

La théorique 'Machine de Turing' a-t-elle engendré l'ordinateur?

©
M. d'Udekem-Gevers
Faculté d'informatique – Université de Namur
LLN (CRHS), 14 décembre 2012
Namur (SPS), 23 janvier 2013

Plan

1. Introduction

1.1. Caractère fondamental de la question

1.2. Commentaires au sujet de la réponse: complexité; source essentielle: [Randell](#)

2. Biographie de [Turing](#) et celle de [von Neumann](#)

3. Connaissance actuelle de la chronologie des faits

3.0. Rappel préliminaire: la machine analytique de [Babbage](#)

3.1. [Turing 1936\(-1937\)](#): *Sur les nombres calculables...*

3.2. Des grands calculateurs électroniques construits entre 1939 et 1945

3.2.1. ABC d'[Atanasoff](#) (1939)

3.2.2. *Colossus* de [Flowers](#) (1943)

3.2.3. ENIAC de [Mauchly](#) & [d'Eckert](#) (1945)

3.3. [Von Neumann juin 1945](#): *Draft* de l'EDVAC

3.4. [Turing fin 1945](#): *Proposals for Development in the Mathematics Division of an Automatic Computing Engine*

3.5. Texte de Turing de 1950

4. Statuts accordés à l'article de [Turing](#) de 1936 et au *draft* de [von Neumann](#)

5. Conclusions (= synthèse de la réponse selon [Randell](#))

Avant propos

- Chance
 - pour moi d’avoir pu approfondir ce point!
 - (que 2012 soit l’année anniversaire des 100 ans de Turing : occasion de nouvelles publications à son sujet)
- Utilisation ici du vocabulaire actuel (\neq celui de 1945)
 - ‘Machine de Turing’
 - ‘ordinateur’ / ‘*stored program computer*’
 - ‘informatique’

1. Introduction

1.1. Caractère fondamental de la question

- Elle touche directement l'Histoire de la naissance de l'**ordinateur** = '*stored program computer*'
 - préciser le concept d'ordinateur qui
 - est très technique et parfois mal interprété ou même non pris en compte par des historiens ou des sociologues
 - a évolué
 - se révèle essentiel dans l'histoire des machines à calculer
- Elle est une instantiation au domaine de l'informatique de la question posée cette année à notre séminaire: Influence et poids du contexte théorique sur les hommes de [techno]science ?

1.2. Commentaires au sujet de la réponse

- Complexité
 - La réponse apportée **a évolué** en fonction de l'évolution de nos connaissances historiques
 - Elle appelle des **nuances**
- Source essentielle: **Brian Randell**
 - Professeur émérite à la *School of Computing Science, Newcastle University* (U.K.), grand spécialiste de l'histoire du début des ordinateurs.
 - **Au début des années 1970**: cherche à collecter les textes originaux liés à l'origine des 'calculateurs modernes' **alors que les activités des anglais en lien avec le déchiffrement des codes allemands étaient encore tenues secrètes .**



Rappel Secret gardé pendant 30 ans 'secret-défense' (cf. Singh p. 15 et 205)

(même par **Churchill** dans ses nombreux volumes sur l'histoire de la seconde guerre mondiale)

→ *Bletchley Park* = sujet tabou! (Hodges p. 208)

Pourquoi? Controverse!

Explication 1 (cf. **Kahn et Singh**): distribution des milliers d'Enigma saisies par la Grande Bretagne **à travers ses anciennes colonies** → déchiffrement systématique des communications cryptées par Enigma

Explication 2 (cf. **Hodges** p. 10) "le silence a été totalement gardé sur le travail réalisé à *Bletchley Park*, car la **guerre froide s'annonçait déjà**; il ne fallait pas que les Russes soient au courant des performances des services anglo-américains."



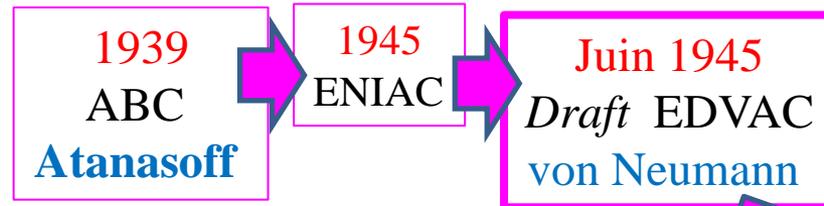
.....

.....

Rappel: Schéma synthétique **originel** de **Randell**

Légende:  = influence

THEORIE:
MATHEMATIQUES *N. calculables*
de **Turing**



Large diffusion: archit.
'Von Neumann'

1^{ère} calc.
Électron.

1^{ère} description
d'un 'ordinateur'

INGENIERIE

But initial de **Randell** (cf. son texte de 2012)

= vérifier l'assertion de **Lord Halsbury (1959)** (qui était en 1949 *Managing Director of the national Research development Corporation*) que **Turing** a

- rencontré **von Neumann** pendant la guerre et donc
- influencé **directement** le développement du concept de « *stored program* »

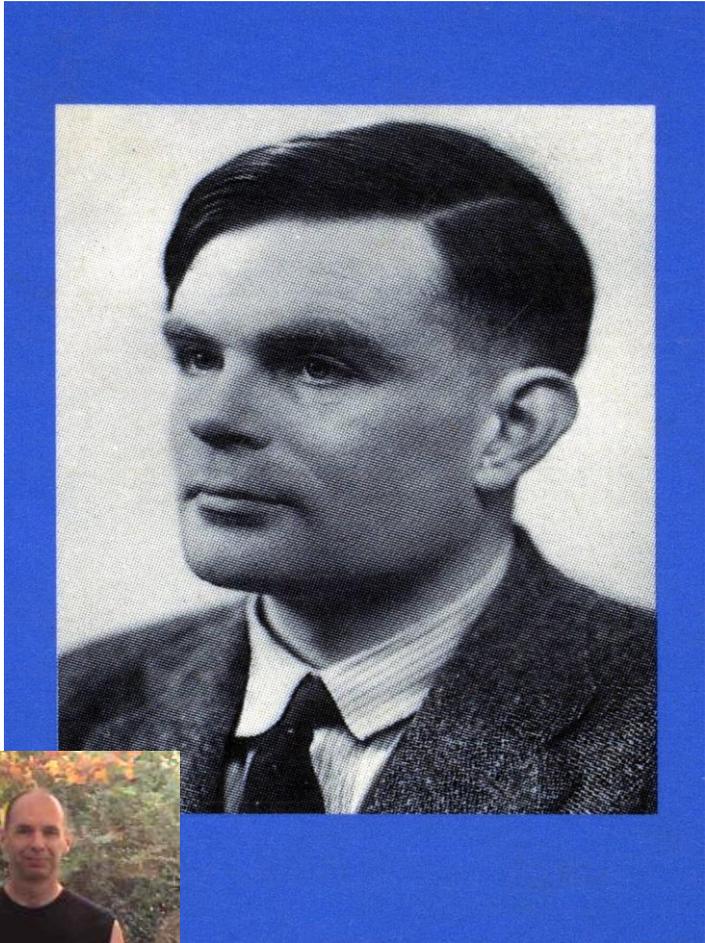
Résultat

Découverte progressive des réalisations anglaises et en particulier du rôle de **Turing** ainsi que de l'avance anglaise dans le domaine des calculateurs électroniques (*Colossus*)

Publications de **Randell** fondamentales pour la réponse:

- **1972** : On Alan Turing and the Origins of Digital Computers, In: Meltzer, B., Michie, D. (eds.) *Machine Intelligence 7*, pp. 3–20. Edinburgh Univ. Press
- **1973** : *The Origins of Digital Computers – Selected Papers*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- **1976**: *The Colossus. Tech. Rep. 90*, Computing Laboratory [à Los Alamos le premier rapport officiellement autorisé sur ce sujet]
- **1982**: *The Origins of Digital Computers*, Third Edition, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 580 p.
- **1994** : The Origins of Computer Programming, *IEEE Annals of the History of Computing*, vol.16, Issue 4, pp. 6-14.[approfondit la définition de “stored program computer”]
- **2012**: *From Ludgate to Los Alamos*, [exposé à l’occasion du centenaire de Turing], 17 p.

2. Biographie de chacun des deux 'protagonistes'



Alan Turing

Andrew Hodges, son biographe



John von Neumann

Bill Aspray, son biographe



2.1. Alan Turing

(cf. Andrew Hodges + Verroust + Chouchan + Lévy + Lassègue)

- né en Angleterre en 1912 !!!!!
- très tôt séparé de ses parents (qui vivent à Madras)
- a des résultats scolaires médiocres
- caractère particulier: gauche, anticonformiste, excentrique et homosexuel
- profondément marqué à 17 ans par la mort de son ami.

("Il pense que l'esprit peut se détacher de la matière et que lui-même doit incarner l'esprit de son ami." (cf. Lassègue))

- voyagera d'une science à l'autre:
 - mathématicien de génie
 - auteur de découvertes fondamentales dans le domaine de la logique
 - pionnier de l'intelligence artificielle
 - auteur d'importantes découvertes en biologie et
 - id.: en cryptographie

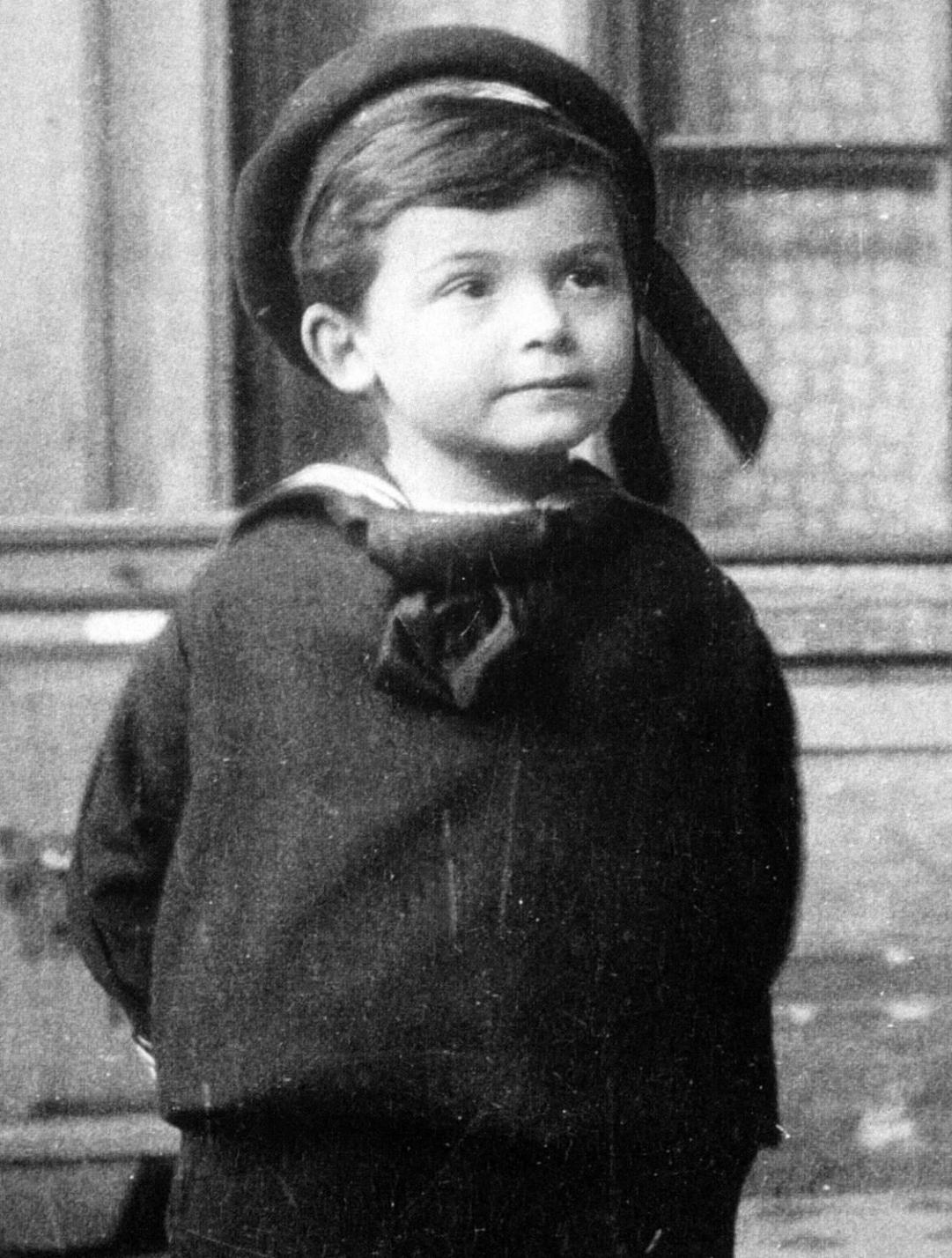
- **1935**: alors qu'il est encore un 'strict spécialiste des mathématiques pures' (Hodges p. 268) imagine une *machine idéale* (/ abstraite [sans limitation de temps ni d'espace] (Davis 2004 p. 197)) (qu'il nomme 'machine universelle' et sera appelée ultérieurement 'machine de Turing') pour exécuter tout algorithme
- **1936(-1937)**: en fait une célèbre publication intitulée *Sur les nombres calculables, avec une application au problème de la décision*.
 - répond à la question « Qu'est-ce qu'un algorithme? » en définissant les 'Machines de Turing' (Beeson M.J. 2004 p. 88)
 - utilise cette définition pour montrer qu'**il existe des problèmes qui ne peuvent être résolus par un algorithme** (Beeson M.J. 2004 p. 88)
- En **1937**: fabrique une 'Machine de Turing' pour multiplier des nombres binaires à partir de relais électromécaniques (Hodges p. 123-126) (= passe des mathématiques pures à l'ingénierie!)
- **1938**: refuse un poste prestigieux offert aux USA par **von Neumann** (Hodges p. 130)

- à **partir de 1939**: renonce provisoirement à sa carrière universitaire pour se mettre au service du gouvernement britannique
 - entre à *Bletchley Park* pour **collaborer à la recherche de la clé du système de cryptage des Allemands**
 - "Sans Turing l'Angleterre aurait sans doute perdu la guerre."(Texte cité dans Lassègue p. 32)
 - ! Abandonne (définitivement) le monde des mathématiques pures
(Hodges p. 142)
- **fin 1942 et début 1943** (Hodges p. 213): fait en secret un voyage aux USA:
 - débarque aux laboratoires Bell où il rencontre **C. Shannon** (Lassègue p. 32)
 - a un premier contact avec l'électronique (Lassègue p. 101)

- **à partir de 1943**: travaille à la réalisation d'une machine électronique à crypter la parole ('*Dalila*') (Lassègue p. 32)
- **au sortir de la guerre**: affirme que ce qu'il veut par-dessus tout c'est « construire un cerveau » (Hodges p. 247)
- **après la guerre**: participe à la mise en œuvre de quelques-uns des premiers ordinateurs (ACE, *Manchester Mark 1*)
- **en 1950**: publie un article resté célèbre: *L'ordinateur et l'intelligence*
 - dont le 1^{er} chapitre = *Jeu de l'imitation*
 - où il expose le projet de ce qui sera appelé plus tard 'intelligence artificielle'
- **en 1952**: publie son article: *Les bases chimiques de la morphogenèse*
- **en 1952** est poursuivi en raison de son homosexualité: est laissé en liberté conditionnelle à condition de suivre un traitement hormonal
- retrouvé mort en **1954**, avec à côté de lui, une pomme empoisonnée (victime de la Guerre froide? (cf. Lassègue p. 12))

2.2. Biographie de John von Neumann

- né en 1903 en Hongrie
- d'origine juive
- enfant prodige en mathématiques
- amateur de réceptions grandioses et de bonne chair, sociable et drôle
- en 1919: connaît la répression et l'exil (en Italie)
- en 1925: diplômé en chimie de l'Université de Zurich (ETH)
- en 1926: docteur en mathématiques de l'Université de Budapest
- devient ensuite assistant en mathématiques à Gottingen puis à Hambourg (Allemagne)
- aussi à l'aise en mathématiques pures qu'appliquées
- en 1930: nommé assistant à l'Université de Princeton (USA), travaille à l'IAS (= *Institute of Advanced Study*)
- en 1937: devient citoyen américain et consultant en recherche balistique pour le gouvernement (Aspray 1990 p. 25)
- en 1938: offre un poste prestigieux aux USA à Turing (qui le refuse)
- en 1939: épouse Klara Dan (qui deviendra l'une des premières programmatrices d'ordinateur)



von Neumann à six ans

(Les Cahiers de Sciences et Vie,
Hors série n°36, p. 53)



Klara Dan et von Neumann (Les Cahiers de Sciences et Vie, Hors série n°36, p. 57)

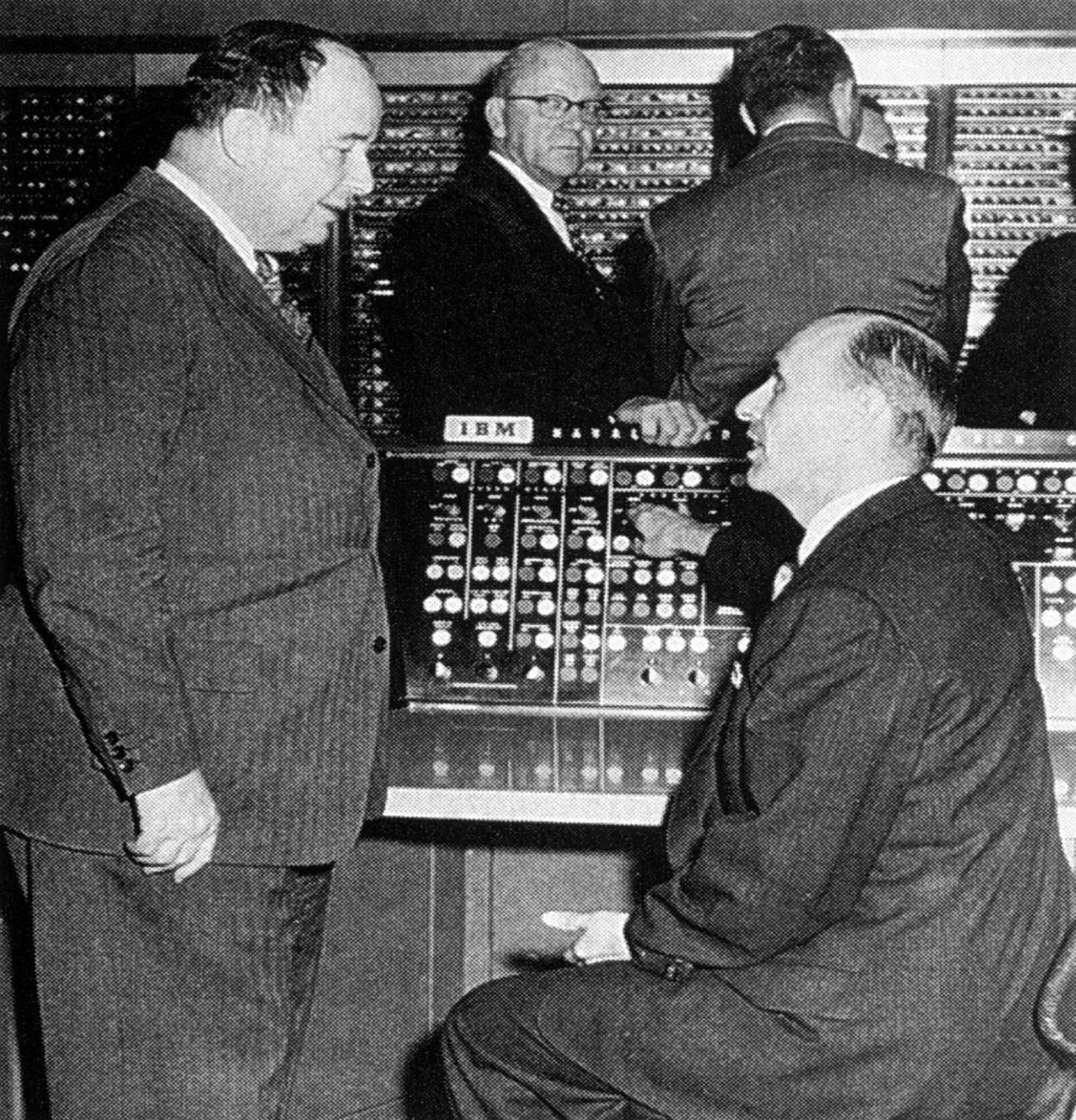
- en 1943:
 - publie avec Morgenstern « Théorie des jeux et comportement économique », fondant ainsi une nouvelle théorie économique
 - commence à participer au développement de la bombe atomique (notamment au Centre de recherches sur l'énergie atomique de Los Alamos) (Aspray 1990 p. 27)
 - commence à acquérir une expertise dans la programmation des calculs (Aspray 1990 p. 27 - 28)
- rencontre Aiken et Stibitz (Aspray 1990 p. 30 - 31)
- en août 1944: croise par hasard, sur le quai d'une gare (Aspray 1990 p. 35-36) , Goldstine (responsable liaison avec l'armée dans le projet PX de construction de l'ENIAC par Eckert et Mauchly)
- rejoint alors Eckert et Mauchly pour mettre au point l'ENIAC
- en juin 1945: publie *seul* *First draft of a Report on the EDVAC*
 - → querelle de paternité
 - document qui sera distribué à différents groupes aux USA et en Grande-Bretagne (Aspray 1990 p. 41)
- Respectueux de l'éthique scientifique de diffusion des innovations et partisan (avec Goldstine) d'offrir les résultats de la recherche au domaine public (↔ Eckert et Mauchly partisans d'une commercialisation)



Morgenstern et von Neumann

(Les Cahiers de Sciences et Vie,
Hors série n°36, p. 58)

- en 1946: débute la construction de l'ordinateur de IAS
- en 1947: reçoit une confirmation de la justice: désormais les plans de l'EDVAC appartiennent au domaine public (Aspray 1990 p. 47)
- invente avec Goldstine l'outil d'aide à la programmation appelé 'diagramme des flux (*Flow diagram*)' (Aspray 1990 p. 69)
- est l'auteur d'une synthèse dans une nouvelle perspective mathématique, celle de la '*Théorie générale et logiques de automates*' (incluant le système nerveux des vivants) (Aspray 1990 p. 189)
- cherche à développer une nouvelle architecture d'ordinateur, plus proche de celle du cerveau humain ("*L'ordinateur et le cerveau*", publié après sa mort)
- multiplie les consultances (ex. chez IBM) et les conseils
- accumule les honneurs
- en 1954: est nommé membre du Commissariat à l'énergie atomique à Washington, par Eisenhower
- meurt aux USA en 1957 d'un cancer des os.

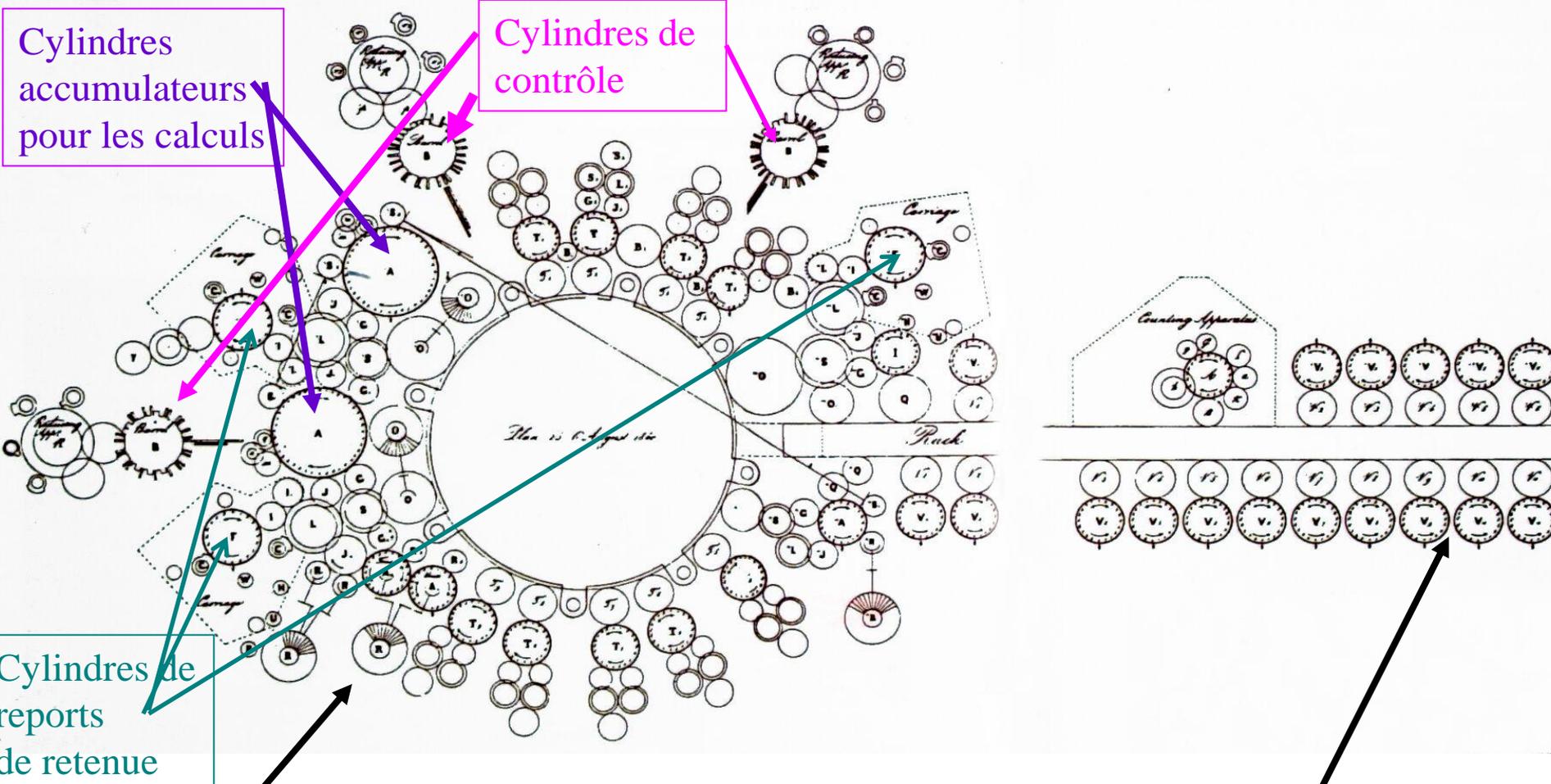


von Neumann
conseiller auprès
d'IBM

(Les Cahiers
de Sciences et Vie,
Hors série n°36, p. 58)

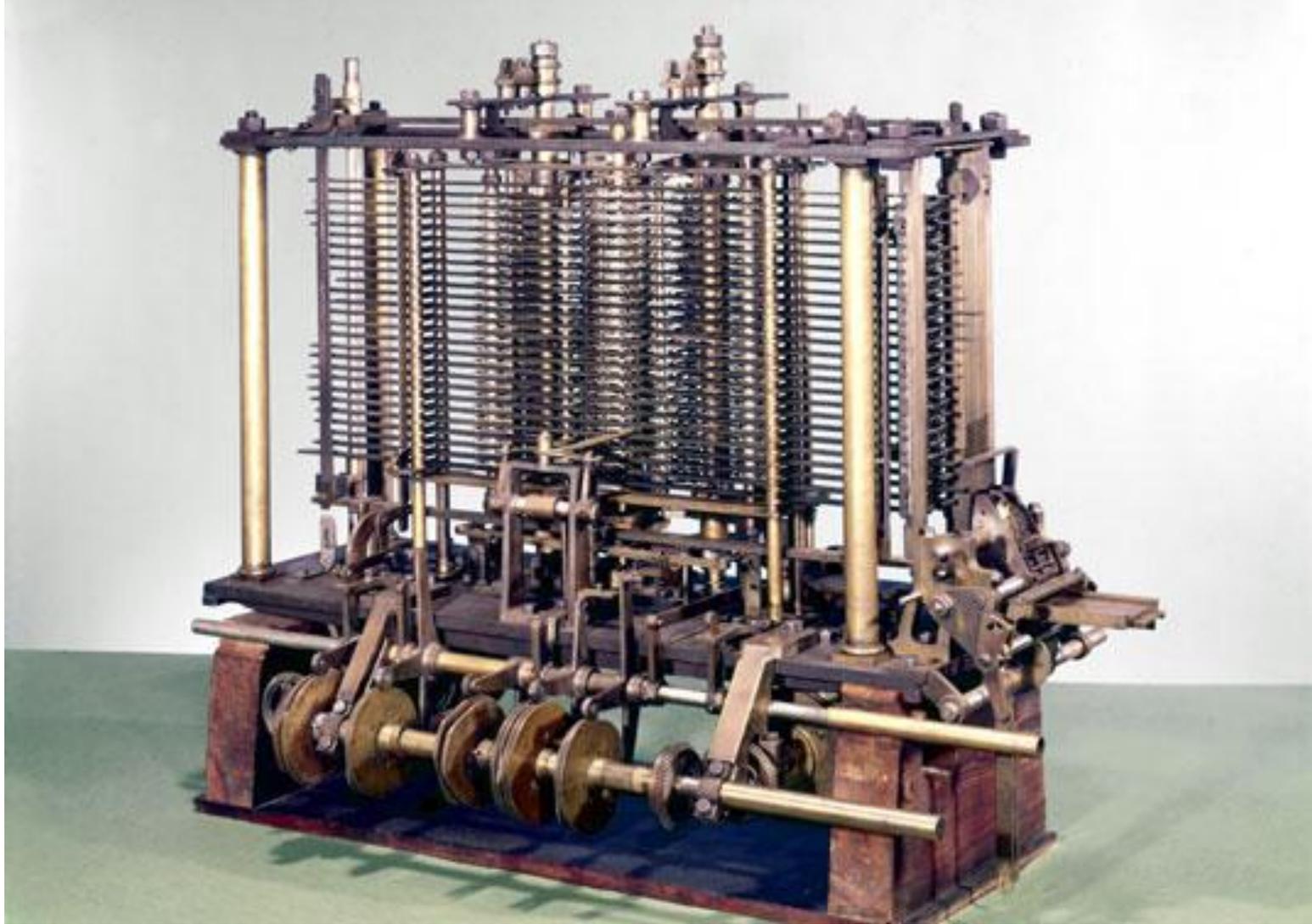
3. Connaissance actuelle de la chronologie des faits

3.0. Rappel préliminaire d'un point essentiel de l'histoire des machines à calculer: la Machine analytique de **Babbage**

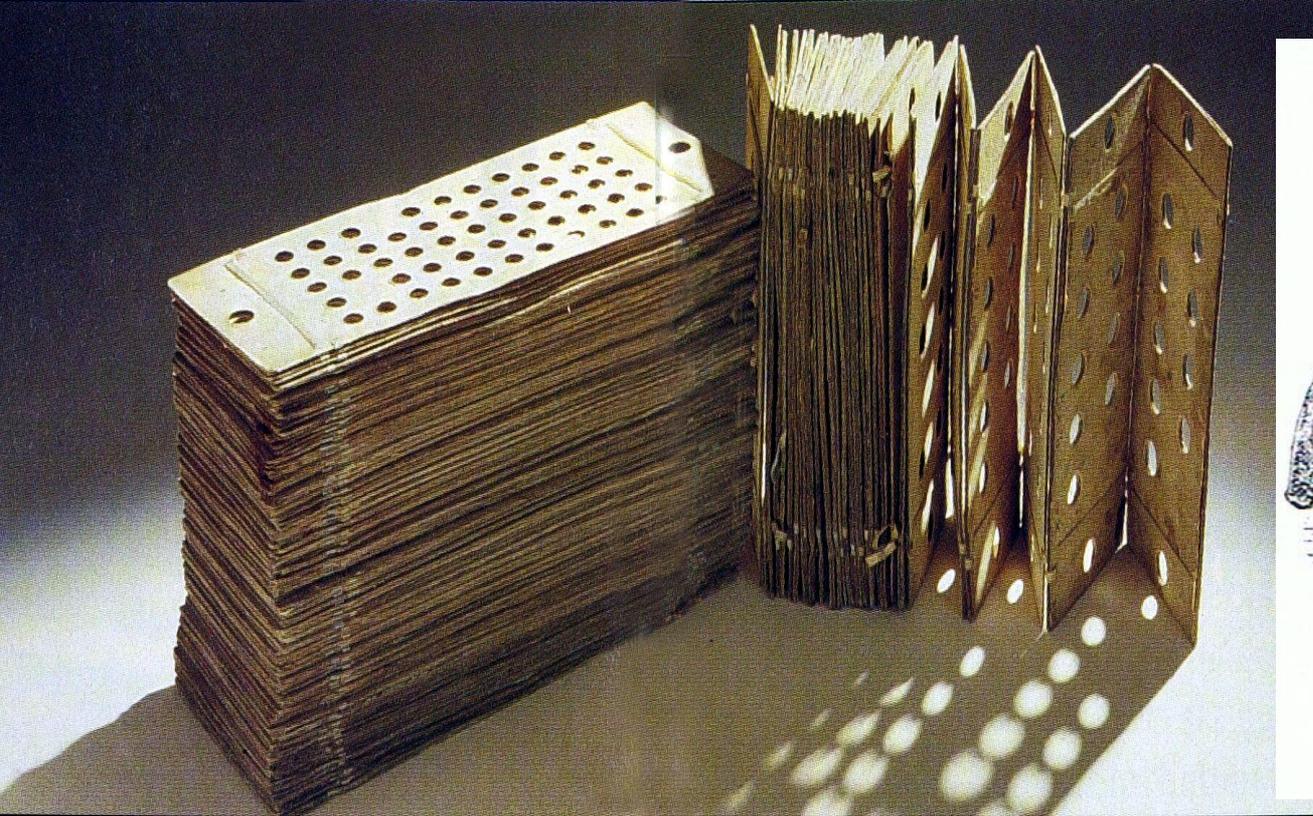


Plan général (1840) de la Machine analytique de Babbage :
 « moulin » (= ‘processeur’ pour le calcul et le contrôle) et « magasin » (= ‘mémoire’) (indiquant aussi les cylindres de report de retenues)

(Photo extraite de Marguin 1994 p. 168-169; légende sur base de Bromley 1990 p. 80 [accumulateur, reports] et Babbage in Randell 1982 p. 20)



Modèle d'essai de la Machine analytique: portion du "moulin" avec le mécanisme d'impression, en construction au moment de la mort de Babbage (en 1871)
(<http://www.sciencemuseum.org.uk/images/I031/10301732.aspx>)



Cartes perforées (en carton) de la Machine analytique (*Science Museum, Londres*)

« Les petites cartes spécifient l'opération arithmétique, les plus grandes, la localisation des données dans le magasin. » (Swade 2001 fig. 12)

(Photo de gauche extraite des Cahiers de Sciences et Vie, Hors série n°36, p. 18-19

Photo de droite: *Smithsonian Institution*)

Machine analytique de **Babbage** :

+ Régulation: Possibilité d'**autorégulation** du programme (**modifiable**) (branchement conditionnel)

* Automatisation de l'exécution de **n'importe quelle séquence** d'opérations (= du contrôle) :

basée sur un programme modifiable manuellement
(extérieur) (= 'programmation')



programme figé (/intérieur) supérieur

* Automatisation (avec optimisation encore plus poussée) du **report de retenues** :

basée sur programme figé (/intérieur) inférieur



Commentaire de **Randell**

« *Whether or not **Babbage** had in essence conceived of stored programs, there is absolutely no evidence to suggest that this aspect of his work had any influence on later pioneers. **In fact the idea of a stored program has little attraction when a machine has only a slow mechanical internal memory.*** »

Randell 1982 p. 376

3.1. **Turing 1936(-1937):** *Sur les nombres calculables, avec une application au problème de la décision*

Commentaire du biographe de **Turing**

« En fait, même s'il avait examiné les vestiges de la Machine analytique de **Babbage** au Musée des sciences [de Londres], ce projet n'eut aucune influence sur ses idées et sur son langage. La machine de **Turing** ne trouvait pas de modèle direct dans ce qui existait en **1936** ... [Elle] était vraiment l'œuvre du jeune **mathématicien**. » **Hodges** p. 104

"Machine de Turing"

Constitution (Turing 1936-37 p. 231-232; Eberbach et al. 2004 p. 161; Hodges p. 91-93 et Turing et Girard p. 31-32):

1. un ensemble formé par
 - une **bande de papier** [= mémoire selon Turing (Hodges p. 270)] composée d'**une suite infinie de cases**
 - pouvant contenir un **symbole** [appartenant à un ensemble **fini** de symboles] ou être vide
 - une **tête de lecture/écriture** située devant une case et qui peut:
 - **lire, écrire** ou **effacer** ce qu'il y a dans la case située devant elle
 - **se déplacer** d'une case à droite ou à gauche.
2. une **table finie** (Turing 1936-37 p.233) de transition [à deux dimensions (Beeson 2004 p. 89)] / **fonctionnement** [Hodges p. 92] / **d'instructions** [Hodges p. 98] qui:
 - étant donné
 - le contenu de la case
 - l'état présent de la machine
 - spécifie
 - l'action suivante de la tête et
 - le nouvel état (qui peut-être inchangé) de la machine

Exemple: une 'machine de Turing' qui additionne

(Hodges p. 92-93)

Tête de lecture

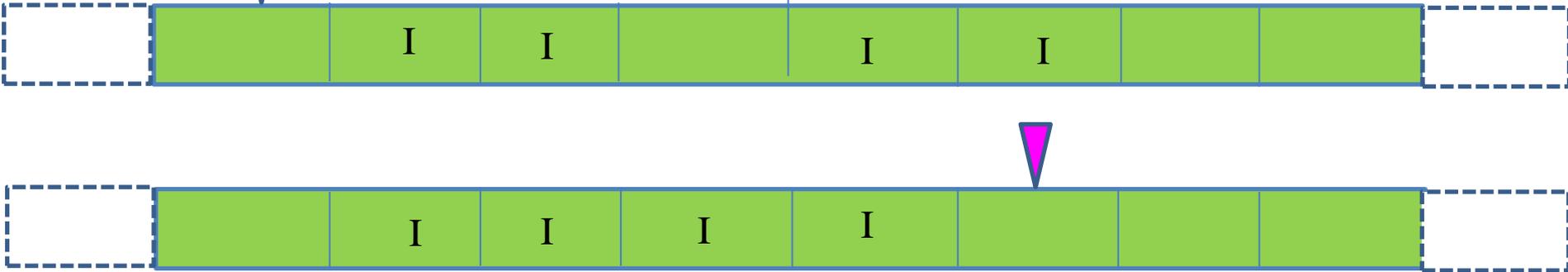


TABLE de fonctionnement

Symboles inspectés (*scanned*)

	vide	I
État 1	Aller à droite: état 1	Aller à droite: état 2
État 2	Marquer I; Aller à droite: état 3	Aller à droite: état 2
État 3	Aller à gauche: état 4	Aller à droite: état 3
État 4	Rester sur place: état 4	Effacer; rester sur place: état 4

- « Le fonctionnement de la machine est à chaque étape **entièrement déterminé** par
 - l'état actuel et
 - le symbole déchiffré. » (Hodges p. 92)
- La table de fonctionnement **définit complètement** la machine au sens où elle comprend toutes les informations pertinentes la concernant. D'un point de vue abstrait, **la table est la machine elle-même**. (Turing 1936-1937 p. 239; Hodges p. 92)

Définition d'un 'algorithme' (nom commun)

"algorithme" = (initialement) : Procédé de calcul figurant dans l'ouvrage dont *Al Khorizmi* est l'auteur.
↓ : Notion intuitive (Chabert et al. p. 508)

= (actuellement) : "**Suite** de prescriptions **précises** qui dit d'exécuter **dans un certain ordre** des opérations **réalisables** pour aboutir, en un nombre fini d'opérations, à la solution de **tous** les problèmes d'un certain **type donné.**"

(*Encyclopaedia Universalis*)

(voir Chabert et al. p. 26 + Verroust)

[: 'un ensemble d'opérations élémentaires, organisées selon des règles précises dans le but de résoudre un problème donné'

(Déf. Prélimin. cours de calculabilité Vanhoof)

: Concept défini formellement (Chabert et al. p. 506)
grâce à Turing (cf.§ 2.2.1)

« Dans les *Nombres calculables*, on supposait que toutes les informations étaient disposées de façon linéaires, de sorte que le temps d'accès était directement proportionnel à la quantité d'informations stockées ... C'est ce qui expliquait pourquoi la disposition indiquée dans les *Nombres calculables* ne pouvait pas être reprise telle quelle dans une machine concrète. »

Turing notes fragmentaires datant de **1945** (cité dans Hodges p. 270 et 285)

« Revenons à l'exemple des machines à calculs théoriques à ruban infini. On peut démontrer qu'une seule machine particulière de ce type serait capable d'effectuer les travaux de toutes les autres. Elle devrait pouvoir remplacer n'importe quelle autre machine, et appelons la 'machine universelle'.

Elle fonctionnerait de la manière suivante: une fois que nous avons décidé quelle machine elle devra imiter, nous perforons la description de celle-ci sur le ruban de la machine universelle. Cette description explicite ce que la machine doit faire dans toutes les configurations qui pourraient se présenter. Il suffit à la machine universelle de continuer à suivre cette description pour déterminer quoi faire à chaque étape.

La complexité de la machine à imiter est ainsi concentrée sur le ruban et n'apparaît pas du tout dans la machine universelle proprement dite. »

Turing, conférence auprès de la *London Mathematical Society*, 20 février 1947 (cité dans Hodges p. 271-272)

« Nous n'avons pas besoin d'une infinité de machines différentes pour accomplir différentes tâches. Une seule suffira. Le problème de construction posé par la production de machines variées, spécialisées chacune dans une tâche, est remplacé par un travail de bureau, c'est-à-dire par la 'programmation' de la machine universelle pour la tâche voulue. »

Turing 1948 (cité dans Hodges p. 250)

Synthèse

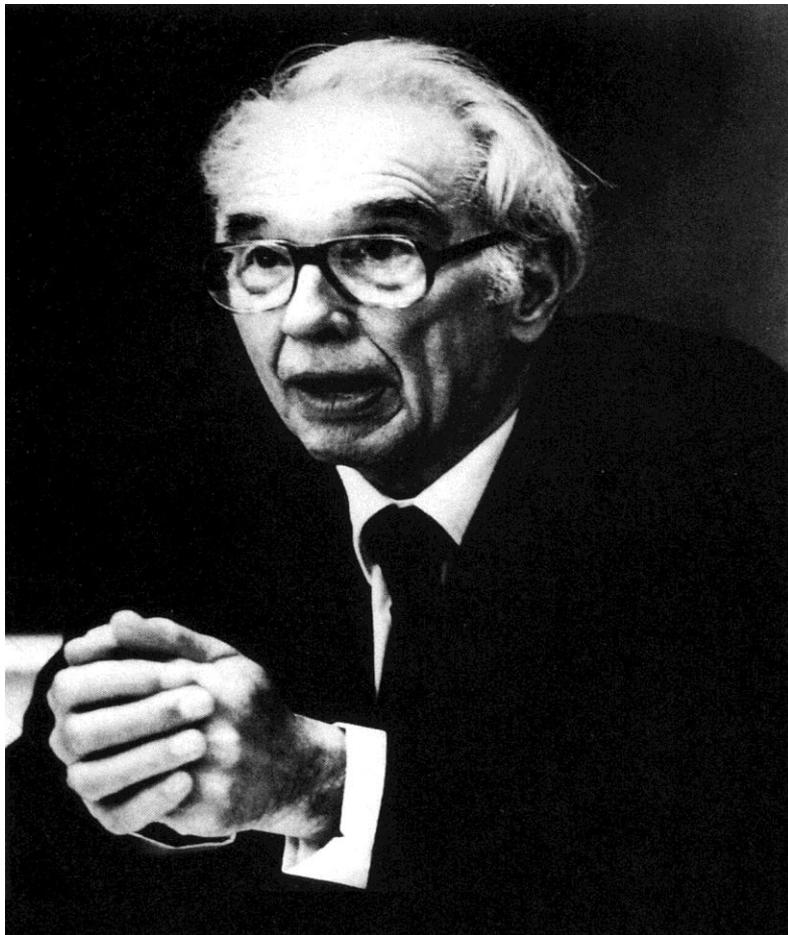
« Turing ‘machines’ are **conceptual objects** rather than physical machines. They *could* be built but in practice the *idea* of these machines is used, rather than physical examples. Such a machine **can be specified by a finite list of its parts** (‘**states**’) and **their connections** (‘**instructions**’). They work on ‘**inputs**’ that are represented by symbols on an input device, usually called a ‘tape’...

Turing’s key idea was that the descriptions of machines can be given by symbols, and hence Turing machines can accept (descriptions of) Turing Machines as inputs » (Beeson 2004 p. 88)

3.2. Les grands calculateurs électroniques construits entre 1939 et 1945

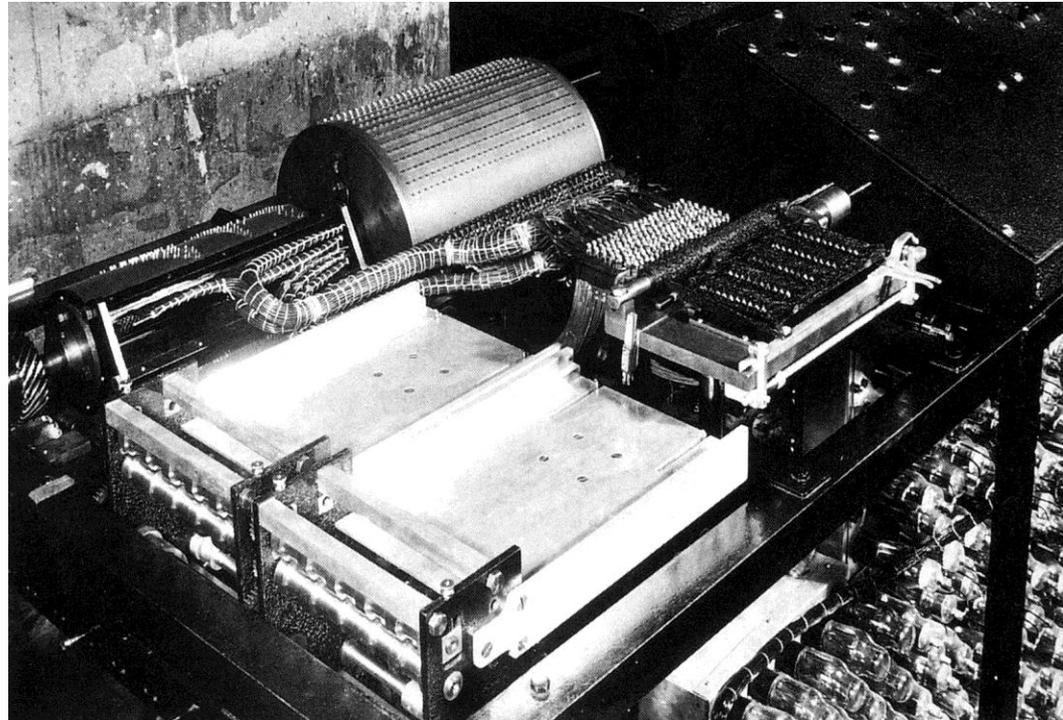
3.2.1. ABC d'Atanasoff (& Berry)

- **But:** éviter aux chercheurs de fastidieux calculs
- **Lieu :** Université d'Iowa
- **Caractéristiques techniques de la machine projetée** \Leftarrow **modestie des moyens**
 - calculateur non universel (\rightarrow résolution d'équations linéaires)
 - avec câblage **fixe** de séquences arithmétiques: pas de possibilité de modification de ce programme (Ceruzzi 1990 p. 228) (= programme figé)
 - basé sur le système binaire
- **Quelques dates:**
 - une nuit de **1937** (Ceruzzi 1990 p. 227): « invention » par **Atanasoff**
 - **fin 1939** : prototype opérationnel réalisé: (Randell 1982 p. 294)) = **première machine à calculer électronique**)
 - puis obtention de fonds et *début* de mise en œuvre de la machine complète
 - **1941**: **observation** par **Mauchly**
 - **1942**: **mobilisation** d'**Atanasoff** (alors que calculateur non achevé) (Randell 1982 p. 294) ...
 - \rightarrow **oubli** jusqu'en ... **1967** (au moment du procès intenté par *Remington Rand* [de Eckert et Mauchly])



John Vincent Atanasoff

(Les Cahiers de Sciences et Vie,
Hors série n°36, p. 31)



L'ABC d'Atanasoff & Berry

(*Computer Museum* de Boston - cf. Ligonnière p. 288)

(Photo extraite des Cahiers de Sciences et Vie,
Hors série n°36, p. 31)

3.2.2. Les *Colossus* de **Flowers** (1^{er}: **1943**)

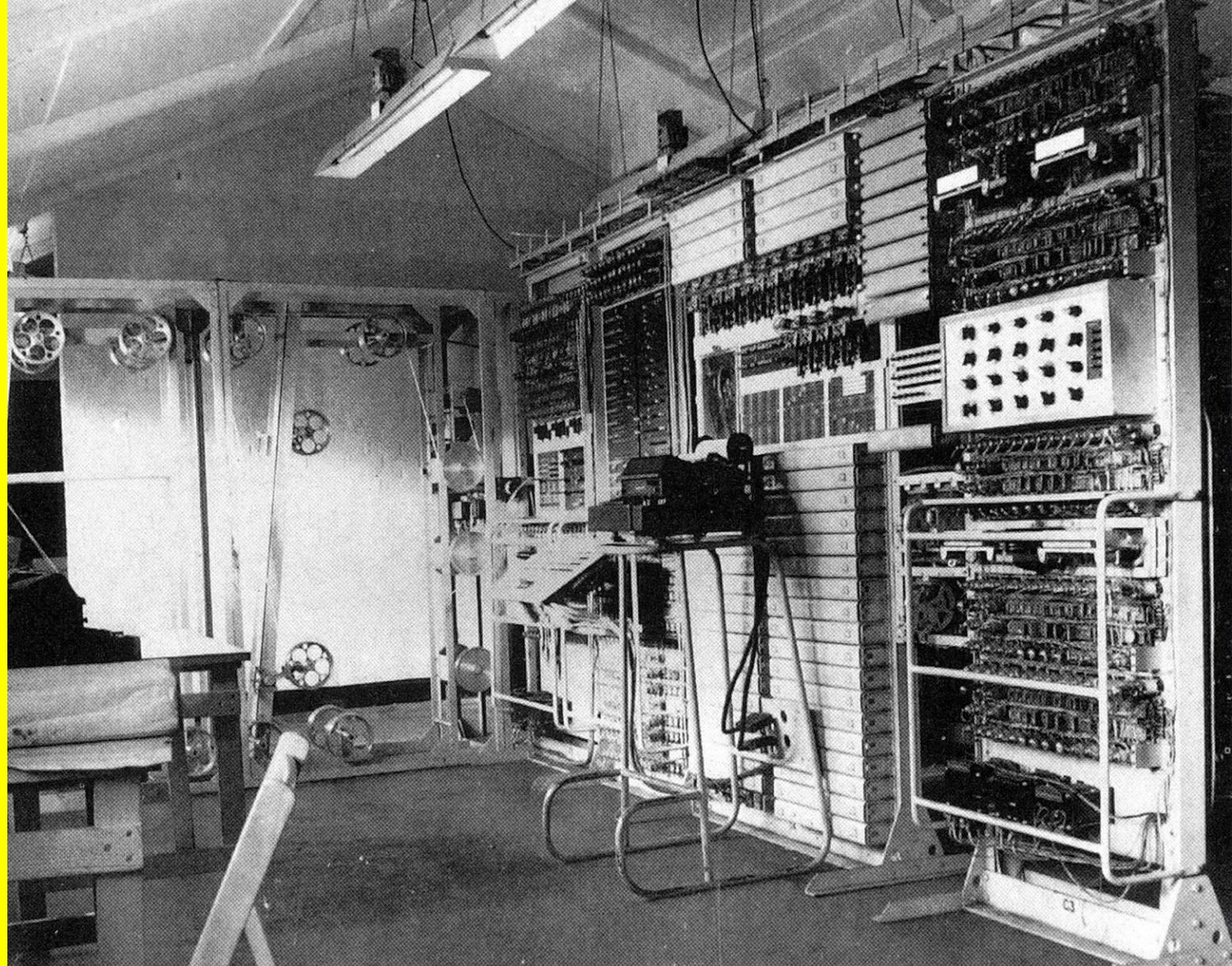
(cf. Ligonnière 1987 p. 300, Verroust, Time life et Lévy, Randell 1982 p. 296-297 et 349-354)

- **Initiateur: T. Flowers** (ingénieur des postes, **spécialiste des circuits de commutation téléphonique**) (docteur Honoris cause de l'Université de Newcastle en 1977 grâce à Randell (Randell 2012 p. 15))
- ***Colossus I* = premier calculateur (?) électronique de grande taille à avoir fonctionné**
(Lévy p. 527)
(**spécialisé dans comparaisons booléennes** (Ceruzzi 1990 p. 232))
mis en service à la fin de **1943**
- **Caractéristiques techniques:**
 - taille importante (→ nom) : 1500 tubes à vide (Ceruzzi 1990 p. 232)
 - **numération binaire**
 - création d'une **horloge interne électronique** pour synchroniser les opérations
 - **programmation** possible: par **interrupteurs** et **tableau de connexions** (Randell 1982 p. 296) (programme modifiable manuellement *in situ*)
 - possibilité de **branchement conditionnel**
 - résultats imprimés sur machine à écrire électrique



T. Flowers

<http://www.primercpc.com/history/TommyFlowers.jpg>



Colossus I (Les Cahiers de Sciences et Vie, Hors série n°36, p. 75)

Approche anthropologique:
Chapitre 3.5 © M. d'Udekem-
Gevers

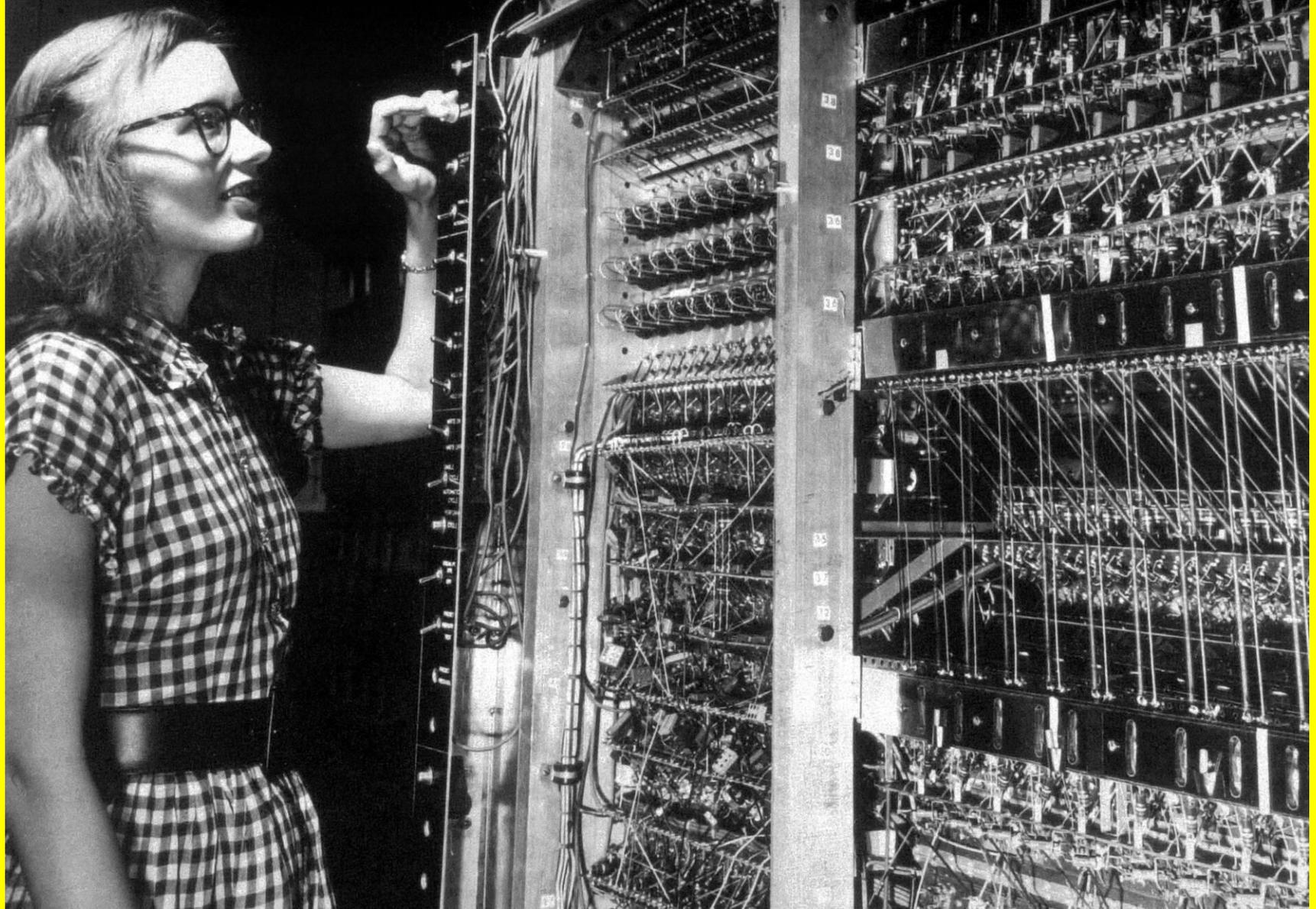
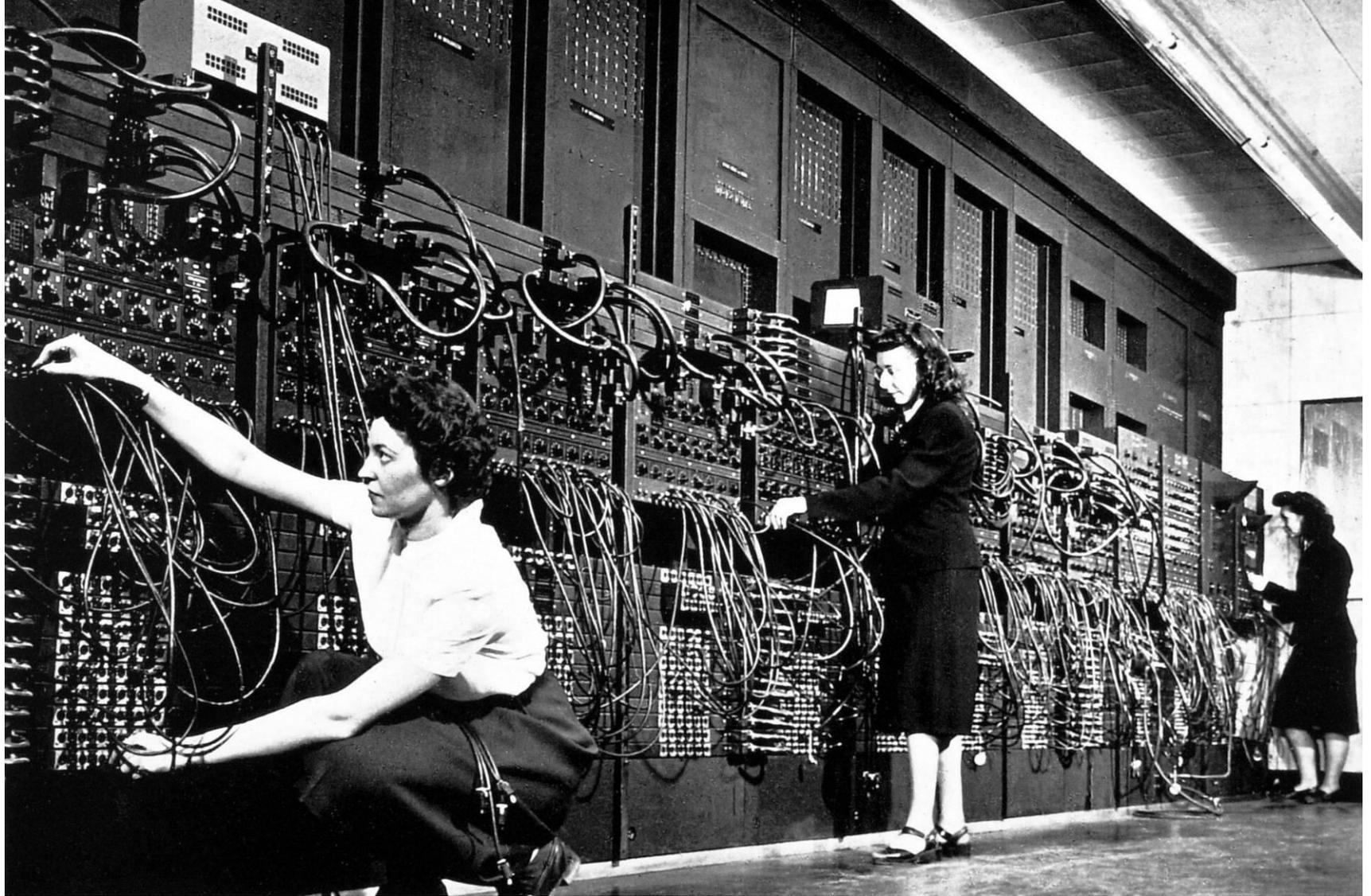


Tableau de connexions du *Colossus* (Dia extraite de Wurster 2002 p. 29)

3.2.3. ENIAC de Mauchly & d'Eckert

- **ENIAC** = *Electronic Numerical Integrator and Computer*
- **Lieu:** *Moore School* de l'Université de Pennsylvanie (incluant un bureau de calcul de la BRL (*Ballistic Research Laboratory*))
- **Objectif:** fournir à l'armée les moyens de calcul (notamment balistique) nécessaires
- **Caractéristique:** "secret militaire" ('Projet PX')
- **Equipe responsable:**
 - deux concepteurs: **John Mauchly** (docteur en physique) **qui s'inspira de l'expertise mise dans l'ABC par Atanasoff**) et **J. Presper Eckert** (électronicien **et bricoleur de génie**)
 - responsable liaison avec l'armée: **Hermann Goldstine** (mathématicien mobilisé comme lieutenant)



Opératrices occupées à introduire/modifier un **programme (câblé)** sur l'ENIAC

(Dia extraite de Wurster 2002 p. 27) (ENIAC: jadis exposé au *National Museum of American History*, Washington D.C.)

Approche anthropologique:

Chapitre 3.5 © M. d'Udekem-

Gevers

Quelques dates:

- **Début** de la construction: **juin 1943**
- Participation de **Von Neumann** à la mise au point :**à partir de 1944**
- **Achèvement** (dans le secret): **novembre 1945 (!)**
- **Inauguration 'tapageuse'** du '*Giant Brain*': **février 1946**: avec une démonstration publique prouvant son intérêt (: calcul de trajectoire d'un projectile)

Bilan de l'ENIAC et résultats

- Impasse du point de vue technique : car le temps passé pour entrer/changer le programme est ENORME (pls jours) alors que la vitesse de son exécution est très grande



- **Idée du Programme enregistré** = enregistrement du programme en mémoire centrale (= mémoire électronique [donc dont le temps d'accès est beaucoup plus court que celui à une mémoire mécanique]) avant de commencer l'exécution des opérations
- **But** (Aspray 1990 p. 63): **cumuler les avantages**
 - d'un programme câblé (modifiable manuellement) (cf. ENIAC):
 - **Vitesse d'exécution supérieure**
 - d'un programme extérieur sur bande perforée:
 - Rapidité plus grande pour passer de l'écriture à la concrétisation du programme: **complication moins grande de l'implémentation physique**
 - Souplesse plus grande au niveau de la longueur du programme



3.3. First Draft of a Report on the EDVAC

von Neumann 30 June 1945

Extraits

« Main subdivison of the system

1. First: Central arithmetic part
2. Second: Central control part
3. Third: Memory
4. Fourth: Input
5. Fifth: Output » (Von Neumann 1945 Draft p. i)

« Any device which is to carry out long and complicate sequences of operations (specifically of calculations) must have a considerable *memory*. At least the four following phases of its operation require memory:

- a) ... a series of intermediate (partial) *results* must be remembered...
- b) The *instructions* which govern a complicated problem may constitute a considerable material, particularly so, if the code is circonstancial (which it is in most arrangements). This material must be remembered.
- c) In many problem specific *functions* play an essential role...
- d) For partial differential equations, the initial conditions and the boundary conditions may constitute an *extensive numerical material* which must be remembered throughout a given problem. » (Von Neumann 1945, Draft p. 2)

Commentaires de Randell

« It is generally accepted that *the first documented discussion* of ... the advantages of using just one large internal memory, in which instructions as well data could be held was the draft report on EDVAC [Electronic Discrete Variable Automatic Computer] written by *von Neumann*, dated *30 June 1945*. » (Randell 1982 p. 377)

« There was and is *no consensus regarding the relative contributions* of *Eckert, Mauchly, von Neumann and Goldstine* – a controversy that I did not wish to enter into.

What was indisputable was that the various papers and reports emanating from the EDVAC group, *from 1945 onwards*, were a *source of inspiration to many computer designers* in many different countries and played a vital part in rapid development of modern computer. » (Randell 2012 p. 8)



Commentaires du biographe de von Neumann

« *The First Draft of a Report on the EDVAC* » « **presented the first written description of the stored-program concept** and explained how a stored-program computer process information. [...] »

Von Neumann was interested in presenting a ‘**logical**’ description of the stored-program computer rather than the engineering description; that is, his concern was the overall structure of a computing system, the abstract parts that it comprises, the functions of each part, and how the parts interact to process information. The specific material or design of implementation of the parts was not pertinent to his analysis. [...]

The report [...] soon found its way into the hands of many different groups in the United States and England interested in building high-speed computer devices. In effect, it **served as the logical schematic for many of the early stored-program computers.**»

William Aspray 1990 p. 39-41

**3.4. *Proposals for Development in the
Mathematics Division of an
Automatic Computing Engine***
Turing 1945 (présenté en mars 1946)

Comparaison

(basée sur Carpenter B.E. & Doran R. W. 1975 p. 269 et svtes + Randell 1994)

Points communs

Von Neumann Draft mi 1945 **Turing Proposals fin 1945**

1. Thème général: idée de « *stored program computer* » (non encore nommé ainsi!) au sens de mettre dans la mémoire électronique de la machine aussi bien le programme que les données
2. Auteur
 - appartenant à une équipe
3. Document
 - pas destiné à la publication → absence de références et de remerciements
 - Contenant des idées non définitives mais au contraire en pleine évolution
4. Résultats à terme
 - Débouchant sur la construction d'un ordinateur (EDVAC/ Pilot ACE) différant fondamentalement de celui prévu initialement

Quelques divergences

Von Neumann Draft **mi 1945**

- Pas achevé
- Le **premier écrit** relatif à un 'ordinateur' (*stored program computer*)

Turing Proposals **fin 1945**

- Achevé et complet: « *quite possibly the first **complete** design of a stored program computer architecture. He [Turing] did realise that [...] it would need to be modified in the light of experience.* » (Carpenter & Doran p. 269)
- **Basé sur le Draft**: « *It is recommended ... that it be red in conjunction with J. von Neumann's Report on the EDVAC.* » (Turing p.3)
- **Insistance marquée sur la programmation** ← article de Turing 1936-37 « Nombres calculables » (Carpenter & Doran p. 270)
(→ program = « *table* »)

Von Neumann Draft mi 1945

- Gestion des instructions héritée de celle des grands calculateurs avec programmes sur bandes perforées (« *the next instruction come from consecutive memory locations* »)
(Carpenter & Doran p. 270)

Turing Proposals fin 1945

- Gestion des instructions basée sur le recours à un registre d'adresse de l'instruction suivante; Turing est en avance sur von Neumann:
« *concept of memory closer to a random access addressable device* »
(Carpenter & Doran p. 270)

Von Neumann Draft **mi 1945**

- distinction de la représentation des données et des instructions (**instr. : identifiée par tag d'un bit**);
Modification possible de la partie adresses (seulement) des instructions (Carpenter & Doran p. 270) (permet d'implémenter le branchement conditionnel)
- IMPossibilité
 - D'appliquer des opérations arithmétiques aux instructions (Randell 1994 p.13) = de traiter des instructions comme si c'était des nombres (C&D p. 270)
 - de convertir des données en instruction (Randell 1994 p.13)

Turing Proposals **fin 1945**

- **absence de distinction de la représentation des données et des instructions** (Randell 1994 p.13)
- Possibilité
 - D'appliquer des opérations arithmétiques aux instructions (Randell 1994 p.13) = traiter des instructions comme si c'était des nombres (C&D p. 270)
 - **de convertir des données en instruction** (Randell 1994 p.13) et **d'exécuter ses propres programmes automatiquement** (Randell 1994 p.13)

Exposé par **Turing** du principe directeur distinguant son projet Ace de ceux du groupe de **von Neumann** ou de **Wilkes** lors de son séjour à Harvard du **7 au 10 janvier 1947** (Hodges p. 298):

« Nous cherchons à **exploiter** davantage les possibilités qu'a la machine elle-même de faire toutes sortes de choses différentes **par la simple programmation**, plutôt qu'en y ajoutant du matériel supplémentaire. »

En particulier: **Turing** ne prévoit pas d'accumulateur central mais une distribution des opérations arithmétiques (Hodges p. 275)

3.5. Texte de Turing de 1950

Turing A. 1950, Computing Machines and Intelligence, *Mind*, LIX, (traduction et introduction dans A. Turing, J.-Y. Girard, La machine de Turing, Seuil, 1991).

« *Digital computers* » (Turing's § 4)

if a MACHINE

1. « *Store* » = « *a store of information* »... with « *the 'tables of instructions'* »
2. « *Executive unit* » = « *which carries out the various individual operations involved in a calculation* »
3. « *Control* » = « *to see that these instructions are obeyed correctly and in the right order* »

If a HUMAN computer

1. « *Store* » =
 - *human computer's paper « on which his book of rules is printed »*
 - *human memory*

« *Universality of Digital Computers* » (Turing's § 5)

« ... digital computers fall within the class of *discrete-state machines*.

... Given the table corresponding to a discrete-state machine it is *possible to predict* what it will do. There is no reason why this calculation should not be carried out by means of a digital computer. Provided it could be carried out sufficiently quickly, the digital computer could mimic the behavior of any discrete-state machine...

This special property of digital computers, that *they can mimic any discrete-state machine*, is described by saying they are *universal machines*. »

§ suivant de Turing

« The Analytical Engine was a universal digital computer... »

4. Statuts accordés à l'article de Turing de 1936

- ! Diversités d'opinions selon les auteurs !
- Notamment en raison de différences de définitions

4.1. Témoignage du Dr S. Frankel à B. Randell en 1972

“I know that in or about 1943 or ‘44 von Neumann was well aware of the fundamental importance of Turing’s paper of 1936 ‘On computable numbers ...’ which describes in principle the ‘Universal Computer’ of which every modern computer ... is a realization. Von Neumann introduced me to that paper ... Many people have acclaimed von Neumann as the ‘father of the computer’ (in a modern sense of the term) but I am sure that he would never have made that mistake himself. He might well be called mid-wife, perhaps, but he firmly emphasized to me, and to others I am sure, that the fundamental conception is owing to Turing...”

4.2. Commentaires du biographe de Turing

Evoquant la proposition de von Neumann dans le *draft* de l'EDVAC:

« Une telle proposition équivalait à adopter le ‘ruban unique’ de la machine universelle de Turing, sur lequel tout devait être enregistré...

L'idée semblait trop belle pour être vraie et pourtant elle se trouvait depuis le début dans les *Nombres calculables* »

Hodges 1988 (p. 258)



- ... *public recognition of Alan Turing had attained a level very much higher than in 1983 when this book first appeared...* (p. xv)
- ... *the universal machine of 1936, which became the general-purpose digital computer in 1945.*
- ... *now it is impossible not to see Turing machines as computer programs, or software ...* (p. xvi)

Hodges 2012

4.3. Commentaire du biographe de von Neumann

*« Turing believed ... that the numbers that can be calculated by any purely effective or mechanical procedure in mathematics are exactly those that can be calculated by one of this Turing machines. He showed there is a single machine, know as the 'Universal Turing machine', that can have instructions encoded in it to make it behave like any of the other Turing machines. In effect the universal Turing machine is a **mathematically precise, theoretical model** of the **stored-program computer** (developed eight years later). »*

Aspray 1990, p. 176

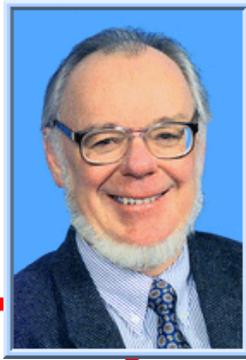


4.4. Commentaires de Carpenter B.E. & Doran R. W.

*« It is reasonable to view the universal Turing machine as being programmed by the description of the machine it simulates; since this description is written on **the memory tape of the universal machine**, the latter is an **abstract stored program computer** »*

(Carpenter B.E. & Doran R. W. 1975 p. 270)

4.5. Commentaires de Randell 1982



- *"Turing's 1936 paper can perhaps be regarded as implying the stored program concept and*
 - *there has recently been some speculation as to whether, through the wartime contacts with von Neumann and his association with the secret British code-breaking machines, he might have played some part in the development of the practical stored program concept. Should this in fact turn out to be the case, his paper, which is usually regarded as being of 'merely theoretical' importance, will be seen to have been considerably undervalued.*
- However at present it still seems reasonable to assume that the concept [of stored program] originated with the ENIAC group, in 1944 or 1945.*
- *(The earliest known document by Turing on electronic computers, his proposal for the Ace computer at the National Physical Laboratory, the pilot of which was completed in 1951, was written in 1945 but refers to von Neumann's draft Report on EDVAC...)" (p. 376)*

Commentaires de **Randell 1994**

- “However, to many, myself included, the concept [of stored program] also has strong connotations of the computer being able to construct, manipulate, and *then surpassing the notion that Babbage had arrived at over a century earlier*) execute its own programs all completely automatically.
- With this latter view, the stored program concept becomes *an engineering approximation to the theoretical universal automaton that Turing had postulated in his (now) famous 1936 paper – that is, a machine which is *general-purpose in a very fundamental mathematical sense as well as a very practical sense*.*
- Thus given the practical requirement of replacing the Turing machine’s infinite tape by a *sufficiently large random access store*, it is crucial for the computer to be able to *calculate the addresses that are used to access the store, rather than only being able to use pre-calculated (i.e., fixed) addresses*. This, to my mind, is a crucial characteristics of a modern stored-program computer. By these standards the first (1945) design for EDVAC does not qualify as a stored-program computer.” (p. 13)

Commentaires de **Randell 2012**

- « *The initial major goals of my investigation, which were to check out the story of a decisive wartime **meeting** of von Neumann and Turing, and to establish whether **Turing** had played a direct **role** in the development of the stored computer concept had **not be achieved**”* P.8
- « *Moreover there were believable claims that Turing’s classical pre-war on computability, a **paper** which is usually regarded as being of ‘merely’ theoretical importance, was a direct **influence** on the British machine’s [colossus]designers, and also on **von Neumann**, at a time when he was becoming involved in American computer developments.* » p. 8

Synthèse personnelle:

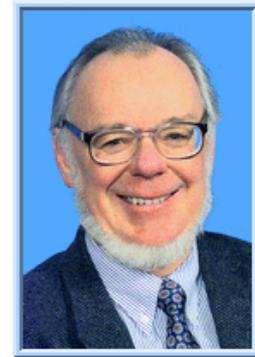
Randell : prudent et nuancé:

- Influence de l'article de 1936 de Turing sur le *Draft* de 1945 de von Neuman mais pas d'influence directe de Turing sur le draft de 1945
- Incomplétude du *Draft* de 1945 au niveau du concept de *stored program* mais complétude de *Proposal* de 1945 de Turing (→ construction, manipulation et exécution automatiques du programme → approximation d'un automate universel)

Fin des commentaires de **Randell 2012**

- *« By now ... I realised that I had been very wrong to omit Turing's name from the list of pioneers whose work should be covered in my planned collection of documents on the origins of digital computers » 2012 p. 5*
- *“I still stand by what I wrote in 1982. The one thing I would add to it was that the Turing's 1945 proposal for the ACE computer, which postdates and indeed refers to the Edvac report, in fact is a more complete account of a stored program computer.” e-mail 30 November 2012*

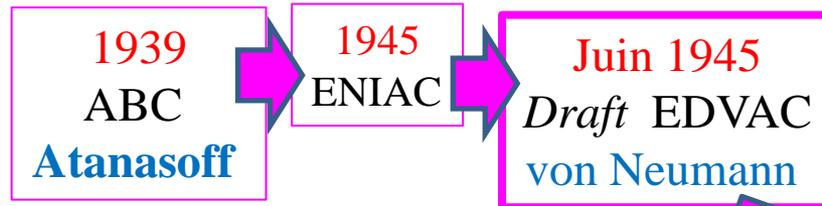
5. Conclusions (= synthèse de la réponse selon **Randell**)



Rappel: Schéma synthétique **originel** de **Randell**

Légende:  = influence

THEORIE:
MATHEMATIQUES *N. calculables*
de **Turing**



Large diffusion: archit.
'Von Neumann'

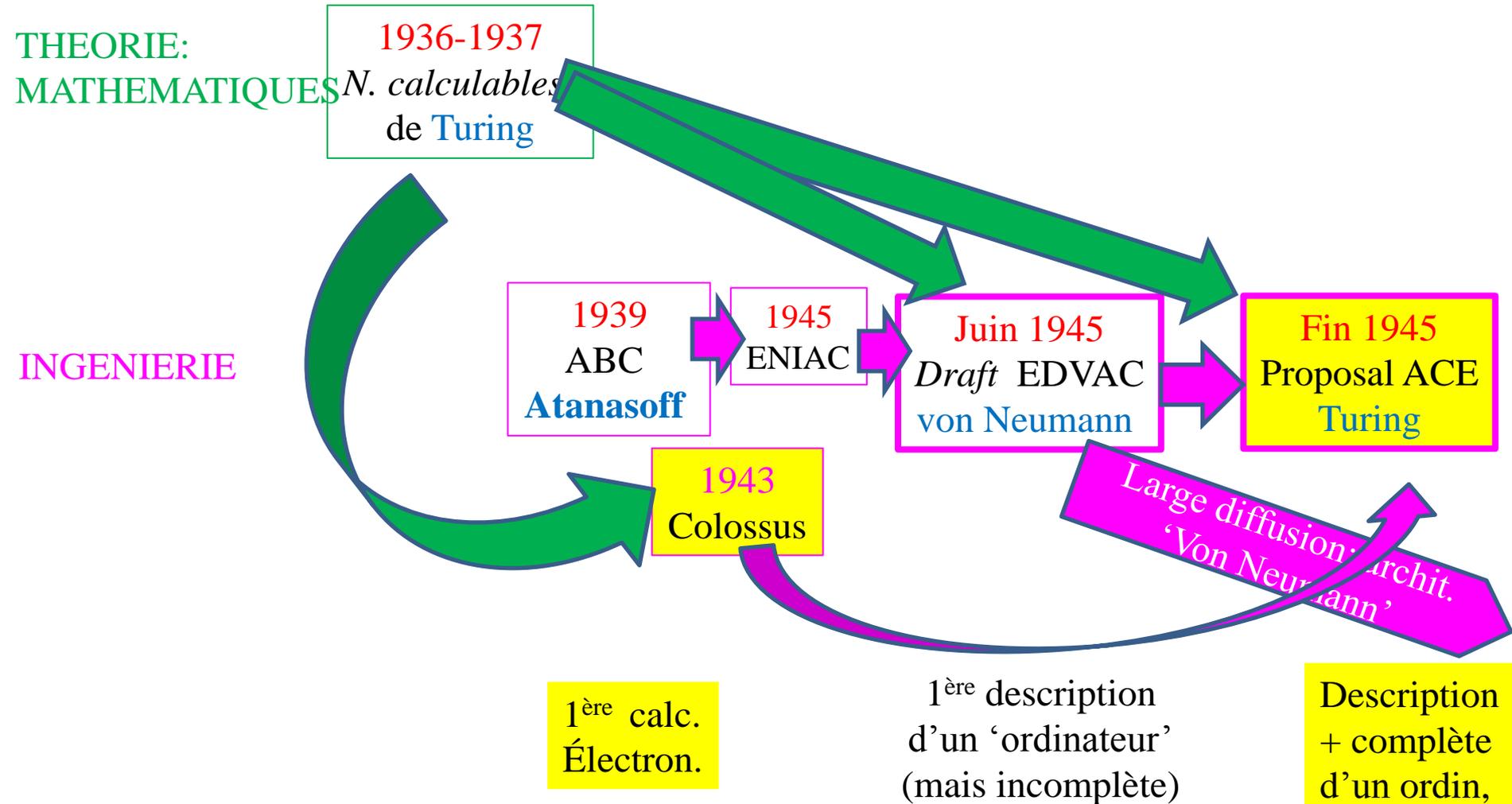
1^{ère} calc.
Électron.

1^{ère} description
d'un 'ordinateur'

INGENIERIE

Schéma synthétique **actuel** de **Randell**

Légende:  = influence



But initial de **B. Randell**

- = vérifier l’assertion de **Lord Halsbury (1959)** (qui était en **1949** *Managing Director of the national Research development Corporation*) que **Turing** a
 - rencontré **von Neumann** pendant la guerre et
 - influencé **directement** le développement du concept de « *stored program* »?
- Reste **non atteint!**
« rencontre à considérer comme légendaire ».

Bibliographie sommaire

- Agar Jon 2001, Turing and the Universal Machine, Icon Books UK, Torem Books USA, 153 p.
- Beeson M.J. 2004, The Mechanisation of Mathematics, in Teuscher C. (ed.) *Alan Turing: Life and Legacy of a Great Thinker*, p. 77-134.
- Bromley Allan G. 1987, The Evolution of Babbage's Calculating Engines, *Annals of the History of Computing*, Volume:9 Issue:2, p 113 – 136.
- Ceruzzi P. 1993, 2003, *A History of Modern Computing*, second edition, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 445 p.
- Carpenter B.E. & Doran R. W. 1975, The other Turing Machine, *Comp. J.*, vol, 20 n°3, p. 269-279,
- Chabert J.L., Barbin E. , Guillemot M., Michel-Pajus A., Borowczyk J., Djebbar A. et Martzloff J.C. 1994, *Histoire d'algorithmes - Du caillou à la puce*, Ouvrage publié avec le concours du Centre National du Livre et du C.N.R.S., Belin, Paris, 591 p.
- Davis 2004, The Myth of Hypercomputation, in in Teuscher C. (ed.), *Alan Turing: Life and Legacy of a Great Thinker*, p. 159-194.
- Eberbach E., Goldin D. & Wegner P. 2004, Turing's Ideas and Models of Computation, in Teuscher C. (ed.), *Alan Turing: Life and Legacy of a Great Thinker*, p. 159-194.
- Hodges A. 1988, *Alan Turing ou l'énigme de l'intelligence*, Bibliothèque scientifique Payot, 437 p.
- Hodges A. 2012, *Alan Turing – The Enigma*; The centenary Edition, Princeton University Press, 586 p.
- Lassègue J. 2003, *Turing*, Collection "Figures du savoir", Editions Les Belles Lettres, Lonrai, 210 p.

- *Les Cahiers de Sciences et Vie*, Hors série n°36 déc 1996, Qui a inventé l'ordinateur - Grands ingénieurs
- O'Connor J J and Robertson E F July 1999, Abu Ja'far Muhammad ibn Musa Al-Khwarizmi
<http://www-gap.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathematicians/Al-Khwarizmi.html>, consulté en février 2004
- Randell B. 1972 : On Alan Turing and the Origins of Digital Computers, In: Meltzer, B., Michie, D. (eds.) *Machine Intelligence 7*, pp. 3–20. Edinburgh Univ. Press
- Randell B. 1973 : *The Origins of Digital Computers – Selected Papers*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Randell B. 1976: *The Colossus. Tech. Rep. 90*, Computing Laboratory [à Los Alamos le premier rapport officiellement autorisé sur ce sujet]
- Randell B. 1982: *The Origins of Digital Computers*, Third Edition, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 580 p.
- Randell B. 1994 : The Origins of Computer Programming, *IEEE Annals of the History of Computing*, vol.16, Issue 4, pp. 6-14.[approfondit la définition de “stored program computer”]
- Randell B. 2012: *From Ludgate to Los Alamos*, [exposé à l’occasion du centenaire de Turing], 17 p.

- Turing A. M. 1936, On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem, *Proc. Lond. Math.Soc.* **42**(2), 230-265.
http://www.cs.virginia.edu/~robins/Turing_Paper_1936.pdf
- Turing A. M. 1936?, A note on normal numbers, manuscript and typescript available at [http://www.turingarchive.org,item C/15](http://www.turingarchive.org,item%20C/15). Text in *The Collected Works of A. M. Turing: Pure mathematics*, J. L. Britton (ed.), North-Holland, 1992.
- Turing A. M. 1937, On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. A correction, *Proc. Lond. Math. Soc.* **43**(2), 544-546.
- Turing A. 1950, Computing Machines and Intelligence, *Mind*, LIX, (traduction et introduction dans A. Turing, J.-Y. Girard, *La machine de Turing*, Seuil, 1991).
- Turing A.& Girard J.-Y. 1995, *La machine de Turing*, Seuil, point, Sciences, Paris, 175 p.
- Teuscher C. (ed.) 2004, *Alan Turing: Life and Legacy of a Great Thinker*, Spinger Verlag Berlin Heidelberg, 542 p.