



21 mai 2026 – séminaire Code source

Un ordinateur à billes pour la médiation des concepts fondamentaux de l'informatique

Pierre Cubaud
cubaud @ cnam.fr

le cnam

Plan de l'exposé

- (moi)
- Médiation, ordinateur, tangible
- Une machine pilote
- Une machine d'exposition
- Une machine reproductible & augmentée

Plan de l'exposé

- (moi)
- Médiation, ordinateur, ta
- Une machine pilote
- Une machine d'exposition
- Une machine reproductible & augmentée

CEDRIC : C. Alexandre, L. Zerioul

UNIVERSCIENCE : V. Blech, JC Dumond,
J. Kirman, J. Printens

+ HAKIMAKI : M. Gautron , S. Korntved
Ruud

Plan de l'exposé

- (moi)
- Médiation, ordinateur, tangi
- Une machine pilote
- Une machine d'exposition
- Une machine reproductible & augmentée

CEDRIC : C. Alexandre, L. Zeroul

UNIVERSCIENCE : D. Lenoir,
K. Ramasawmy, J. Kirman, L. Cornu,
ML. Barbier

FONDATION Dassault-Système : O. Scart
+ plusieurs ingénieurs volontaires

MECALECTRO : E. Marti

Plan de l'exposé

- (moi)
- Médiation, ordinateur, tangible
- Une machine pilote
- Une machine d'exposition
- Une machine reproductible & augmentée

CEDRIC : L. Zerioul, E. Verhulst,
C. Tymenski

CFA Cnam Apprentilab : M.
Safa

+ support Schneider Education
(JL. Duhoux) et Mecalectro (E.
Marti)

(moi)

<https://cedric.cnam.fr/~cubaud/>



- Bases de la programmation
- Systèmes et réseaux
- Structures de données
- Evaluation de performance
- Synthèse d'image (3D)
- Interaction humain-machine
- Visualisation d'informations
- Histoire de l'informatique

Introduction aux technologies des médias interactifs numériques



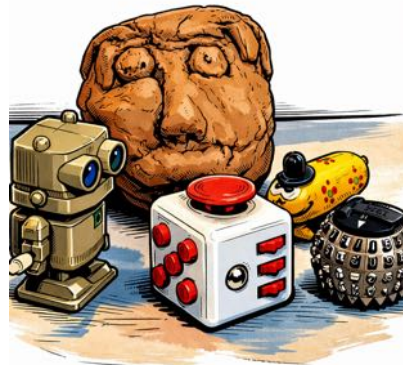
SESSION 4

Introduction aux technologies des médias interactifs numériques

Conservatoire national des arts et métiers

Ouvert jusqu'au 30 nov 2019

[En savoir plus](#)



parcours ingénieur HTT+FISA
Expérience interactive

le cnam cedric EA4629

Centre d'études et de recherche en informatique et communications

ACCUEIL AXES ET ÉQUIPES ACTIONS SÉMINAIRES DOCTORAT PUBLICATIONS ANNUAIRE

Le Cédric en 4 chiffres

259 PUBLICATIONS PAR AN

8 ÉQUIPES

3 AXES DE RECHERCHE

176 CHERCHEURS

Le laboratoire Cédric

Le Centre d'études et de recherche en informatique et communications (Cédric) regroupe les activités de recherche en sciences du numérique menées au Conservatoire national des arts et métiers (Cnam). Les chercheurs permanents du Cédric sont tous aussi des enseignants en informatique, en mathématiques appliquées ou en électronique. Le laboratoire mène des recherches fondamentales et appliquées...

[En savoir plus...](#)

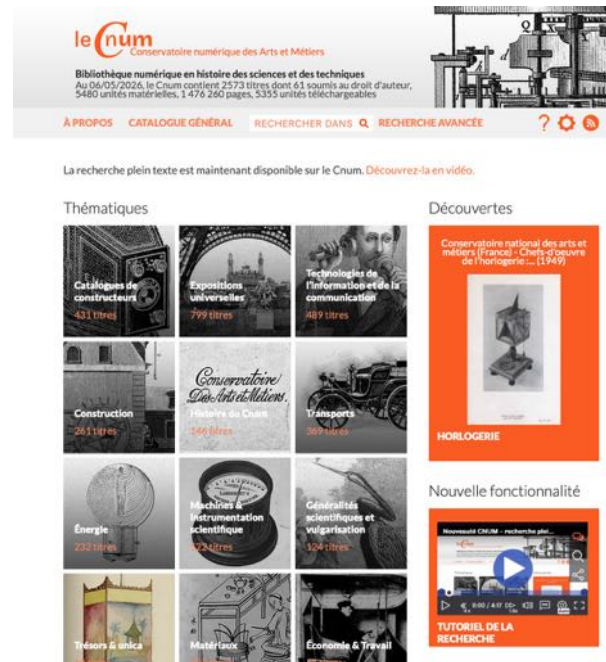
équipe
Interactivité
pour Lire et Jouer



recherche : interaction humain-machine (IHM) documents, visualisation, remédiation



<http://abu.cnam.fr>
> 1994



<http://cnum.cnam.fr>
> 2000



DL3D (ACM-IEEE JCDL'2002)

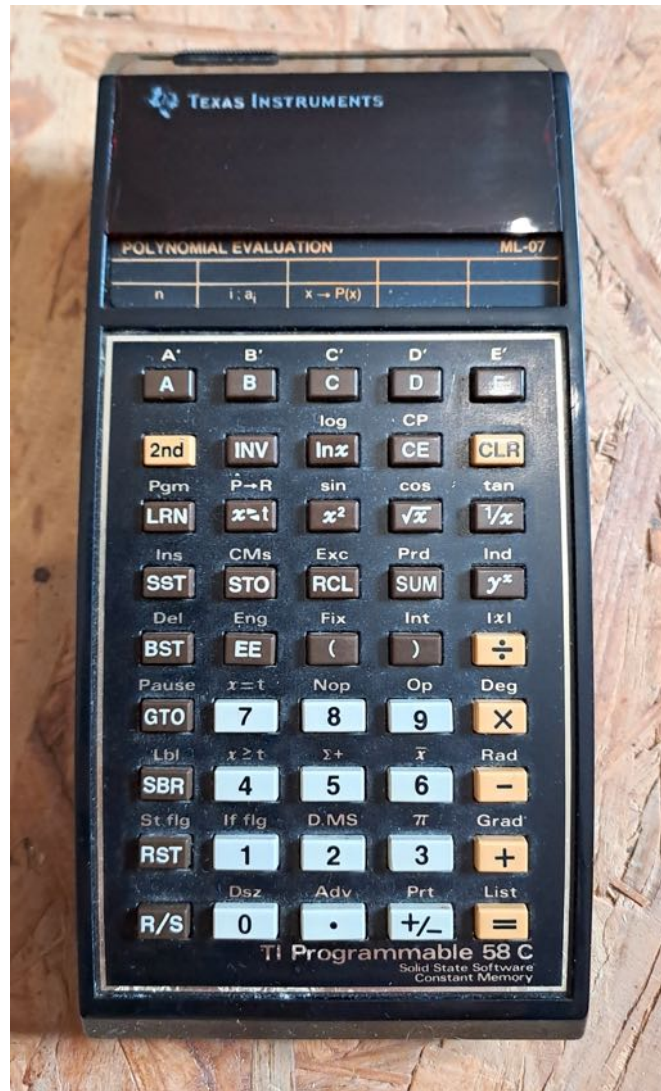


Rouleau de lecture (brevet CNAM, ACM CHI'2013)

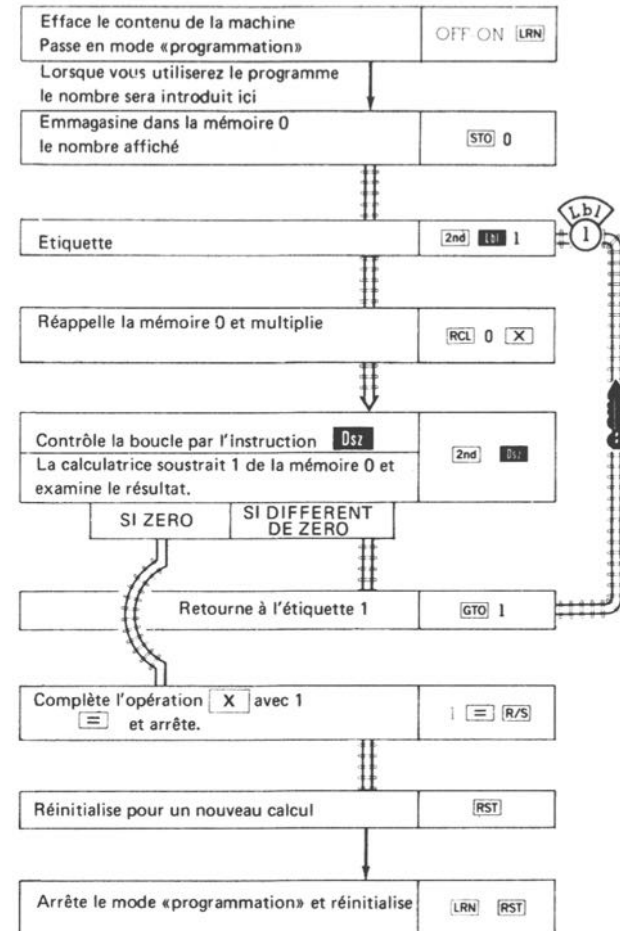
.... et vieux



Ma TI-58c
circa 1978

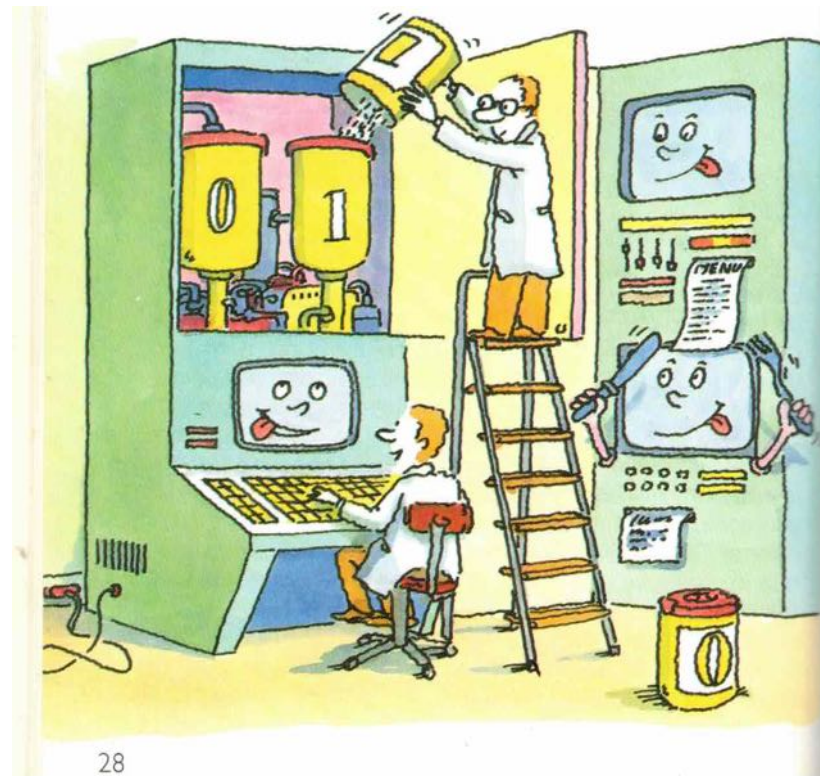
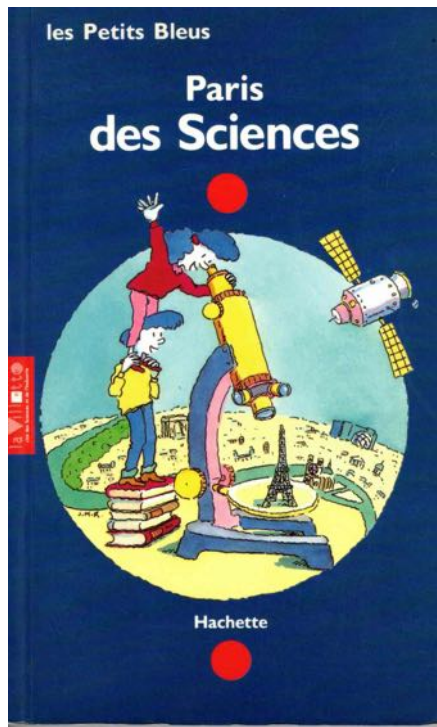


PROGRAMMATION : PROGRAMME DE FACTORIELLE



médiation
(scientifique de l'informatique)

problème : informatique = technologie invisible = abstrait = dur



J. Godard, J.M. Renard (ill), Cité des sciences et de l'industrie et Hachette, 1992

Fonctionnement des ordinateurs ?

Deux approches :

- informatique *débranchée* : sans ordinateur
- simulation interactive : avec un ordinateur caché

=> Créer une 3^{ème} voie ?



HNF, Paderborn



常設展

日々の素朴な疑問から最新テクノロジー、地球環境、宇宙の探求まで、さまざまなスケールで現在進行形の科学技術を体験することができます。



Miraikan, Tokyo

La Nature, 1884(1)

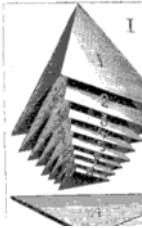
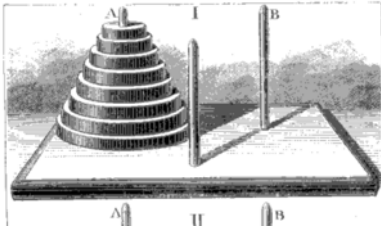
RÉCRÉATIONS MATHÉMATIQUES

LA TOUR D'HANOÏ ET LA QUESTION DU TONKIN

La poste nous a remis récemment une petite boîte en carton peint, sur laquelle on lit : *la Tour d'Hanoï*, véritable casse-tête annamite, rapporté du Tonkin par le professeur N. Claus (de Siam), mandarin du collège Li-Sou-Stian. Un vrai casse-tête, en effet, mais intéressant. Nous ne saurions mieux

l'égard d'un profane *d'Hanoï* aux personnes démon du jeu.

On raconte que, d'ès, au-dessous du monde, on voit, placées trois aiguilles de diamant grosses comme le doigt, ces aiguilles Dieu



MENACE. Donald Michie, 1961



<https://www.msccroggs.co.uk/blog/19>

CS
UNPLUGGED

An enrichment and extension programme for primary-aged students

Created by
Tim Bell, Ian H. Witten and Mike Fellows
Adapted for classroom use by Robyn Adams and Jane McKenzie
Illustrations by Matt Powell
2015 Revision by Sam Jarman

Computer Science Unplugged and Related Projects in Math and Computer Science Popularization

Tim Bell^{1,*}, Frances Rosamond², and Nancy Casey³

LNCS 7370 (2012)

Tangente
ÉDUCTION

L'informatique débranchée

Activités de découverte
Le numérique sans ordinateur

ISSN 1956-3434
EDITIONS POLE
n°42-43

merci Raphaël ;-)

ordinateur?

1. **ORDINATEUR, TRICE** [ɔʁdinatœʁ, tris] adj. et n. m. — 1491; lat. *ordinator, tris* **1.** DIDACT. Qui ordonne, met en ordre. *Cause ordinatrice.* **2.** N. m. RELIG. Celui qui confère un ordre ecclésiastique. ⇒ **ordinant.**

2. **ORDINATEUR** [ɔʁdinatœʁ] n. m. — 1951; du lat. *ordo, ordinis* → ordre* (encadré): remplaçant l'anglic. *computer* → *compter** (encadré) ♦ INFORM. Machine électronique de traitement numérique de l'information, exécutant à grande vitesse les instructions d'un programme enregistré. *Le clavier, la souris, l'écran, la console, la mémoire, l'unité de traitement d'un ordinateur.* ⇒ **matériel.** *Le compilateur, le langage, le progiciel, le système d'exploitation d'un ordinateur.* ⇒ **logiciel.** *Ordinateur frontal*. Vitesse d'un ordinateur (⇒ inférence). Ordinateur spécialisé (⇒ 2. calculateur, supercalculateur), individuel, de bureau (⇒ micro-ordinateur, 2. P. C.; aussi mini-ordinateur). Ordinateur portable. Travailler sur ordinateur. Conception, enseignement assisté* par ordinateur.* ⇒ **informatique.** — ABRÉV. FAM. ORDI. *Brancher des ordis en réseau.*

ORDINATION [ɔʁdinasjɔ̃] n. f. — 1190; lat. chret. *ordinatio* → ordre* (encadré) **1.** LITURG. CATHOL. Acte par lequel es-

+ Loïc Depecker, « Que diriez-vous d' « ordinateur » ? », *Bibnum* [En ligne], Calcul et informatique, mis en ligne le 01 juin 2015
URL : <http://journals.openedition.org/bibnum/534>

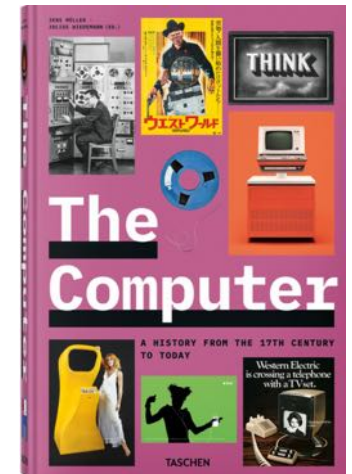
A Classification Scheme for Program Controlled Calculators

Andreas Brennecke

Abstract. What constitutes a computer? This question is of interest to historians trying to decide whether a specific device can be called a computer or not, and to computer scientists wanting to gain a better understanding of the essential concepts of computer architecture. In both cases, the answer must encompass more than just a definition. Many concepts and features have influenced the development of the modern computer. But which of them are necessary to realize the computer's full capabilities and which are the most important ones?

When considering historical machines, it is important to pay attention to their practical use and to identify the human activities involved. A new classification scheme will be proposed in this contribution that is derived from the historical analysis of computers and which cannot be obtained from theoretical concepts alone.

PUB:



What Is a Computer? A Survey

William J. Rapaport

Department of Computer Science and Engineering,
Department of Philosophy, Department of Linguistics,
and Center for Cognitive Science
University at Buffalo, The State University of New York,
Buffalo, NY 14260-2500

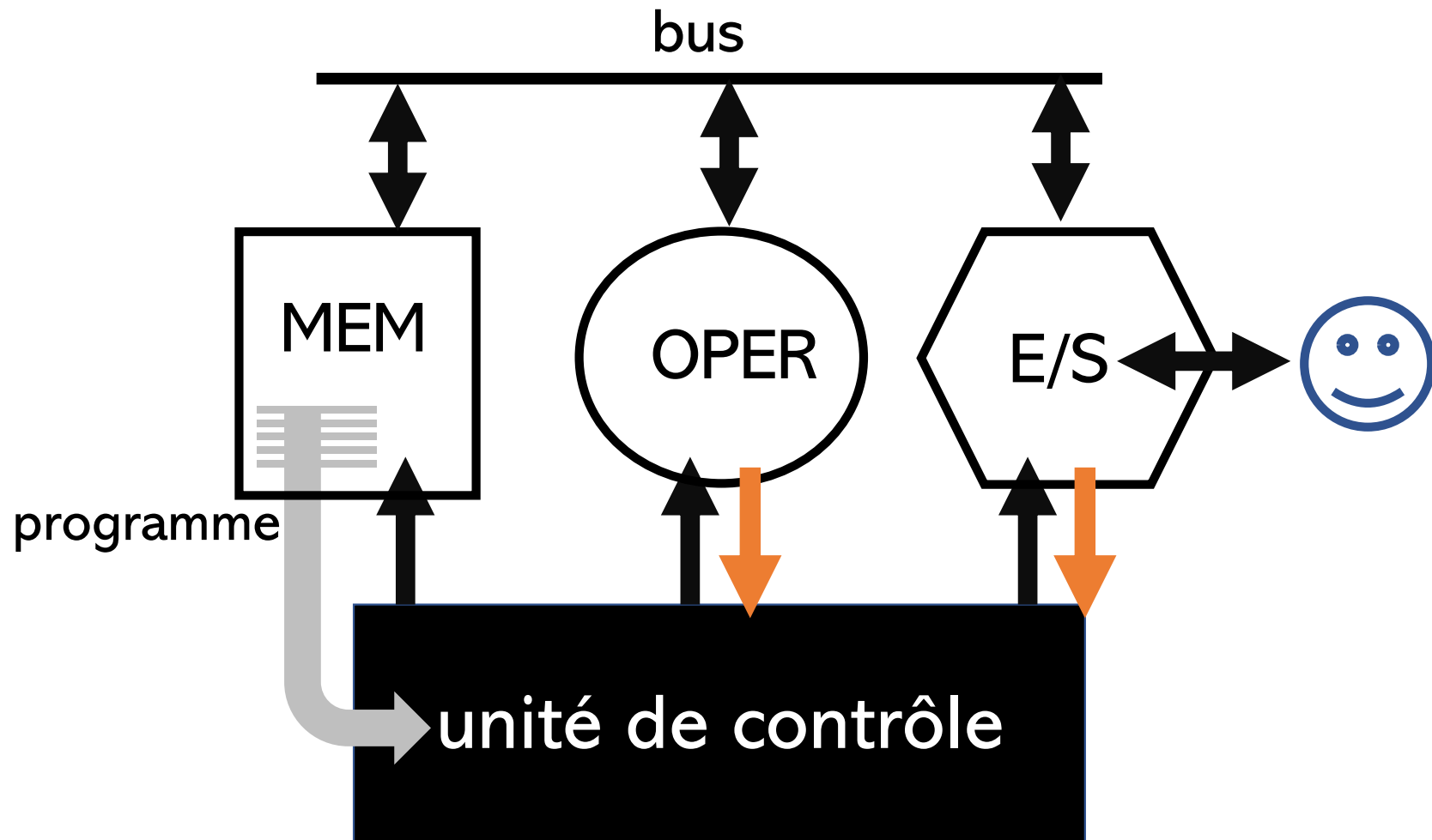
rapaport@buffalo.edu

<http://www.cse.buffalo.edu/~rapaport/>

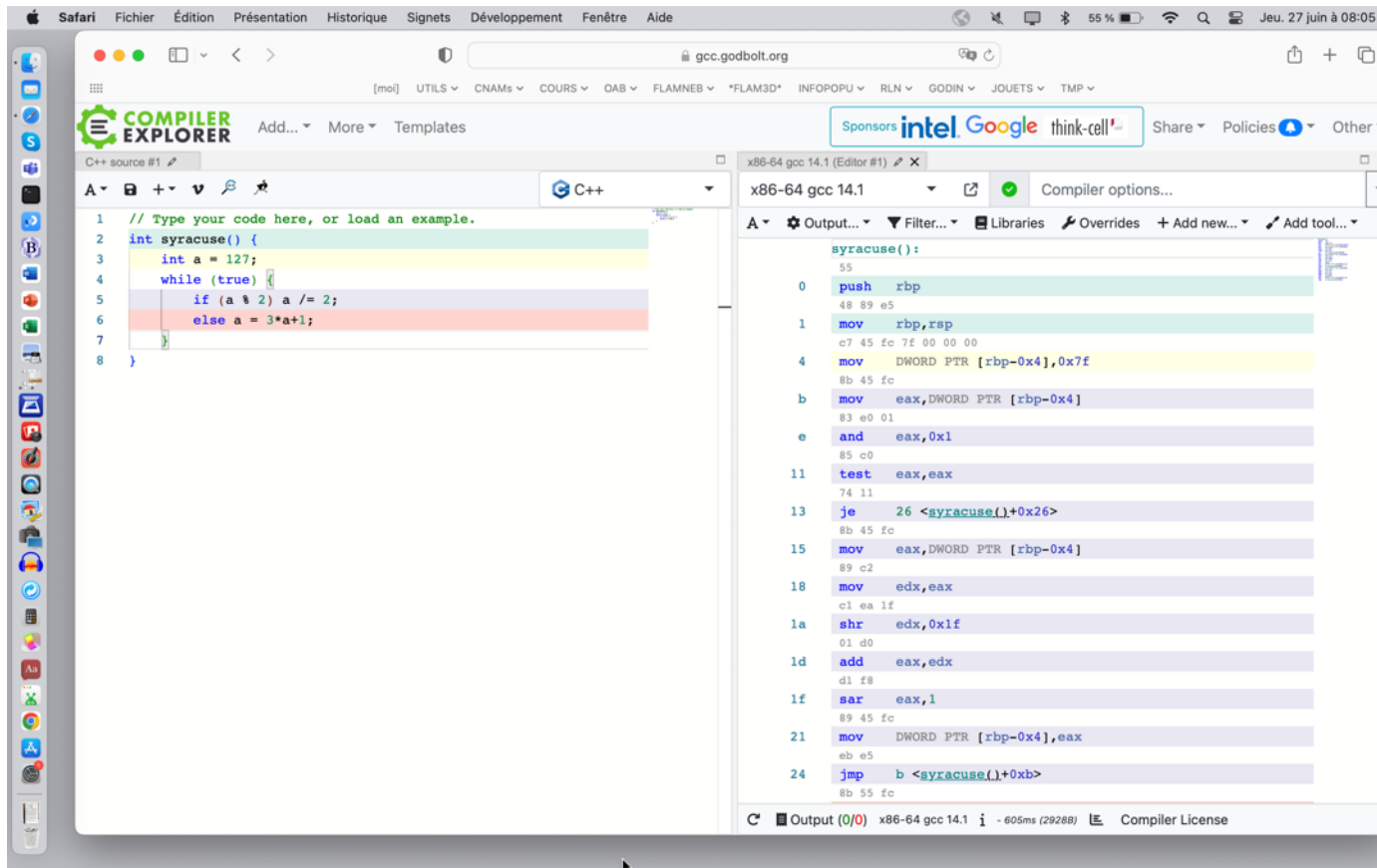
April 18, 2018

Abstract

A critical survey of some attempts to define 'computer', beginning with some informal ones (from reference books, and definitions due to H. Simon, A.L. Samuel, and M. Davis), then critically evaluating those of three philosophers (J.R. Searle, P.J. Hayes, and G. Piccinini), and concluding with an examination of whether the brain and the universe are computers.



Programme ? langage haut niveau \neq langage machine



The screenshot shows the Compiler Explorer interface. On the left, the C++ source code is displayed:

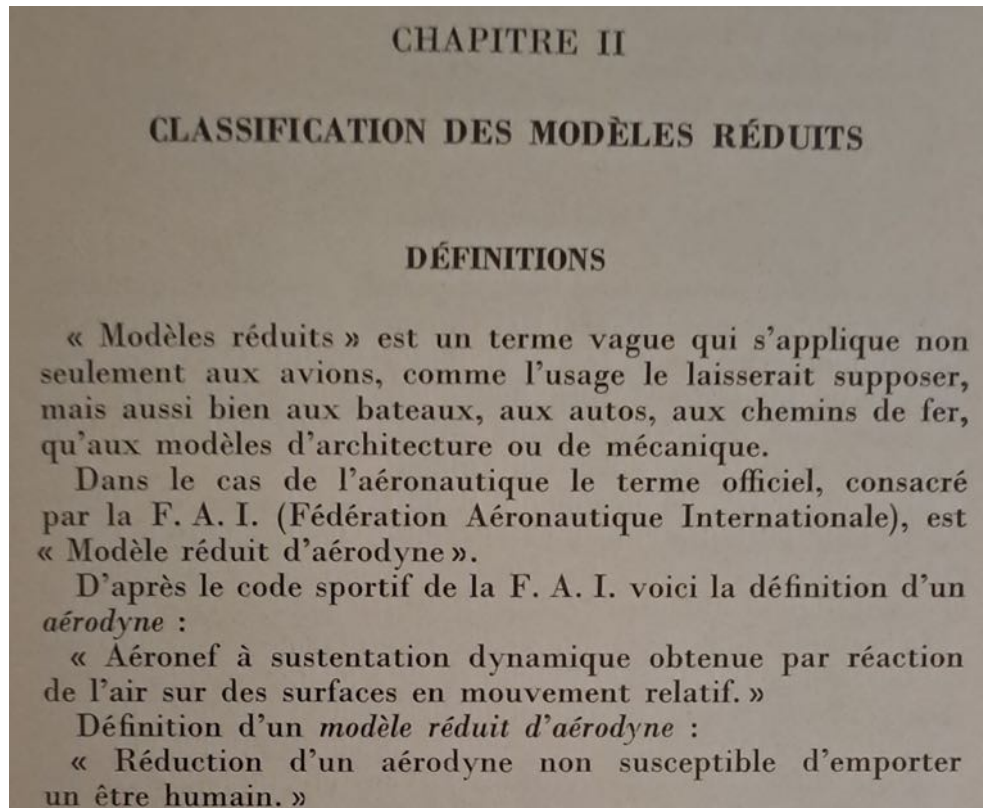
```
1 // Type your code here, or load an example.
2 int syracuse() {
3     int a = 127;
4     while (true) {
5         if (a % 2) a /= 2;
6         else a = 3*a+1;
7     }
8 }
```

On the right, the assembly output for x86-64 gcc 14.1 is shown:

```
syracuse():
55
0  push rbp
48 89 e5
1  mov rbp, rsp
c7 45 fc 7f 00 00 00
4  mov DWORD PTR [rbp-0x4], 0x7f
8b 45 fc
b  mov eax, DWORD PTR [rbp-0x4]
83 e0 01
e  and eax, 0x1
85 c0
11 test eax, eax
74 11
13 je 26 <syracuse()+0x26>
8b 45 fc
15 mov eax, DWORD PTR [rbp-0x4]
89 c2
18 mov edx, eax
c1 ea 1f
1a shr edx, 0x1f
01 d0
1d add eax, edx
d1 f8
1f sar eax, 1
89 45 fc
21 mov DWORD PTR [rbp-0x4], eax
eb e5
24 jmp b <syracuse()+0xb>
8b 55 fc
```

The status bar at the bottom indicates: Output (0/0) x86-64 gcc 14.1 i - 605ms (2928B) Compiler License

modèle réduit \neq maquette



"Ordinateurs réduits"?



SIMON de E.C. Berkeley, 1950 !

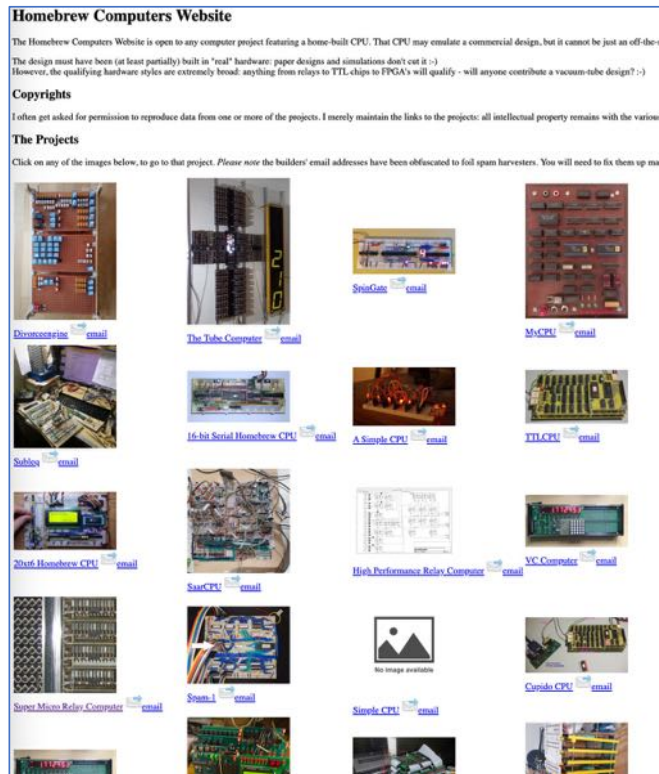


Claude Shannon, 1961

+ années 70-80 avec le début des processeurs intégrés

Machine à relais – Harry Porter (Portland State Univ., 2009)

Homebrew computers

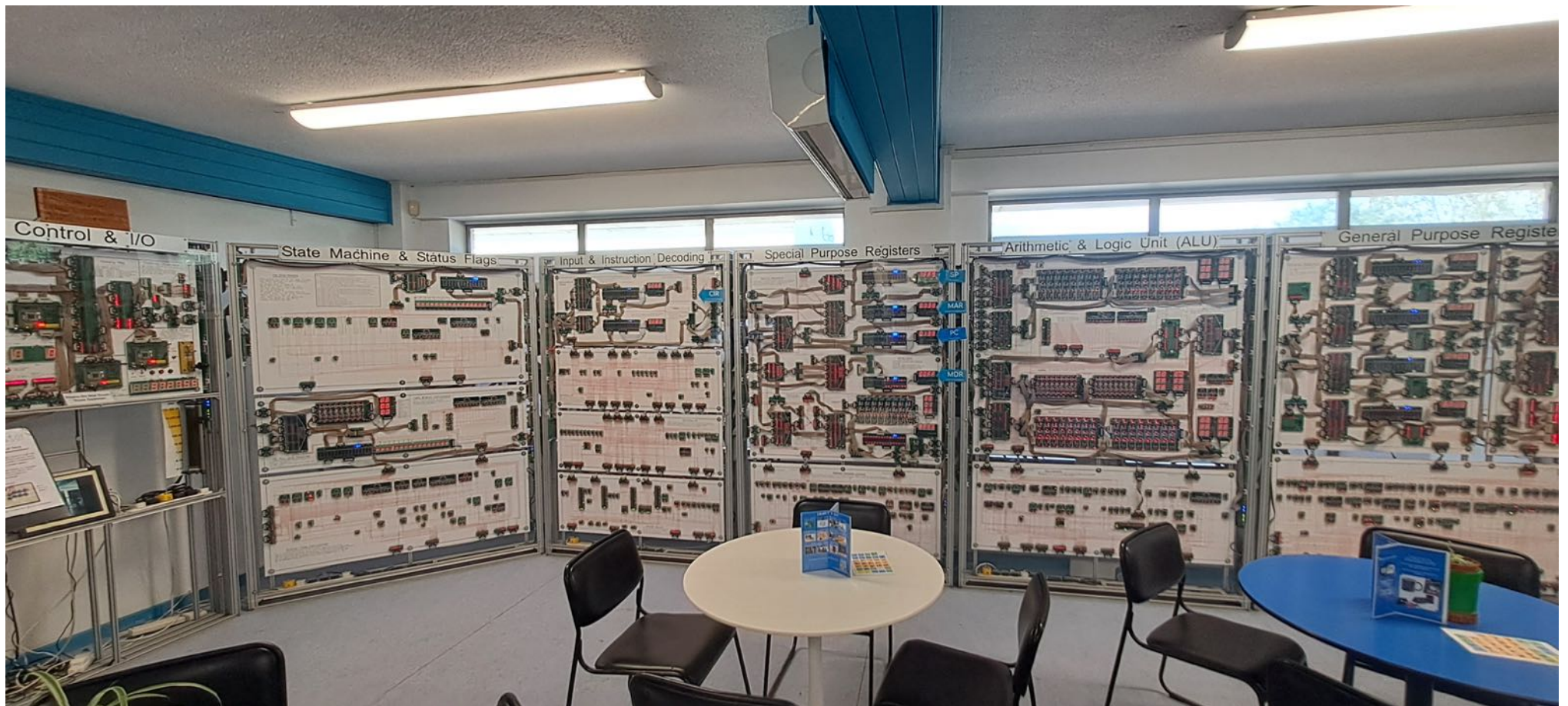


<https://www.homebrewcomputing.org>



<https://web.cecs.pdx.edu/~harry/Relay/>

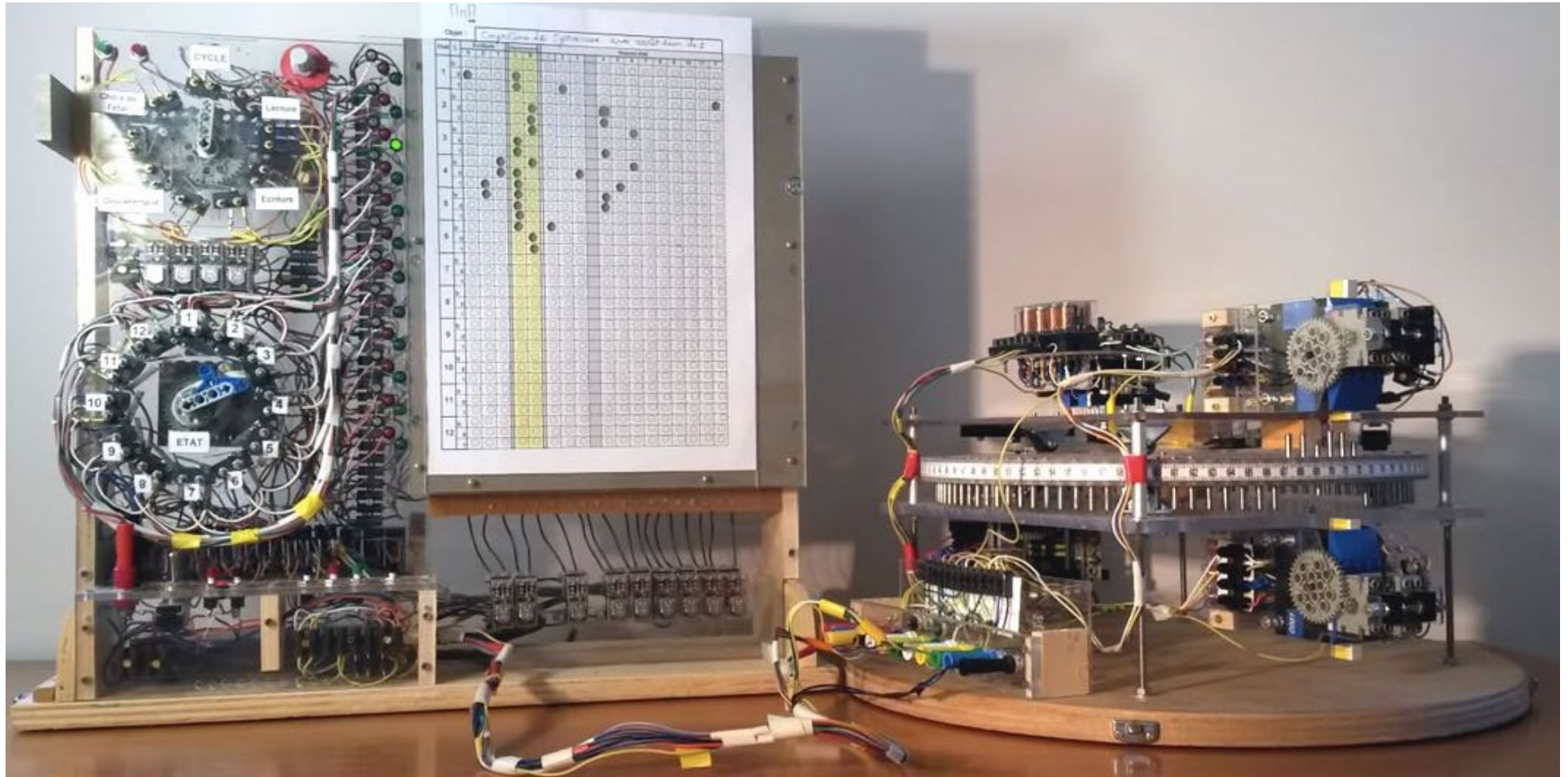
SUPER DOC + PLANS



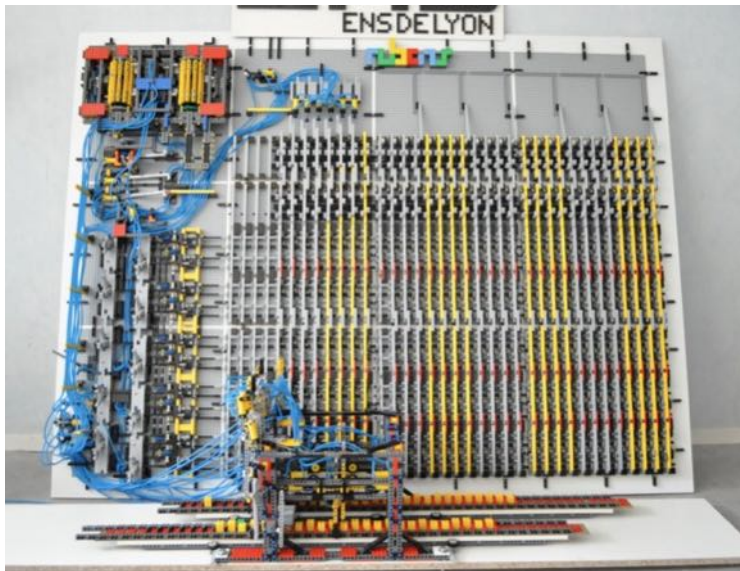
J. Newman – Cambridge – Center for computer history
<https://www.megaprocessor.com>

Marc Reynaud

<https://machinedeturing.com>



Machine de Turing en Lego pneumatique : ENS et Maison des mathématiques, Lyon



<http://rubens.ens-lyon.fr/>



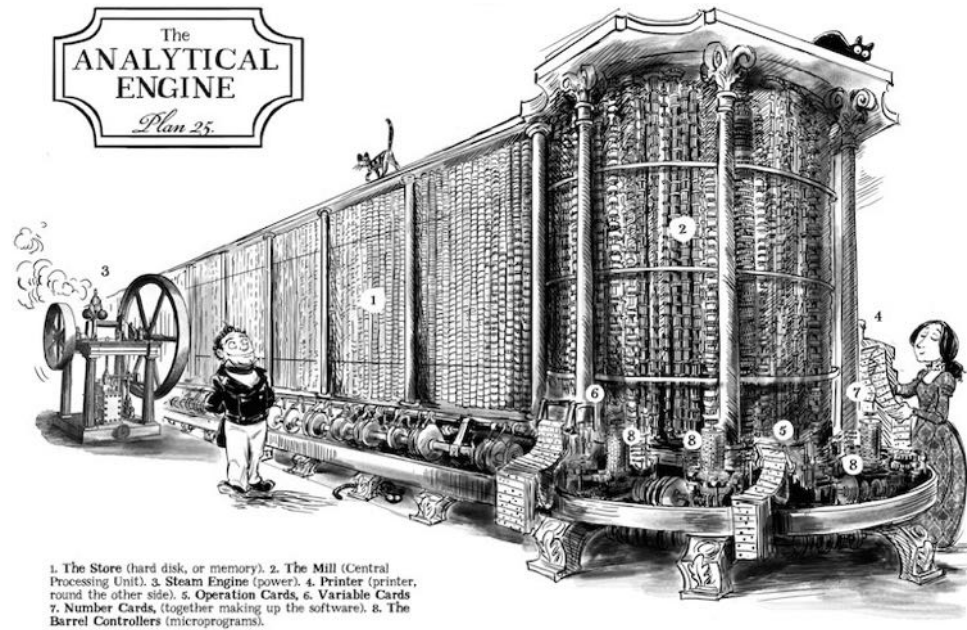
de Lyon. Vous pourrez aller la voir mais ils m'ont fait l'honneur d'une petite avant-première.



Fig. 1. The "family tree" of computer design. The remarkable growth of electronic computing systems in the Western world began primarily through government support of research and development in the universities. The need for data-processing facilities of increased capacity inspired further support for their development in both educational institutions and private industry. The current generation of computers is the result of this support.

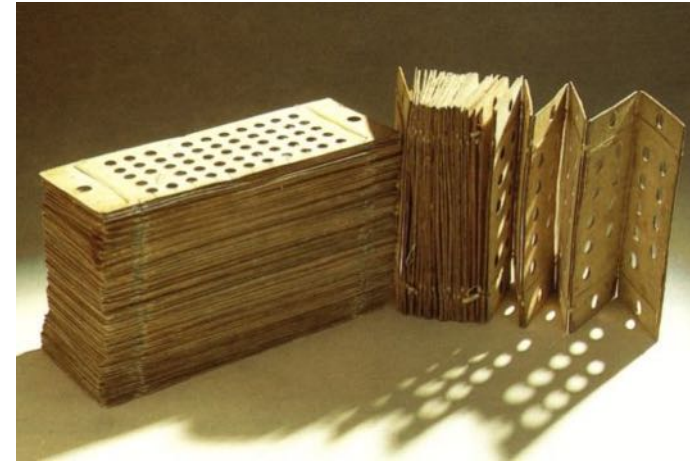
C.G. Bell & A. Newell. Computer structures : reading and examples. McGraw-Hill, 1971

C. Babbage - the Analytical Engine ca. 1838



1. The Store (hard disk, or memory). 2. The Mill (Central Processing Unit). 3. Steam Engine (power). 4. Printer (printer, round the other side). 5. Operation Cards, 6. Variable Cards
7. Number Cards, (together making up the software). 8. The Barrel Controllers (microprograms).

<https://syneypadua.com/2dgoggles/the-marvellous-analytical-engine-how-it-works/>



NOMBRE des OPÉRATIONS.	CARTONS des OPÉRATIONS. — Signes indiquant la nature des opérations.	CARTONS DES VARIABLES.		MARCHE des OPÉRATIONS.
		Colonne soumise aux opérations.	Colonne recevant le résultat des opérations.	
1	×	$V_2 \times V_4 =$	$V_8 \dots \dots =$	dn'
2	×	$V_5 \times V_1 =$	$V_9 \dots \dots =$	$d'n$
3	×	$V_4 \times V_0 =$	$V_{10} \dots \dots =$	$n'm$
4	×	$V_1 \times V_3 =$	$V_{11} \dots \dots =$	nm'
5	—	$V_8 - V_9 =$	$V_{12} \dots \dots =$	$dn' - d'n$
6	—	$V_{10} - V_{11} =$	$V_{13} \dots \dots =$	$n'm - n'm'$
7	·	$\frac{V_{12}}{V_{13}} =$	$V_{14} \dots \dots =$	$x = \frac{dn' - d'n}{nm' - m'n}$



<https://blog.plan28.org/>

Unité de contrôle : les cylindres à picot

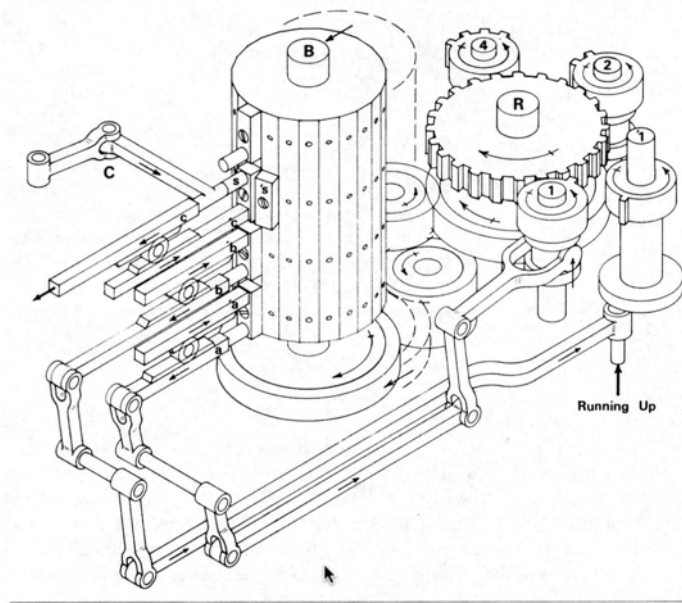


Figure 11. The microprogram barrel with the reducing mechanism that advances the barrel from one vertical to another. Pins in row *a* on the barrel control one of the sectors of the reducing apparatus to advance the barrel one vertical. Pins in row *b* enable another sector to be placed in gear in the event of a running up in the calculating mechanism and thus conditionally advance the barrel to another vertical. Pins in row *c* sense a conditional arm and thus respond to a conditional event in an earlier cycle of operation.

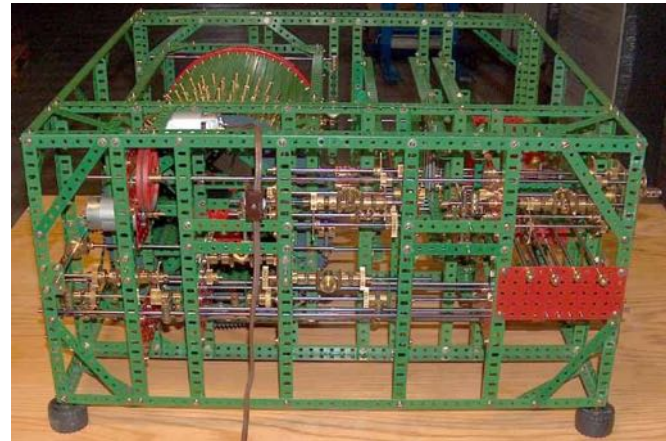
E John March 31, 2024 at 2:00 PM
Can anyone direct me to detailed info about subtraction? Bromley is my main source but he is not clear. Seems either one needs an odd number of gears between the 2 accumulator columns or to run the figure wheel down to zero clockwise thus giving off the 10's complement. Thanks. info@babbagecomputes.ca

Reply

S Steve Baker April 3, 2024 at 8:01 AM
I guess this comes down to how negative numbers are represented in the Analytical Engine. In binary, subtraction is easy because you can convert a positive number into a negative by flipping all of the bits and adding 1...and adding 1 is easy - using the otherwise unused carry-in input of the zeroth-bit of the adder. I'm pretty sure the Difference Engine can only cope with positive numbers - but 10's complement for negative numbers is easy.

So crux of the question is probably: How did the engine convert numbers into their 10's complement equivalent?

Reply



Tim Robinson
<http://www.meccano.us/>

124 • Annals of the History of Computing, Volume 9, Number 2, 1987
A.G. BROMLEY, IEEE Annals of the history of comp. 20(4), 1998, pp. 29-45.

Rojas sur les programmes de Babbage

Le ACE
(et pilot ACE)

The other Turing machine

B. E. Carpenter* and R. W. Dorant

Department of Computer Science, Massey University, Palmerston North, New Zealand

In a little known report written in 1945, A. M. Turing made a detailed proposal for the construction of a stored program computer. Although sharing some ideas with von Neumann's draft report of the same year, Turing's proposal contained a wide range of novel and formative concepts. These include subroutines, the stack and a micromachine architecture. This paper analyses his report in general terms and in detail, and describes his ideas in modern terms.

(Received October 1975)

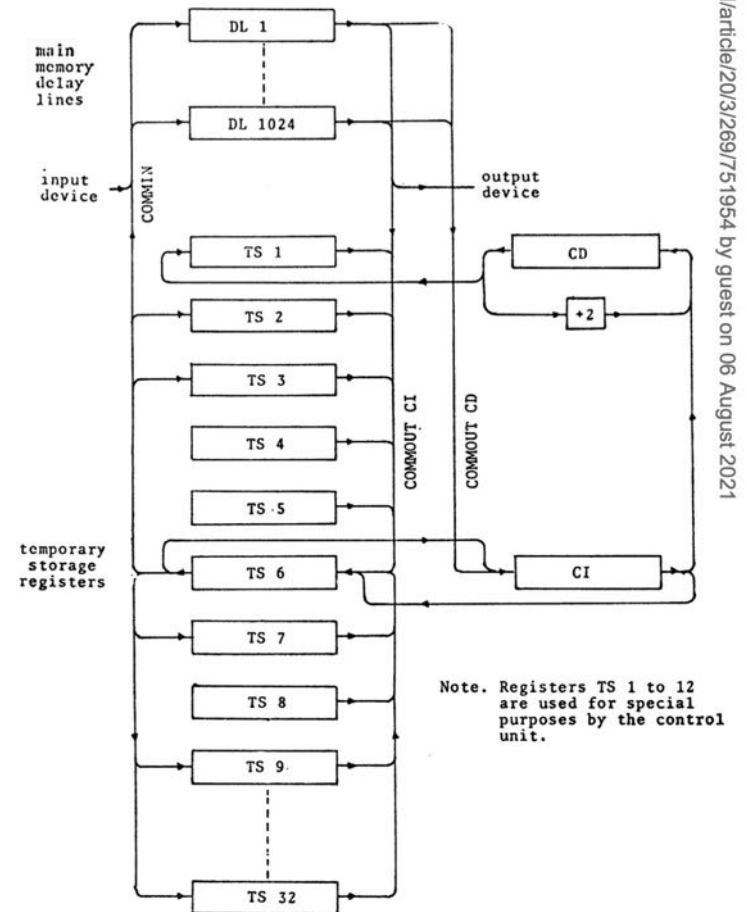
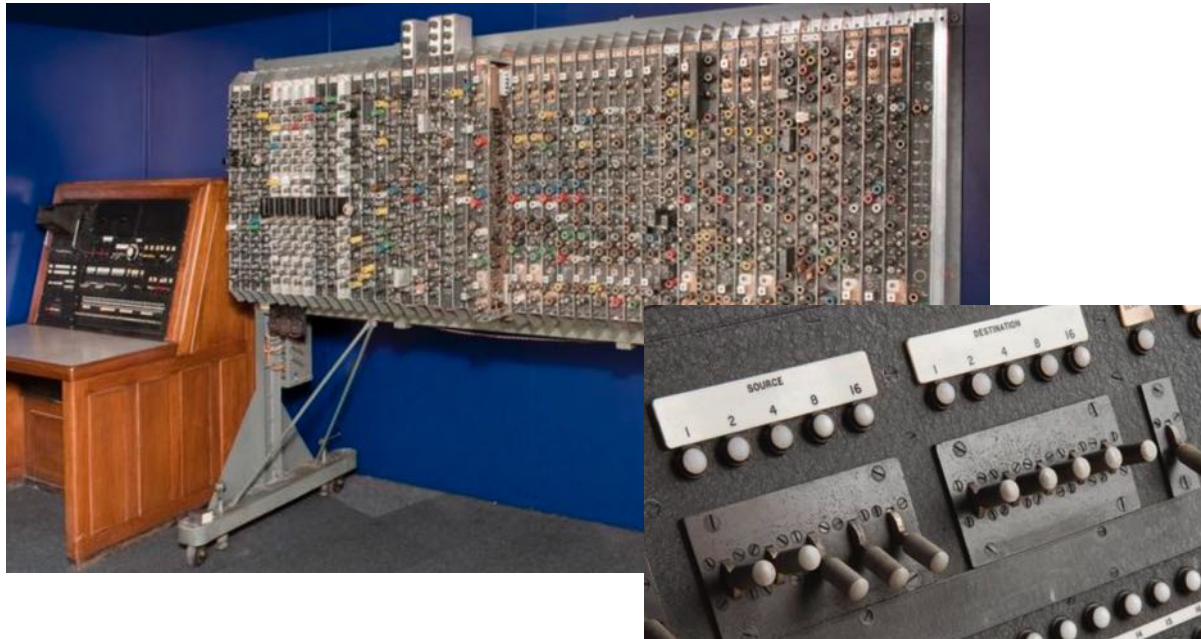


Fig. 2 Bus structure of Turing's machine

(interaction)
tangible

Tangible user interface

 6 languages ▼

Article Talk

Read Edit View history Tools ▼

From Wikipedia, the free encyclopedia

Not to be confused with [Text-based user interface](#).

A **tangible user interface (TUI)** is a [user interface](#) in which a person interacts with digital information through the physical [environment](#). The initial name was Graspable User Interface, which is no longer used. The purpose of TUI development is to empower collaboration, learning, and design by giving physical forms to digital information, thus taking advantage of the human ability to grasp and manipulate physical objects and materials.^[1]


This was first conceived by [Radia Perlman](#) as a new programming language that would teach much younger children similar to Logo, but using special "keyboards" and input devices. Another pioneer in tangible user interfaces is [Hiroshi Ishii](#), a professor at the [MIT](#) who heads the Tangible Media Group at the [MIT Media Lab](#). His particular vision for tangible UIs, called *Tangible Bits*, is to give physical form to digital information, making bits directly manipulable and perceptible. Tangible bits pursues the seamless coupling between physical objects and virtual data.

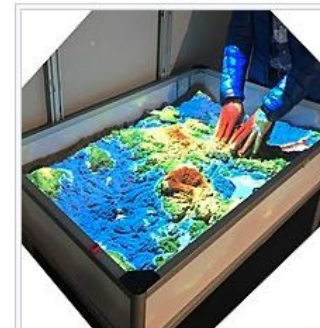
Characteristics [[edit](#)]

There are several frameworks describing the key characteristics of tangible user interfaces. Brygg Ullmer and [Hiroshi Ishii](#) describe six characteristics concerning representation and control:^[2]

1. Physical representations are computationally coupled to underlying digital information.
2. Physical representations embody mechanisms for interactive control.
3. Physical representations are perceptually coupled to actively mediated digital representations.
4. Physical state of tangibles embodies key aspects of the digital state of a system



[Reactable](#), an [electronic musical instrument](#) example of tangible user interface 



[SandScape](#)  device installed in the [Children's Creativity Museum](#) in San Francisco 

Toucher / prendre pour comprendre ?

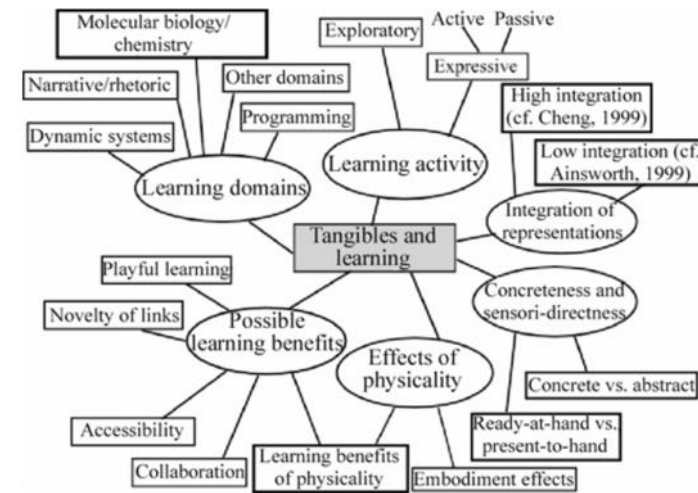


Figure 1: Analytic framework on tangibles for learning

Paul Marshall - Do tangible interfaces enhance learning? ACM TEI'07

Opportunities and Challenges for Data Physicalization

Yvonne Jansen¹, Pierre Dragicevic², Petra Isenberg³, Jason Alexander¹, Abhijit Karnik¹, Johan Kildal¹, Sriram Subramanian¹, Kasper Hornbæk¹

¹University of Copenhagen, ²Inria, ³Lancaster University, ⁴Nokia, ⁵University of Bristol

jansen.yv@gmail.com, {pierre.dragicevic, petra.isenberg}@inria.fr, {j.alexander, a.karnik}@lancaster.ac.uk, johan.kildal@nokia.com, sriram@cs.bris.ac.uk, kash@di.ku.dk

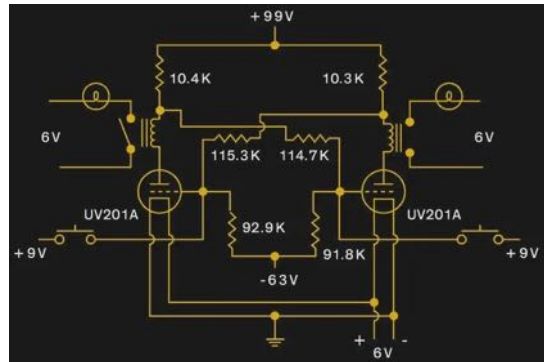
Figure 1: Examples of data physicalizations: (left) population density map of Mexico City co-created by Richard Burdett and exhibited at the Tate Modern (photo by Stefan Geens), (center) similar data shown on an actuated display from the MIT Media Lab [70], and (right) spherical particles suspended by acoustic levitation [61]. All images are copyright to their respective owners.

ABSTRACT
Physical representations of data have existed for thousands of years. Yet it is now that advances in digital fabrication, actuated tangible interfaces, and shape-changing displays are spurring an emerging area of research that we call *Data Physicalization*. It aims to help people explore, understand, and communicate data using computer-supported physical data representations. We call these representations *physicalizations*, analogously to visualizations – their purely visual counterpart. In this article, we go beyond the focused research questions

ropes – for data storage and retrieval [3]. Scientists in the 19th century used physical representations as essential teaching and research aids [15] for organic chemistry and thermodynamics. Today, designers are crafting data sculptures to convey meaning and emotion in data [79]. All such physical representations help people think about, explore, and share data.

Similarly, for centuries people have been developing visualizations for flat surfaces, such as maps or genealogies printed on papyrus, paper, tapestries, and now computer screens. Yet,

Un bon exemple "tangifiable" : le multivibrateur bistable => bascule



<https://spectrum.ieee.org/recreating-the-first-flipflop>

l'organe classique est un basculeur ou un interrupteur. Par exemple, un interrupteur à deux positions. C'est pourquoi les interrupteurs ont eu l'idée de faire appel, dans les calculatrices, non plus à la numération décimale mais à une numération binaire, qui ne comporte que deux chiffres : 0 et 1.

Bascules électroniques : la vitesse de la lumière

Les bascules électroniques opèrent avec une rapidité telle que les électrons n'ont pas le temps de s'arrêter. Armés d'une dizaine de machines, nous avons pu effectuer des additions ou soustractions de 10 chiffres, ou encore 8 000 multiplications en un temps qui n'est que le dixième de celui des machines à calcul mécanique. Et nous venons d'administrer sont à numération binaire. Il existe une autre sorte de bascule électronique, dites à numération série, qui est encore plus rapide. Dans ces machines, les chiffres sont lancés, sous forme

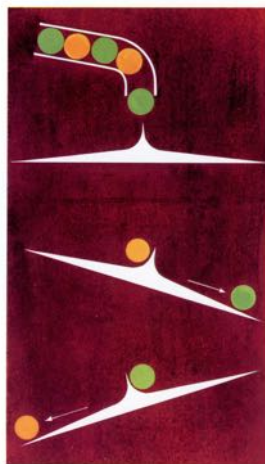
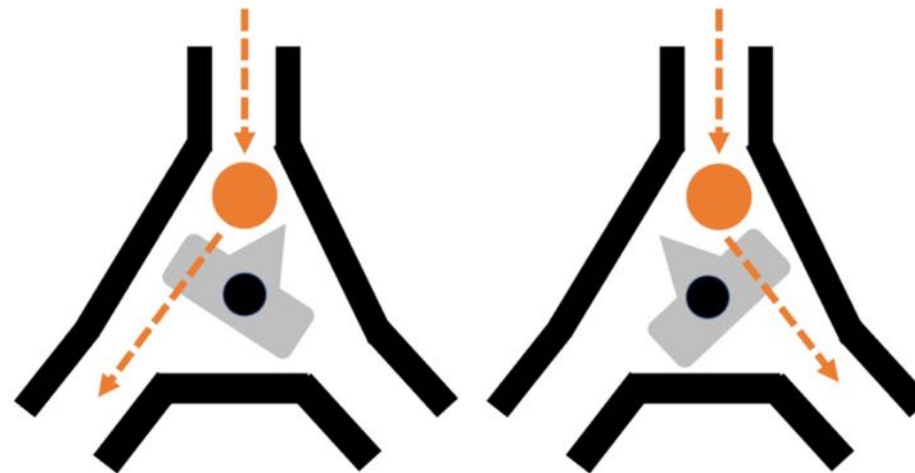
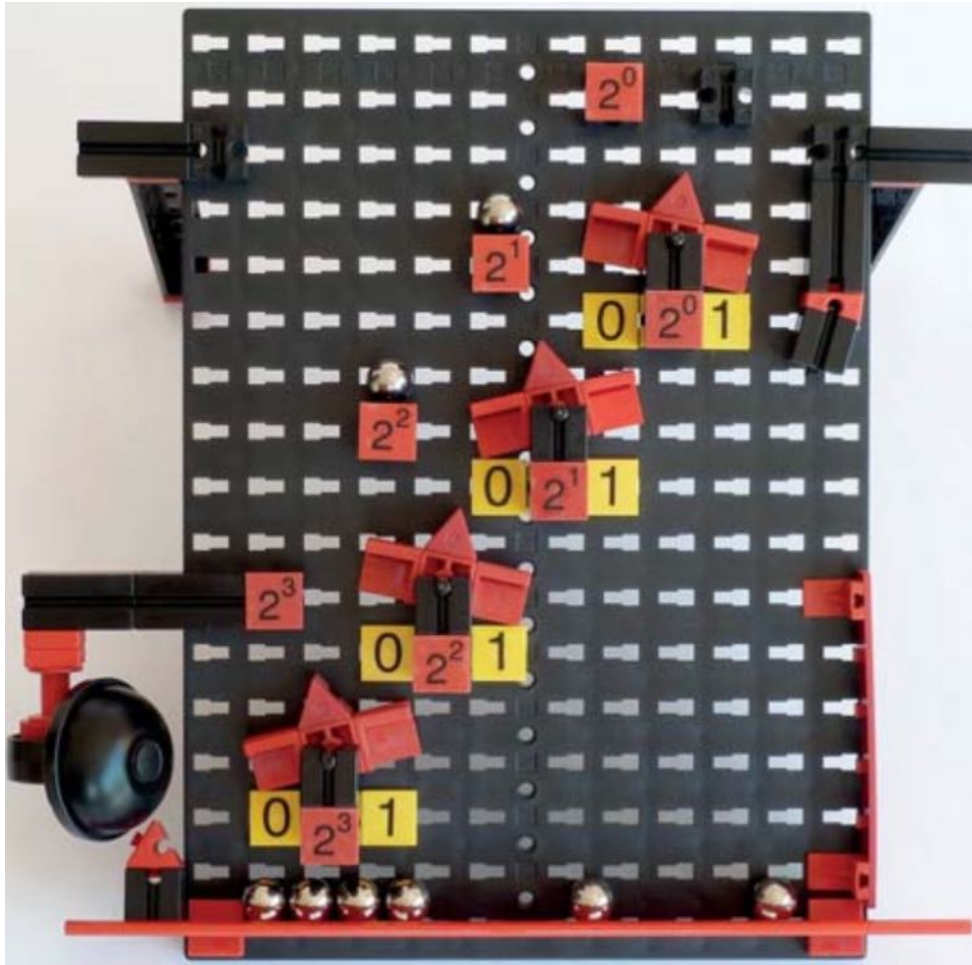


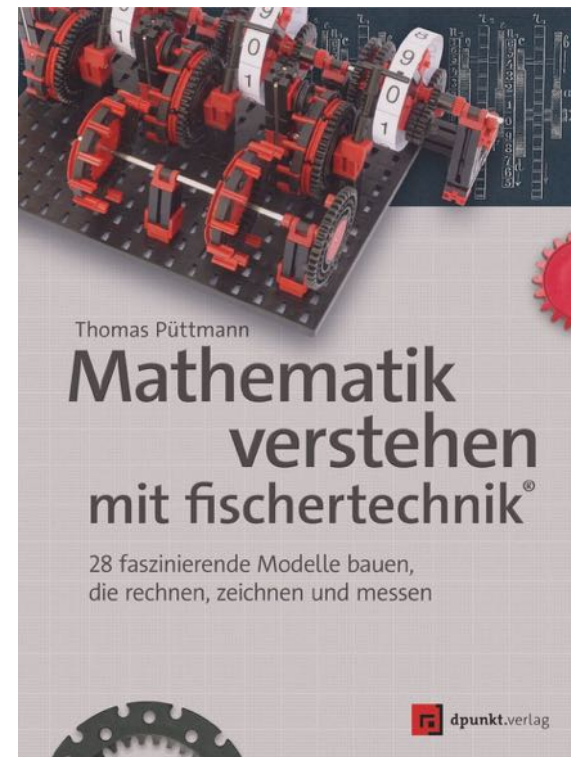
Schéma illustrant le principe du basculeur « Flip-Flop » utilisé dans les circuits-mémoires. Le basculeur électronique est généralement constitué par une lampe triode double. On peut comparer son fonctionnement à celui de ces longues balances de bois, en équilibre sur un point





Thomas Püttmann - univ. Ruhr-Bochum

comptage binaire





<http://woodgears.ca/marbleadd/>
Bascule modifiée pour addition (gestion de la retenue)

Digicomp II (réédition récente)



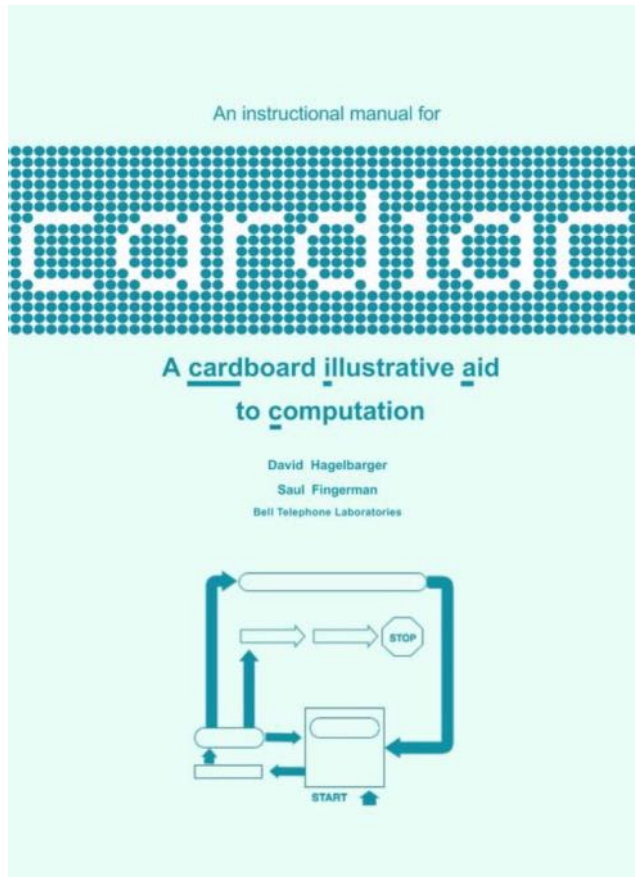
original années 1960, livret en ligne

Turing Tumble



2011, en vente en ligne 75€ + émulateurs

Un ordinateur de papier : CARDIAC (1968) et l'Ordinapoche (1981)



tout sur archive.org (+wikipedia)



comparer avec les précédents ????

Automates à musique



Musée des automates à
Bruchsal (près de Karlsruhe)



Machine X de Martin Molin (Wintergatan) + une v3 en cours

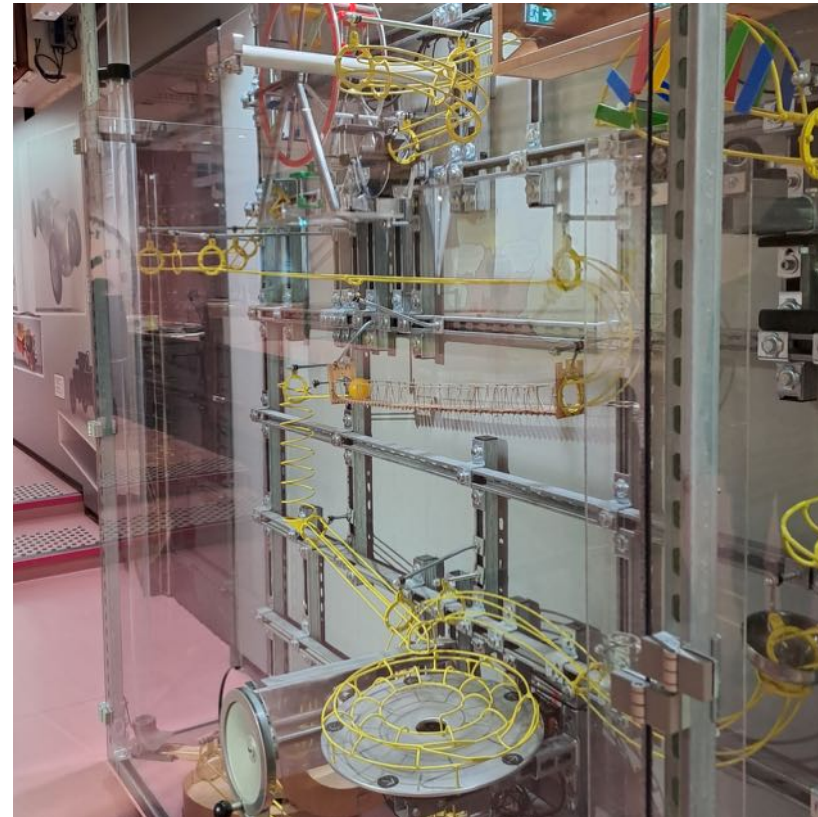


Wintergatan - Marble Machine (music instrument using 2000 marbles)

204 854 513 vues · 2 mars 2016

4 M JE N'AIME PAS PARTAGER EXTRAIT ENREGISTRER ...

Section enfants du Deutsches Museum (Munich)



une machine pilote

Esquisse d'un ordinateur à billes pour la démonstration publique des concepts fondamentaux de l'informatique

Pierre Cubaud <cubaud@cnam.fr>

Equipe Interactivité pour Lire et Jouer, CEDRIC
Conservatoire national des arts et métiers, Paris

oct. 2021

Résumé : Un ordinateur mécanique utilisant des billes comme moyen de stockage l'information pourrait servir de démonstrateur commode pour les espaces muséologiques consacrés à l'informatique. Nous présentons l'architecture d'une telle machine, libre inspirée du ACE d'A. Turing, puis des programmes types ainsi qu'un échancier pour la réalisation de l'ordinateur.

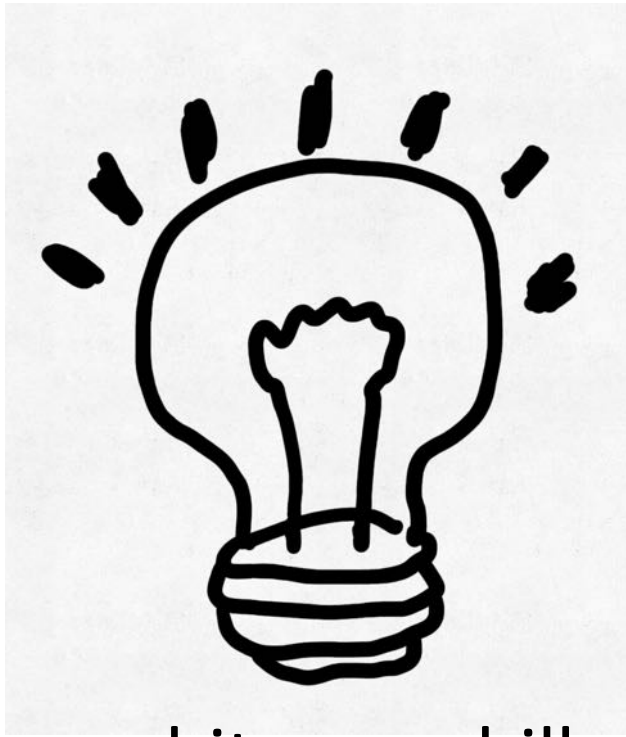
1. Introduction

Lorsqu'on entre dans le musée des sciences de Londres, on est en quelque sorte accueilli par une imposante machine à vapeur en action. Au Palais de la découverte de Paris, c'est une grande machine électrostatique qui attire le public depuis des décennies. Quel pourrait être l'équivalent dans un musée consacré à l'informatique ? L'aspect interne du fonctionnement d'un ordinateur exécutant son programme est une difficulté connue des enseignants du domaine, dont fait partie l'auteur de ces lignes. C'est aussi, il

pour retrouver le rapport via un moteur de recherche : taper "hal cubaud billes"

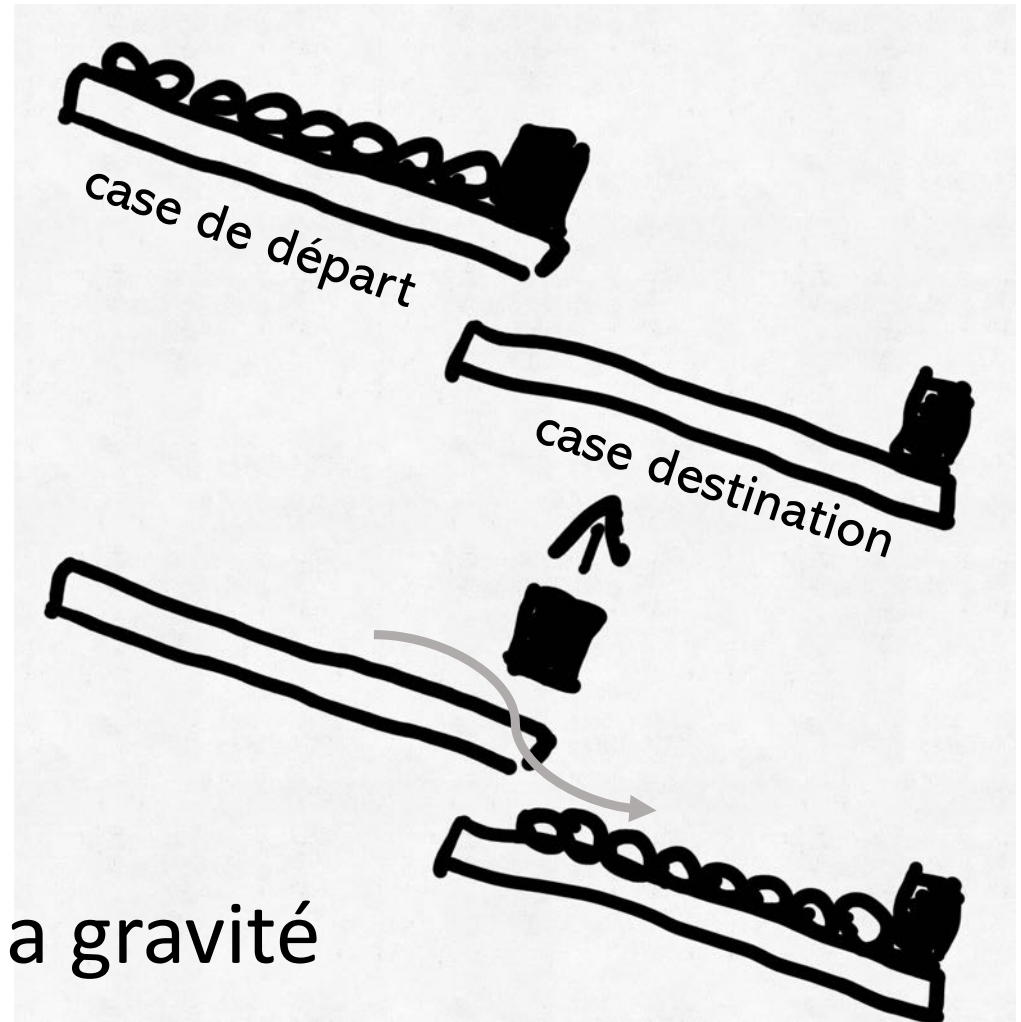
LE DOGME

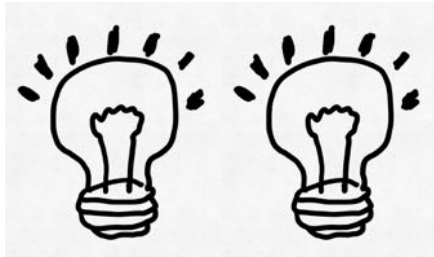
- 1) un codage binaire de l'information
- 2) des instructions et données stockées conjointement en mémoire
- 3) des instructions de rupture de séquence : décision, itération
- 4) des organes d'opération (arithmétique, etc.) et d'échange avec le monde extérieur



un bit = une bille
2 sortes de billes

+ exploiter la gravité



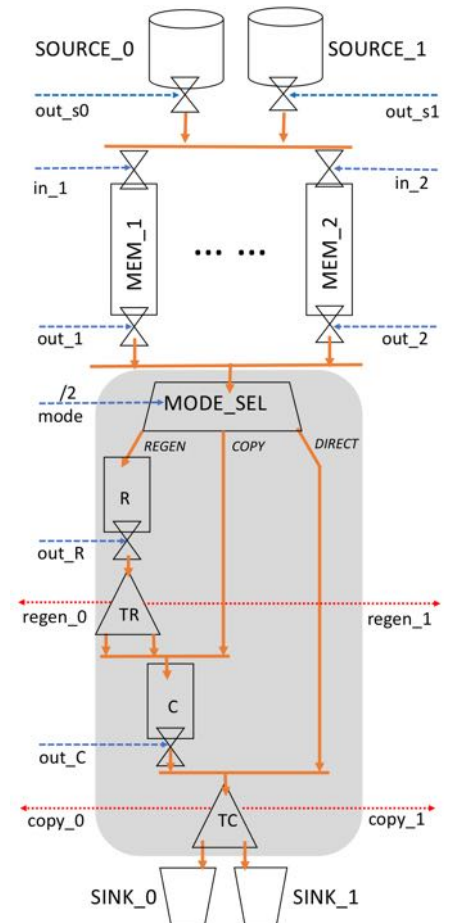
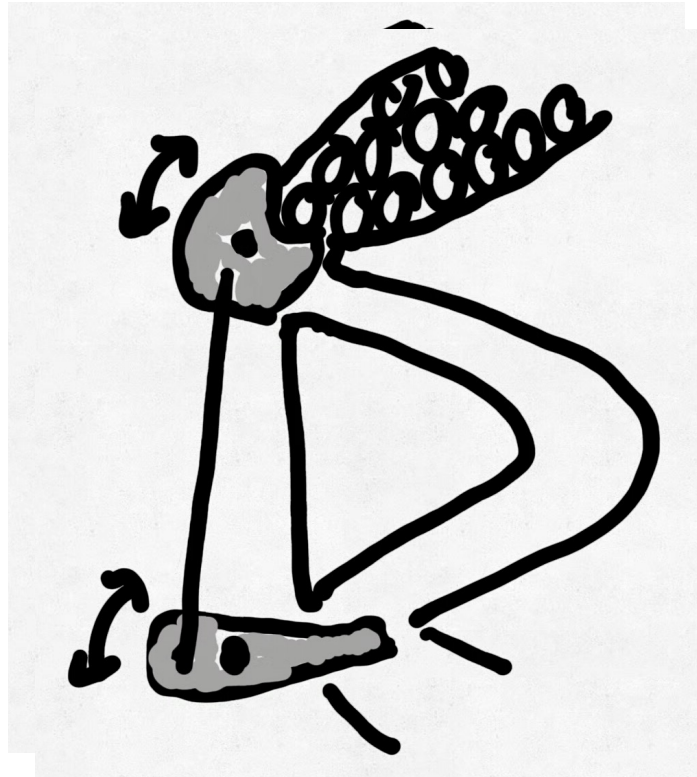


1) Discriminer les deux types de billes/bits



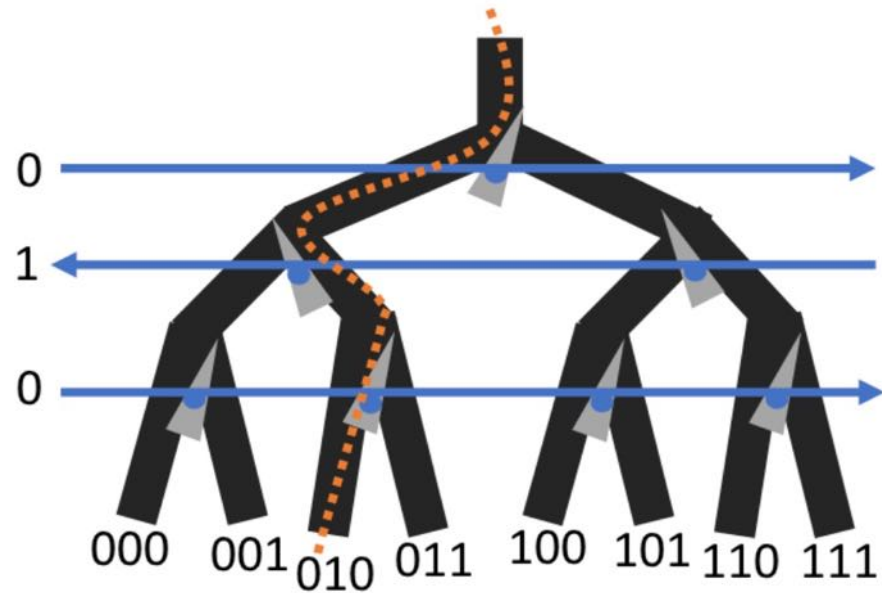
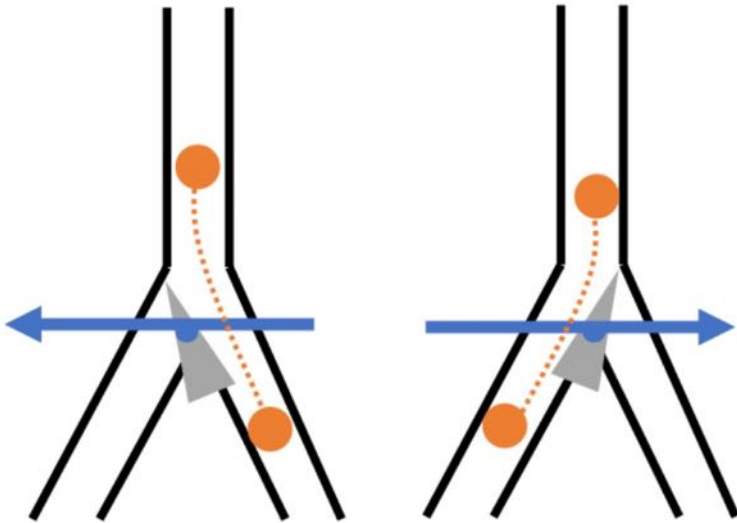
Mécanisme de régénération

2) Chaque chute déclenche l'arrivée d'une nouvelle bille en amont



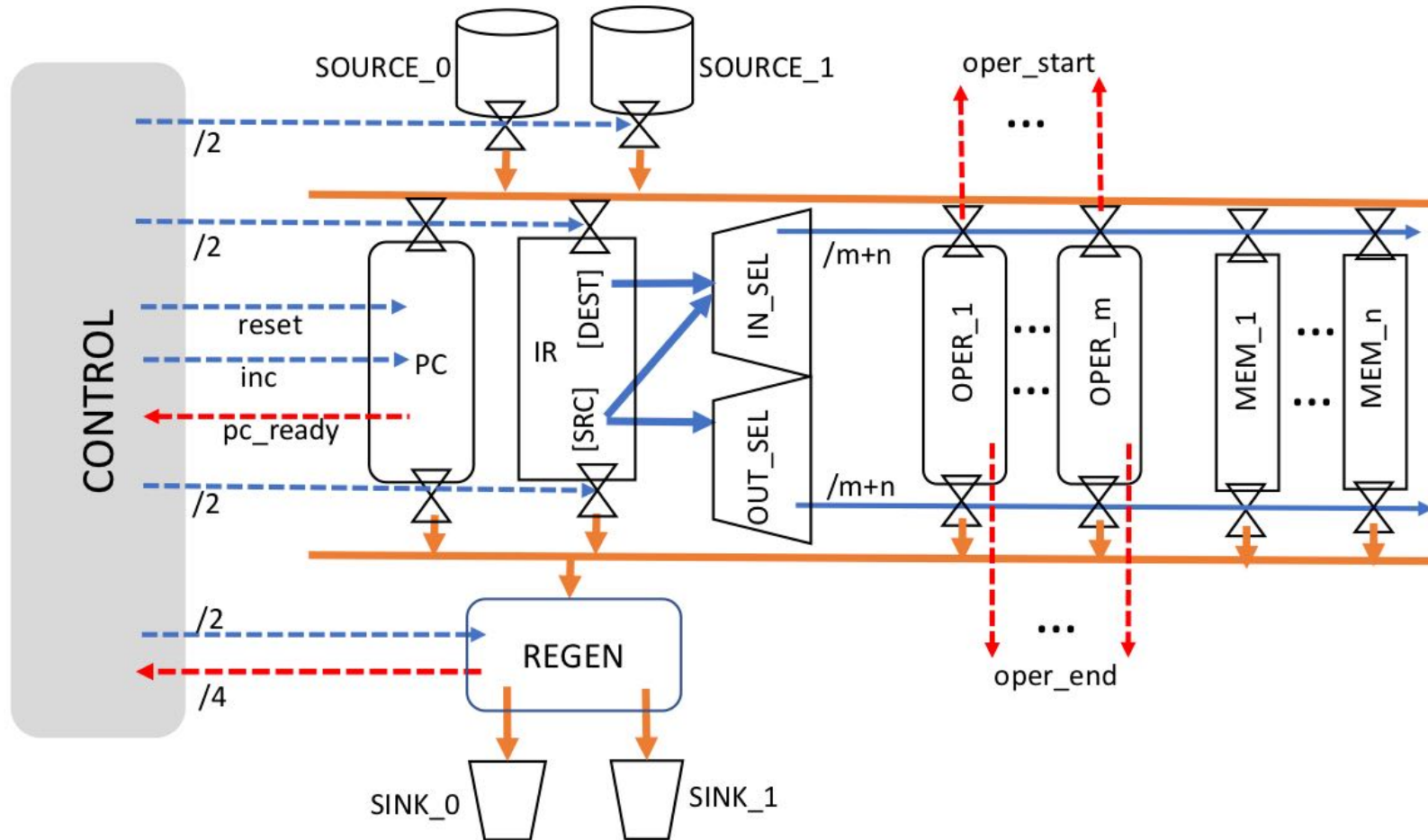


Sélecteurs de voies (demultiplexeurs)

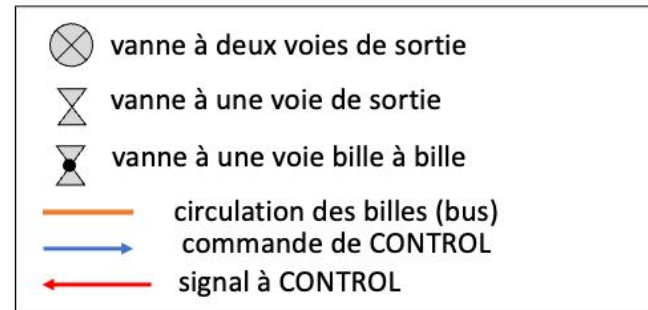
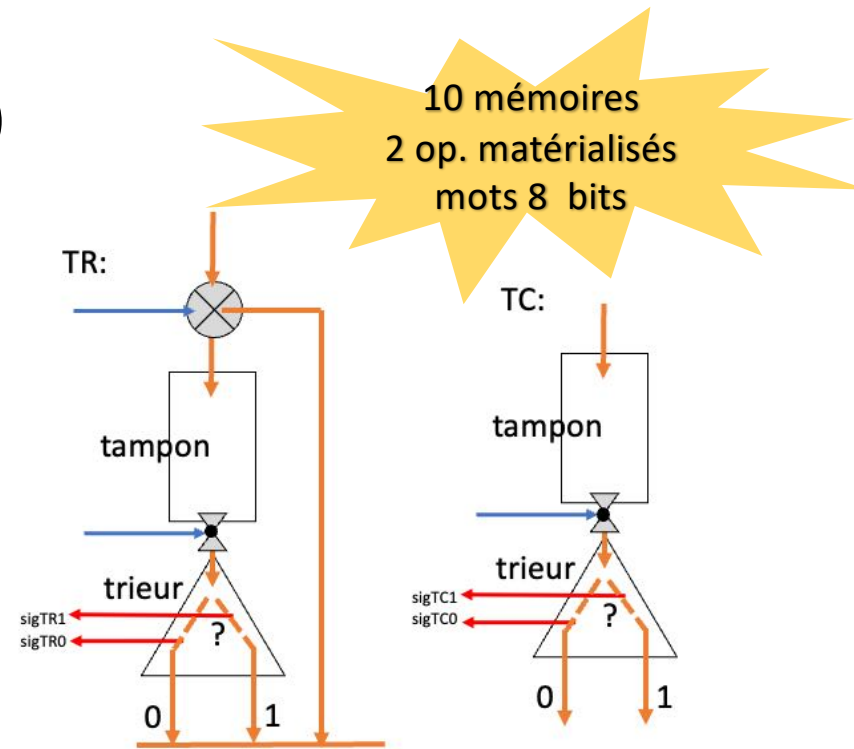
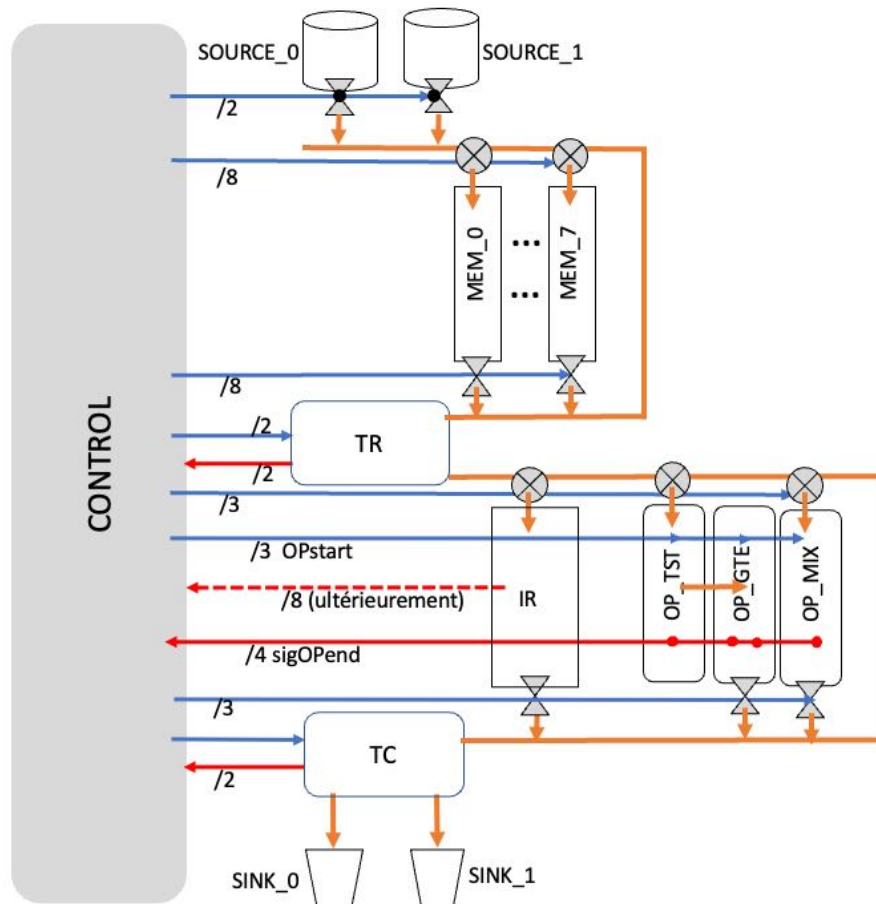


des billes de commandes entraînent les axes en bleu
selon leur valeur : 0 vers la droite 1 vers la gauche

Architecture de l'OAB - version rapport oct. 2021



Architecture du pilote (juillet-nov. 2022)



Jeu d'instruction réduit à
l'essentiel : modifier des données,
test, boucle

MIX : matérialisé

TST : "*****"

END : control

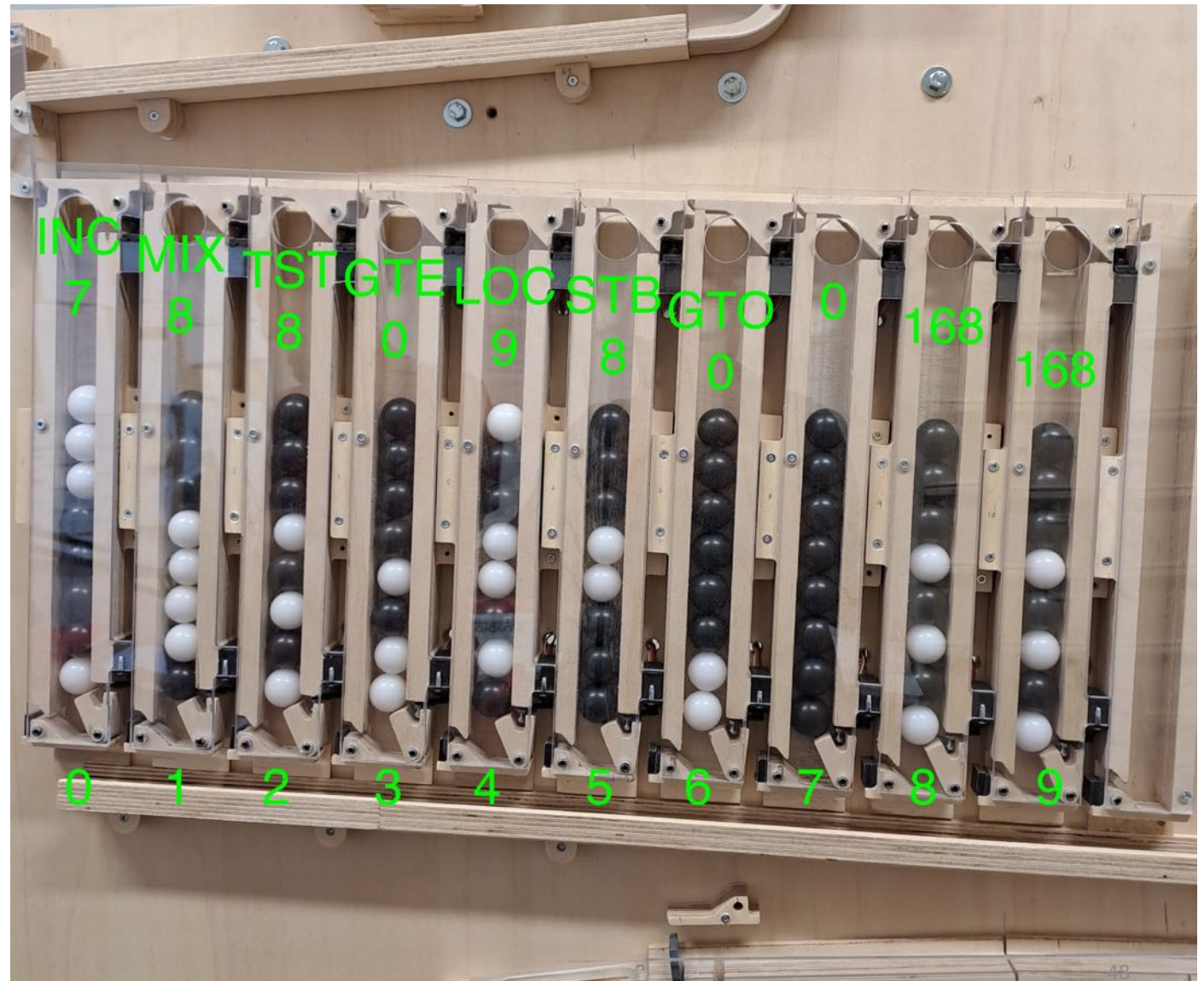
GTO : "*****"

GTE : "*****"

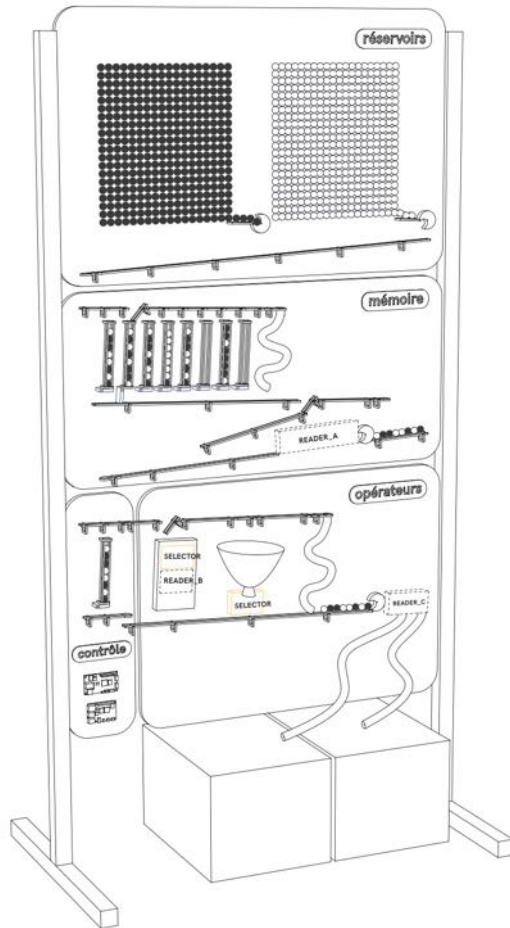
INC, LOC, STB : émulés

sémantique modifiée en cours
de route pour palier à la lenteur du
décodage des instructions :
"super instructions"

ex : MIX 8 prend la donnée de la
case 8, mélange les bits puis remet
le résultat dans la case 8



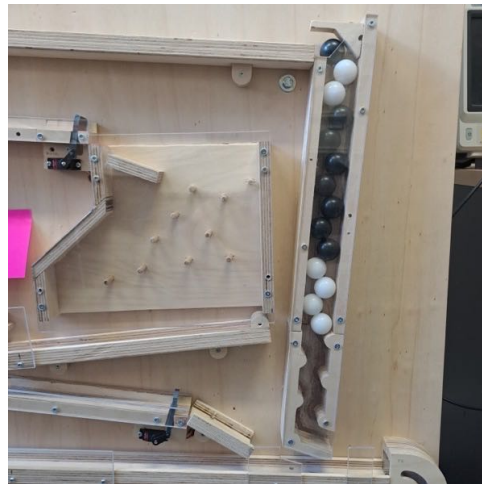
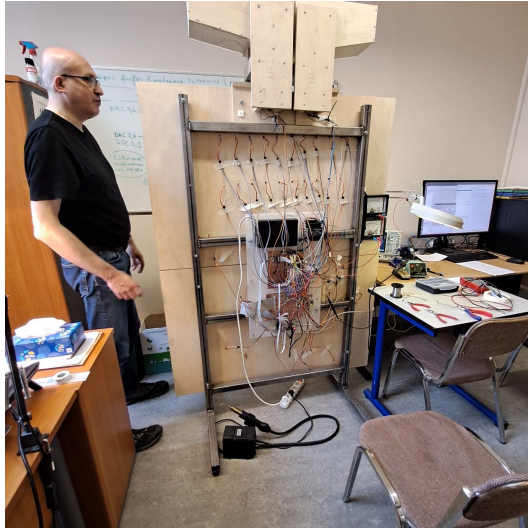
Illustrations 3D
ordinateur à billes
04/11/22



CCTP Universcience (J. Printems)



Mise au point au labo (carte, code, méca) : été 2023



Médiations test : été + automne 23

Carrefour du numérique, Cité des sciences et de l'industrie



Questionnaire
L'ordinateur à billes

Vous venez de découvrir l'ordinateur à billes. Afin d'améliorer ce dispositif, nous vous proposons de remplir ce questionnaire. Les données collectées préserveront votre anonymat et ne seront utilisées qu'à des fins pédagogiques et scientifiques. Les données seront traitées par l'équipe projet constituée de professionnels d'Universcience et du CNAM-Cédric (Centre d'études et de recherche en informatique et communications. Contact email : JeromeKirman@universcience.fr , médiateur scientifique.

Nous vous remercions de remplir un questionnaire par participant-e. Aucune question n'est obligatoire.

1. Comment avez-vous trouvé la présentation de l'ordinateur ? Cochez la case

- | | | | | | | |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| Pas intéressante | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Très intéressante |
| Pas compréhensible | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Très compréhensible |
| Fun | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | Ennuyeuse |

2. Qu'avez-vous préféré ? Précisez

Je préfère la appareil mécanique

3. Quel est votre intérêt pour l'informatique ? Précisez (Ex. : je connais car c'est mon métier, je suis développeur de jeux vidéo, je n'aime pas l'informatique...)

Je connais hardware and software et je aime bien la cyber sécurité

4. Que voudriez-vous que l'ordinateur final fasse de plus ? Précisez

Le ordinateur qui il donne aussi de resultat en code pimaire.

5. Y a-t-il des choses que vous avez vues que vous n'avez pas bien comprises ? Précisez

Oui, une calade plus simple

>100 personnes

± 50 questionnaires
peu exploitable 😞

controle invisible / visible mal géré

machine à trier les billes ?

évaluation médiation ou médiateur ?

au-delà :

médiation très faisable

taux de pannes gérable

régénération trop
complexe et omniprésente

A Tangible Computer for Science Museums: Pilot Machine

Pierre Cubaud

`pierre.cubaud@lecnam.net`
CEDRIC, Conservatoire National des Arts et Métiers

Jerome Kirman

`jerome.kirman@palais-decouverte.fr`
Palais de la découverte, Universcience

Lounis Zerioul

`lounis.zerioul@lecnam.net`
CEDRIC, Conservatoire National des Arts et Métiers

Christophe Alexandre

`christophe.alexandre@lecnam.net`
CEDRIC, Conservatoire National des Arts et Métiers

Donatien Lenoir

`donatien.lenoir@universcience.fr`
Palais de la découverte, Universcience

December 24, 2025

Abstract

A fully tangible computer using marbles for information storage could be a convenient demonstrator for museums devoted to computer science. We present the architecture of a binary stored-program machine, the key technologies we use for memory, processing and control units. After a review of related work, we discuss the results of a pilot study conducted with a restricted system. The pilot machine has 10 memory registers for 8-bit words, two physical operators and an electronic control unit. Its instruction set allows iterative programs such as `x = 240; while (x is even) x = mix(x);`. Public presentations have been conducted successfully but suggested some modifications that we report. Our forecasted final machine will feature a tangible control unit, 64 12-bit registers, and 16 instructions. It will occupy approx. 25 m² in a dedicated room at the Palais de la découverte in Paris.

en ligne sur Hal

une machine d'exposition

code	mnémonique	nom complet	sémantique
0	AD1	add, 1st operand	add := (n) ; regen de (n)
1	AD2	add, 2nd operand	add := add + (n) ; (n) := add
2	INV	invert	(n) := bit_invert(n)
3	MIX (ou RND ?)	mix (ou random)	(n) := bit_mix(n) ou random(0,2^12)
4	SHR	shift right	(n) := (n) div 2
5	DEC	decrement	(n) := (n)-1
6	LOD	load	reg := (n) ; regen de (n)
7	STO	store	purger (n) ; (n) := reg
8	TSE	test if even	tst := (n) si (tst est pair) alors sigtst := vrai regen de (n)
9	TSN	test if null	tst := (n) si (tst est nul) alors sigtst := vrai regen de (n)
10	TO1	output port 1	port1 := (n) ; regen de (n) ?
11	TO2	output port 2	port2 := (n) ; regen de (n) ?
12	INP	input	purger (n) ; (n) := input
13	GTO	goto	PC := n
14	GTI	goto if	si (sigtst) alors PC := n ensuite: sigtst := faux
15	END	end	arrêt de la machine (n inutile ?)

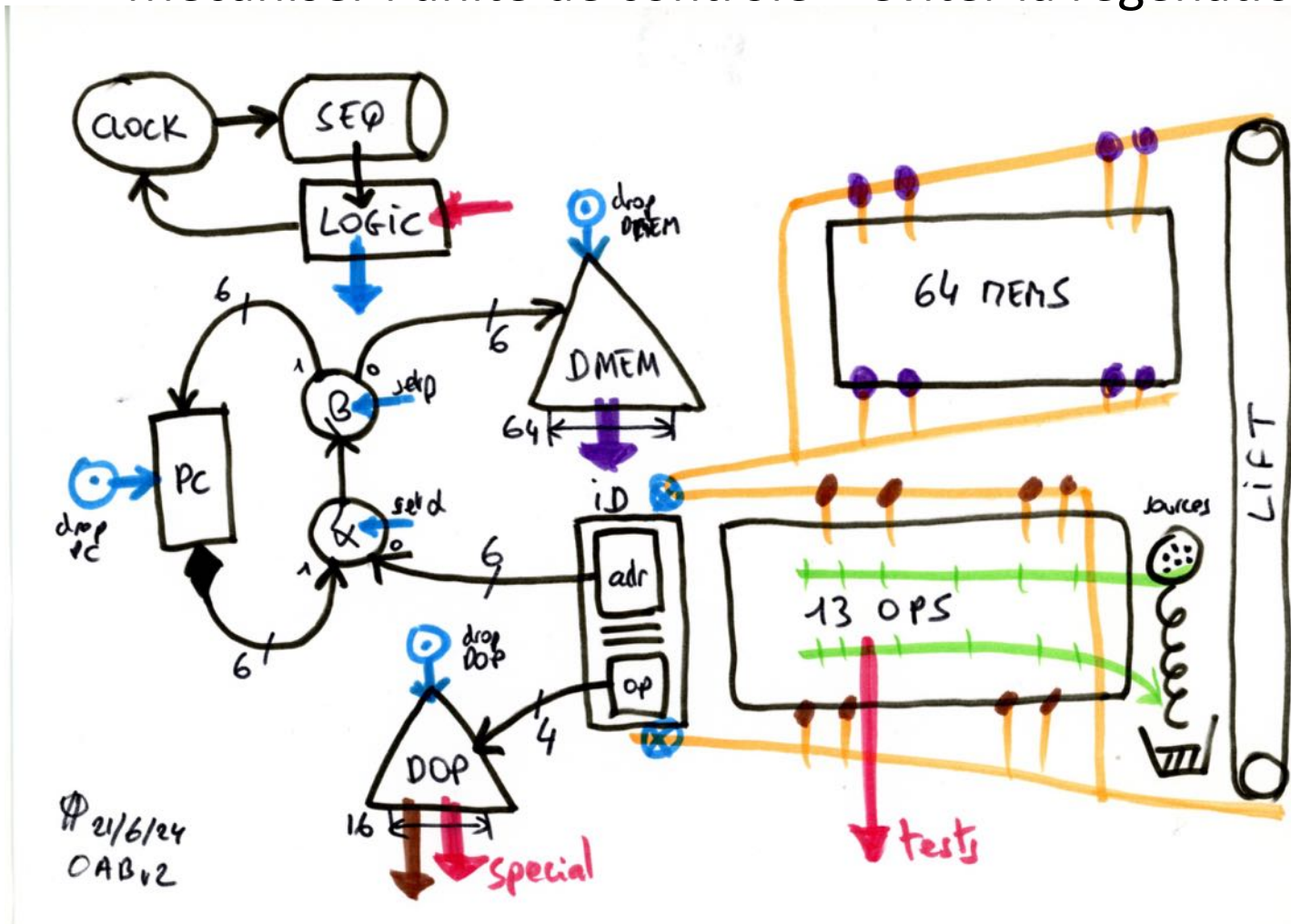
Suite Collatz - Syracuse :

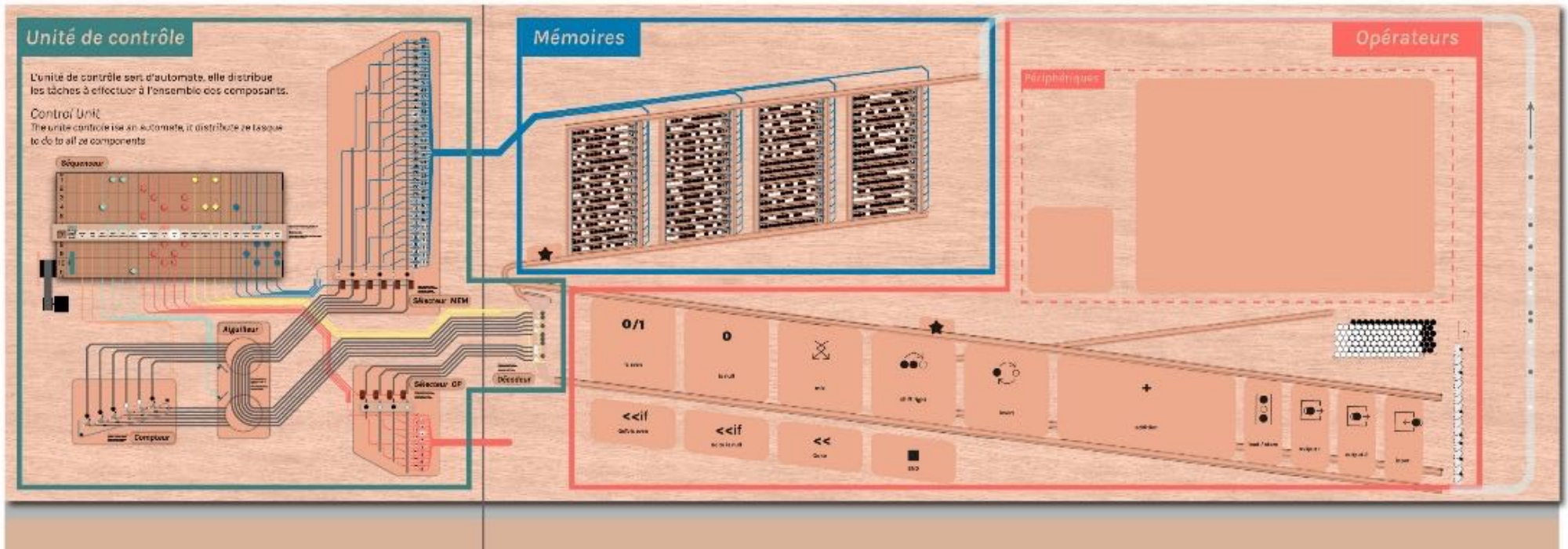
```

00  TSE  10
01  GTI  8
02  ADI  10
03  ADD  10
04  ADD  10
05  ADI  11
06  ADD  10
07  GTO  0
08  SHR  10
09  GTO  0
10  1794  // a
11  1

```

Mécaniser l'unité de contrôle + éviter la régénération

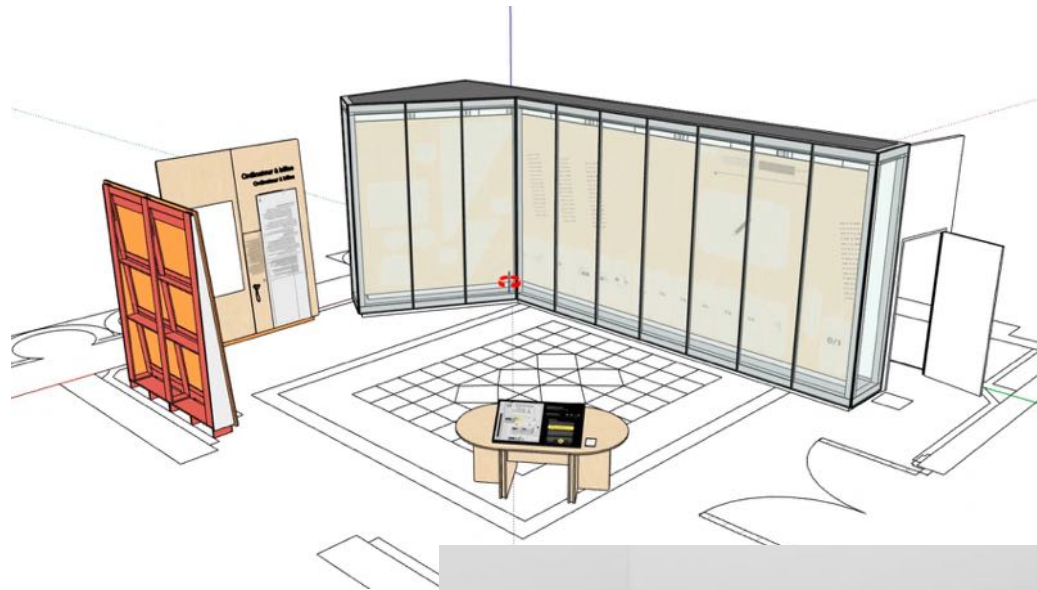




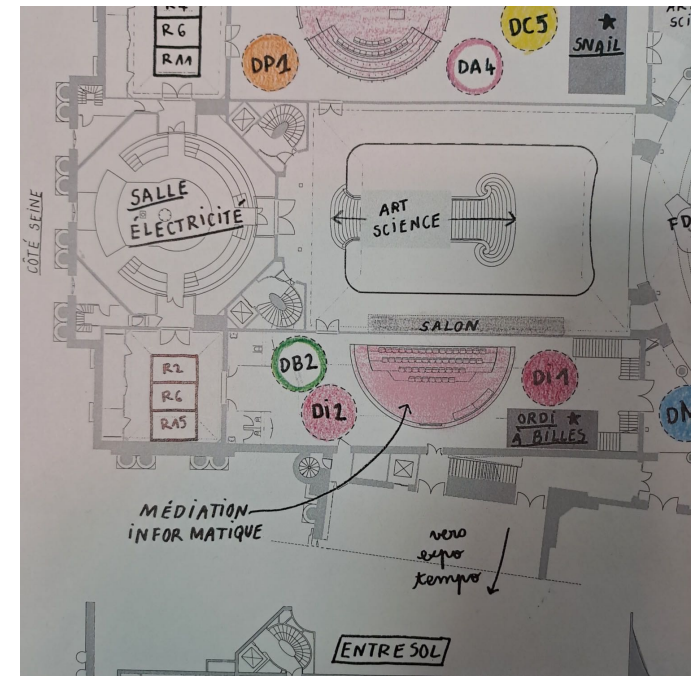
machine 12 bits
 16 instructions
 64 cases mémoires

± 10 m longueur
 ± 3 m hauteur

Design 1/2025
 (D. Lenoir – Universcience)

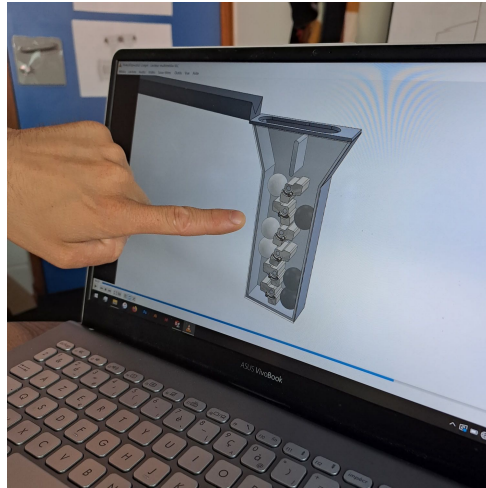


(D. Lenoir et al. - Universcience)

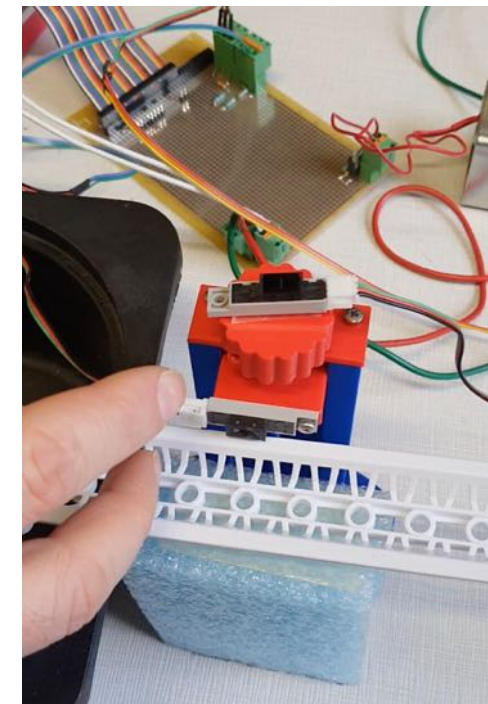
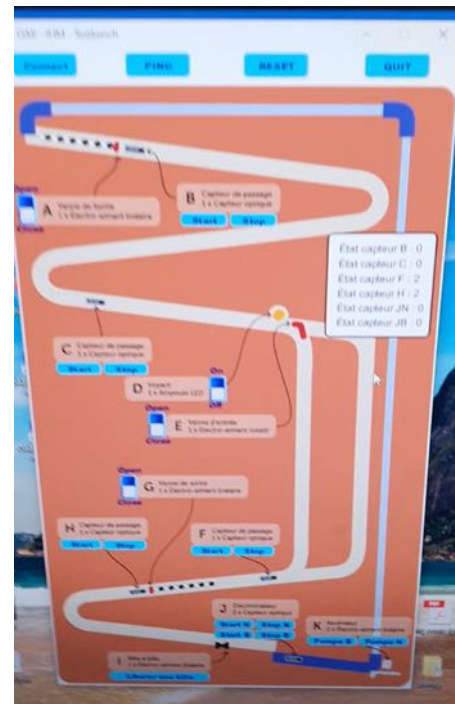


ancienne salle PI

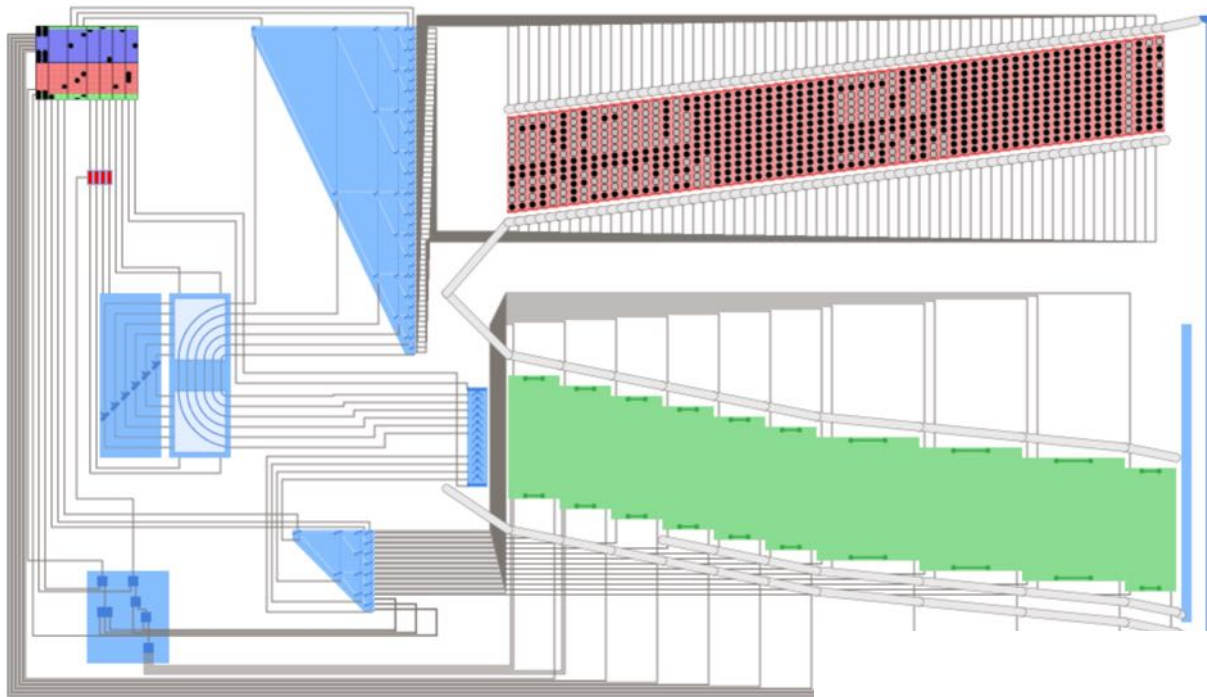
Jumeau numérique, prototypage rapide, validation



D. Lenoir & K. Ramasawmy, Universcience



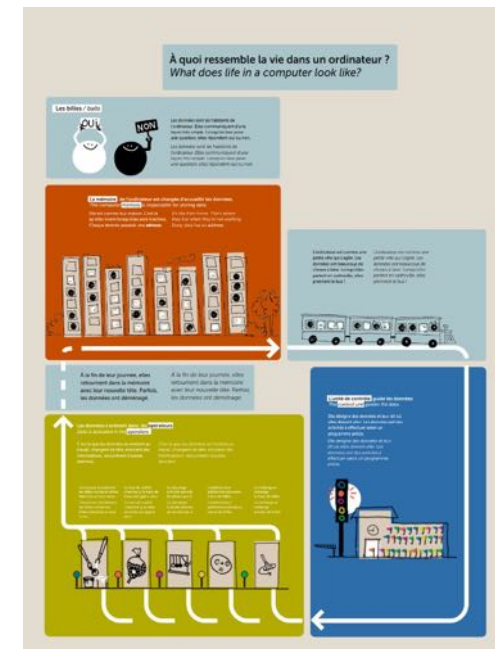
C. Alexandre & L. Zeroul, Cnam / CEDRIC



Billeμ : simulateur logique de l'OAB
 + scénarios didactiques
 J. Kirman - Universcience



Dispositif interactif visiteur
 ML. Barbier - Universcience

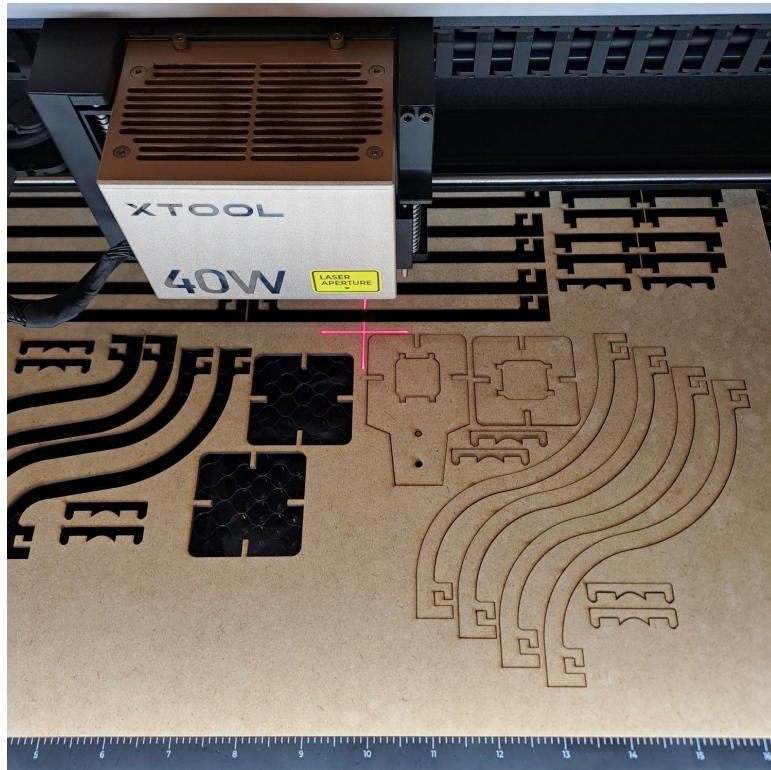


Terminologie, éditorialisation
 L. Cornu – Universcience
 + Ch. Jutten - Comité scientifique CNRS

mars 2027 : inauguration du Palais ?

une machine reproductible
et augmentée

Reproduire ?



Printables 3D Models Store Clubs Community Contests Brands Events Groups Education > [+ Create](#)

< 3D Models < Learning < Engineering

Mechanical 4 Bit Zuse Z1 Adder

☆☆☆☆☆ 0 reviews

Tec
@Tec_2885460 [Follow](#)

Mechanical 4 Bit Adder based on designs by Konrad Zuse

[Download](#)

[Like](#) [Bookmark](#) [Share](#)

♥ 4 📏 14 🗨️ 0 📄 200 updated June 21, 2025

PRUSA CORE ONE
PRECISION & RELIABILITY
FOR ALL YOUR MODELS [LEARN MORE](#)

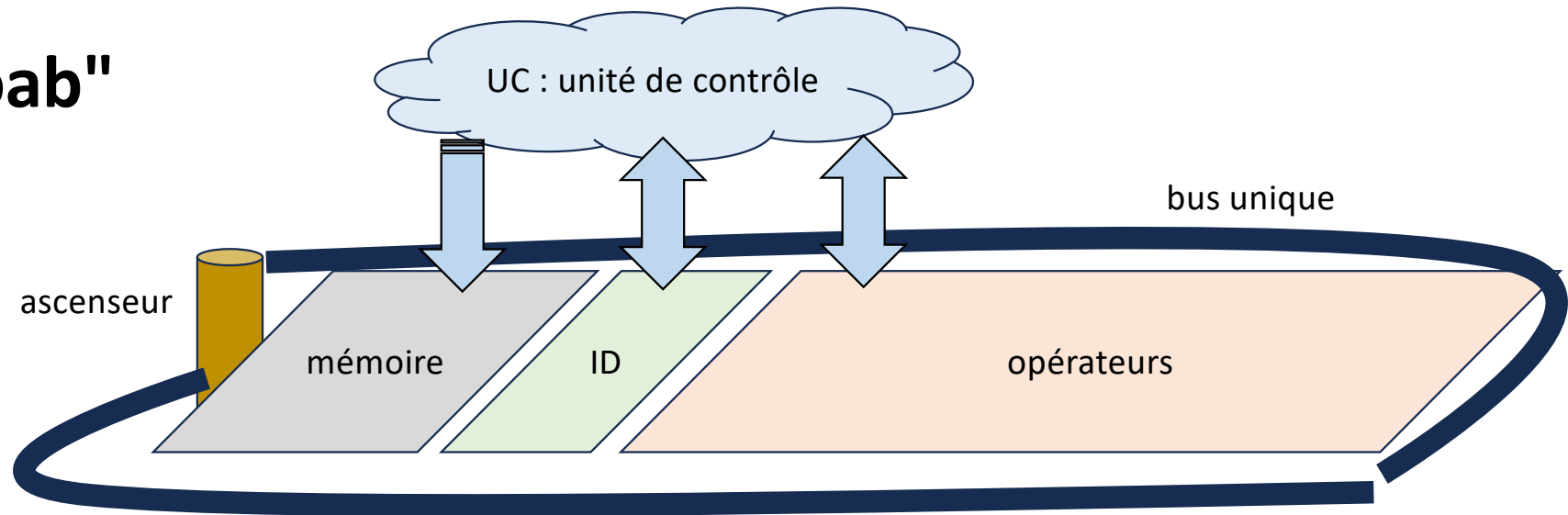
[Details](#) [Files](#) [Makes & Comments](#) [Remixes](#) [Related models](#) [Collections](#) [User print files](#)

et cnam **Découvrez l'ApprentiLab, le Fab Lab du CFA Cnam !**
CFA Cnam - Alternance

Découvrez l'ApprentiLab
du Cnam Saint-Denis !

Regarder sur [YouTube](#)

"kitoab"



mémoire : 8 cases de 8 bits

opérateur : uniquement ceux qui ne demandent pas de billes fraîches

- mix
- out (conversion analogique en 0-5V)
- production sonore ?
- test égalité ? ressemble à out et ID
- test parité ? déjà fait pour le démonstrateur

contraintes design :

- tient sur une table
- transportable
- équipement télémécanique
- peu cher + des billes
- toutes les autres pièces reproductibles en fablab

Unité de contrôle à relais (pour commencer)

arrangements described later is that the selection is accomplished in "stages." As can be seen from Fig. 13-3, each stage of a transfer tree consists of the contacts of a single relay, and the operation or release of this relay subdivides the possible choice of outputs until the final stage connects to the particular one.

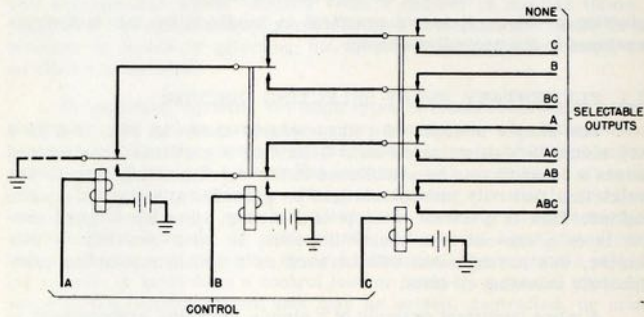
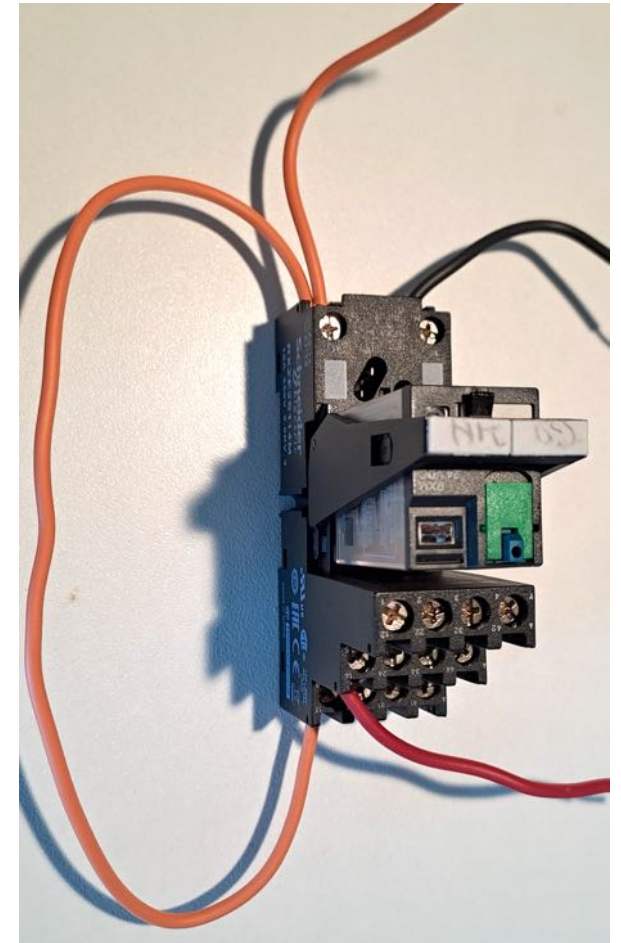
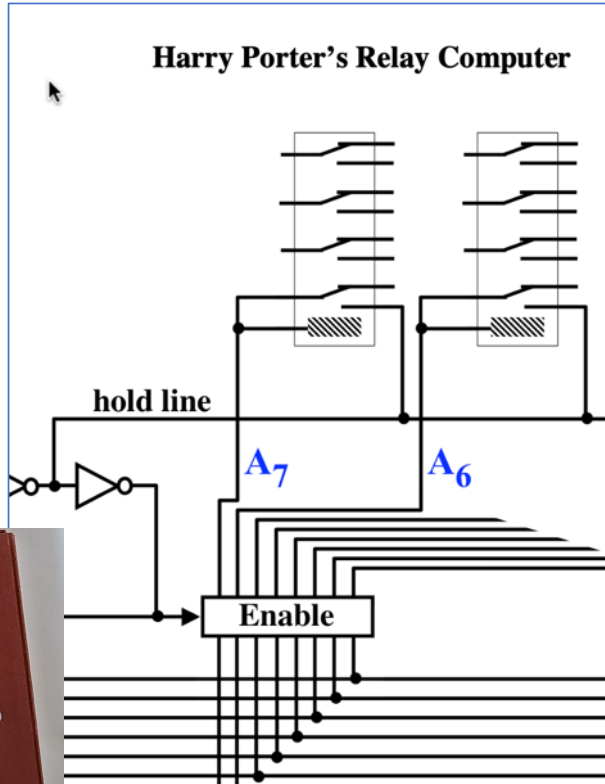
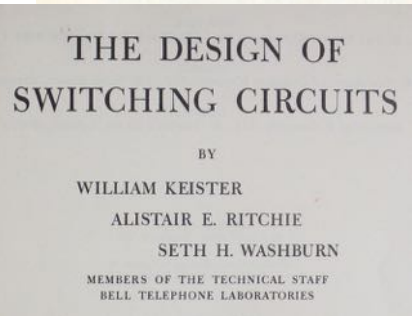


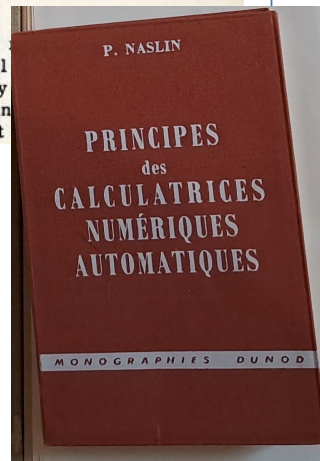
Fig. 13-3 Selecting by Means of a Transfer Tree

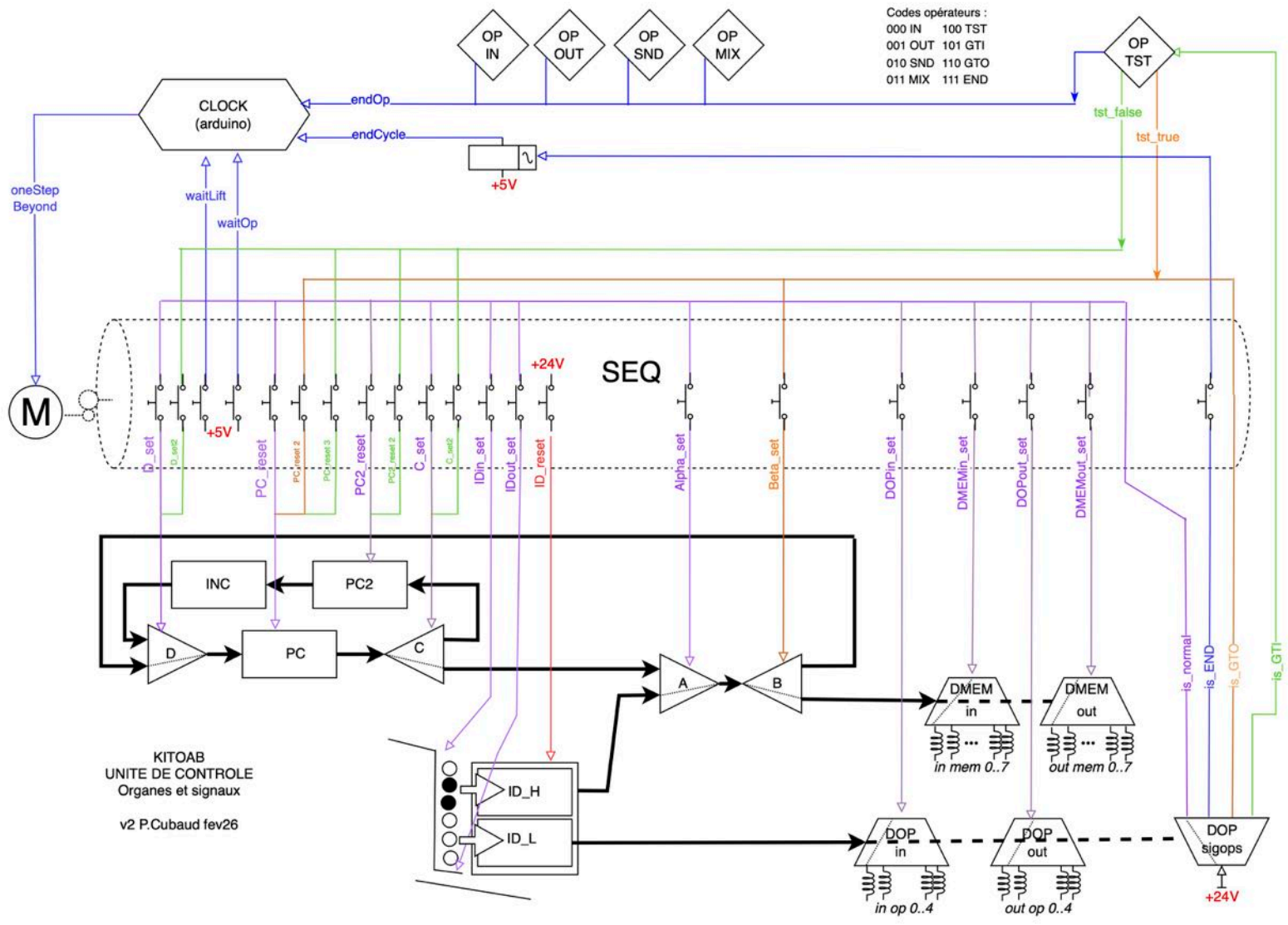


mémoire 1 bit



s which is a
nts is that all
nected to only
licit in selectin
given time, it



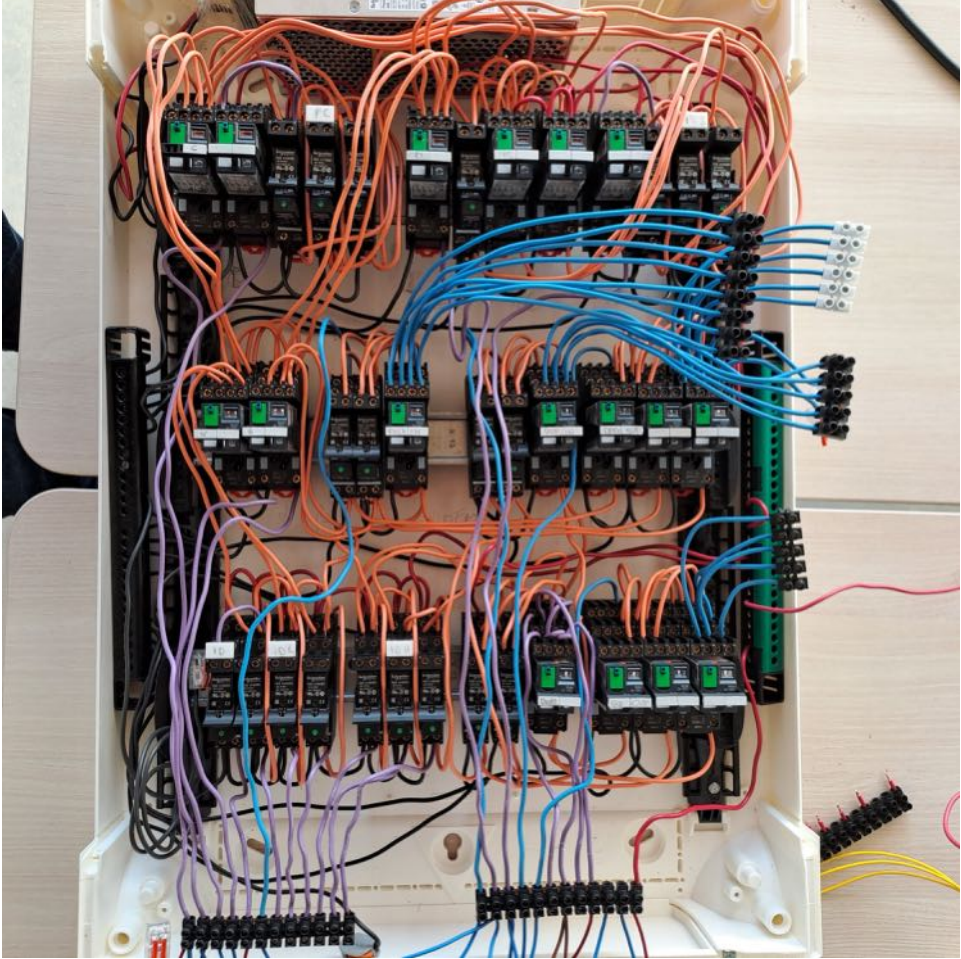
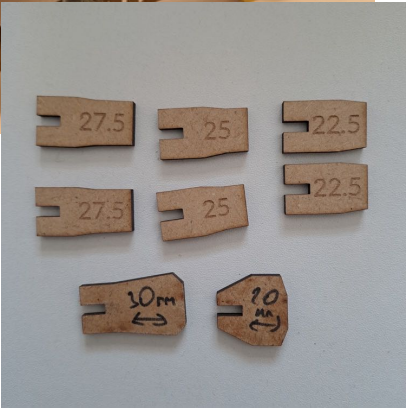
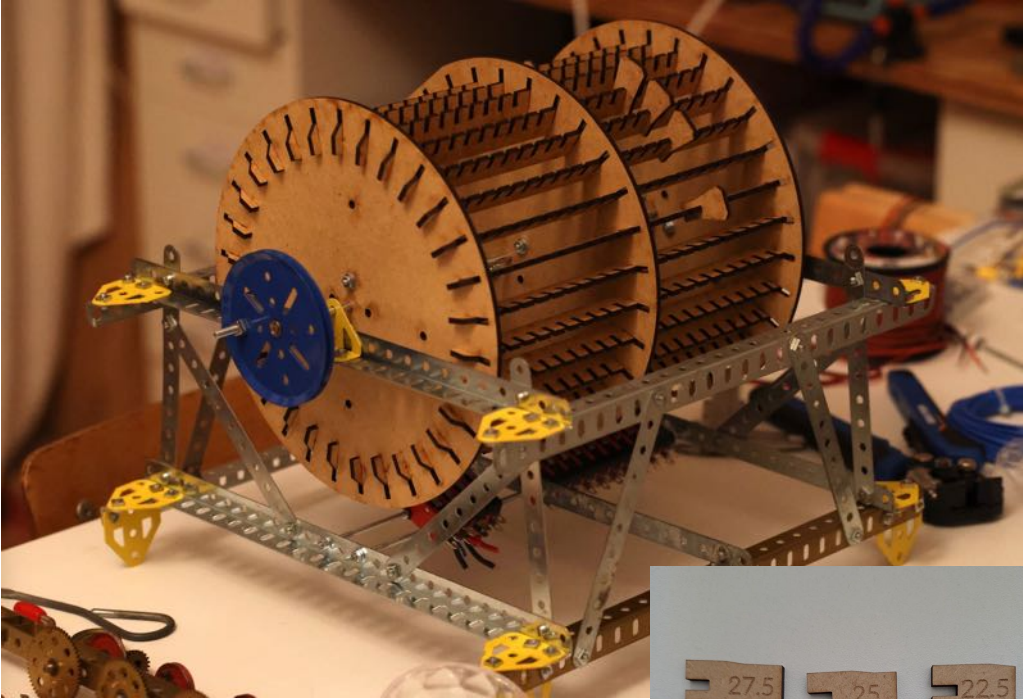


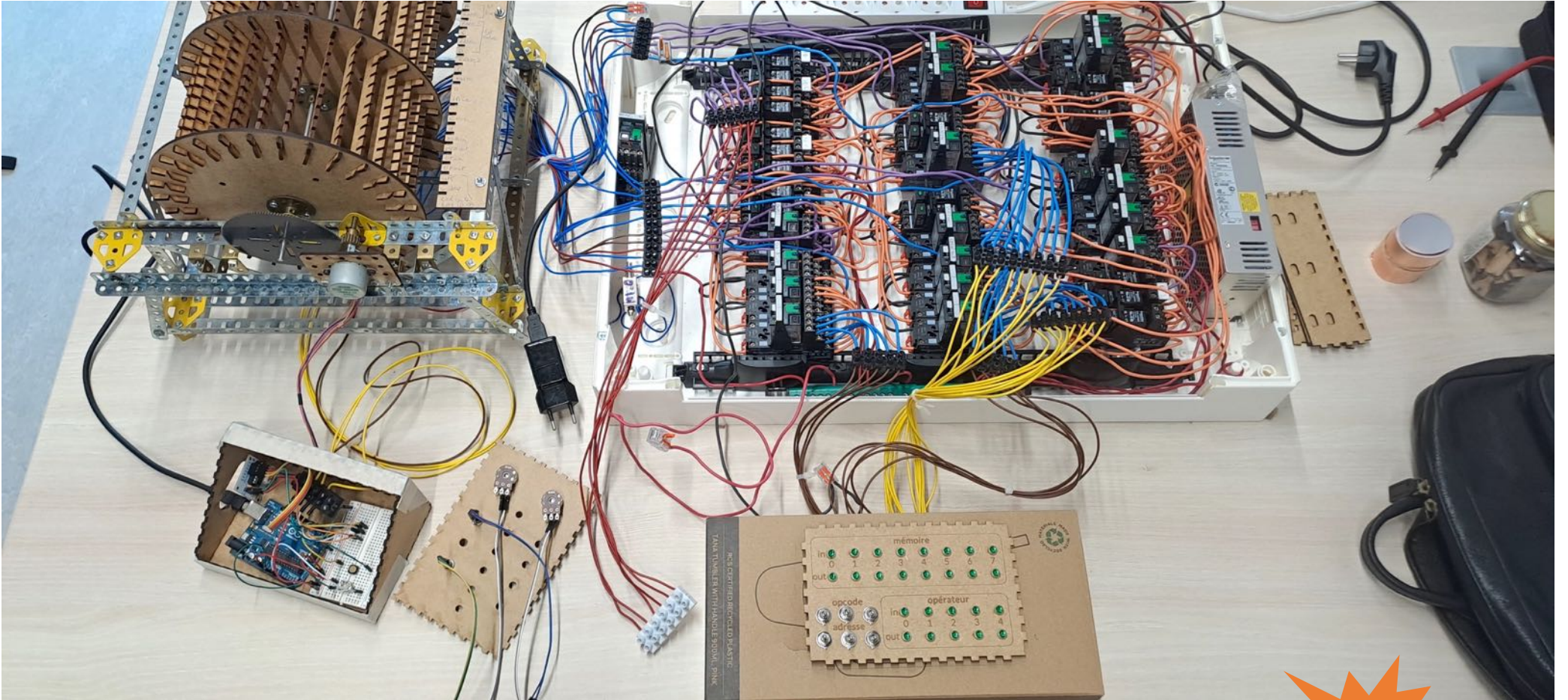
Codes opérateurs :

000	IN	100	TST
001	OUT	101	GTI
010	SND	110	GTO
011	MIX	111	END

KITOAB
 UNITE DE CONTROLE
 Organes et signaux
 v2 P.Cubaud fev26

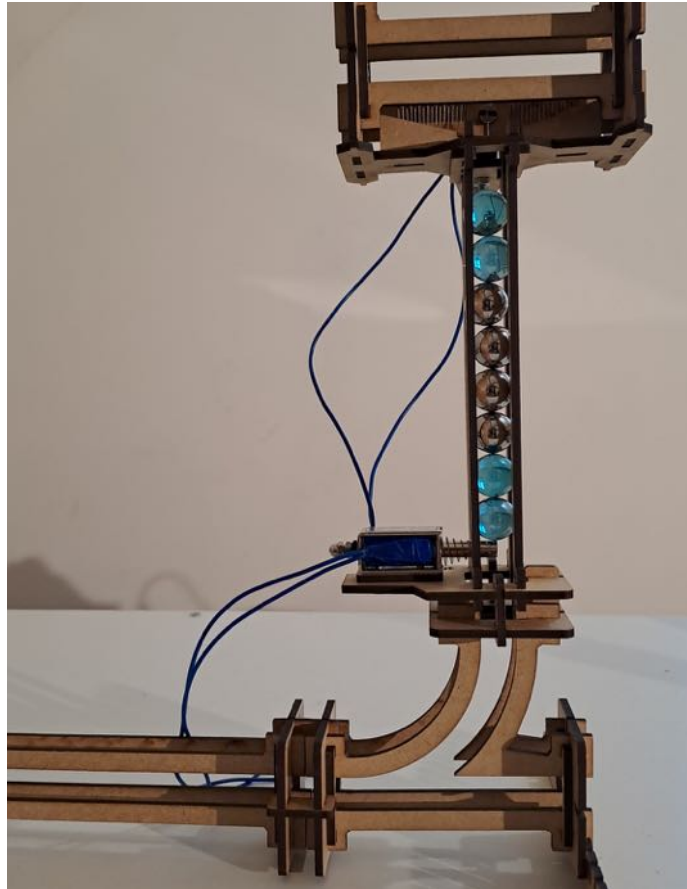
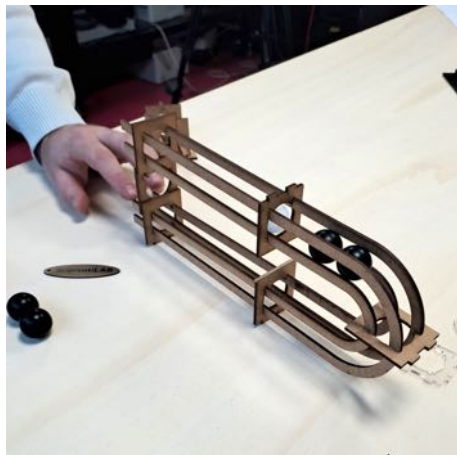
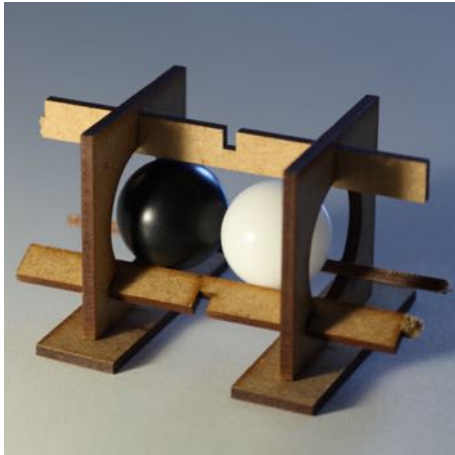
Unité de contrôle





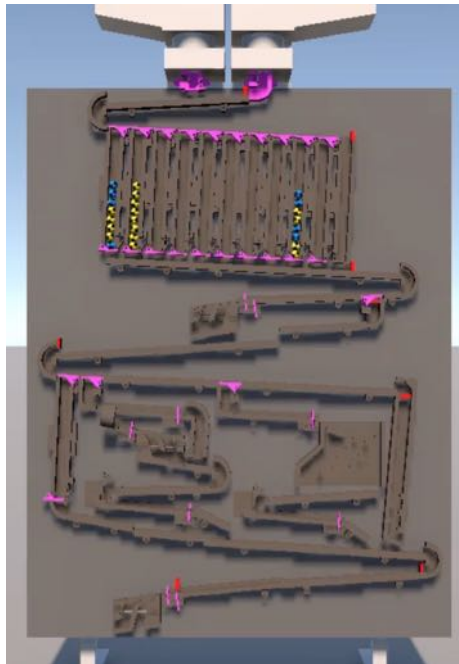
vidéo

Exécution en cours de mise au point : tube mémoire, ascenseur



(à suivre : décodeur d'instructions)

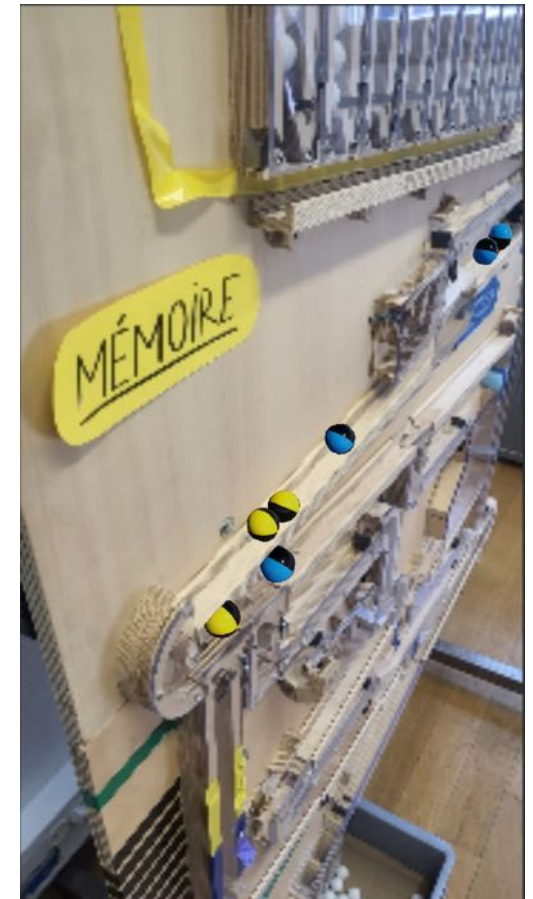
Thèse de C. Tymenski
sur le couplage
virtuel / tangible
dans les dispositifs
de médiation



"jumeau
numérique"



XR + reco. gestes



couplage simulation/tangible