

Entre analogie et abstraction : une étude des origines de la simulation dans l'ENIAC



Liesbeth De Mol

CNRS - UMR8163 Savoirs, Textes, Langage,
liesbeth.de-mol@univ-lille.fr

Introduction

Importance accrue de:

“Qu’est-ce qu’est l’impact de l’ordinateur sur les sciences?”

“Qu’est-ce qu’est la simulation et son impact?”

⇒ Manque d’une perspective historique cohérente (Borelli et Wellman 2019; De Mol 2019) –

ICI:

- le cas de l’ENIAC – point d’origine mythologique (de l’ordinateur et de la simulation via méthode de Monte Carlo, voir (Galison 1997 et 2011)
- Qu’est-ce qu’est “la simulation” dans ce contexte la?
- Point de vue des pratiques que se développent autour de la machine

Objectifs et thèse méthodologiques – approche ascendante

Es gibt keine Software

The Eastern World is exploding, sang Barry McGuire. Beim erstenmal, in den wilden sechziger Jahren, um all seinen Freunden über Vinyl oder Autokassettenrekorder den Glauben auszureden, daß wir nicht am Vorabend der Zerstörung leben. Beim zweitenmal, nach einem brillanten elektronischen Remake, das seinen alten Vinylsong zum digitalen Spitzenreiter von AFN Dharan beförderte, um westlichen Desert Storm-Kriegern über UKW den Glauben auszureden, daß sie oder wir am Vorabend der Zerstörung leben! ...

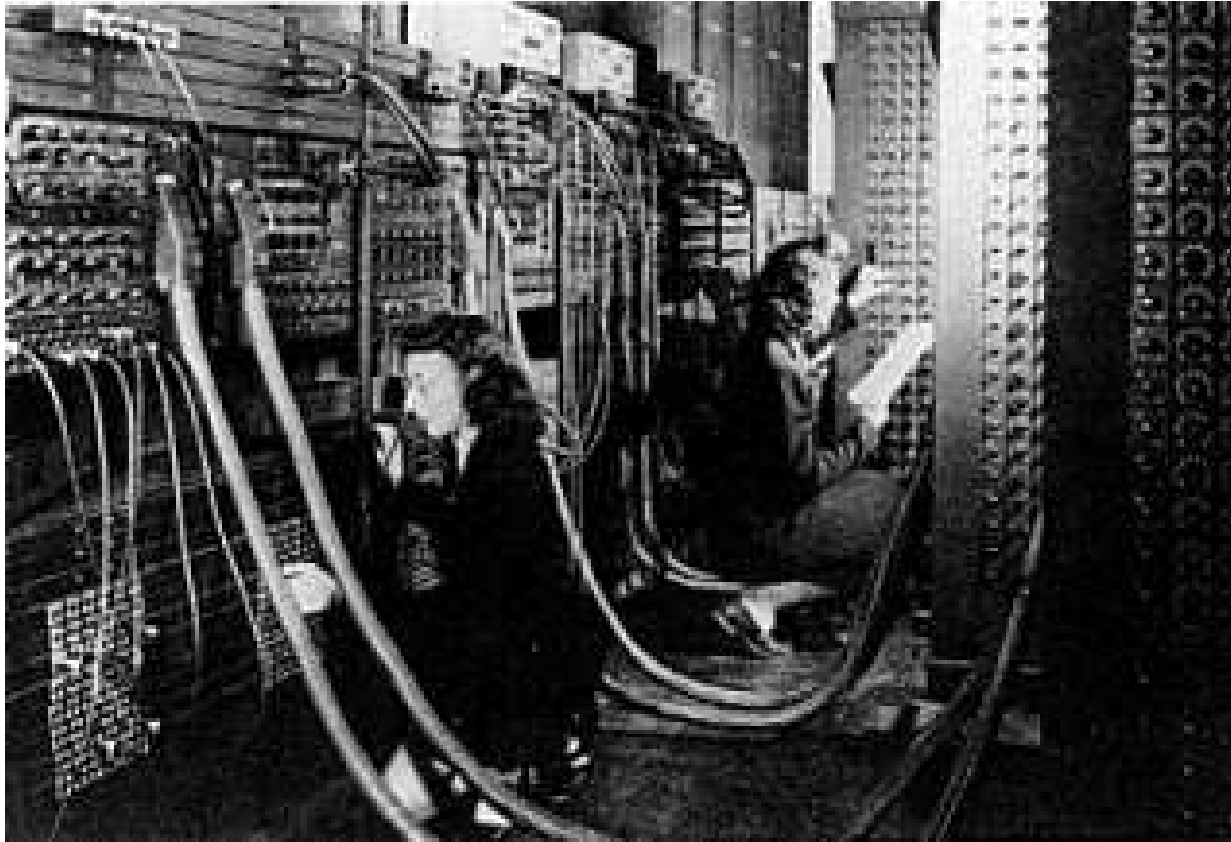
McGuire (oder vielmehr der digitale Signalprozessor, der eine phonographisch verewigte Negation wieder spurlos löschen konnte) hat recht behalten, aber nur, weil Explo-

1. “**It is the speed stupid**”
2. “Es gibt keine (Computer) Simulation”
 - (Dans l’ENIAC il n’y a pas une notion de simulation)
 - Pas ce qui est “simulé” mais ce qui simule – la perspective de la machine et ses pratiques structurées par trois niveaux:
 - (a) les mathématiques (humain)
 - (b) l’organisation (logique) du programme (humain-machine)
 - (c) la machine même (machine)
3. Plusieurs compréhensions possible de “simulation”

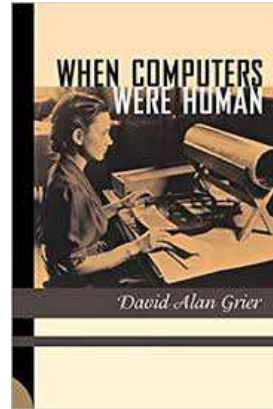
Structure

1. Introduire l'ENIAC – contexte historique
2. Trois pratiques - trois praticiens
 - Derrick H. Lehmer
 - Haskell B. Curry
 - John von Neumann
3. Discussion

I. Introduire l'ENIAC - contexte historique



Contexte globale: pratiques calculatoires dans les mathématiques appliqués (cfr Grier 2007)



Calculer dans les mathématiques appliquées (tables numériques):
processus de calcul **laborieuses, longs et sujet à erreurs**

Développement continu des méthodes et techniques de calcul plus efficaces:

- méthodes de déqualification (“deskilling”) (Swade 2003)
- Aides mécaniques

Contexte local: calculs dans Ballistic Research Lab et Penn University (tables d'artillerie)

Pratique hybride des calculs humains assistés par des calculateurs de bureau et calculs par l'AD – deux problèmes:



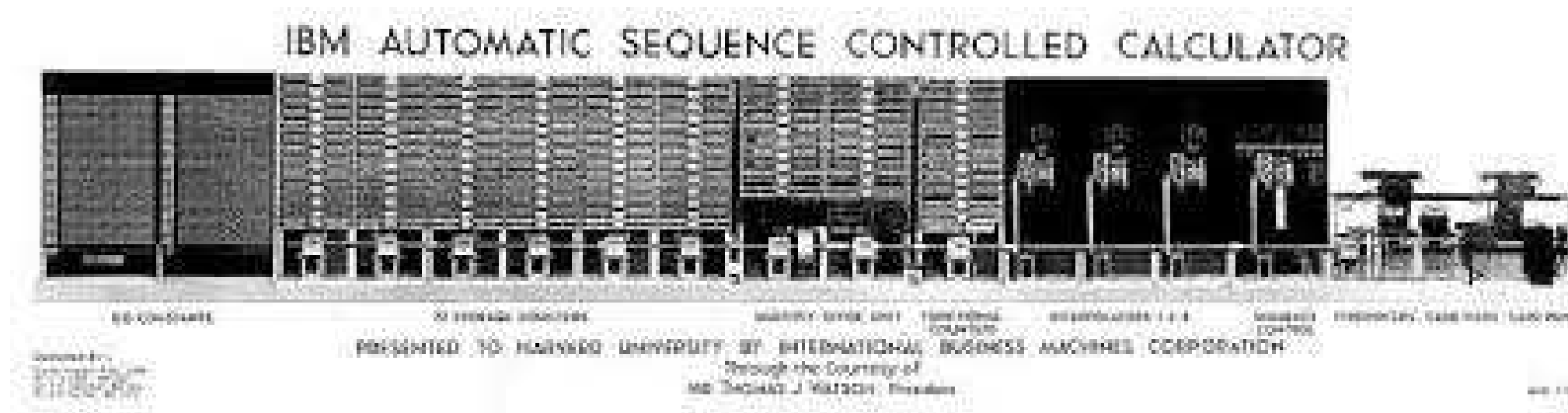
- résultats non précises de l'AD
- trop lent en vue de la situation de guerre

⇒ La solution? Une machine électronique et numérique, l'ENIAC, **E**lectronic **N**umerical **I**ntegrator **A**nd **C**omputer (Eckert et Mauchly)

Rencontrer l'ENIAC

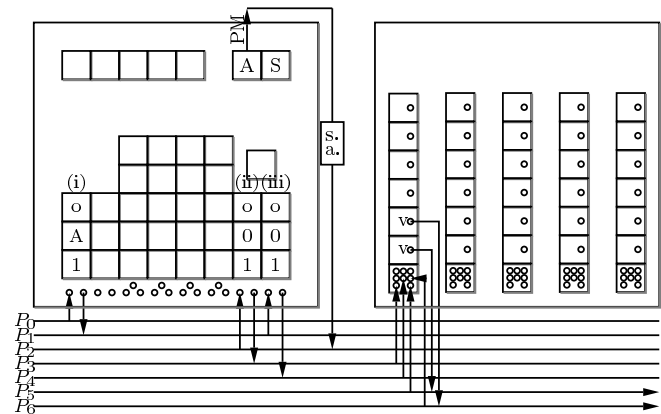
- Présenté au publique en 1946
 - Environs 100 problèmes différents (voir la liste de Barkley Fritz)
 - Deux périodes d'usage:
 1. 1946–1947: Configuration originale, modulaire et parallèle; programmation sans code (Bullynck and De Mol, 2010; De Mol, Bullynck and Carlé, 2015) – “[ENIAC] was a son-of-a-bitch to program” (Jean Bartik)
 2. 1947–1955: Recâblage dans une machine sérielle à **programme enregistré** avec un vocabulaire de 60 ordres primaires (Haigh et al 2016)
- ⇒ Importance de l'ENIAC? Une accumulation de plusieurs caractéristique: (1) numérique; (2) embranchement automatique; (3) vitesse

Rencontrer l'ENIAC – Trois caractéristiques: numérique



- Pourquoi? Plus de précision que les machines continues
- Autres machines: Mark 1; machines des labos Bell
- rendre possible l'embranchement et donc la possibilité d'automatiser le choix entre plusieurs options

Rencontrer l'ENIAC – Trois caractéristiques: embranchement et “universalité”



- *The advent of large-scale digital computers has added a fifth operation of considerable importance, namely discrimination. This, in general terms, is the operation of making a choice of one of several branches of a program [...] depending on the outcome of a previous calculation. This operation is peculiar to discrete-variable machines since its outcome is not continuous.* (Lehmer 1949)
- Rendre possible “universalité” (“programmabilité”)
- MAIS: présent dans d’autres machines non-électroniques (Bell Model 5 - Bullynck 2019) et ancré dans une histoire plus général des machines à calculer d’une manière “universelle”

Rencontrer l'ENIAC – Trois caractéristiques: Vitesse

⇒ Pas d'autres machines contemporaines

- **Imprévisibilité et absence de contrôle direct:**

“we are mentally not capable of seeing through the tremendous complications, all the consequences of a computer program” (Alt 1972)

- **Repenser des méthodes** p.e. algorithme plutôt que données

- le **programme enregistré** comme un corollaire: *“The idea of a stored program [...] couldnt have come up before we had the ENIAC because it would have been useless.” (Alt, 1972)*

- Besoin d'une pensée autour de la **programmation symbolique**

⇒ Changement technologique (vitesse) avec un impact épistémologique...

II. Trois pratiques – trois gens



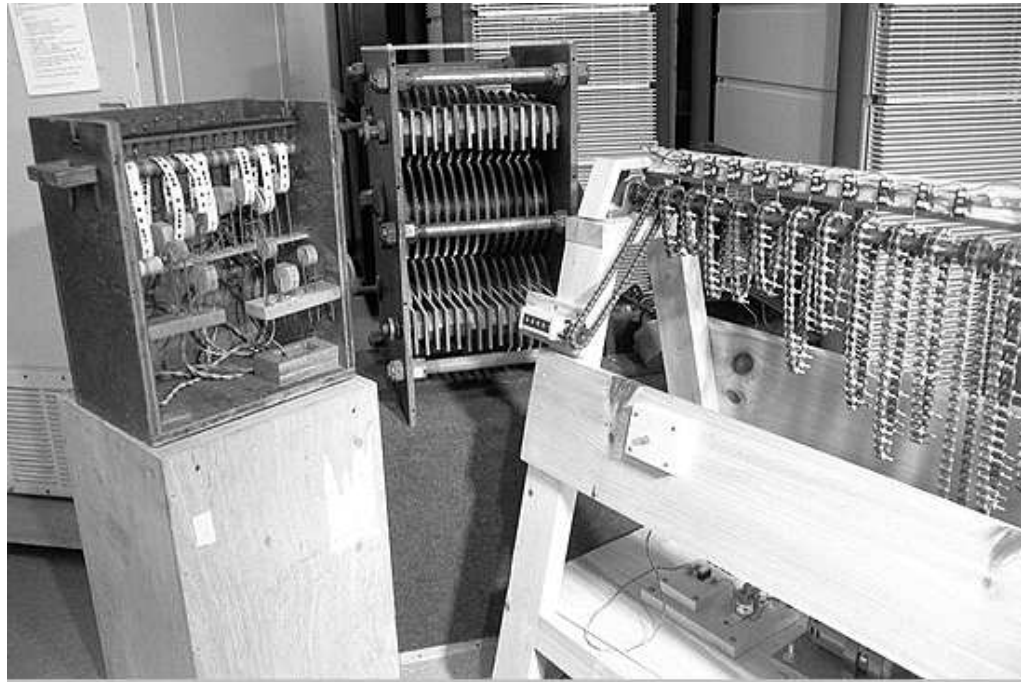
- Contexte
- Développer des mathématiques autour de l'ENIAC
- Pensées

II.a Lehmer – théorie des nombres



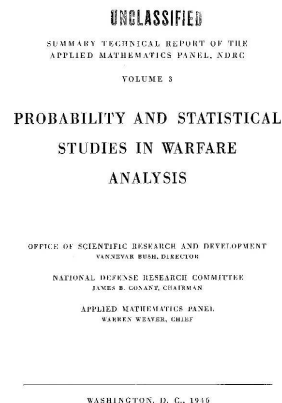
- Contexte
- Développer des mathématiques sur l'ENIAC – un problème de théorie des nombres
- Pensées

Contexte (1)



- Spécialiste du théorie des nombres, convaincu du besoin d'exploration dans les mathématiques
- Très conscient des opportunités offerts par des **aides technologiques**: *Mathematical tables and other aids to computation* + la construction de plusieurs cribles

Contexte (2) – la seconde Guerre Mondiale et le Applied Mathematics Panel (a)



Etabli en 1942 (Bush, Conant, Weaver 1946): *‘to bring mathematicians as a group more effectively into the work being carried on by scientists in support of the nation’s war effort.’* – contrats avec plusieurs universités y inclus l’université de Californie où était Lehmer

“Probability and statistical studies in warfare analysis” – méthode de “model experiment”: *“used as a means to solve certain bombing problems which would proceed tediously if approached by numerical integration.”*

Contexte (2)– la seconde Guerre Mondiale et le Applied Mathematics Panel (b)

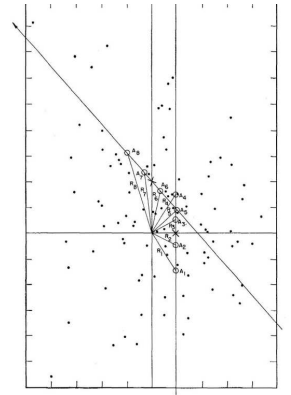


Figure 22. Synthetic loads plot illustrating techniques for removing unwanted derivatives of sliding errors from plots

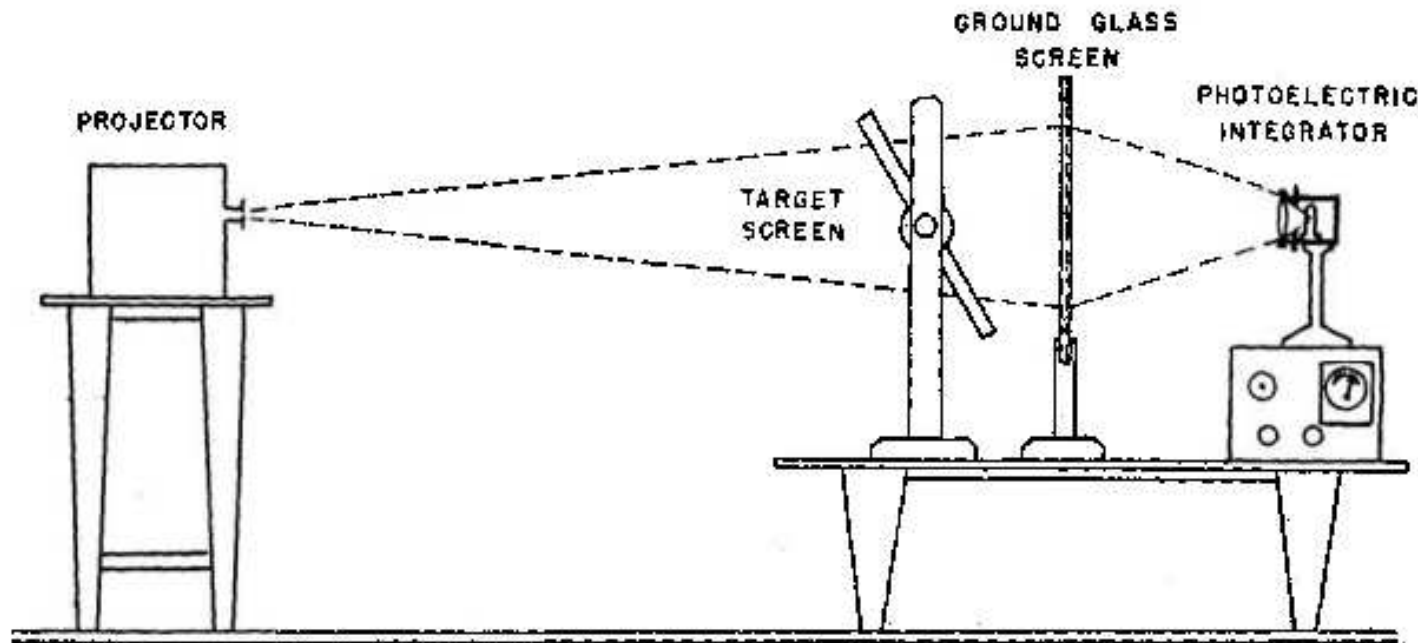
Un exemple: “[determine the number of attacks] needed to give a probability of at least P that at least the proportion F of the target would be covered at least n times” (Bush, Conant, Weaver 1946, p. 48).

“[The work] was done by **experimental statistical methods** in which model experiments **simulating** the conditions of the problem were repeated a number of times.”

Contexte (2): la seconde Guerre Mondiale et le Applied Mathematics Panel (c)

“The present study concerns a device which **mechanizes the work of a model experiment.**” – l’analyseur photo-electronique de Lehmer:

Estimer la probabilité d’au moins une frappe ou la proportion attendu, dans des attaques de vol en formation



Monte Carlo avant la lettre (sans calcul)?

Contexte (3): BRL computations committee

‘Computations Committee’ à BRL (Ballistic Research Lab) pour tester, entre autres, l’ENIAC. Membres?

- F.L. Alt
- L.B. Cunningham
- H.B. Curry
- **D.H. Lehmer**

Faire et développer des mathématiques “pures” sur l’ENIAC

Voir (Bullynck and De Mol 2009)

Calcul d’une liste d’exponents e de $2 \bmod p$, c-à-d la valeur la moins élevée de n alors que $2^n \equiv 1 \bmod p$ avec p un nombre premier

Objectif?

Tester la machine et démontrer ses capacités:

*“The running time of the problem occupied almost the entire weekend, around the clock, without a single interruption or malfunction. It was **the most stringent performance test applied up to that time**” (Alt 1972)*

*“I think what’s particularly interesting about the number theory problem they ran was that this was a difficult enough problem that it attracted the attention of some mathematicians who could say, **yes, an electronic computer could actually do an interesting problem in number theory**” (Alt, 2006)*

Faire et développer des mathématiques “pures” sur l’ENIAC Adapter les méthodes à la machine

Programmes plutôt que données: Pas de tables de nombres premiers – la machine est instruit de calculer ses propres nombres premiers (programmes plutôt que données)

“The method used by the ENIAC to find the exponent of 2 modulo p **differs greatly from the one used by human computer**”
(Lehmer, 1949)

“the ENIAC was instructed to take an **“idiot” approach**

⇒ Point de vue recurrent dans les premiers annes de l’ordinateur – le problème de trouver des méthodes qui sont adaptes à une machine

Pensées

L'application du point de vue “explorative” sur les mathématiques: *There exists a distinct possibility that the new machines will be used in some cases to **explore** the terrain that has been staked out so freely and that something worth proving will be discovered in **the rapidly expanding universe of mathematics***

*“From the point of view of the discrete-variable device, **things need to be counted rather than measured**; mathematics is not geometry but **arithmetic**; the universe is quantized and this includes mathematics. Integrals are but sums, and derivatives are but difference quotients; functions are discontinuous everywhere; limits, infinities and infinitesimals do not really exist [...] Thus [...] we seem to go back to Pythagoras. [...] The methodological step-by-step reiteration [...] is to be contrasted with the modus operandi of the analogue machine.*

⇒ **L'ordinateur comme machine analogue pour les nombres entier** ⇔
l'ordinateur qui “simule” des processus naturels

⇒ La “réalité alternative” constitué par l'ordinateur qui représente la nature (Galison 2011) est une réalité discrète – un problème pour le physicien mais pas pour le mathématicien qui étudie la théorie des nombres

II.b Curry – La logique et l'automatisation des calculs de tables d'artillerie



- Contexte
- Faire et développer des mathématiques sur l'ENIAC
- Pensées

Contexte

- **Patriote** – la motivation pour étudier les mathématiques
- Années 1920 – **logique**: fascination avec notion de la substitution dans la logique propositionnelle du PM; analyse de l'opération dans ses plus simples éléments; la **logique combinatoire**
- Le patriote impliqué dans la seconde Guerre:
 - De 1940-42: Membre du “National Committee on War Preparedness” du AMS et MAA – “*modern war is largely mathematical in character*” (Curry 1942: 337).
 - 1942-44: mathématiciens appliqué au Frankford Arsenal
 - 1945-46: BRL et membre du *Computation committee*

Faire et développer des mathématiques sur l'ENIAC

Quatre problèmes sur l'ENIAC

1. Méthode numérique pour “lisser” certaines fonctions empiriques (splines)
2. **Problème de l'interpolation inverse**
3. Des interpolations du quatrième ordre
4. Le calcul des 2000 premiers chiffres de e

Faire et développer des mathématiques sur l'ENIAC

Problème de l'interpolation inverse (1)

“A study of inverse interpolation on the ENIAC” (avec Wila Wyatt, 1946)



*“This problem is important in the calculation of **firing tables**.*”

Une autre test pour l'ENIAC *“In this report the problem of inverse interpolation is studied with reference to the programming on the ENIAC as a problem in its own right.”*

⇒ le **goulet de programmation** dans l'ENIAC (et des machines électroniques et universelles en général)

Faire et développer des mathématiques sur l'ENIAC

Problème de l'interpolation inverse (2) – adaptations

- **Simplification des programmes** plutôt que des méthodes plus efficaces
- **Pensées plus systématiques** autour de la programmation (cfr goulet de programmation):
 - **Logique des étapes** – flexibilité de programmation
 - ⇒ possibilité de ré-utiliser les mêmes “routines” de plusieurs point dans le programme (souvent lié au design “von Neumann”)
 - ⇒ étapes “génériques” qui peut-être ré-utiliser pour une classe de problèmes

Pensées – inspiration dans la logique mathématiques

- **Modeler la raisonnement humaine valide**
- **La simplification comme méthode principale**

⇒ **Modèle dynamique** pour des “*processes by means of which entities may be combined to get new entities*” – une simulation potentielle?

⇒ Ré-utilisation dans le contexte du problème de **composition (automatiques) des programmes**

Pensées – Le problème de la composition des programmes (1)

Automatisation de la préparation de programmes: “*In the present state of development of automatic digital computing machinery, a principal bottleneck is the planning of the computation [...] Ways of shortening this process, and of systemizing it, so that a part of the work can be done by the technically trained personnel or by machines, are much desired. The present report is an attack on this problem from the standpoint of composition of computing schedules*” (Curry 1949) **Deux étapes**

- L'analyse d'un programme dans des programmes de base

$$(x + 1)(y + 1) :=$$

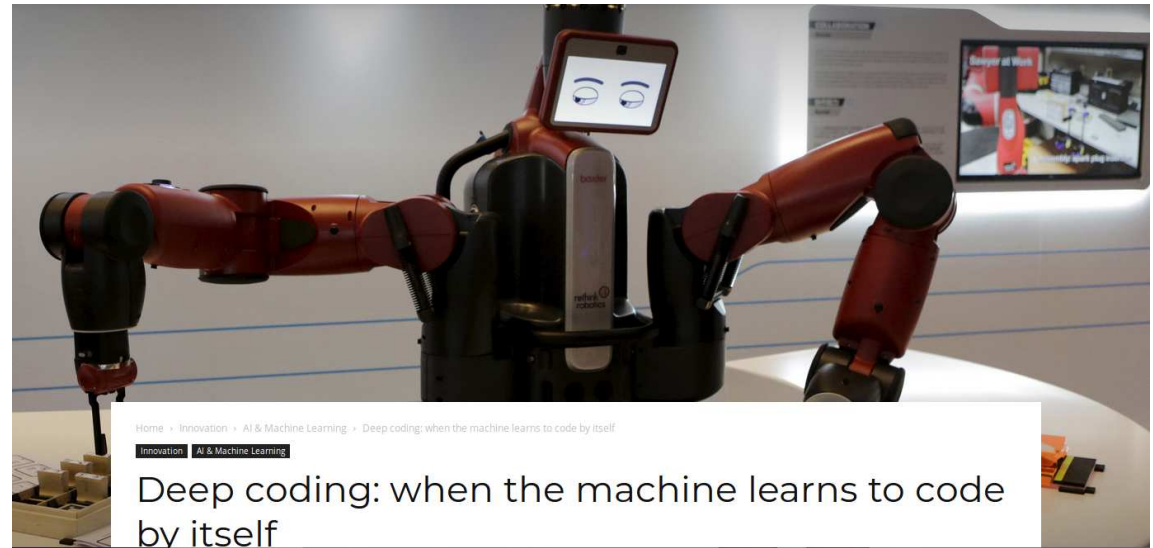
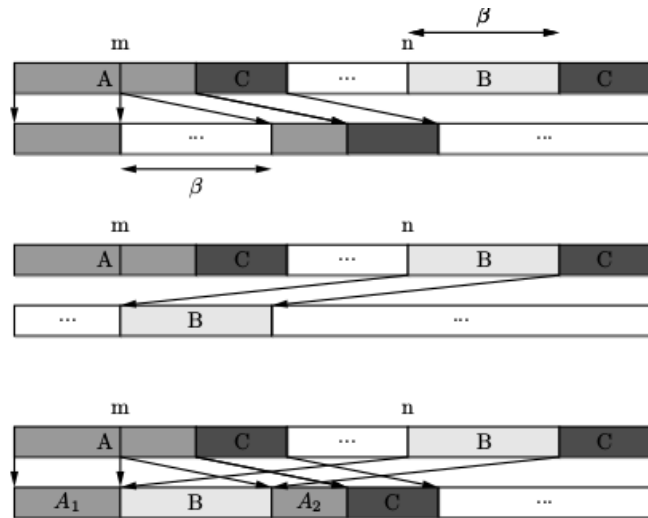
$$\{x : A\} \rightarrow \{x + 1 : A\} \rightarrow \{A : w\} \rightarrow \{y : A\} \rightarrow \{A + 1 : A\} \rightarrow \{A : R\}$$

$$\rightarrow \{Rw : A\} \rightarrow \{A : \lambda\}$$

- Synthèse de programmes de base dans un programme.

Pensées

Le problème de la composition des programmes (2)



⇒ Re-interprétation de la composition de programmes comme un modèle dynamique (à exécuter sur un ordinateur) et donc une simulation d'un processus humain – **la programmation automatique comme simulation**

⇒ le Saint Graal de la programmation – voir les débats récents autour de Deep Coding

II.c von Neumann – logic, formalism and applied mathematics



- Contexte
- Développer et faire des mathématiques
- Pensées

Contexte

von Neumann – un mathématicien de Göttingen

- Intérêt dans **formalisme et logique** (cfr les travaux de Hilbert)
- **Tradition de Klein** d'établir des ponts entre les mathématiques pures et appliqués – point de vue universalistes sur les mathématiques (Rowe 2018)
⇒ Les résultats d'**incomplétude** de Gödel – déménagement vers Etats-Unis (via Veblen) et tourné le dos à l'idéal formalist de Hilbert

⇒ 1937 – consultant à BRL – introduction aux **sciences militaires** – “*Before this, I was [...] essentially a pure mathematician. [...] I have certainly succeeded in losing my purity.*”

⇒ “*Goldstine had met von Neumann at the Aberdeen railroad station. That chance meeting in Aberdeen was the very beginning of von Neumanns high interest in electronic computation.*” (Eckert 1980)

Faire et développer des mathématiques sur l'ENIAC

La méthode de Monte Carlo (1)

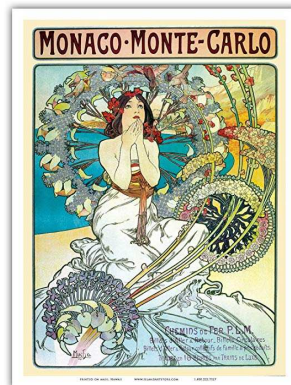


“For a whole host of reasons [he] had become seriously interested in **the thermonuclear problem** [...] Johnny [...] let it be known that construction of the ENIAC was nearing completion, and he wondered whether Stan Frankel and I would be interested in **preparing a preliminary computational model of a thermonuclear reaction for the ENIAC.**” (Metropolis 1987)

⇒ “Naissance” de l’idée de la méthode Monte Carlo (dans ce contexte)

Faire et développer des mathématiques sur l'ENIAC

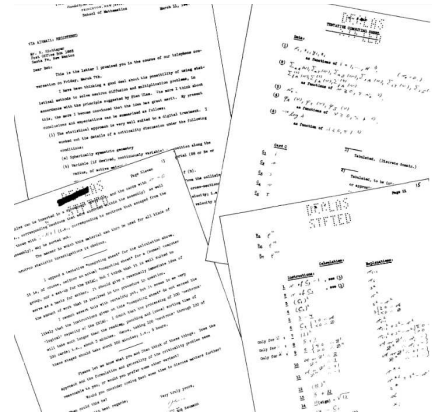
La méthode de Monte Carlo (2)



*“The first thoughts [on the Monte Carlo Method] were suggested by a question [...] The question was what are the chances that a Canfield solitaire laid out with 52 cards will come out successfully? [...] I wondered whether **a more practical method than “abstract thinking”** might not be to lay it out say one hundred times and **simply observe and count** the number of successful plays. This was already possible to envisage with the beginning of the new era of **fast computers**, and I immediately thought of problems of **neutron diffusion** and other questions of mathematical physics, and more generally how to change processes described by certain differential equations into an equivalent form interpretable as a succession of random operations.”* (Ulam 1983)

Faire et développer des mathématiques sur l'ENIAC

La méthode de Monte Carlo (3)



Déscription originale dans un lettre à Richtmyer, 1947: “*The idea is to follow the development of a large number of individual neutron chains as a consequence of scattering, absorption, fission and escape. At each stage a sequence of decisions has to be made based on statistical probabilities [...]. [...] Thus, a genealogical history of an individual neutron is developed. The process is repeated for other neutrons until a statistically valid picture is generated. [...] How are the various decisions made? To start with, the computer must have a source of uniformly distributed pseudo-random numbers.*”

Méthodes adapté à la machine... – calcul sur demande des nombres aléatoires (↔ table de nombres aléatoires)

Faire et développer des mathématiques sur l'ENIAC

Calculer des nombres aléatoires

Développement de la méthode de von Neumann $\underbrace{x_1 x_2 \dots x_n^2}_{2n} \rightarrow$ Prend les

n chiffres en milieu

Intérêt général dans l'aléatoire “Early in June, 1949, Professor John von Neumann expressed an interest in the possibility that the ENIAC might sometime be employed to determine the value of π and e to many decimal places with a view toward obtaining a statistical measure of the randomness of distribution of the digits [...] Further interest in the project on was expressed in July by Dr. Nicholas Metropolis [...]” (Reitwiesner 1950)

(\Rightarrow MAIS: “Anyone who considers arithmetical methods of producing random digits is, of course, in a state of sin.” (déterminisme vs. non-déterminisme))

Pensées

Contrôler la machine à grande vitesse: changer la machine

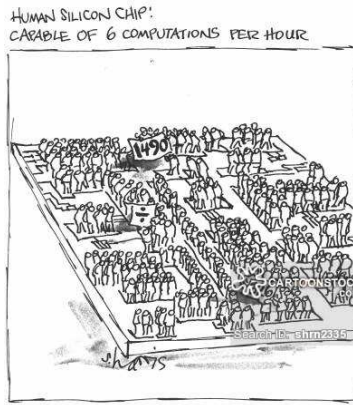
Contrôle intriorisé - Le programme enregistré comme un problème de mémoire

Solution technologique: le design EDVAC et la conversion de l'ENIAC dans une machine à programme enregistré (simulation?) – la naissance du, soit-disant, “design von Neumann”

- (mais, “programme enregistré” comme corrolaire plutôt qu’une idé logique géniale)

Pensées

Contrôler la machine à grande vitesse: systématiser la programmation comme division de travail (1)



“This integration of logic in the problem is a consequence of the high speed.” (von Neumann 1948)

“coding is not a static process of translation, but rather the technique of providing a dynamical background to control the automatic evolution of a meaning, it has to be viewed as a logical problem and one that represents a new branch of formal logic” (von Neumann and Goldstine 1947)

Pensées

Contrôler la machine à grande vitesse: systématiser la programmation comme division de travail (2)

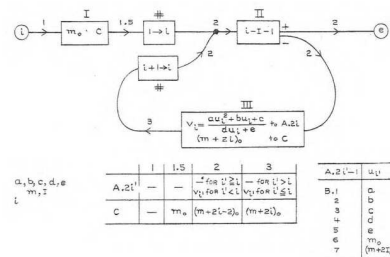


Diagramme de flux comme méthode humaine – dans l'esprit de division du travail de planifier et coder des problèmes:

1. l'étape mathématique (analyse du problème + choix d'algorithme)
2. l'étape macroscopique ou dynamique (dessin du diagramme)
3. l'étape microscopique ou statique (coder les boxes d'opération)
4. l'affectation dans le mémoire

⇒ Pas de simulation du programmeur/codeur mais du comportement dynamique de la machine

Pensées

L'ordinateur entre Calculation et Analogie

“[A]n analog calculation is one in which you look at some physical process which happens to have the same mathematical equations as the process you're interested in, and you investigate the process physically. You do not take the physical process which you are interested in [...] **You always look for something which is like it but not exactly the same thing** [...] You come very quickly to cases in which you will not do exactly this because it is not possible [...] to find a physical process which has exactly the same equations as the problem you are interested in. But you may still find, for example, three different processes which have the same equations as three parts of the problem and which can be aligned in such a manner that if you perform one after the other you get the complete answer. **From this there is a continuous transition to situations where you actually break up the problem mathematically into the elementary operations of arithmetic**”

⇒ “no machine, no matter how it is constructed, is really carrying out the operations of arithmetics in the rigorous mathematical sense.” (von Neumann, 1949)

Pensées

L'ordinateur entre mathématiques pures et le monde empirique (1)

Des mathématiques moins abstraits “I think that it is a relatively good approximation to truth [...] that mathematical **ideas originate in empirics** [...] But there is a grave **danger** that the subject [...] so far from its source, will **separate into a multitude of insignificant branches**, and that the discipline will become a disorganized mass of details and complexities [m.i.] [...] [W]henever this stage is reached, the only remedy seems to me to be the rejuvenating return to the source: the **re-injection of more or less directly empirical ideas.**” (von Neumann 1947) (echo Hilbert/Courant)

Pensées

L'ordinateur entre mathématiques pures et le monde empirique (2)

L'ordinateur comme intermédiaire “there are large areas in pure mathematics where we are blocked by a peculiar inter-relation of rigor and intuitive insight, each of which is needed for the other, and where the unmathematical process of experimentation with physical problems has produced almost the only progress which has been made. **Computing, which is not too mathematical either in the traditional sense but is still closer to the central area of mathematics than this sort of experimentation** is, might be a more flexible and more adequate tool in these areas than experimentation.”

Pensées

L'ordinateur entre logique et réalité

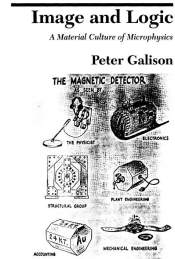
Entre logique et réalité

L'ordinateur comme intermédiaire 2 Une opportunité de trouver une nouvelle balance entre la logique et l'empirique – *“I think that [the Gödel incompleteness results] constitutes the best caution against taking the immovable rigor of mathematics too much for granted. This happened in our own lifetime, and I know myself how humiliatingly easily my own views regarding the absolute mathematical truth changed during this episode, and how they changed three times in succession!”* (von Neumann 1947)

Le design EDVAC Abstraction des détails d'ingénierie par les modèles abstraits des réseaux de neurones de McCulloch et Pitts, inspirés par le modèle de Turing – voir aussi ses travaux autour des automates naturels et artificiels.

Discussion

Discussion



- Besoin d'une histoire non réductive et singulier autour de L'ENIAC
 - Accent sur des méthodes et techniques **adaptés à la machine**
 - constitution d'une dynamique réciproque entre:
 - les mathématiques (p.e. l'approche de l'idiot)
 - la machine (p.e. le design EDVAC)
 - la programmation (p.e. la composition de programmes)
- ⇒ Simulation à la Monte Carlo est qu'une des techniques// visible en mettant entre parenthèse "simulation"

Discussion

PERSPECTIVE

doi:10.1038/nature10836

The case for open computer programs

Darrel C. Ince¹, Leslie Hutton² & John Graham-Cumming³

Scientific communication relies on evidence that cannot be entirely included in publications, but the rise of computational science has added a new layer of inaccessibility. Although it is now accepted that data should be made available on request, the current regulations regarding the availability of software are inconsistent. We argue that, with some exceptions, anything less than the release of source programs is intolerable for results that depend on computation. The vagaries of hardware, software and natural language will always ensure that exact reproducibility remains uncertain, but withholding code increases the chances that efforts to reproduce results will fail.

- “Es gibt keine simulation”? Une double dissimulation:
 - simulation et non pas méthodes de calcul: cache une pluralité et diversités de méthodes qui contextualisent et étendent la simulation
 - accent sur l’imitant – manque d’attention pour les méthodes qui sont l’oeuvre sous la couche de la simulation → simulation comme “un semblant de ce qui n’est pas” (OED); voir (Ince 2012)

Discussion: ‘A pretence of what is not’