



SCULPTUREUR

CALCULATEUR

Monstre

**CRÉATURE DONT L'APPARENCE,
VOIRE LE COMPORTEMENT,
SURPREND PAR SON ÉCART
AVEC LES NORMES D'UNE SOCIÉTÉ**

Monstre

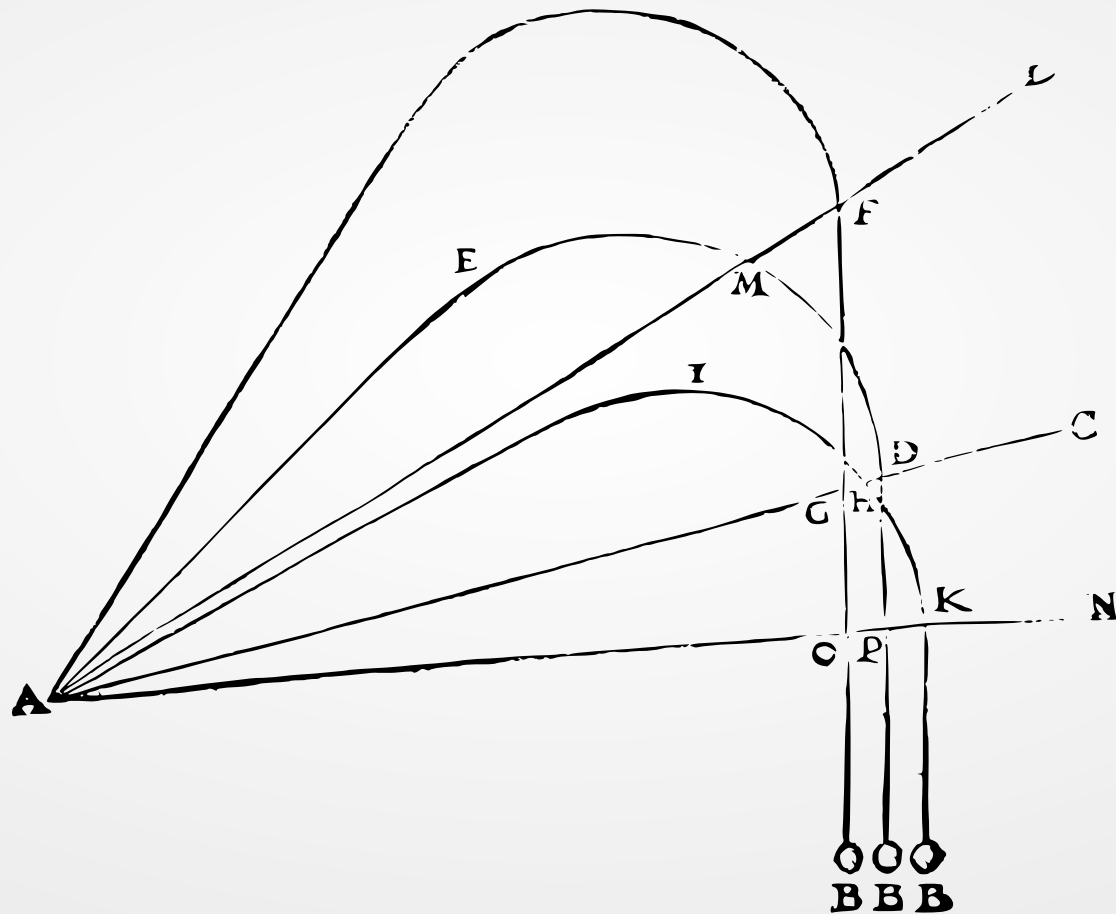
**CE QUI TRADUIT LA PUISSANCE DIVINE
DE LA CRÉATION, CAPABLE DE METTRE
DU DÉSORDRE DANS L'ORDRE OU LE CONTRAIRE,
PROVOQUANT SOIT LA TERREUR,
SOIT L'ADMIRATION**

The image features a light gray background with decorative dark blue geometric shapes in the corners. These shapes consist of several parallel lines of varying lengths, creating a stylized, modern look. The shapes are positioned in the top-right and bottom-left corners, framing the central text.

Merci Wikipédia

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Monstre>

Calculs, calculs, calculs...



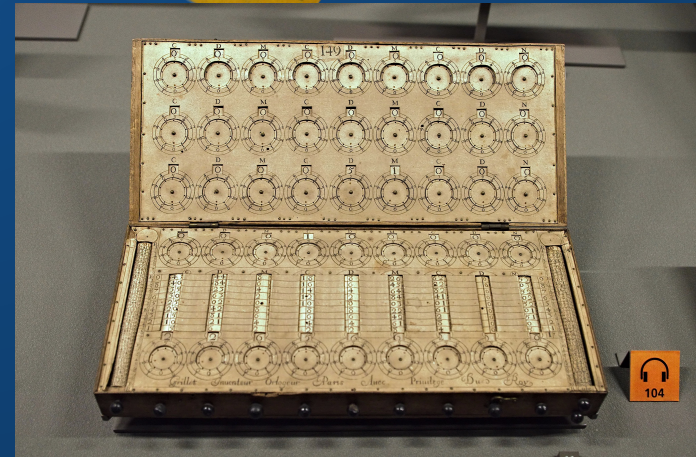
De Galilée à Newton

- Le rêve de modéliser l'univers est plus fort que jamais
- Les modèles mathématiques se précisent
- Mais ils se complexifient aussi!
- Ex.: calcul de trajectoire parabolique

$$z(x) = -\frac{1}{2} \frac{g}{V_o^2} x^2 [1 + \tan^2(\phi)] + x \cdot \tan(\phi)$$

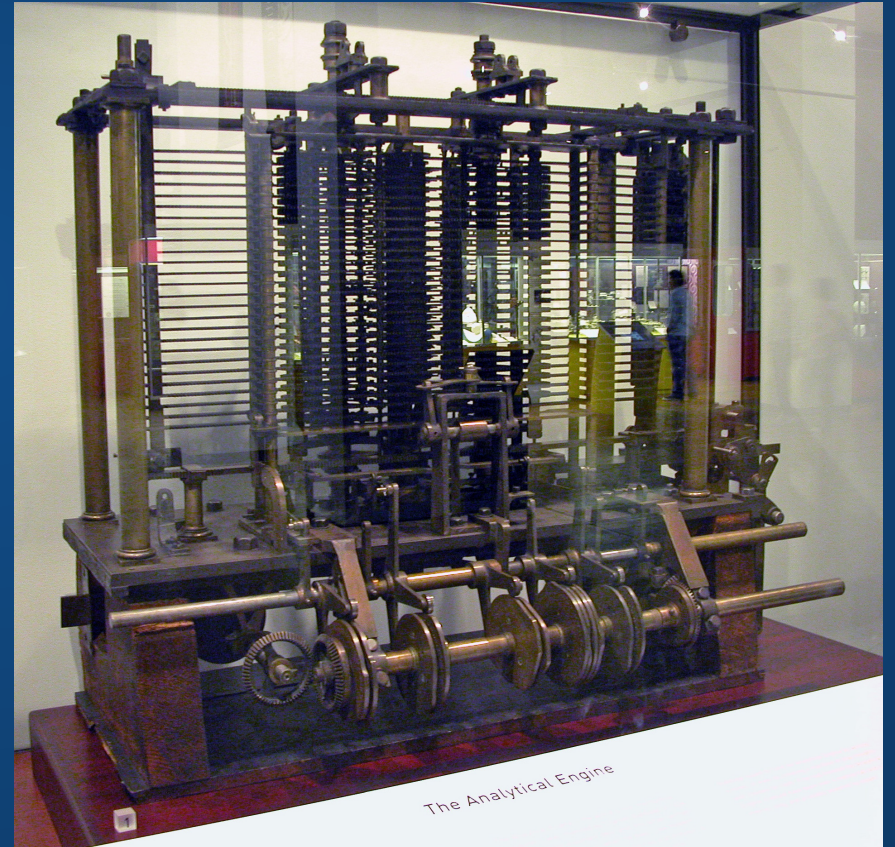
Le calcul, avant

- Calcul manuel
 - tables de calcul
 - règles à calculer
- Machines à calculer



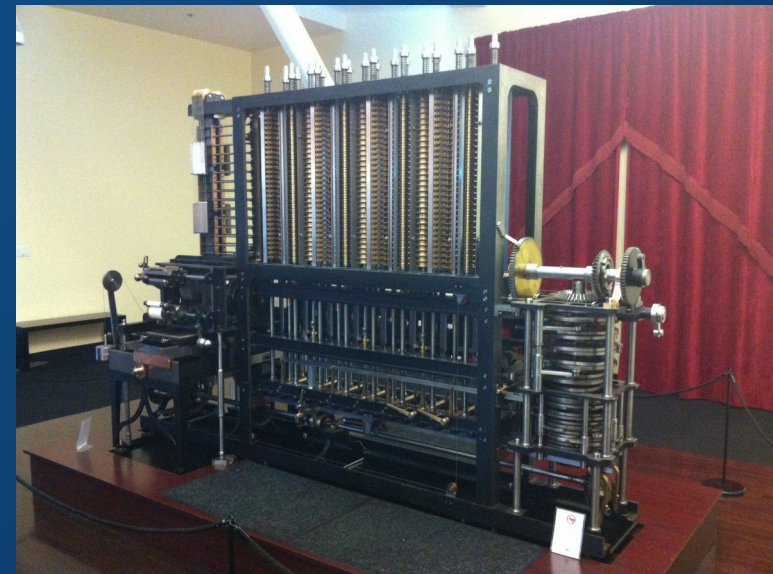
Révolution industrielle

- Charles Babbage
- Automatisation des calculs
 - 1821, machine à différences
 - 1836, machine analytique
 - 1849, machine à différences n°2
- Produire des tables de calcul



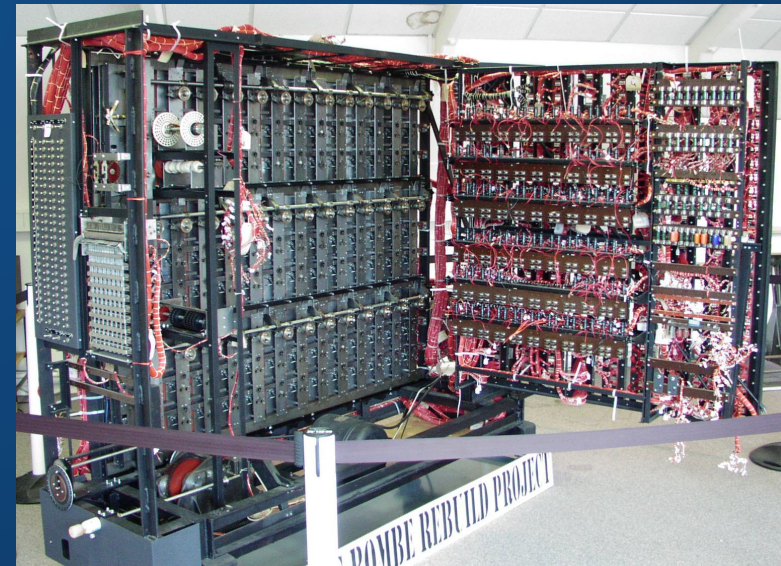
Révolution industrielle

- Machines entièrement mécaniques
Elles ne seront jamais fonctionnelles
- Fabrication de la machine à différences n°2 en 1985
8000 pièces, 5 tonnes, 3 m × 2 m × 45 cm
- Ada Lovelace 1^{re} programmeuse

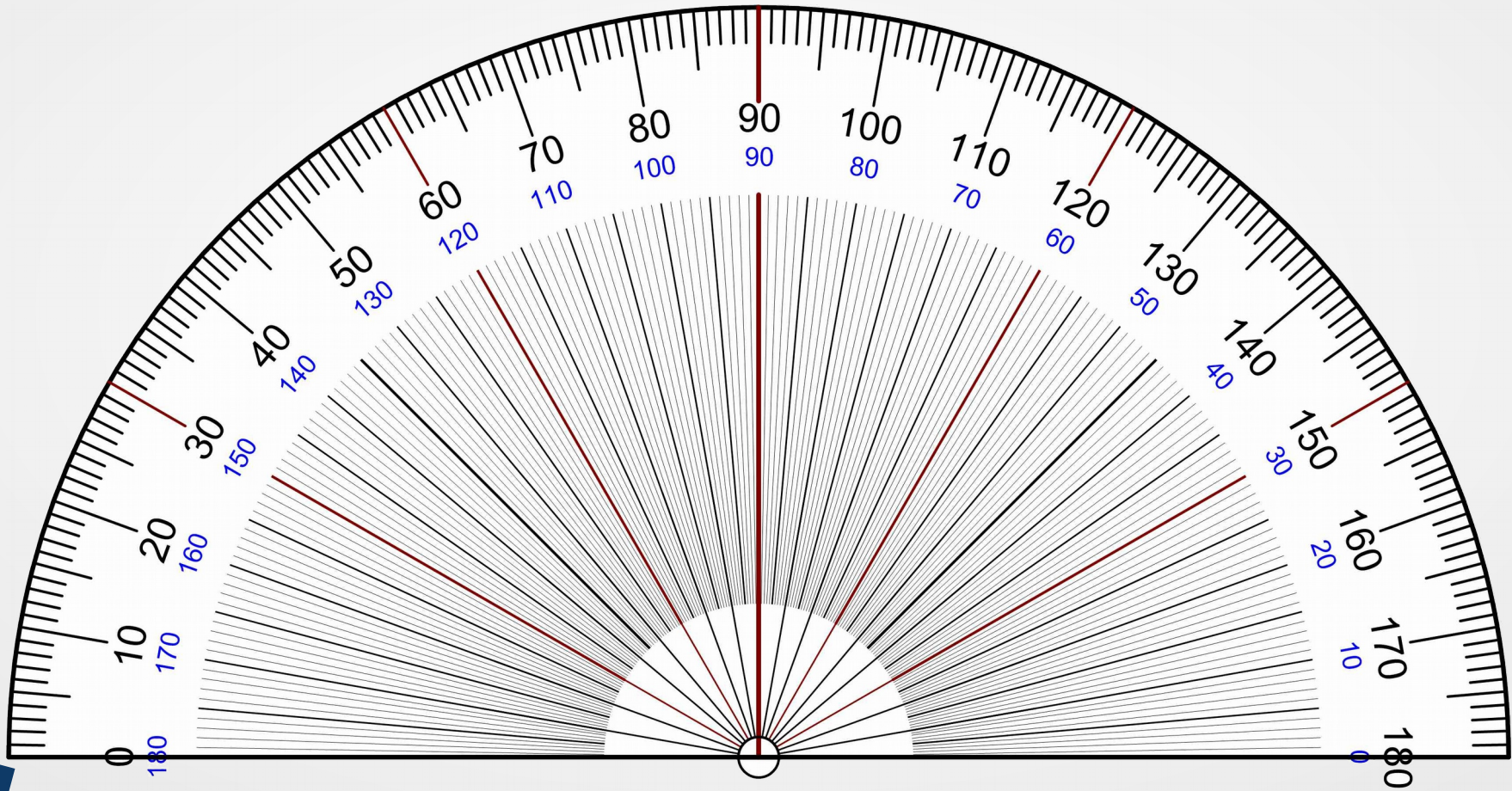


Seconde guerre mondiale

- Machines électromécaniques
- Casser les codes allemands
Alan Turing, la « Bombe »
- L'informatique prend son essor



Unité, mesure et échelle



Virgule flottante

- La virgule flottante permet de représenter
 - des nombres très petits
 - des nombres très grands
- Le niveau de précision est toujours le même
- Vous l'utilisez sans vous en rendre compte
 - animation 3D
 - tableur
 - affichage d'une page web

Flottant double précision

- Le plus petit: $2,2250738585072014 \times 10^{-308}$
- Le plus grand: $1,7976931348623157 \times 10^{308}$
- 16 chiffres significatifs
- Pourquoi une double précision
 - **avantage**: plus précis, moins d'erreur d'approximation
 - **inconvénient**: 2×plus lourd à calculer

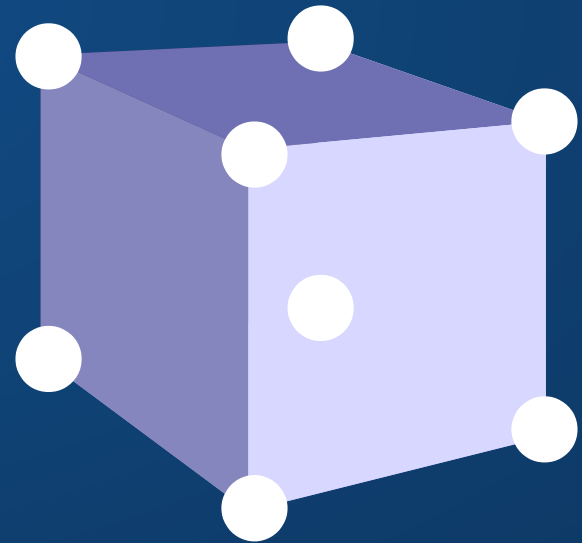
FLOPS

- **F**loating-point **O**perations **P**er **S**econd
opérations en virgule flottante par seconde
- Mesure de la puissance de calcul
- Généralement addition et multiplication



Besoin de FLOPS

- Géométrie dans l'espace
- 1 point = 3 flottants
- 1 cube = 8 points ou 24 flottants
- Déplacer un cube = 24 additions
- Agrandir un cube = 24 multiplications

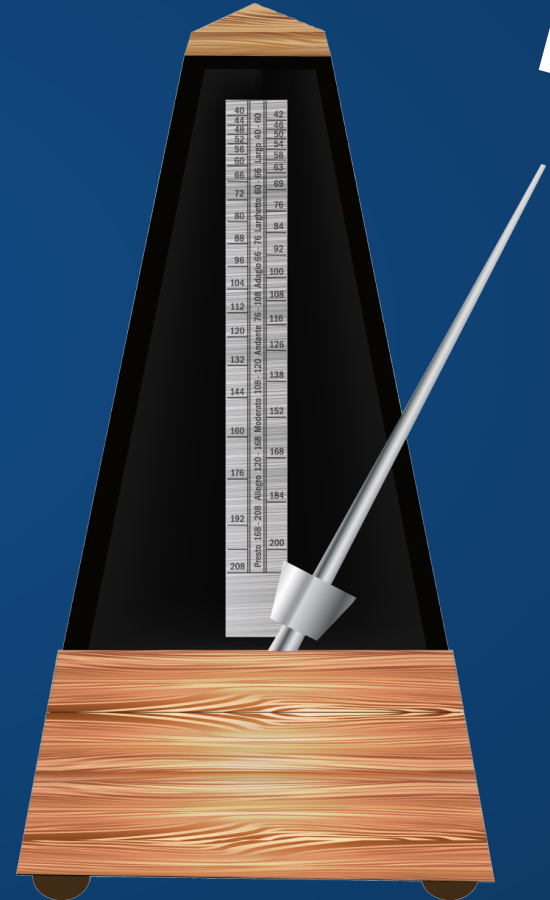


Échelle

- kilo 1000 mille
- méga 1 000 000 million
- giga 1 000 000 000 milliard
- téra 1 000 000 000 000 mille milliard
- péta 1 000 000 000 000 000 million de milliard
- exa 1 000 000 000 000 000 000 milliard de milliard
- zetta, yotta...

Le Hertz

- Indique la fréquence
son, fréquences radio, rythme, spectre lumineux...
- 1 Hz = 1 *fois* par seconde
- 1 MHz = 1 million de *fois* par seconde
- Les ordinateurs ont tous une horloge
elle rythme les opérations réalisées par le processeur



moins que l'unité

Calcul humain

- De quelques secondes à quelques minutes hors capacité exceptionnelle
- De 0,003 FLOPS à 0,1 FLOPS
- Dépend de
 - type d'opération (addition, multiplication)
 - nombre de chiffres significatifs
 - entraînement de la personne

unité

Électro-mécanique

- Mélange l'électricité et la mécanique
du milieu du XIX^e siècle au milieu du XX^e siècle
- Technologie utilisée dans les tabulatrices
 - cartes perforées
 - relais

IBM ASCC / Harvard Mark I

- Construit en 1944
- Pas le premier!
Konrad Zuse en avait déjà construit en Allemagne en 1941
- Puissance de calcul: **0,3 FLOPS**
- Consommation: **4 kW**
principalement pour le moteur électrique entraînant l'arbre principal
- Utilisé par l'université d'Harvard
<http://sites.harvard.edu/~chsi/markone/function.html>

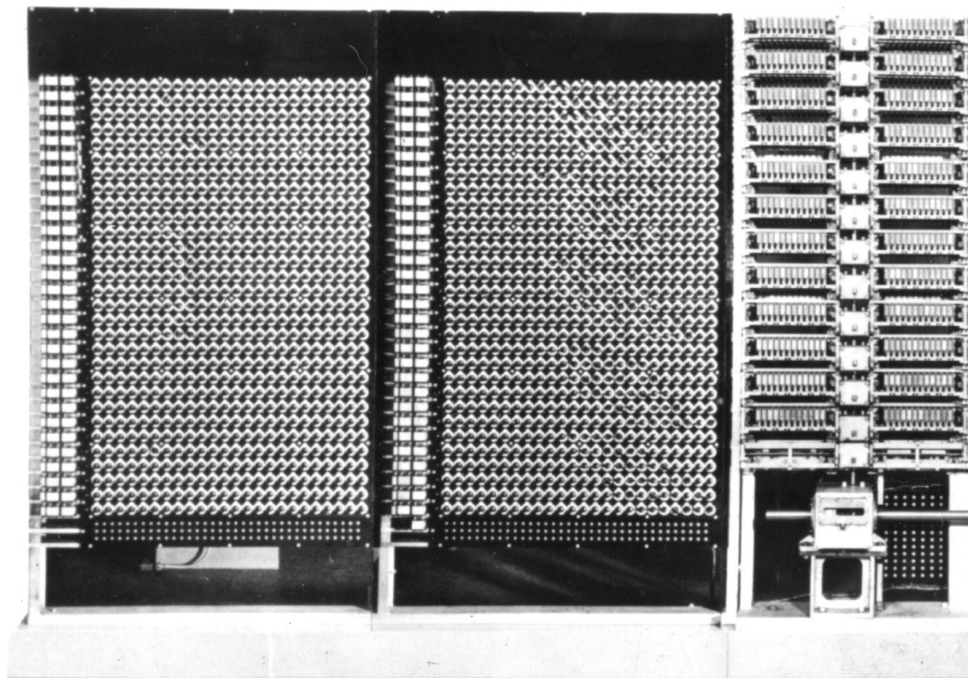
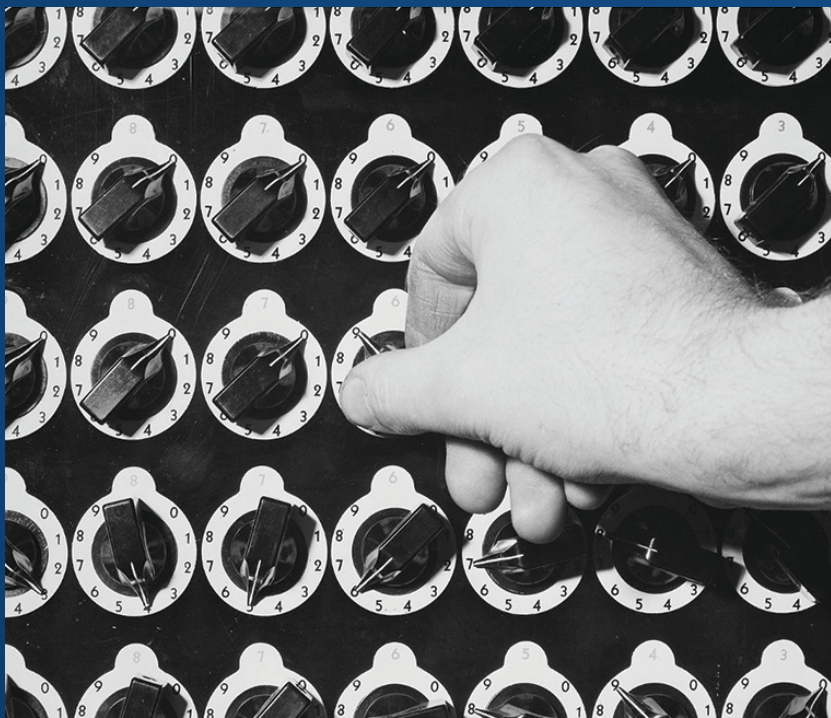
Utilisation

- Projets militaires
 - conception de torpilles
 - détection sous-marine
 - radar
 - projet Manhattan
- Calcul de tables de valeurs
beaucoup de calculs étaient encore faits manuellement

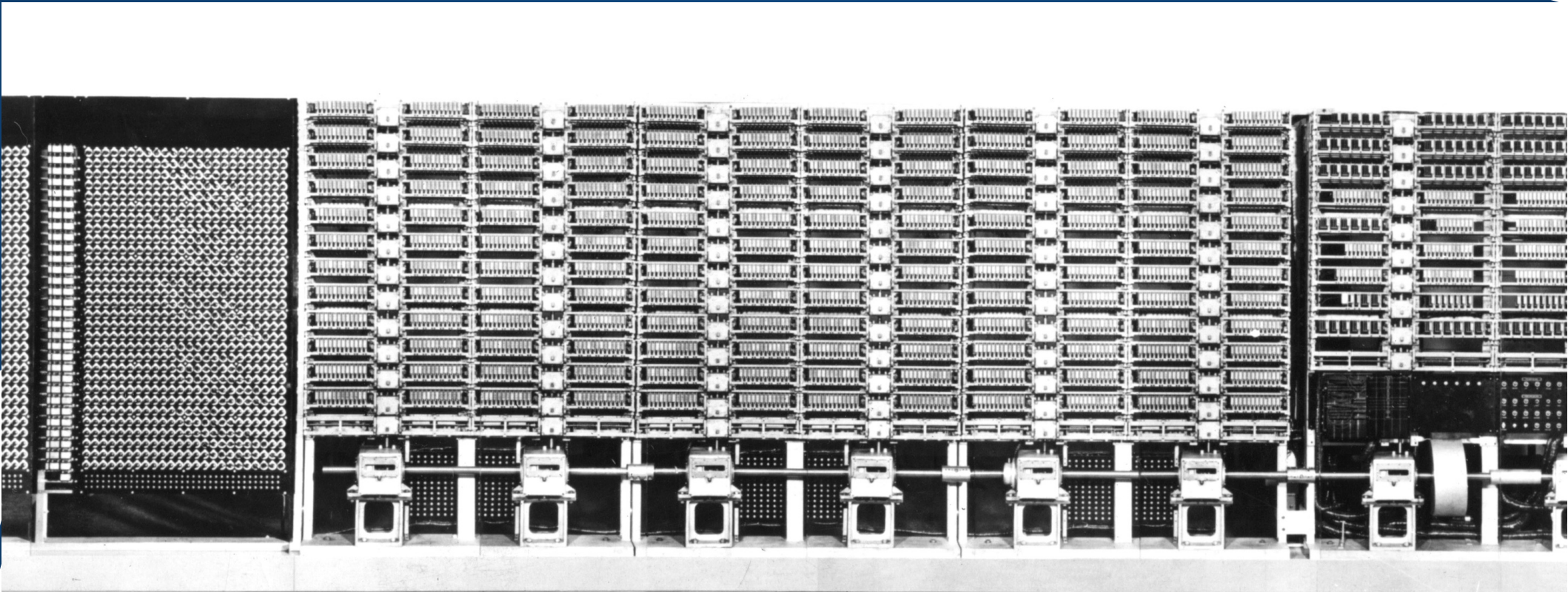
IBM ASCC / Harvard Mark I



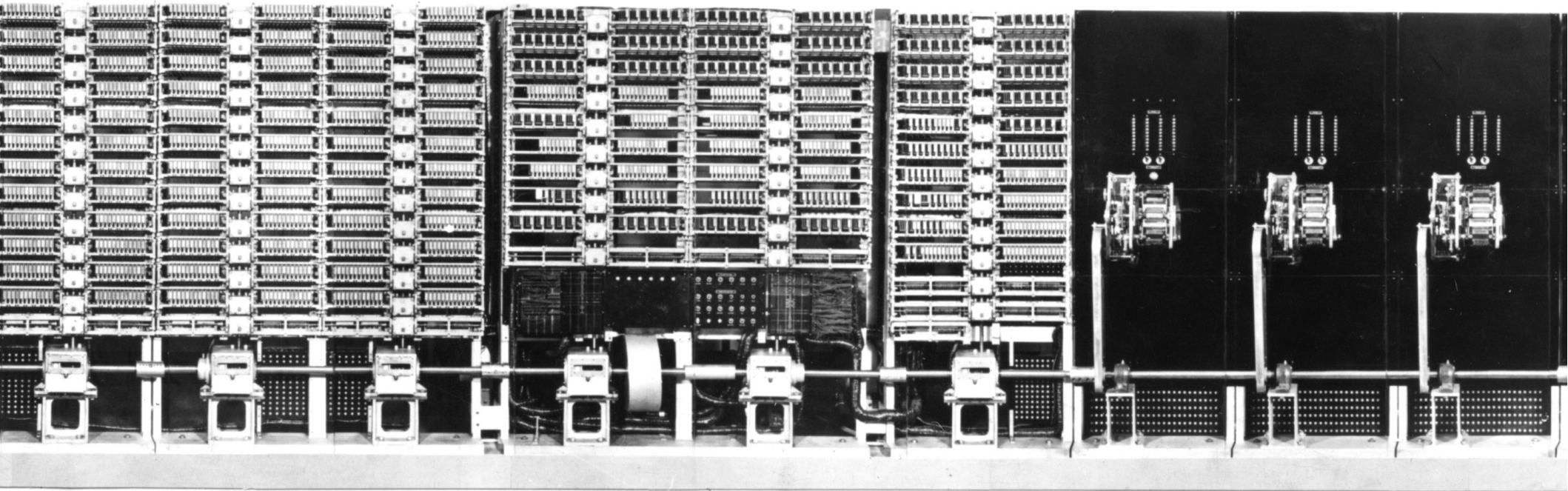
60 constantes



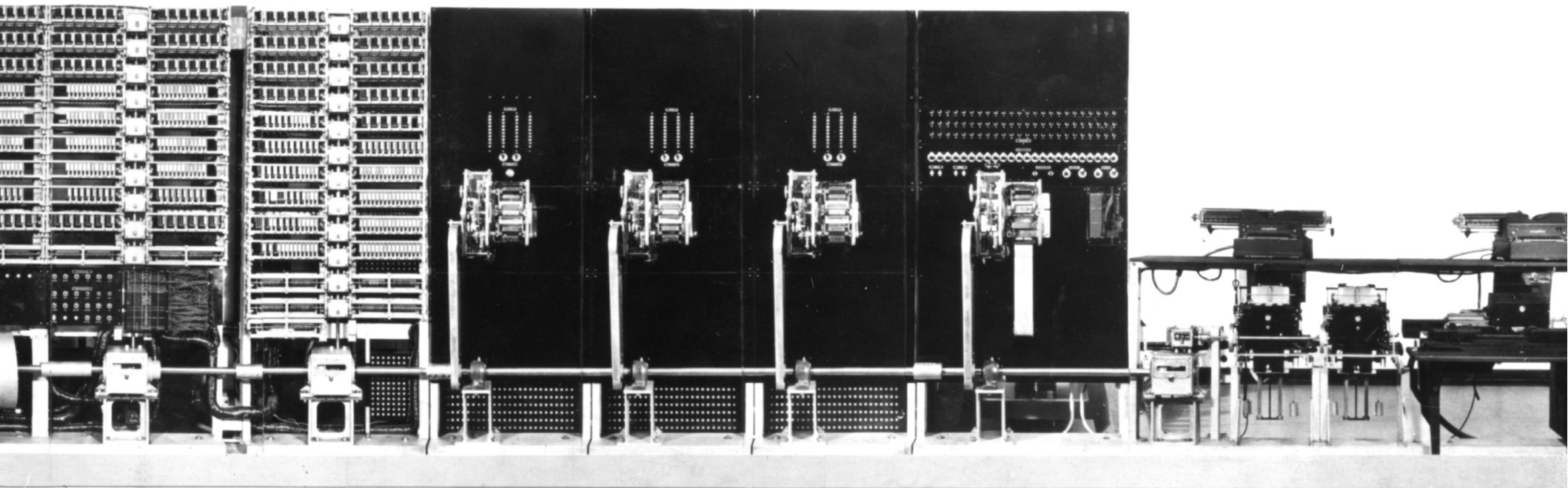
Mémoire (72 nombres)



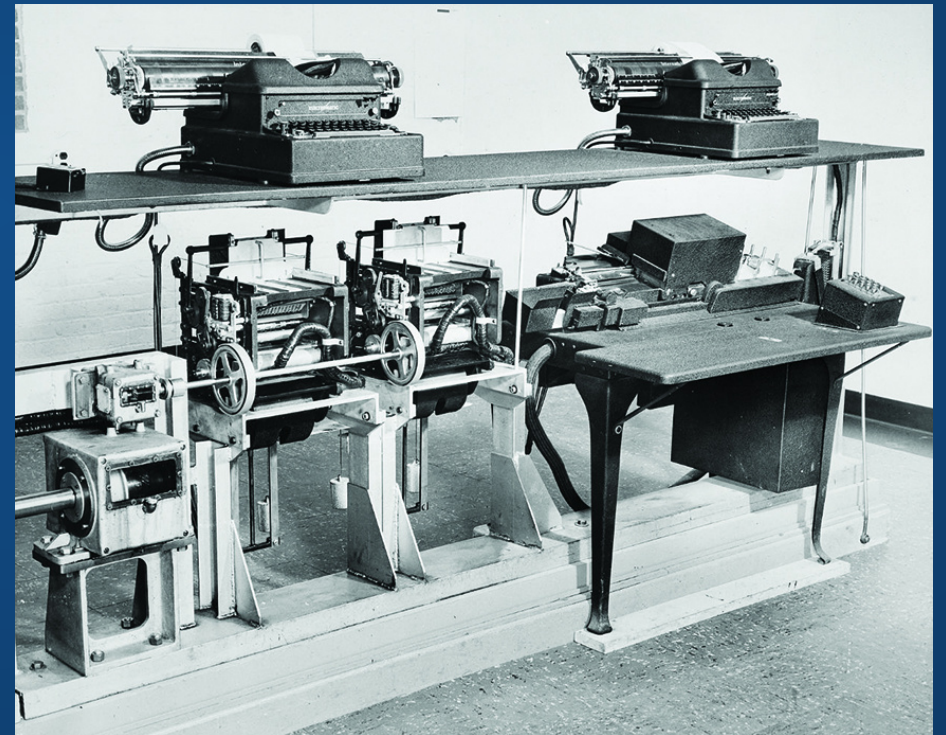
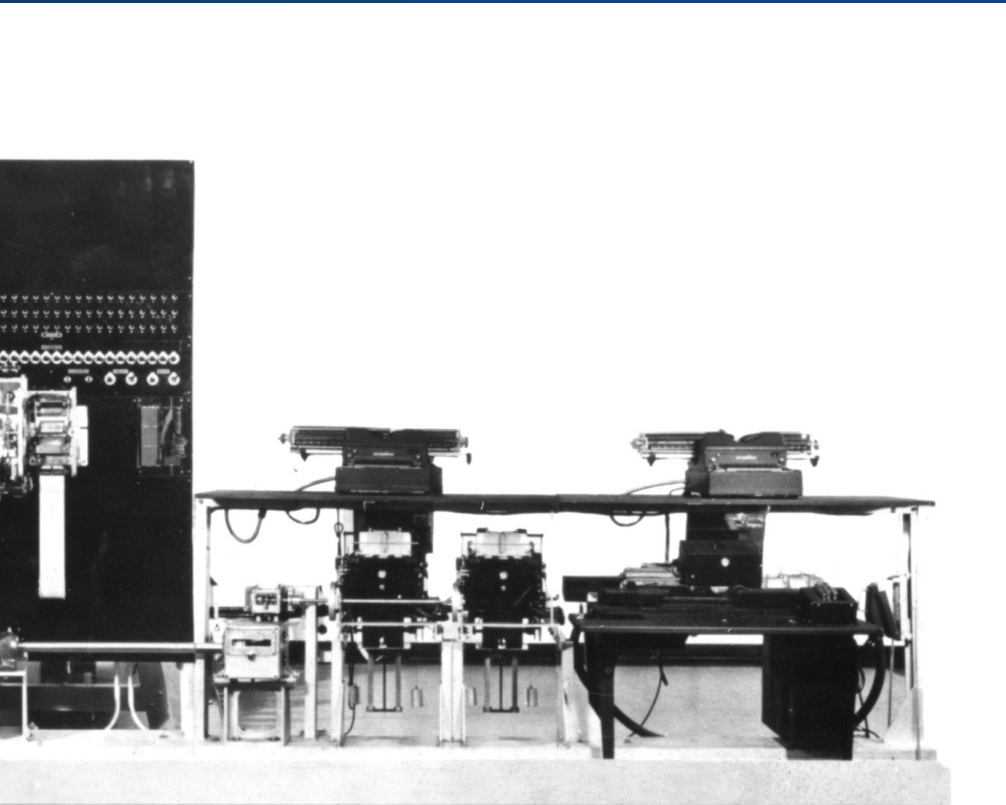
Unité de calcul



Programme et fonctions



Entrée des données



Harvard Mark II

- Sorti en 1947
- Puissance de calcul: **1,3 FLOPS**
2 à 8 fois plus rapide que le Harvard Mark I
- Optimisation: fonctions « matérielles »
inverse, racine carrée, logarithme, exponentielle, fonctions trigonométriques

The image features a light gray background with decorative elements in the corners. In the top-right and bottom-left corners, there are clusters of dark blue, parallel bars of varying lengths, arranged in a fan-like pattern. The word "kilo" is centered in the middle of the page.

kilo

Électronique

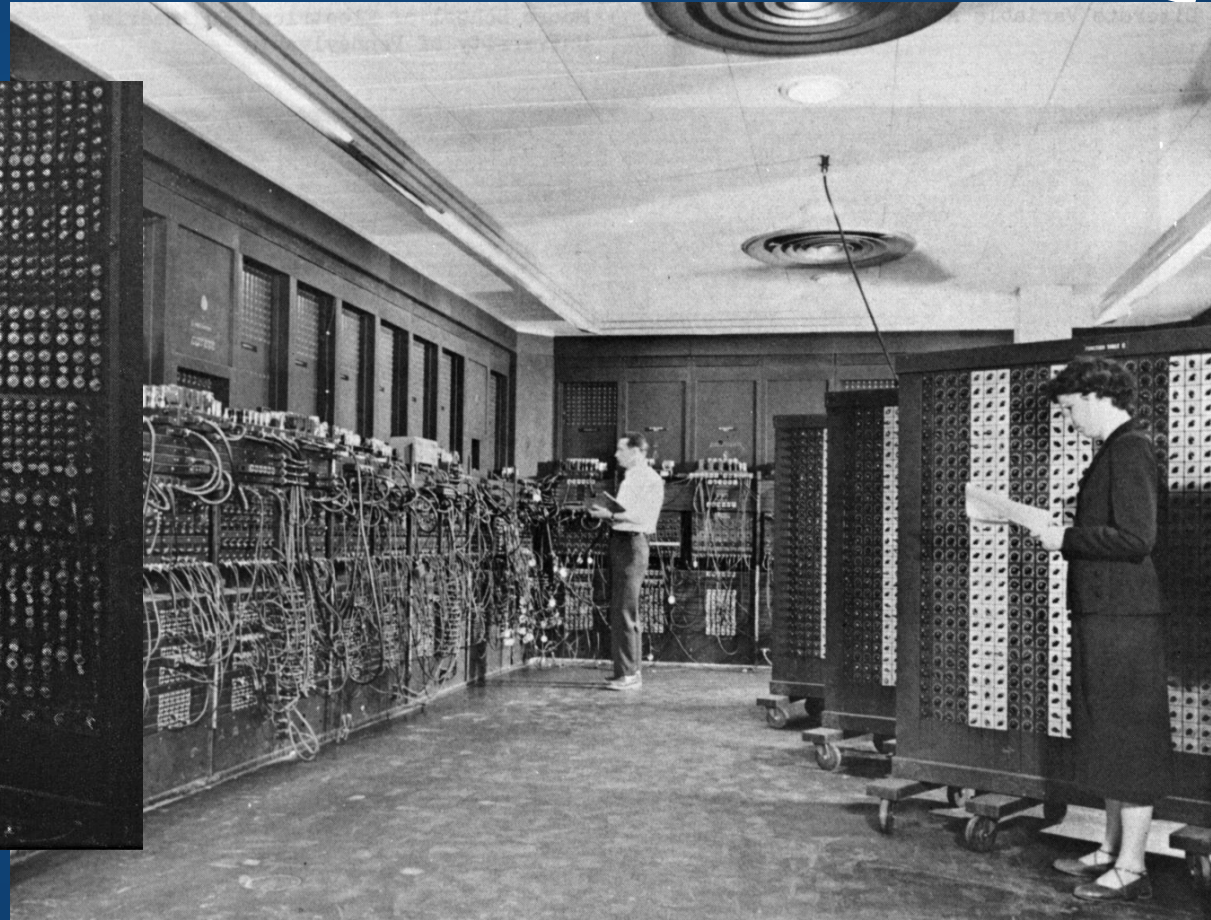
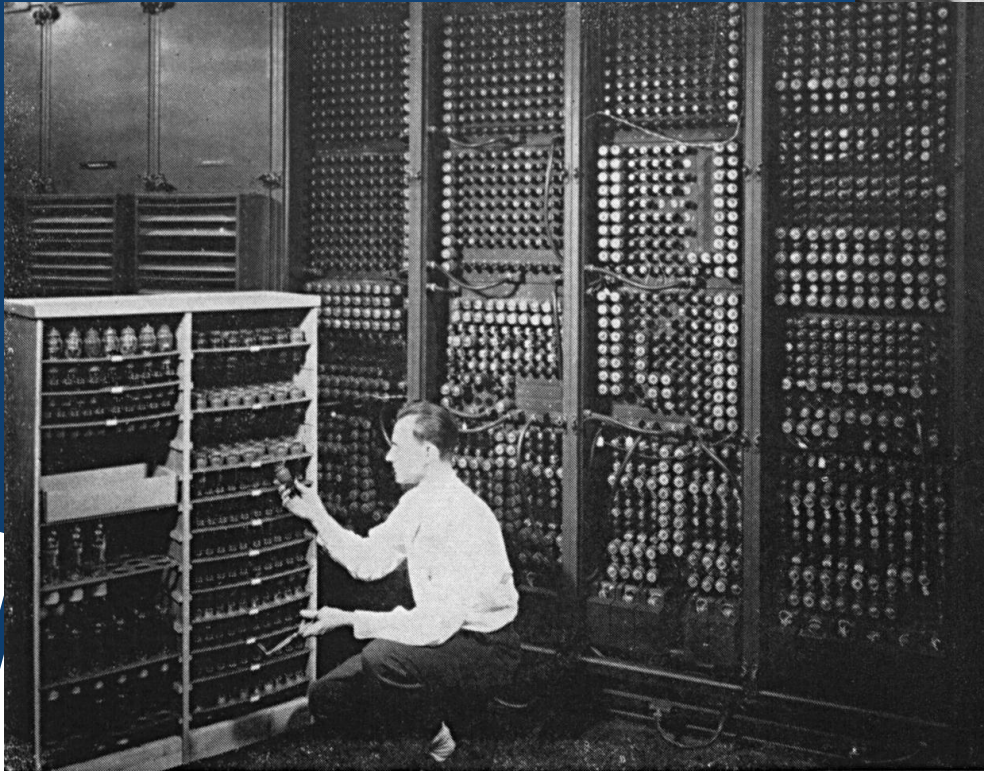
- L'information voyage sous forme d'électrons
- Énorme gain de vitesse
électrons plus léger qu'une pièce métallique
- Utilisation de tube électronique
un tube \approx un transistor



ENIAC

- Opérationnel en 1945
- Une machine imposante
30 tonnes, 167 m², 1500 relais, 7200 diodes, 10 000 condensateurs, 17 468 tubes, 70 000 résistances, 5 millions de soudures
- Puissance de calcul: **1 kFLOPS**
- Consommation: **150 kW**
- Programmation câblée

Eniac



IBM 7030 Stretch

- 1^{er} supercalculateur d'IBM utilisant des transistors plus rapides et moins consommateurs
- Sorti en 1961
- Puissance de calcul: **415 kFLOPS**
- Ordinateur le plus puissant du monde à l'époque

IBM 7030 Stretch



The image features a light gray background with decorative blue geometric shapes in the corners. These shapes consist of several parallel lines of varying lengths, creating a stylized, modern look. The word "méga" is centered in a large, black, sans-serif font.

méga

CDC 6600

- 1^{er} supercalculateur à dépasser le méga-FLOPS
- Sorti en 1964
- Conçu par Seymour Cray
figure de proue du calcul haute-performance
- Puissance de calcul: **3,3 MFLOPS**
- Star des supercalculateurs
aéronautique, nucléaire, météo... une cinquantaine a été fabriquée

CDC 6600

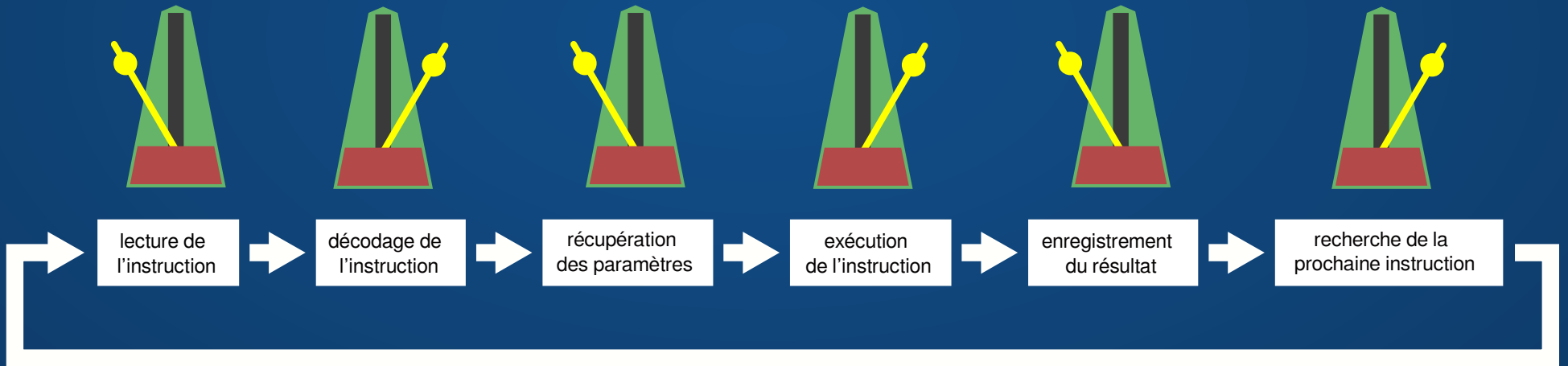


Un ordinateur à 10 MHz

- Nouvelle génération de transistors
multiplication de la fréquence de fonctionnement par 10!
- Processeur superscalaire
une propriété que l'on retrouve dans les micro-processeurs grand public

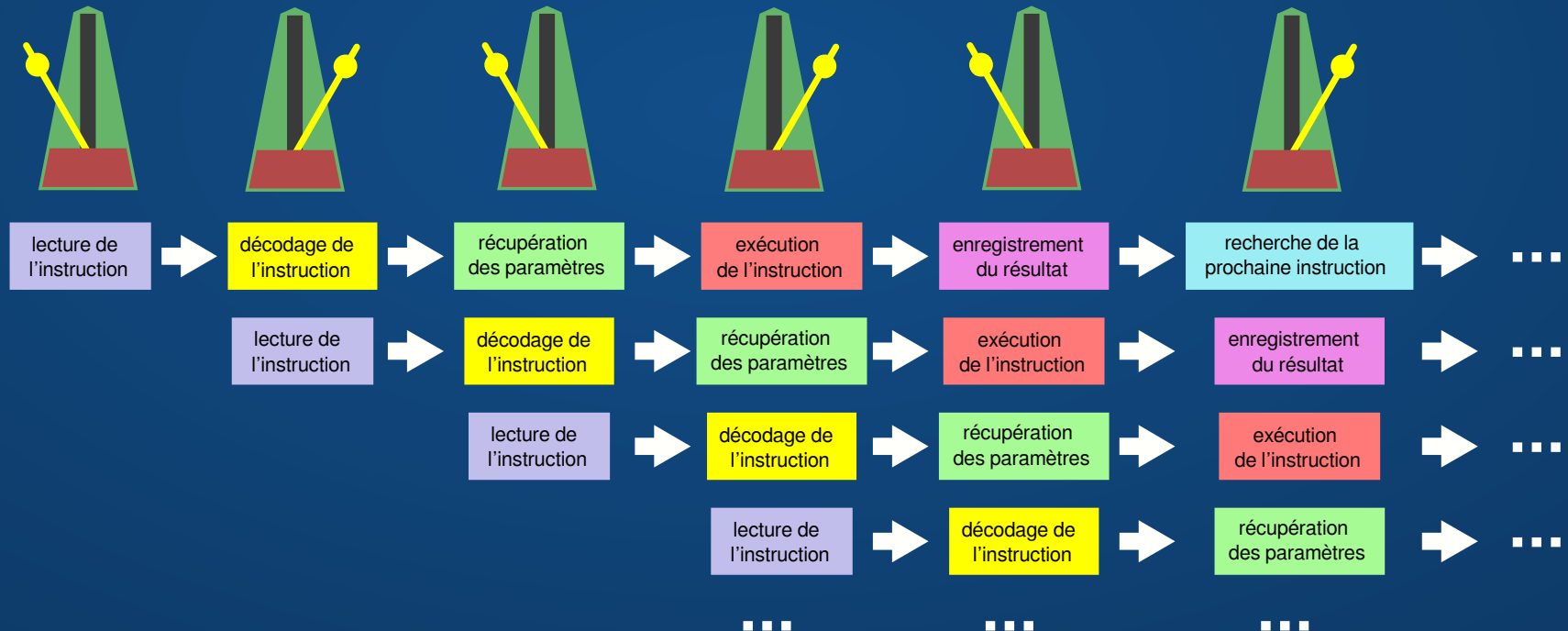
Processeur standard

- Fonctionne en mode **artisan**
une seule unité réalise toutes les tâches successivement



Processeur superscalaire

- **Travaille à la chaîne**
avec des unités spécialisées



Cray-1

- Sorti en 1975
- Cray Research créé par Seymour Cray
- Puissance de calcul: **160 MFLOPS**
- Consommation: **115 kW**
- Utilisé dans le film « The last starfighter »
- Processeur vectoriel

Cray-1



Processeur vectoriel

- Pas vectoriel, 1 instruction = 1 calcul

$$8 + 7 = 15$$

- Vectoriel, 1 instruction = plusieurs calculs

$$[8, 10, 12, 14] + [7, 9, 11, 13] = [15, 19, 23, 27]$$

The image features a light gray background with decorative blue geometric shapes in the corners. These shapes consist of several parallel lines of varying lengths, creating a stylized, angular pattern. The word "giga" is centered in a large, bold, black sans-serif font.

giga

Cray-2

- Sorti en 1985
- Puissance de calcul: **1,9 GFLOPS**
- Réduction de la distance entre composants tellement réduite que les circuits sont refroidis par liquide!



Cray-2



téra

ASCI Red

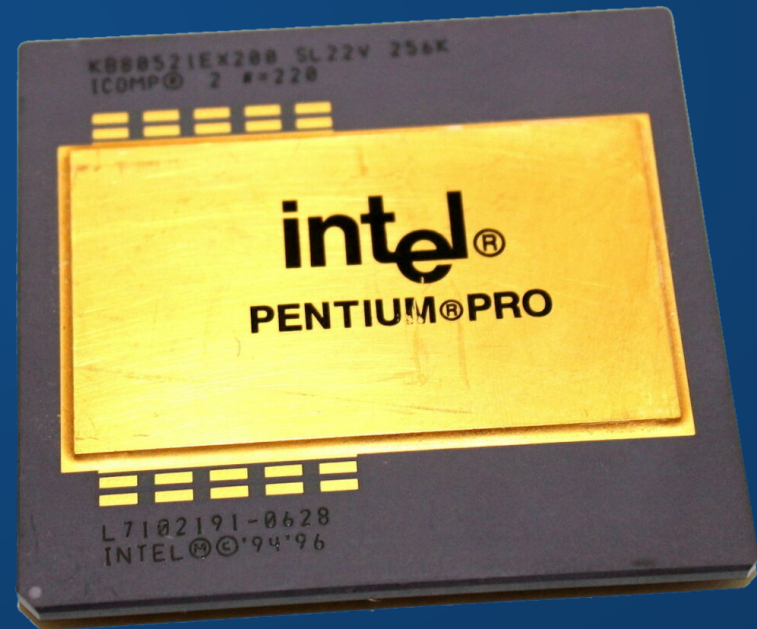
- Sorti en 1997
- Puissance de calcul: **1,3 TFLOPS**
- Consommation: **850 kW**
- Ordinateur massivement parallèle
- Processeurs de série
exécution spéculative, exécution dans le désordre

ASCI Red



Massivement parallèle

- 9072 Pentium Pro d'Intel
- Des processeurs de série
- Interconnectés
Il ne s'agit pas de 9072 PC qu'on aurait branchés en réseau



Exécution des instructions

- **Exécution dans le désordre**
l'ordre d'exécution des instructions est modifié
- **Exécution spéculative**
exécuter un ordre qui pourrait être donné dans le futur
- **Source de vulnérabilité**
Meltdown pour l'exécution dans le désordre, Spectre pour l'exécution spéculative

préeta

IBM Roadrunner

- Sorti en 2008
- Puissance de calcul: **1,1 PFLOPS**
- Consommation: **2,48 MW**
- Composants hétérogènes et multi-cœur
6480 double-cœur AMD Opteron, 12960 IBM Cell
- Utilisations
Simulation de processus visuels humains, calcul des effets du changement climatique, vieillissement des stocks d'armes nucléaires

IBM Roadrunner



Multi-cœur

- Faire tenir plusieurs processeurs dans une seule puce
IBM Power4 premier processeur multi-cœur sorti en 2001
- Avantages
 - plus puissant
 - moins de place occupée
- Inconvénients
 - dissipation de la chaleur
 - partage des ressources matérielles

IBM Summit

- Sorti en 2018
- Puissance de calcul: **143 PFLOPS**
- Consommation: **9,8 MW**
- Ordinateur le plus puissant du monde
- Toujours plus parallèle et hétérogène
9216 IBM Power9, 27 648 GPU Nvidia Tesla
- Utilisation de GPU

IBM Summit



GPU

- **Processeur dédié à l'affichage 3D**
Qui dit affichage 3D, dit beaucoup de calculs sur les flottants
- **Massivement parallèle**
L'IBM Summit compte 2 397 824 cœurs
- **Nvidia en est le leader actuel**

exa

Cray Aurora

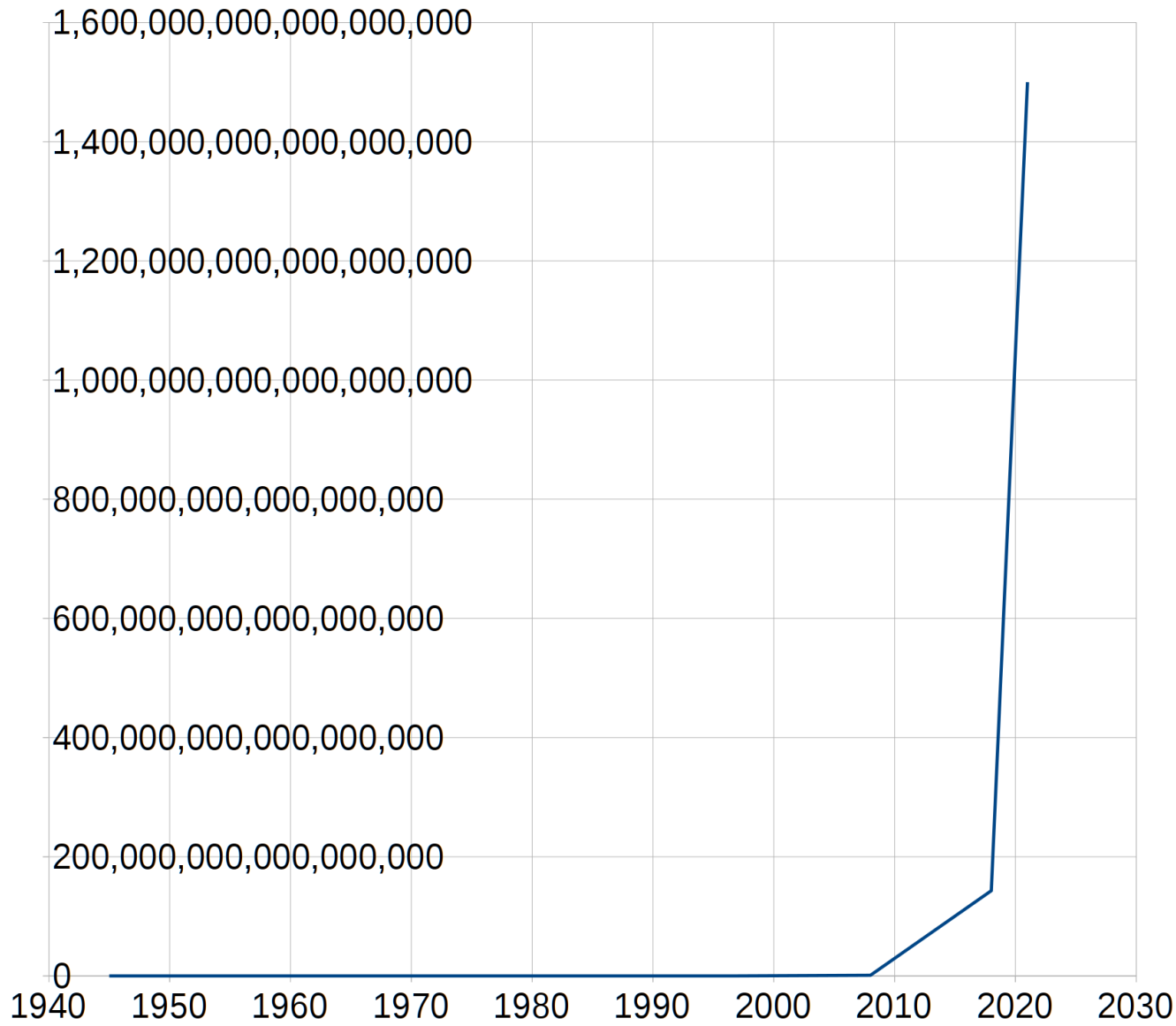
- Sortie prévue en 2021
- Puissance de calcul: **1 EFLOPS**
- Consommation: **inconnue**
- Sera suivi de près par le Cray Frontier avec 1,5 EFLOPS
0,5 EFLOPS = 3 × IBM Summit!

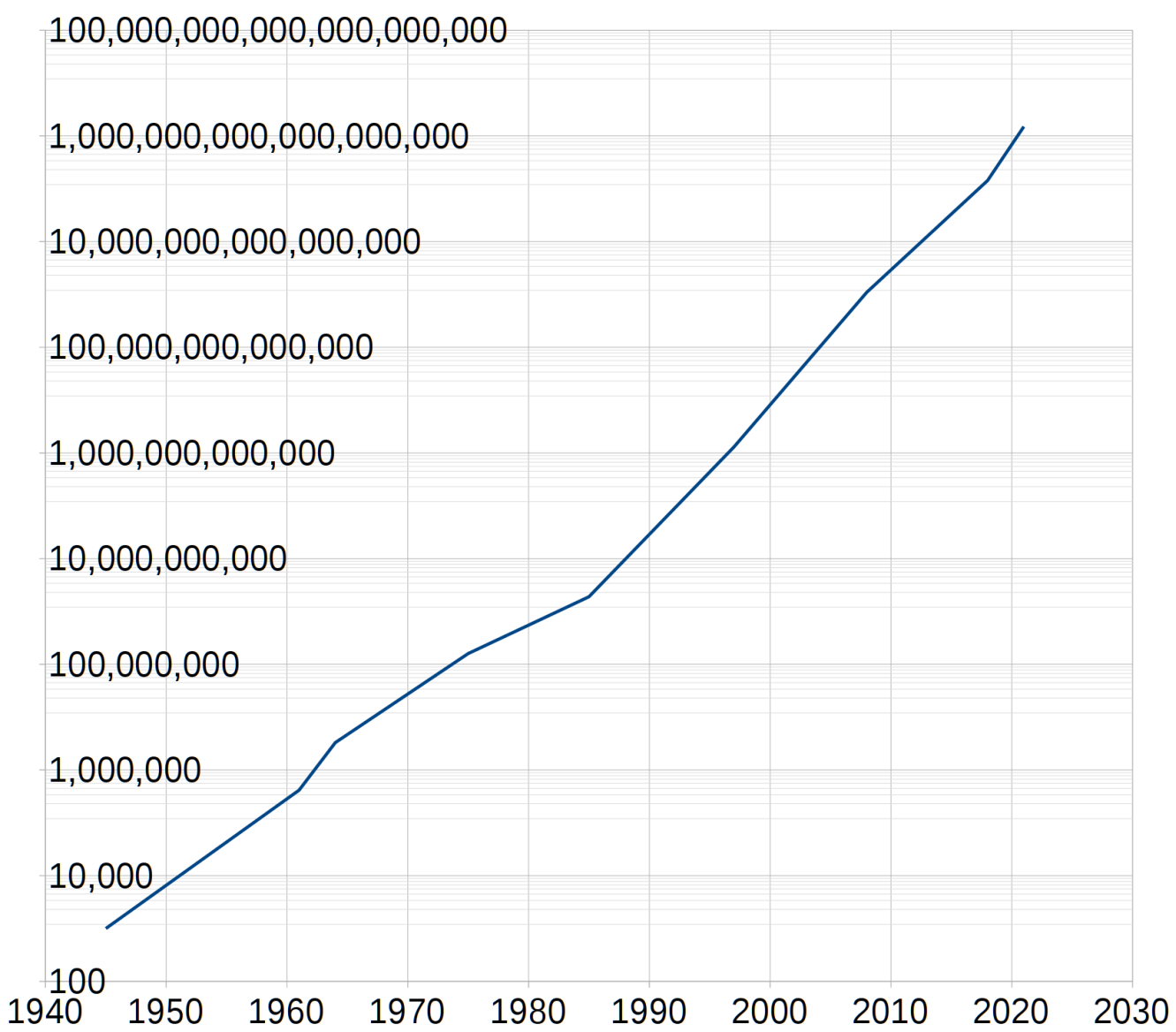
Minage de Bitcoin

- Pas un supercalculateur!
- Réseau de minage = **64 EFLOPS** en 2016

Quelques chiffres

9833673362440656643086021394946395224737190702179860943702770539217176293176752384674818467669405132
0005681271452635608277857713427577896091736371787214684409012249534301465495853710507922796892589235
4201995611212902196086403441815981362977477130996051870721134999999837297804995105973173281609631859
5024459455346908302642522308253344685035261931188171010003137838752886587533208381420617177669147303
5982534904287554687311595628638823537875937519577818577805321712268066130019278766111959092164201989
3809525720106548586327886593615338182796823030195203530185296899577362259941389124972177528347913151
5574857242454150695950829533116861727855889075098381754637464939319255060400927701671139009848824012
8583616035637076601047101819429555961989467678374494482553797747268471040475346462080466842590694912
9331367702898915210475216205696602405803815019351125338243003558764024749647326391419927260426992279
6782354781636009341721641219924586315030286182974555706749838505494588586926995690927210797509302955
3211653449872027559602364806654991198818347977535663698074265425278625518184175746728909777727938000
8164706001614524919217321721477235014144197356854816136115735255213347574184946843852332390739414333
4547762416862518983569485562099219222184272550254256887671790494601653466804988627232791786085784383
8279679766814541009538837863609506800642251252051173929848960841284886269456042419652850222106611863
06744278622039194945047123711378696095636437191728746776465757396241389086583264599581339047802759009
9465764078951269468398352595709825822620522489407726719478268482601476990902640136394437455305068203
4962524517493996514314298091906592509372216964615157098583874105978859597729754989301617539284681382
6868386894277415599185592524595395943104997252468084598727364469584865383673622262609912460805124388
4390451244136549762780797715691435997700129616089441694868555848406353422072225828488648158456028506
0168427394522674676788952521385225499546667278239864565961163548862305774564980355936345681743241125





TOP500

- 500 plus puissants supercalculateurs en fonctionnement
- Classement semestriel
- Depuis 1993
- <https://www.top500.org>

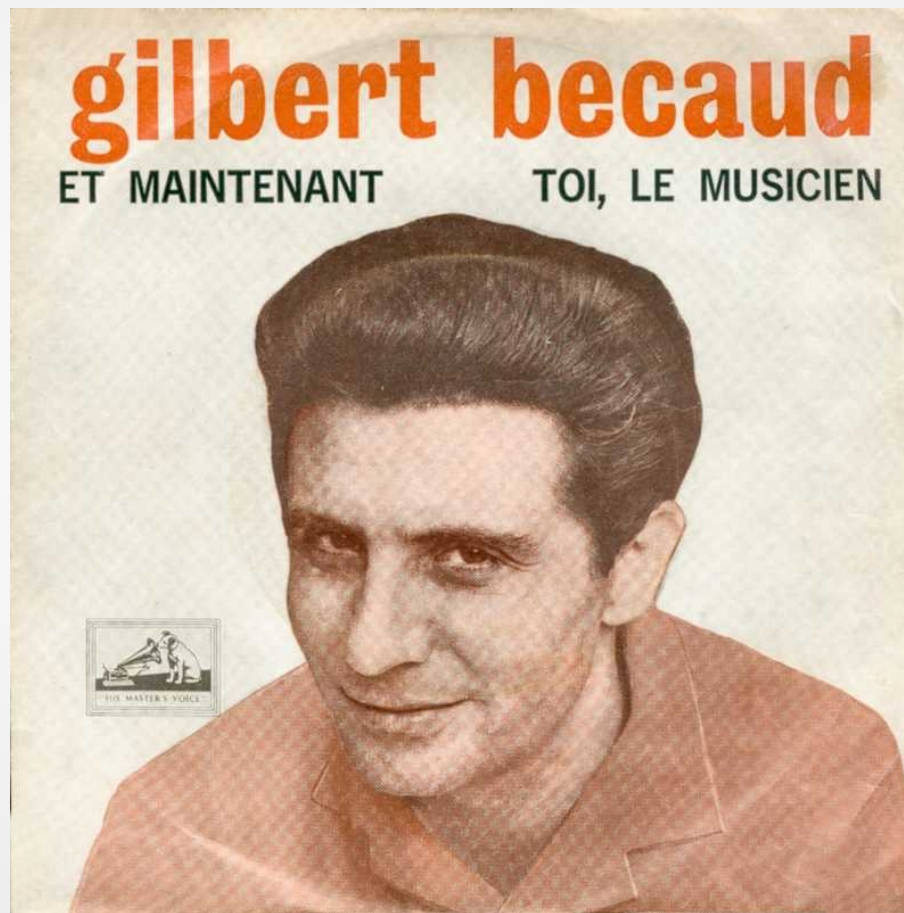
Quelques chiffres du TOP500

- Un marché de **~100 000 machines**
- PFLOPS = résolution de **10 km** des modèles climatiques
- **12 PFLOPS**, puissance du Bull Tera-1000-2
le plus puissant supercalculateur de France, 16^e au classement mondial
- **Tous** les supercalculateurs du TOP500 utilisent **Linux**
- **3 ans**, le record de durée du numéro 1
Intel ASCI Red (1997-2000) et IBM Blue Gene/L (2004-2007)

Quelques chiffres du TOP500

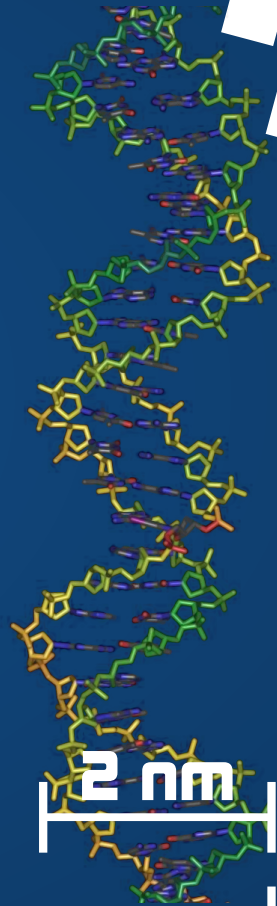
- **56%** des supercalculateurs vendus par la Chine
Lenovo, Inspur, Sugon
- **25%** des supercalculateurs utilisent des GPU Nvidia
- L'Asie abrite **55%** des supercalculateurs du TOP500

Et maintenant...



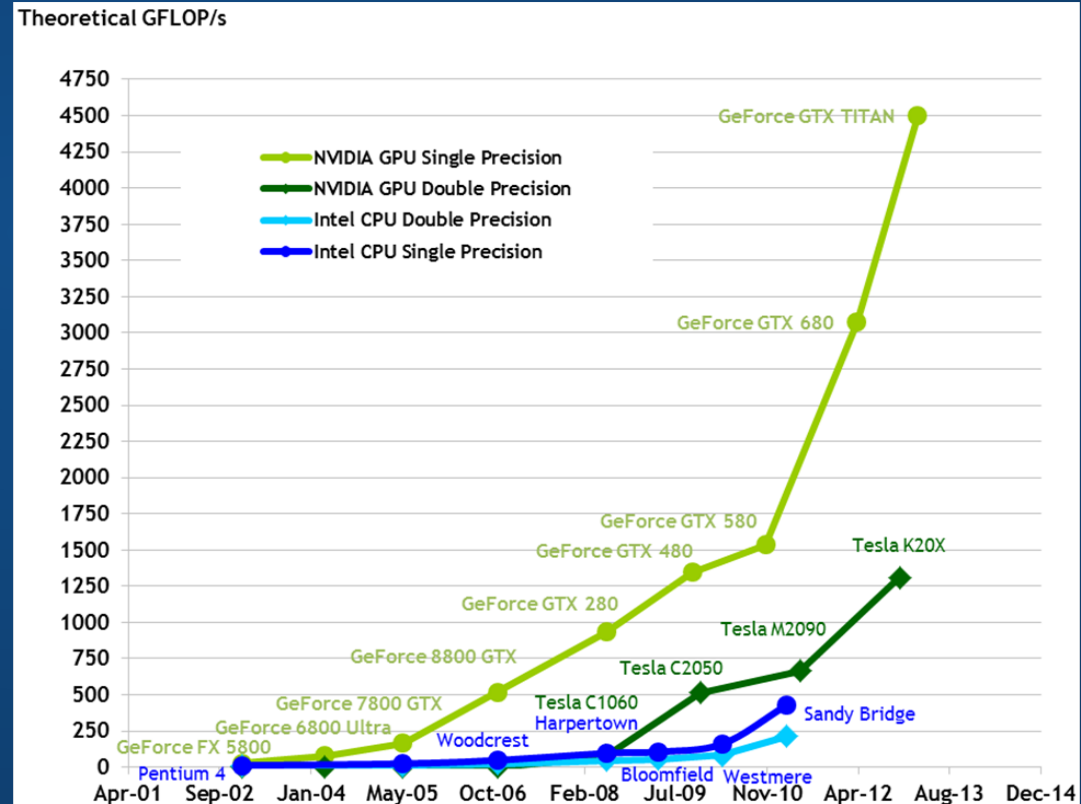
Limites physiques

- Valeurs courantes
 - finesse de gravure: **jusqu'à 10 nm**
 - fréquence d'horloge: **~3 GHz**
 - enveloppe thermique: **~100 W**
 - nombre de transistors: **supérieur au milliard**
 - consommation électrique: **jusqu'à 10 MW**



Piste GPU

- Amélioration des GPU
Chemin pris par Nvidia



Piste FPGA

- Technologie des années 80
Intel a acheté Altera en 2015 pour 15 milliards \$
- Processeur dont la structure n'est pas figée
- Avantages
 - réorganisé à loisir pour optimiser les calculs
 - consommation électrique faible
- Inconvénient
 - complexité de programmation

Piste mémoire

- Transférer les calculs directement dans la mémoire
Technologie In-memory computing d'IBM
- Actuellement: lecture → calcul → enregistrement
- Avantages
 - moins de transit de données (elle reste en mémoire)
 - calcul massivement parallèle

Interconnexion

- Cloud computing
 - hétérogénéité du matériel, comparée aux supercalculateurs
 - interconnexion par des réseaux locaux
 - ex.: Netflix utilise Amazon pour encoder et ré-encoder ses vidéos
- Grid computing
 - très grande hétérogénéité du matériel
 - interconnexion par des réseaux étendus
 - ex.: SETI@home, BOINC (8,2 PFLOPS)

The image features a light gray background with decorative blue geometric shapes in the corners. These shapes consist of several parallel, slanted lines that create a sense of depth and movement. The text is centered in the middle of the page.

Merci d'avoir tenu jusque là!