permettra d'amener les conceptions des élèves à se rapprocher des conceptions enseignées.

PROPOSITION D'UN OUTIL DIDACTIQUE

Si le premier objectif du questionnaire à propositions multiples et choix unique était de quantifier les fréquences de réponses correctes et incorrectes en fonction de la question, le second objectif de ce questionnaire était de construire un outil permettant d'identifier rapidement les erreurs commises par un élève.

A cette fin, l'élève reçoit un tableau (tableau 5) qui lui permet de consigner le choix qu'il a réalisé à chaque question du questionnaire à propositions multiples.

Ce tableau à vocation formative renseigne l'élève directement sur son niveau de connaissances mais surtout lui fournit une information sur la ou les erreurs qu'il commet.

	Le volume considéré n'est pas celui de la solution	La concentration n'est pas comprise comme une proportion	Le vocabulaire adéquat n'est correctement utilisé	Calcul numérique incorrect	Les unités utilisées sont incorrectes	Réponses correctes
Q1	a	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 5. Proposition d'un outil d'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 questionnaire à propositions multiples ; il s'agit d'un outil d'auto-évaluation.

En fonction des résultats obtenus et en discussion avec son professeur, l'élève pourra être dirigé vers des remédiations adaptées.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Une grande partie du travail du chimiste consiste à manipuler des solutions dont il doit connaître qualitativement et quantitativement la composition. La concentration chimique lui permet d'exprimer la proportion de chaque constituant dans la solution. L'apprentissage de ce concept central n'est pas simple puisqu'il demande d'avoir acquis les conceptions expertes requises (telles que le volume, la masse, la quantité de matière, la masse molaire...) et d'accéder à la compréhension des propriétés d'une grandeur intensive.

Nous avons pu mettre en évidence dans cet article, les principales erreurs commises par les apprenants lorsqu'ils sont amenés à manipuler le concept de concentration chimique. Certaines

sont corrélées au concept lui-même (la notion de rapport, le vocabulaire associé à la concentration, la prise en compte du volume de solution), d'autres sont plus transversales aux sciences (erreurs de calculs ou manipulations erronées des unités).

En nous intéressant aux origines de ces erreurs, nous avons constaté que les dysfonctionnements issus des élèves sont extrêmement variés et parfois surprenants. Les élèves semblent puiser dans leurs cadres théoriques naïfs et/ou dans leur répertoire d'habitudes interprétatives pour trouver les réponses aux questions qui leur sont posées.

Un outil didactique d'autoévaluation accompagnant un questionnaire à propositions multiples a été conçu. Il permet de révéler très rapidement à un élève les erreurs qu'il commet lorsqu'il manipule le concept de concentration chimique.

La suite de notre étude vise à concevoir des outils didactiques de remédiation. Ils devront permettre à l'élève de prendre en compte l'existence de ses cadres théoriques naïfs et/ou habitudes interprétatives afin qu'il apprenne à les inhiber ou à les activer en fonction de différents contextes. Des remédiations adaptées pour les différentes erreurs et tenant compte de la diversité des dysfonctionnements sont en cours de construction. La méthodologie que nous comptons appliquer induit des conflits cognitifs (Astolfi et al., 2008) dans les processus mentaux des élèves afin de les aider à construire la conception experte de la concentration chimique. Une des pistes actuellement explorée concerne une application numérique visant à remédier à la difficulté d'apprentissage du caractère intensif de la concentration chimique.

Le transfert ne peut s'effectuer que si les ressources cognitives sont disponibles. L'une des erreurs fréquemment commises est liée à ce que nous avons appelé « *élément pivot* » du concept de concentration : le fait que la concentration chimique soit une proportion. Ceci peut expliquer les difficultés liées au transfert de ce concept. Nous devons vérifier cette hypothèse dans la suite de notre recherche en amenant les élèves à résoudre des activités de transfert de la concentration chimique avant et après la remédiation liée à cet élément pivot.

**Bénédicte WILLAME
Philippe SNAUWAERT**

**Université de Namur (Belgique)
Département de chimie, Unité de didactique de la chimie**

Abstract : The concentration of a solute in a solution is a central concept in chemistry that comes up throughout the whole curriculum. A lot of difficulties prevent the learners from gaining an expert acquisition. The transfer of this concept in new situations is therefore very complicated or even impossible. This research is situated in the theoretical framework of conceptual change completed by results of neuroscientific studies. Open and multiple-choice questionnaires have been submitted to French-speaking students from Belgian schools (degree 10 to 12) to bring out the learners' conceptions faced with the concept of chemical concentration. The analysis of the results highlights the most frequently committed errors. The most recurrent ones are those connected to the intensive nature of the chemical concentration and those linked with the confusion between the volume of the solvent and that of the solution. Individual interviews enable us to clarify the main dysfunctions at the origin of these errors. A didactic tool for self-assessment has been elaborated to enable students to identify quickly the type of errors they commit and move towards an adapted remediation.

Keywords : Chemical concentration – Learning difficulties – Errors - Conceptual change – Neurosciences - Transfer.

Bibliographie

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.
- Boilevin, J.-M. (2013). *Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants. Regards didactiques*. Bruxelles : De Boeck.
- 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.
- 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.
- 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).
- 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. (2008). 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* (pp.35-60). 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.
- Durandau, J.-P., Bramand, P., Caillet, D., Comte, M.-J., Faye, P., Raynal, C. & Thomassier, G. (2002). *Physique Chimie - cinquième. Collection étincelle*. Paris : Hachette éducation.
- 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.
- 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. En ligne sur le site de l'Association pour la recherche en neuroéducation
<http://www.associationneuroeducation.org/colloques?category=Colloque%20scientifique%202012>
- Kuhn, T.S. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion.

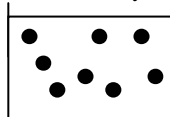
- Larousse (2008). *Dictionnaire de la langue française*. Paris : Larousse.
- Masson, S. (2012). *Etude des mécanismes cérébraux liés à l'expertise scientifique en électricité à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle*. Thèse en didactique des sciences, Service des bibliothèques, Université de Montréal, Québec. En ligne <http://www.archipel.uqam.ca/4876/1/D2287.pdf>
- 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.
- Nivaldo, J.T. (2011). *Chemistry: a molecular approach (2è éd.)*. Upper Saddle River, New Jersey : Pearson Prentice Hall.
- 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.
- 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 (6è éd.)*. Paris : ESF.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. & Gertzog, W.A. (1982). Accomodation 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*, 207-225. Québec : Multi Mondes.
- Potvin, P., Riopel, M. & Masson, S. (2007). *Regards multiples sur l'enseignement des sciences*. Québec : Multi Mondes.
- 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.
- 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 (3è Ed.)*. Bruxelles : De Boeck.
- Rey, B., Carette, V., Defrance A. & Kahn S. (2012). *Les compétences à l'école : apprentissage et évaluation*. Bruxelles : De Boeck.
- 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.
- 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 (7è 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*. En ligne <http://web.phys.ksu.edu/ICPE/Publications/teach2/Viennot.pdf>
- Vosniadou, S. & Brewer, W.F. (1992). Mental models of the Earth: A Study of Conceptual Change in Childhood. *Cognitive psychology*, 24(4), 535-585.

ANNEXES

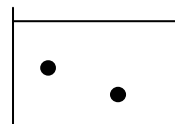
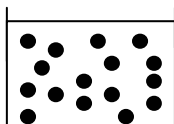
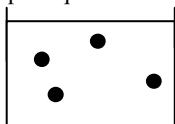
ANNEXE 1. QUESTIONS OUVERTES POUR L'ÉVALUATION DIAGNOSTIQUE

1. Qu'est-ce qu'une molécule ? Tu peux utiliser tes propres mots.
2. Schématise un atome et une molécule. Tu es libre du choix de ta représentation.
3. Qu'est-ce qu'une mole ? Tu peux utiliser tes propres mots.
4. Qu'est-ce que la concentration chimique ? Tu peux utiliser tes propres mots.
5. Le schéma 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.



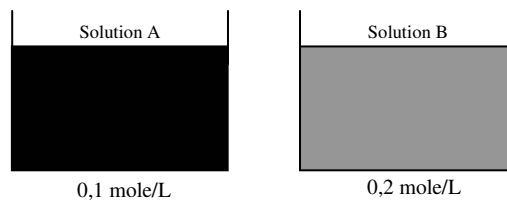
On veut préparer des solutions de concentration identique à la solution A mais avec un nombre différent de molécules dissoutes.

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.





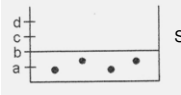

6. Lors d'une séance de laboratoire, le professeur demande à 5 équipes de peser 4g de sucre fin et de les dissoudre dans l'eau afin d'obtenir un volume de 100mL d'eau sucrée. Ensuite, le professeur rassemble les 5 solutions dans un ballon de 500mL.
Quelle est la concentration de la solution contenue dans ce ballon ? Explique ta démarche.
7. 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
8. 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 (100g/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 20g/L ?
Coche la bonne réponse et justifie ton choix :
 1. Il devra prendre 5mL de la solution trop concentrée et compléter avec 95mL d'eau
 2. Il devra prendre 80mL de la solution trop concentrée et compléter avec 20mL d'eau
 3. Il devra prendre 20mL de la solution trop concentrée et compléter avec 80mL d'eau
 4. Il devra prendre 95mL de la solution trop concentrée et compléter avec 5mL d'eau
9. 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. 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.
 3. Une solution dont 5mL contiennent m grammes de sucre est 10 fois plus concentrée qu'une solution dont 50mL contiennent la même masse m de sucre.

10. 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
11. On mélange deux volumes égaux d'une solution de chlorure de sodium NaCl à 0,10mol/L et d'une solution de chlorure de potassium KCl à 0,10mol/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
12. Combien y-a-t-il d'atomes dans 1 mole de molécules d'eau H₂O ?
13. Soit une mole d'eau H₂O. Combien de mole a-t-on d'hydrogène ? Justifie ta réponse
14. Pour augmenter la concentration en sucre d'un verre d'eau sucrée, faut-il augmenter le nombre de mole de sucre ou augmenter le volume d'eau ? Justifie.
15. Un litre d'une solution sucrée a une concentration de 10g/L.
Quelle est la concentration en sucre de 100ml de cette solution ? Explique ta démarche.
16. Observe les deux solutions suivantes :
Quelle est la solution la plus concentrée : la solution A ou la solution B ? Justifie ton choix.



ANNEXE 2. QUESTIONNAIRE A PROPOSITIONS MULTIPLES ET CHOIX UNIQUE SUR LE CONCEPT DE CONCENTRATION CHIMIQUE

<p>1. Quelle expression correspond le mieux au concept de « concentration chimique » :</p> <ul style="list-style-type: none"> 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
<p>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 ?</p> <ul style="list-style-type: none"> 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
<p>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)</p> <ul style="list-style-type: none"> a. $C = n \cdot V$ b. $C = n / V$ c. $C = V / n$ d. Aucune des possibilités e. Je ne sais pas
<p>4. Dans l'expression de la concentration C, que représente V ?</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Le volume de solution b. Le volume de solvant c. Le volume de soluté d. Aucune des possibilités e. Je ne sais pas
<p>5. Une solution est préparée en dissolvant 2,00g de chlorure de sodium NaCl dans de l'eau. Le volume final est de 125mL (0,125L). Quelle est la concentration massique en chlorure de sodium obtenue ?</p> <ul style="list-style-type: none"> 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
<p>6. Un litre d'une solution sucrée a une concentration en sucre de 10g/L. Quelle est la concentration de 100mL (0,100L) de cette solution ?</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 10 g/L b. 0,10 g/mL c. 1,0 g/L d. Aucune des possibilités e. Je ne sais pas
<p>7. Observez les 2 solutions suivantes : Quelle est la solution la plus concentrée ?</p> <ul style="list-style-type: none"> a. La solution A b. La solution B c. Il manque des informations pour répondre d. Aucune des possibilités <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Solution A</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Solution B</p>  </div> </div>
<p>8. Quelle masse de sucre doit-on peser pour préparer 145mL (0,145L) d'eau sucrée à 12,0g/L ?</p> <ul style="list-style-type: none"> 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

<p>9. Une solution est préparée en dissolvant 100g de chlorure de sodium NaCl dans 500mL (0,500L) d'eau. Quelle est la concentration massique en NaCl obtenue ?</p> <ol style="list-style-type: none"> 0,200 g/L 200 g/L 5,00 mL/g Il manque des informations pour répondre Aucune des possibilités
<p>10. Le schéma suivant représente une solution A où la quantité de matière dissoute est symbolisée par des boules noires.</p>  <p>Solution A</p> <p>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 ?</p> <ol style="list-style-type: none"> Niveau a Niveau b Niveau c Niveau d Aucune des possibilités Je ne sais pas  <p>Solution B</p>
<p>11. Une solution est préparée en dissolvant 0,40mol de chlorure de sodium NaCl dans de l'eau. Le volume final est de 200mL (0,200L). Quelle est la concentration molaire en chlorure de sodium obtenue ?</p> <ol style="list-style-type: none"> 0,50 L/mol 2,0 mol/L 0,080 mol/L Il manque des informations pour répondre Aucune des possibilités
<p>12. Une solution est préparée en dissolvant 2,00g de chlorure de sodium NaCl dans de l'eau. Le volume final est de 125mL (0,125L). La masse molaire M du chlorure de sodium est 58,0g/mol. Quelle est la concentration molaire en chlorure de sodium obtenue ?</p> <ol style="list-style-type: none"> 0,276 mol/L 0,00108 L/mol 928 mol/L Aucune des possibilités Je ne sais pas
<p>13. Pour préparer une solution aqueuse de chlorure de sodium (NaCl dans l'eau) à 2g/L, que faut-il faire ?</p> <ol style="list-style-type: none"> Placer 1 litre d'eau dans une fiole et ajouter 2 g de NaCl Placer 2 g de NaCl dans une fiole et ajouter 1 litre d'eau Placer 2 g de NaCl dans une fiole et compléter avec de l'eau jusqu'à obtenir un volume de 1 litre 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
<p>14. Soit 200mL d'une solution A de concentration 0,10g/L. Quelle doit être la concentration de 100mL d'une solution B afin d'avoir la même quantité de matière dissoute ?</p> <ol style="list-style-type: none"> 0,050 g/L 0,10 g/L 0,20 g/L Aucune des possibilités Je ne sais pas
<p>15. Soient 5 solutions identiques (même soluté et même solvant) de concentration 10g/L. On rassemble dans un même récipient les 5 solutions. La concentration finale sera :</p> <ol style="list-style-type: none"> 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