



CONSERVATOIRE
NATIONAL
DES ARTS
ET METIERS

CHAIRE DES
TECHNIQUES
FONDAMENTALES
DE L'INFORMATIQUE

292 rue Saint Martin
75141 PARIS Cedex 03
tel: +33 01 40 27 24 33
anceau@cnam.fr

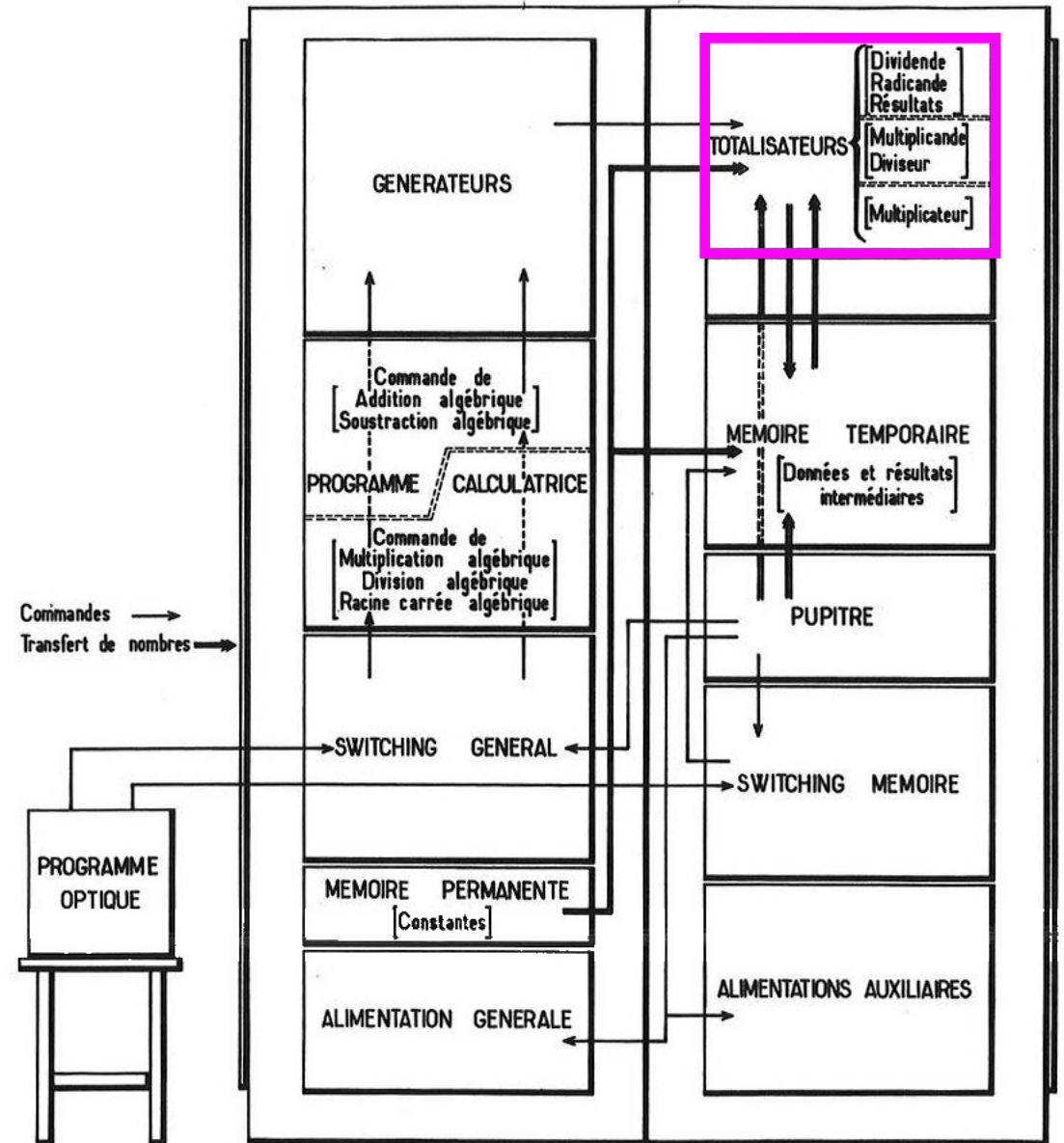
François Anceau

Projet Couffignal

Fonctionnement logico-arithmétique de la machine de Couffignal

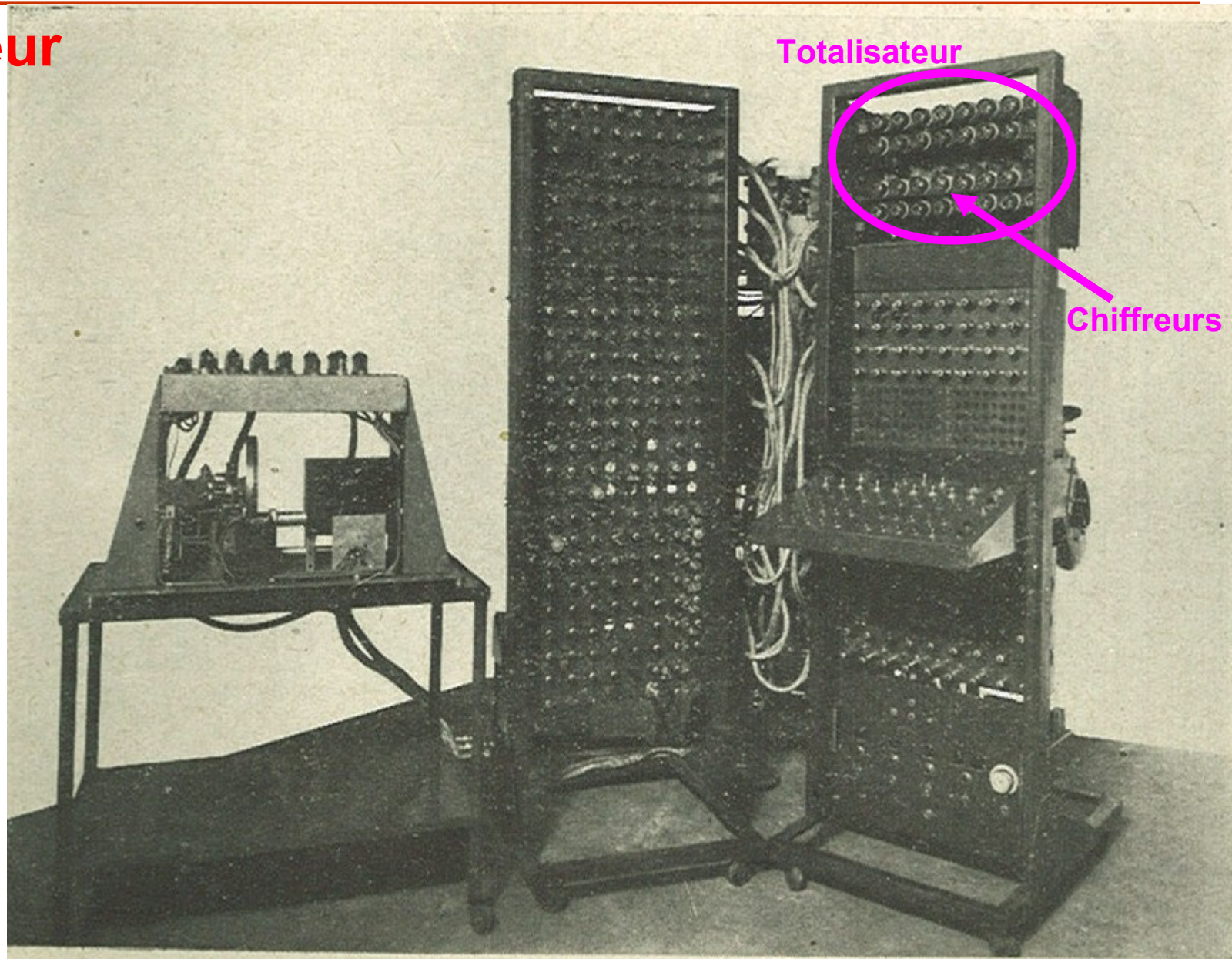
Totalisateur

- ❑ Organe de calcul de la machine
- ❑ Le "cœur" de la machine
 - Originalité
 - Documenté
 - Technologie
- ❑ Constitué de 3 registres (8 et 10 bits)
- ❑ Chaque bit est réalisé par un **chiffreur** (mémoire et opérateur)
- ❑ Calcul **semi-parallèle** (par mots)



MACHINE A CALCULER ELECTRONIQUE DE L'INSTITUT BLAISE PASCAL

Totalisateur



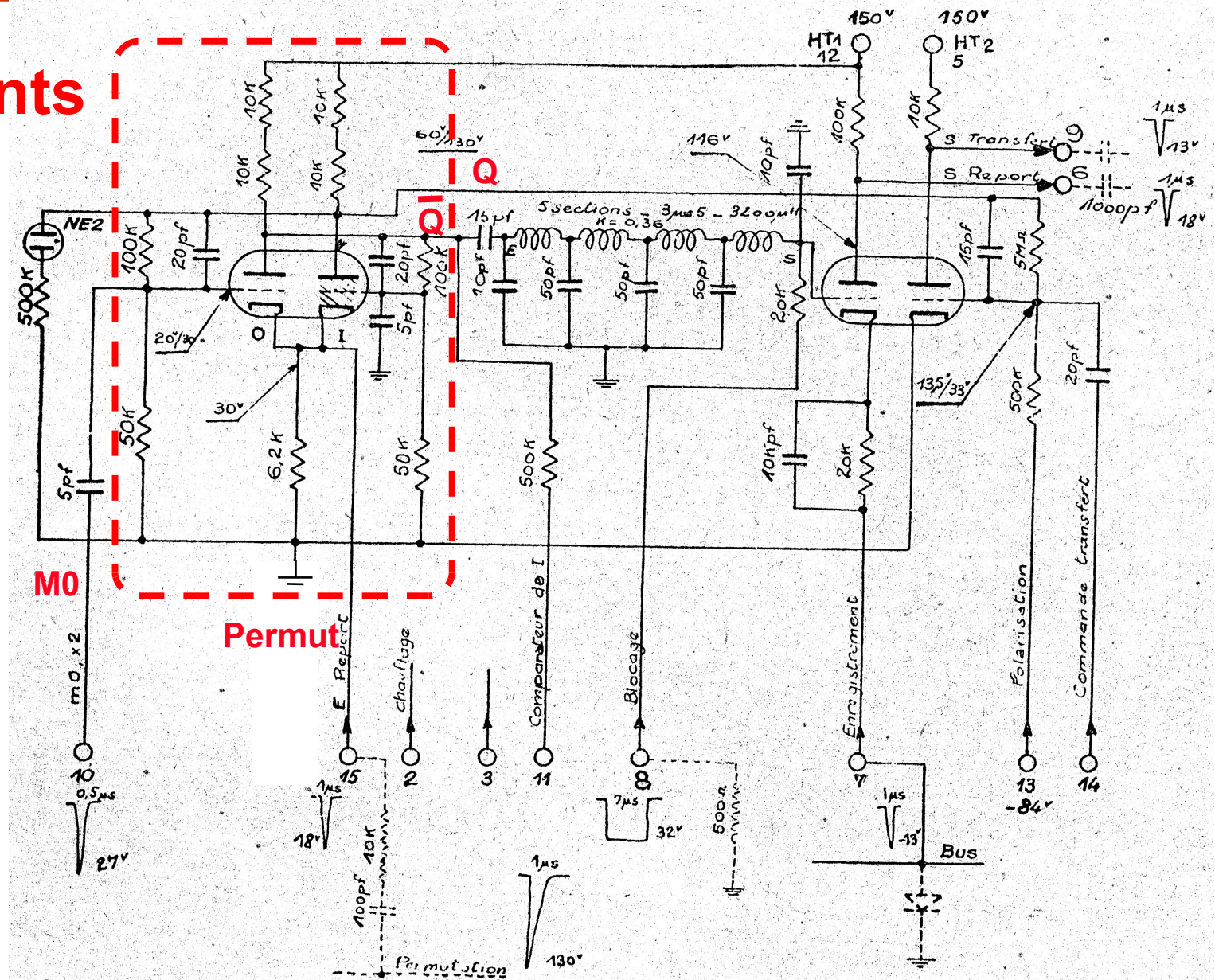
Un chiffreur

- ❑ Élément de mémorisation et de calcul
- ❑ Contient un bit
- ❑ Effectue la demi-addition et le calcul du report
- ❑ Utilise une technique d'addition originale
- ❑ Amovible et standardisé
- ❑ Pb technologique (usure cathodique)



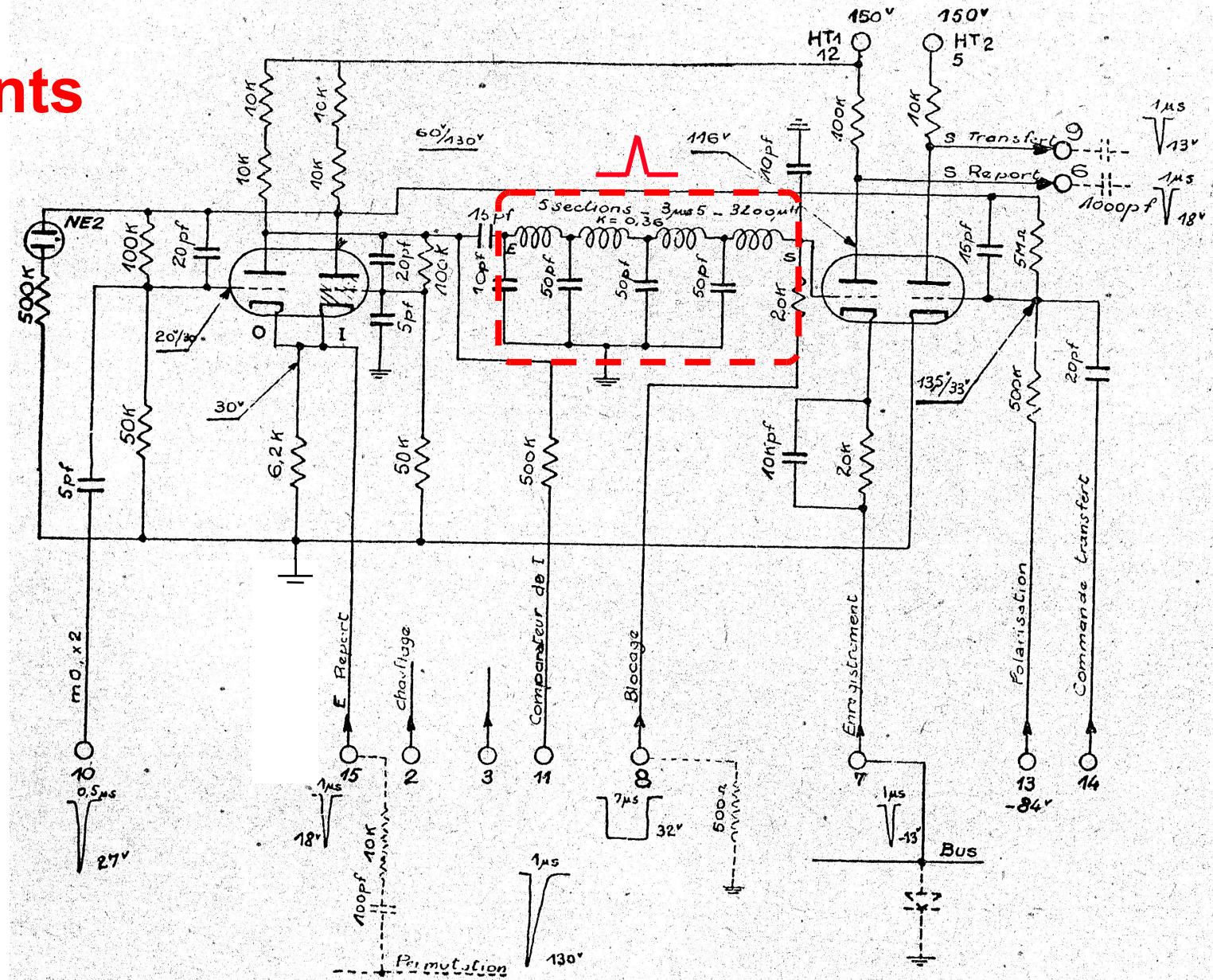
Constituants

- Bascule entrées :
 - $\overline{M0}$
 - $\overline{\text{Permut}}$
- sorties :
 - Q, \overline{Q}
- La bascule change d'état à chaque impulsion sur l'entrée Permut

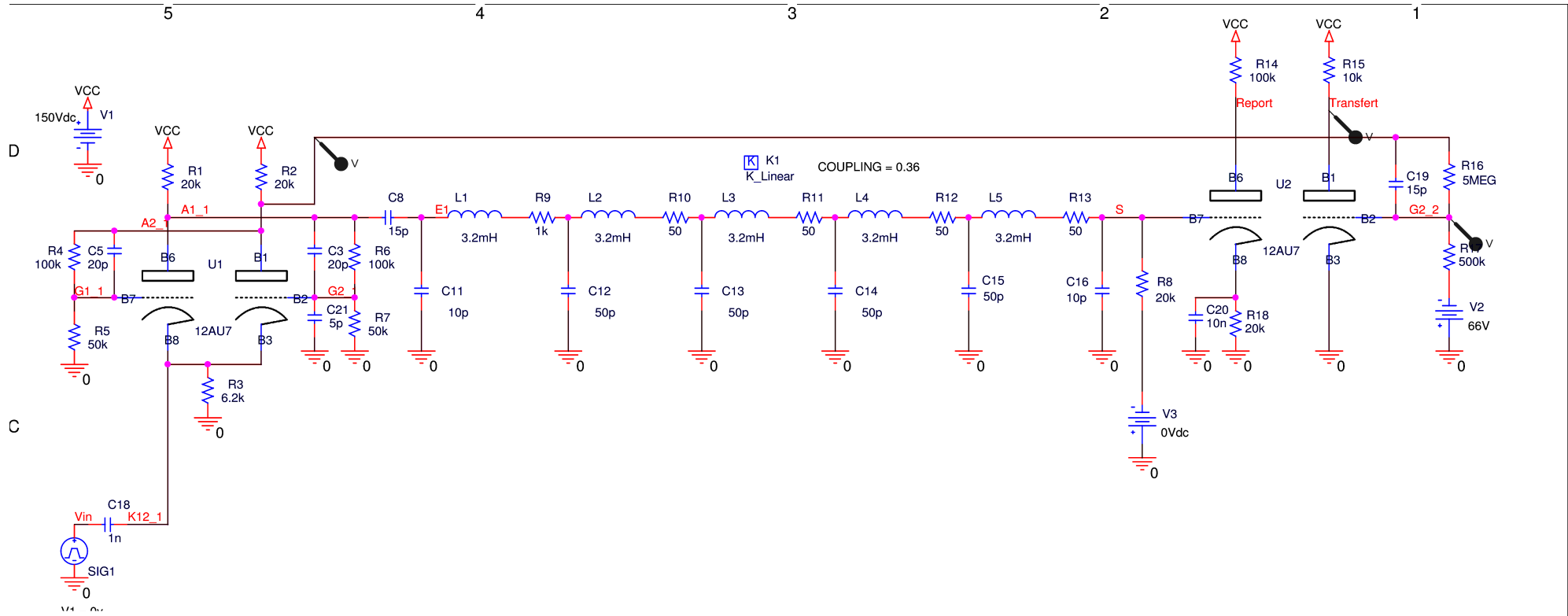


Constituants

- Ligne à retard
retarde
l'impulsion
positive de
 $3,5 \mu\text{s}$



Simulation PSpice



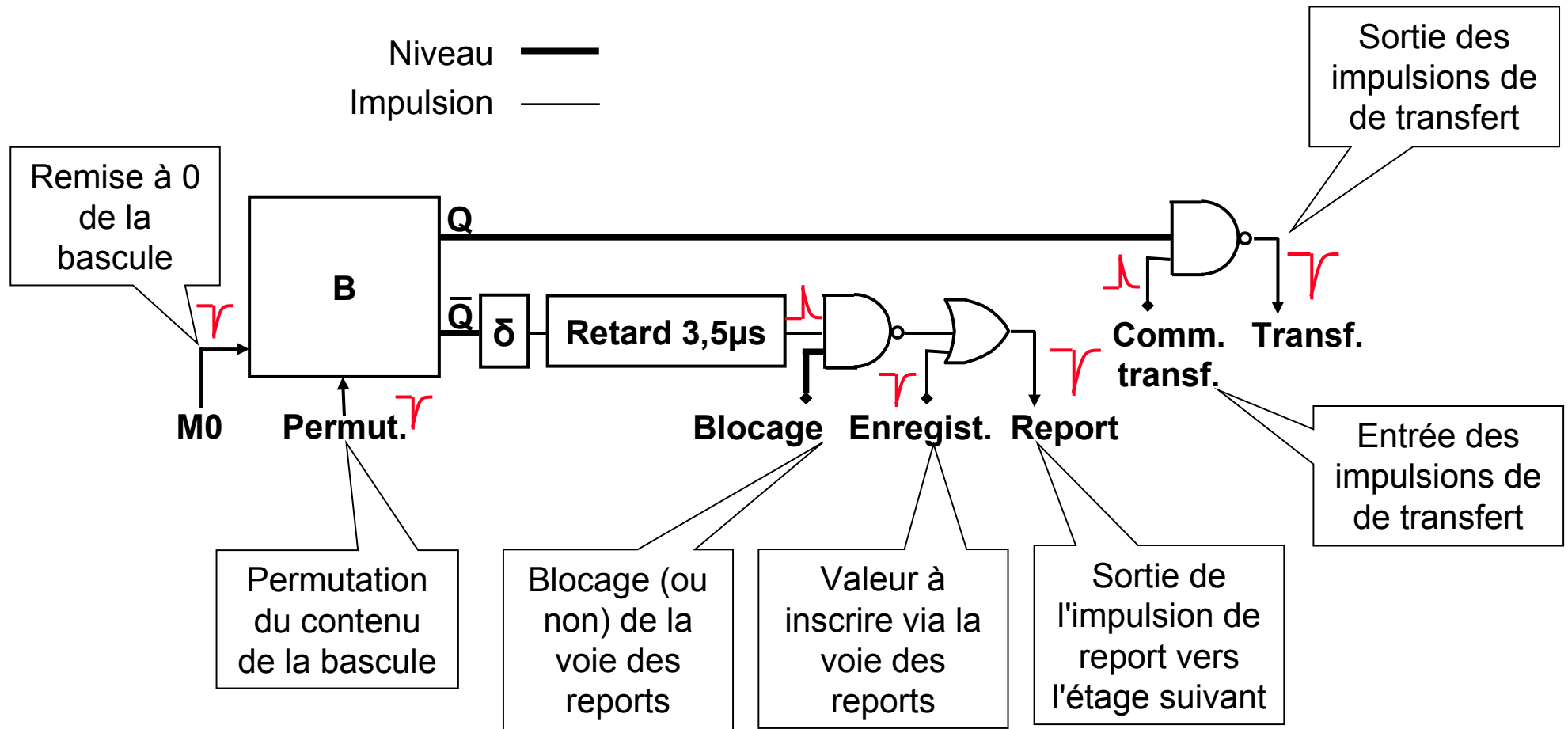
Utilisation de l'environnement ORCAD

Sensibilité importante aux valeurs des composants

Modèle 12AU7 (pris sur Internet)

Fonctionnement relativement lent

Modèle logique



Simulation VHDL

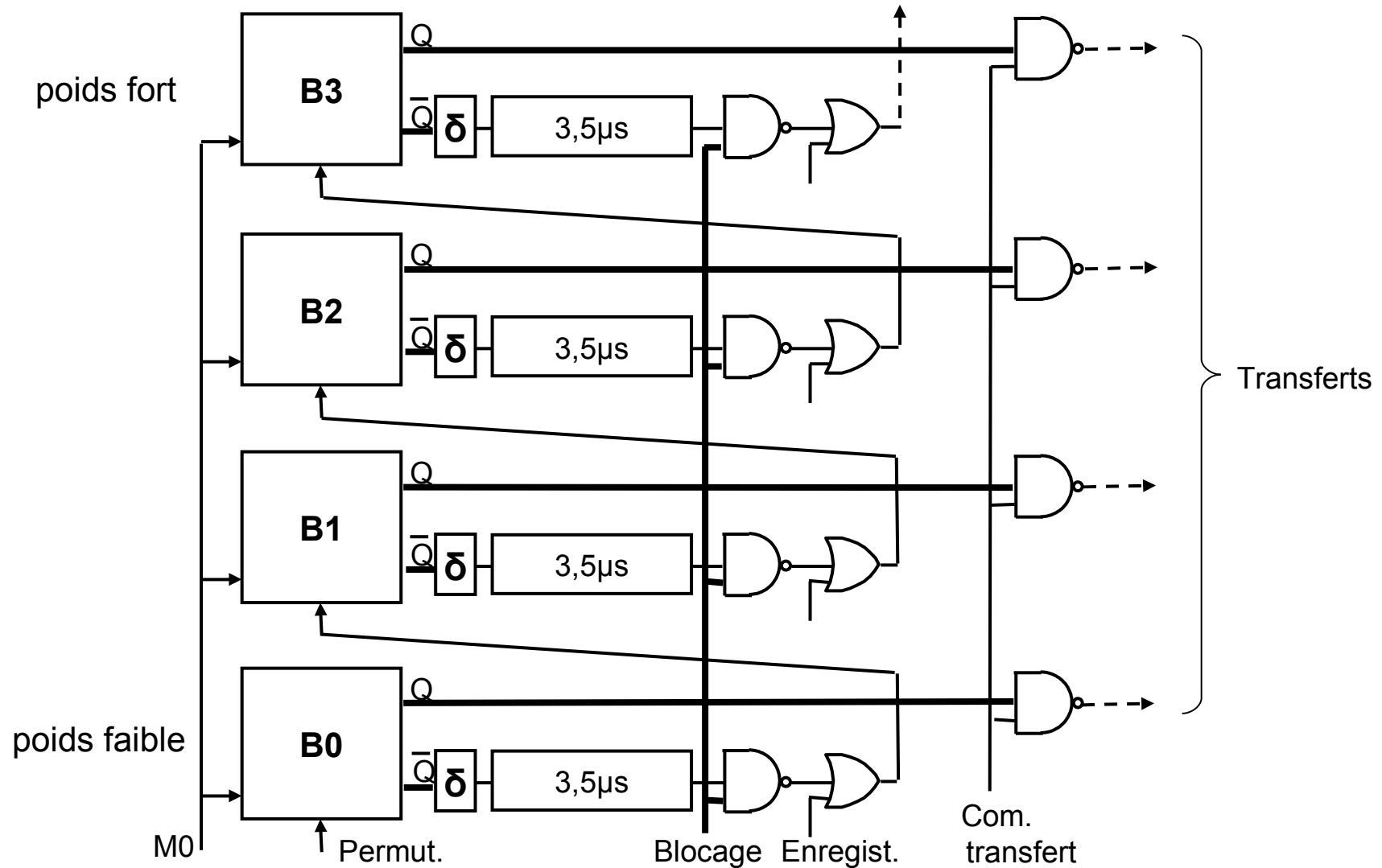
- ❑ Utilisation de l'environnement G-VHDL
- ❑ Difficulté de représenter les impulsions en VHDL

Totalisateurs

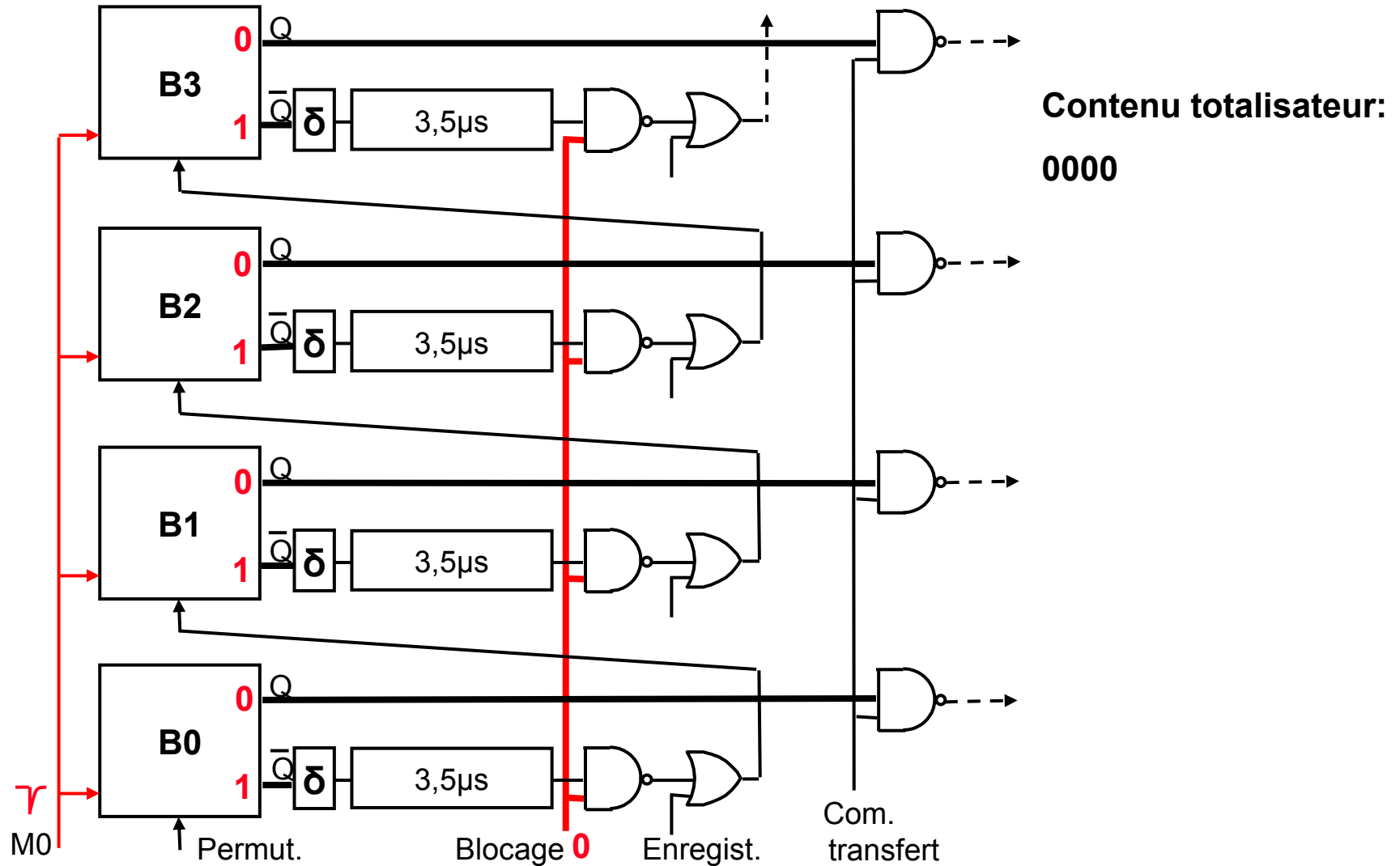
- ❑ Registres / opérateurs
- ❑ Au nombre de 3
 - M 8b (Multiplicande ou Diviseur)
 - X 8b (Multiplicateur ou Quotient ou Racine carrée)
 - P 16b (Produit ou Dividende ou Radicande)
- ❑ Le résultat est systématiquement transféré dans P en fin d'opération
- ❑ Contiennent 8 à 9 chiffreurs (sur la machine prototype)
- ❑ Totalisateurs :
 - Contiennent un nombre (dont un bit de signe) + un bit de débordement
 - Poids faibles à gauche ???
P semble "plié" en deux ??? (
- ❑ Nombres négatifs en complément à 2



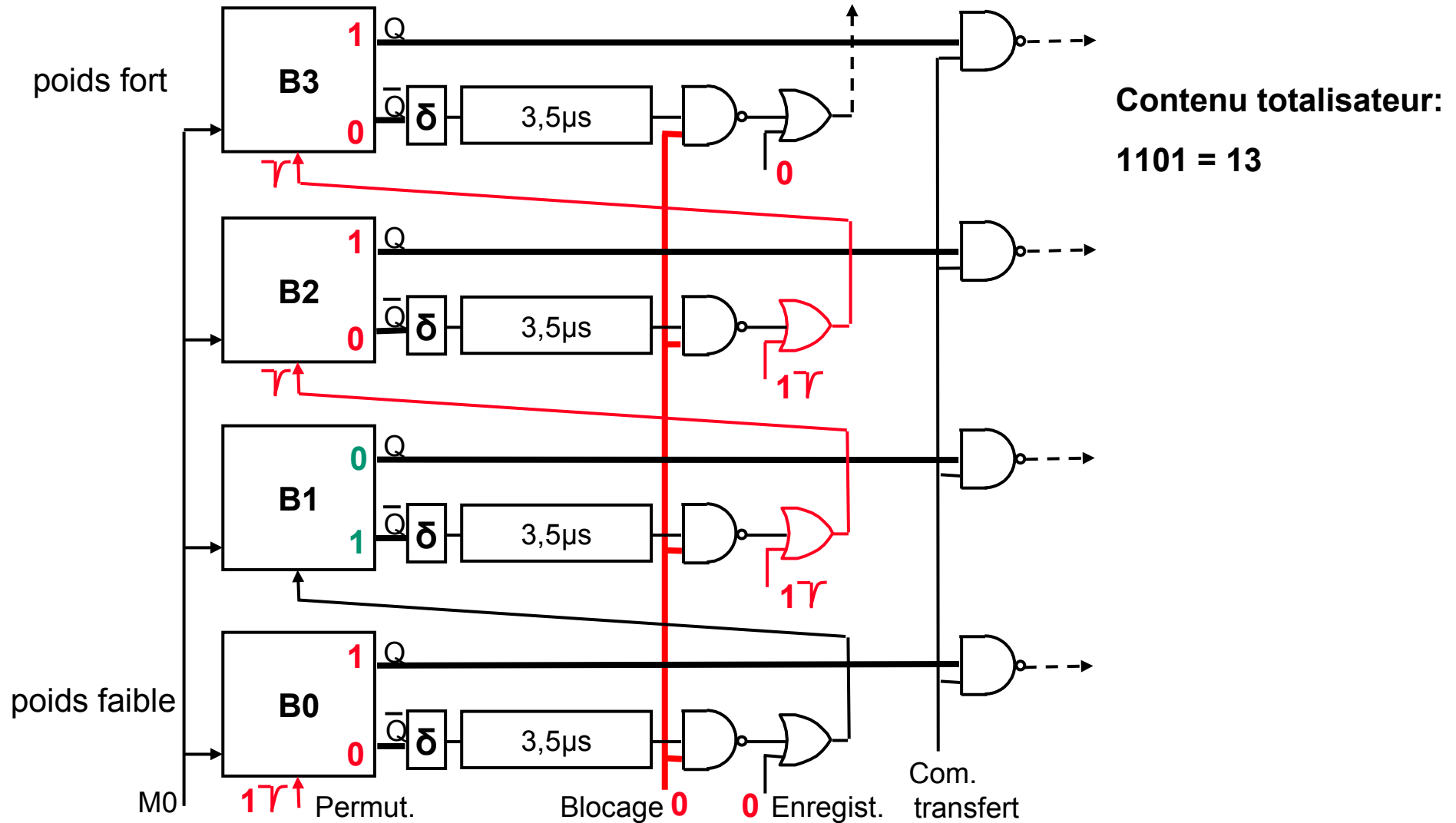
Totalisateur (sur 4 bits....)



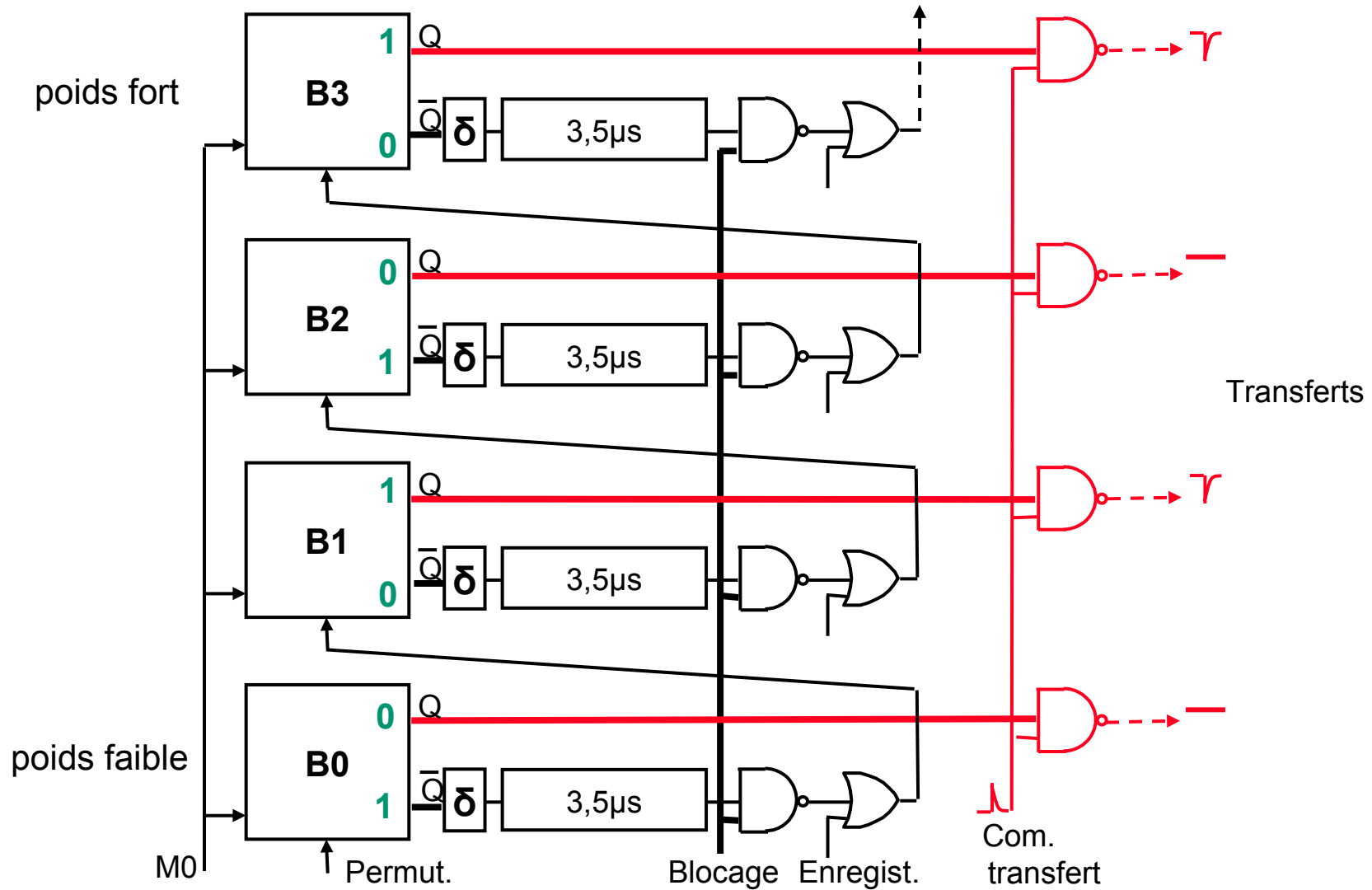
Inscription d'une valeur (1ère étape : Remise à 0)



Inscription d'une valeur (2ème étape : inscription)



Transfert d'une valeur



Numérotation binaire

- **Relation nombre => vecteur binaire**
- **Deux chiffres (0 et 1)**
 - 00 => 0000
 - 01 => 0001
 - 02 => 0010
 - 03 => 0011
 - 04 => 0100
 - 05 => 0101
 - 06 => 0110
 -

Il existe d'autres moyens de représenter des nombres avec des vecteurs binaires.....

Principe de l'addition binaire (première étape)

```

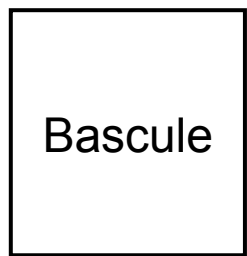
11 1
 01101 =>13
+ 11001 =>25
-----
100110 =>38
    
```

Table d'addition binaire
(sans retenue entrante)

a	0	0	1	1
b	+0	+1	+0	+1
s	0	1	1	10

OUEX (\oplus)

a	b	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



etat init.	T	état final
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

retenue
sortante

L'addition binaire se réalise à l'aide de deux ou-exclusifs :

$$S = ((a \oplus b) \oplus r)$$

Le premier ouex se réalise avec le premier opérande dans le totalisateur et l'autre sous la forme d'impulsions sur les broches T soit :

$$a = a \oplus b$$

Une bascule munie d'une entrée T réalise naturellement un ou-exclusif.

Principe du calcul des retenues

Les passages de a de 1 \rightarrow 0 dans le calcul de :

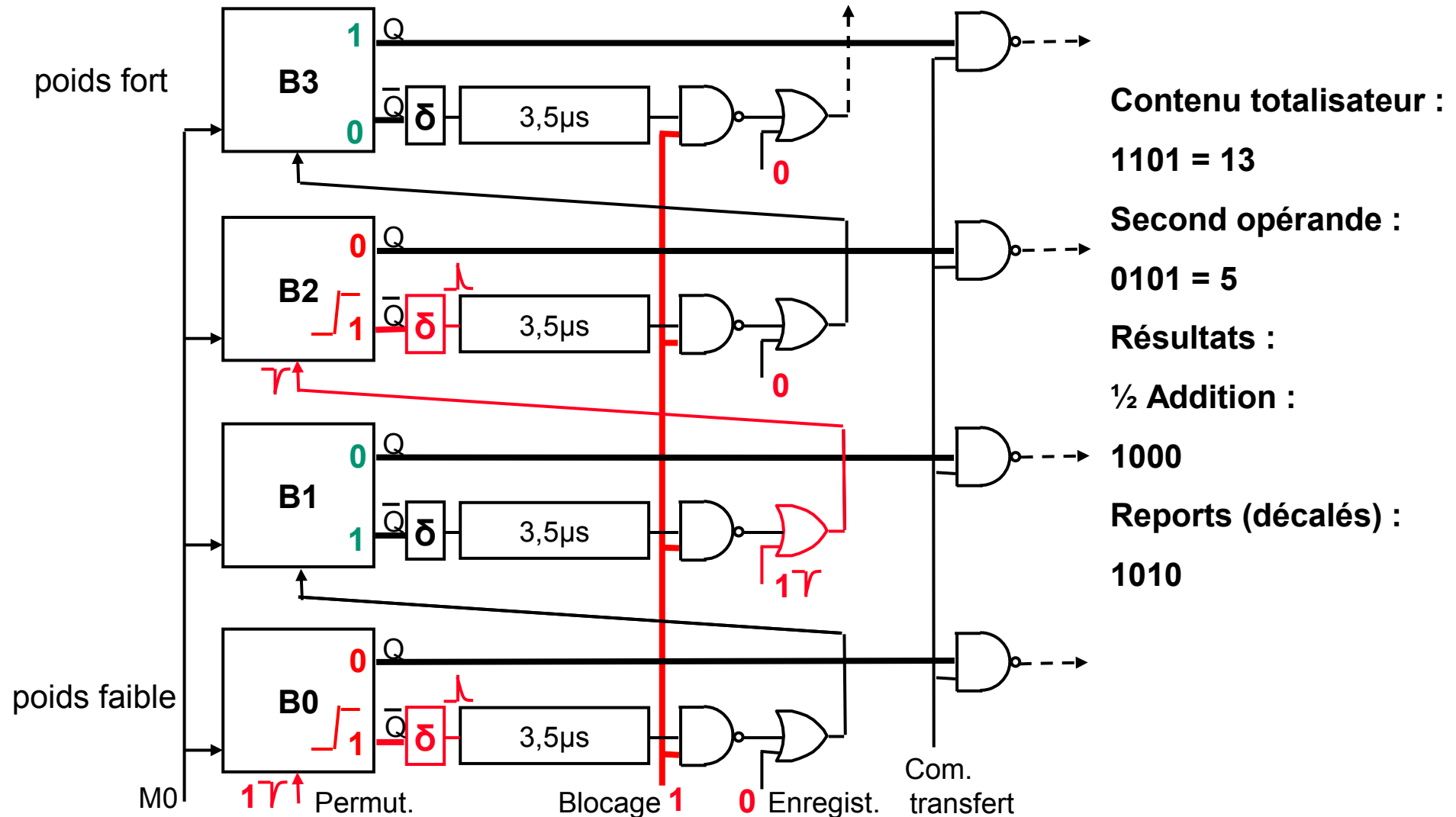
$$a = a \oplus b$$

exécuté en parallèle, indiquent une génération de retenues partielles rp qui ne prennent en compte que ce premier niveau. L'opération :

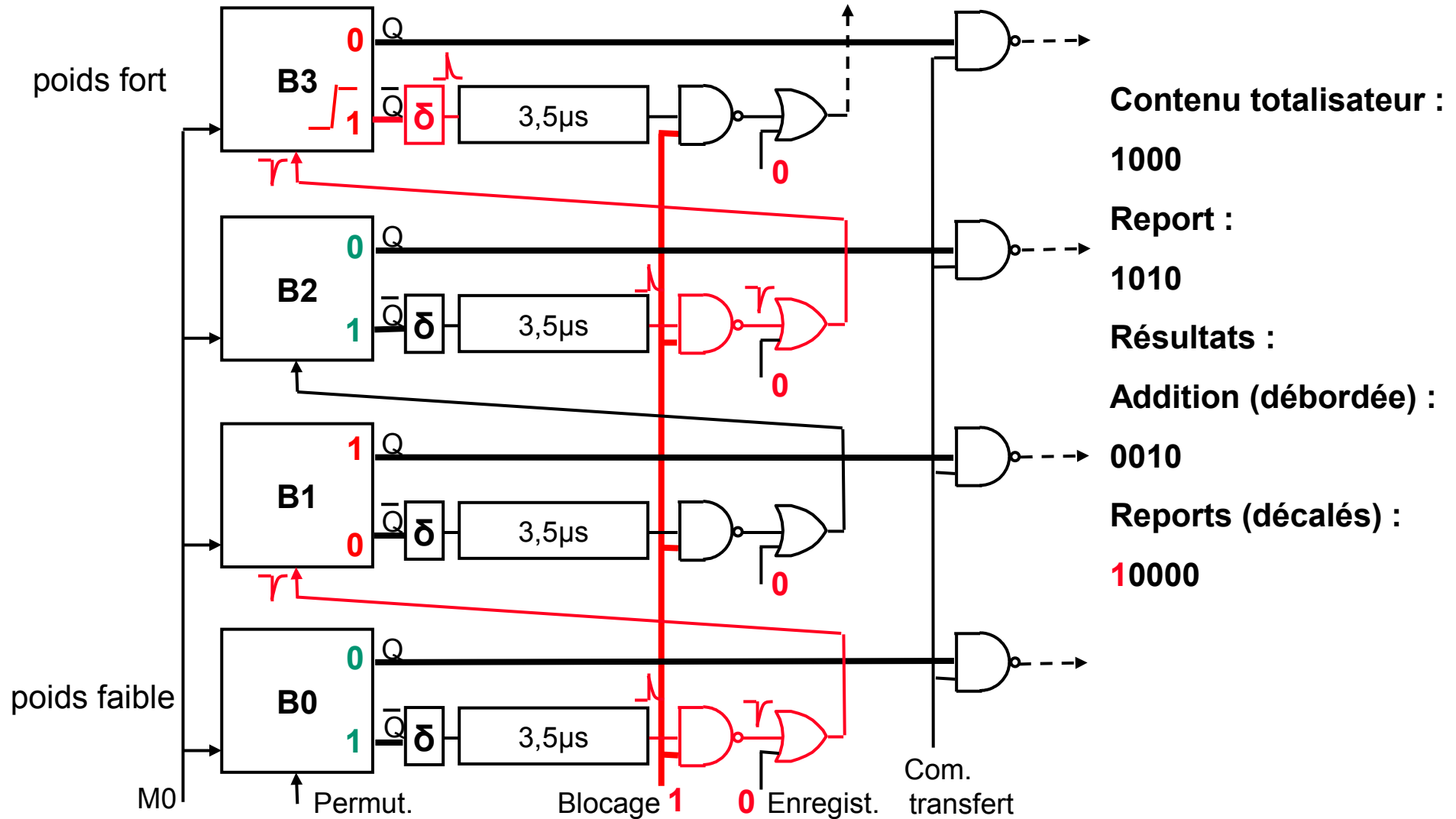
$$a = a \oplus rp (*)$$

elle-même exécutée en parallèle, permet de prendre en compte ces retenues partielles avec le même mécanisme que celui du ouex initial. Cette opération peut recréer des transitions 1 \rightarrow 0. La répétition de l'opération (*) permet de réaliser la propagation de toutes les retenues en un nombre de pas au plus égal à la largeur des mots.

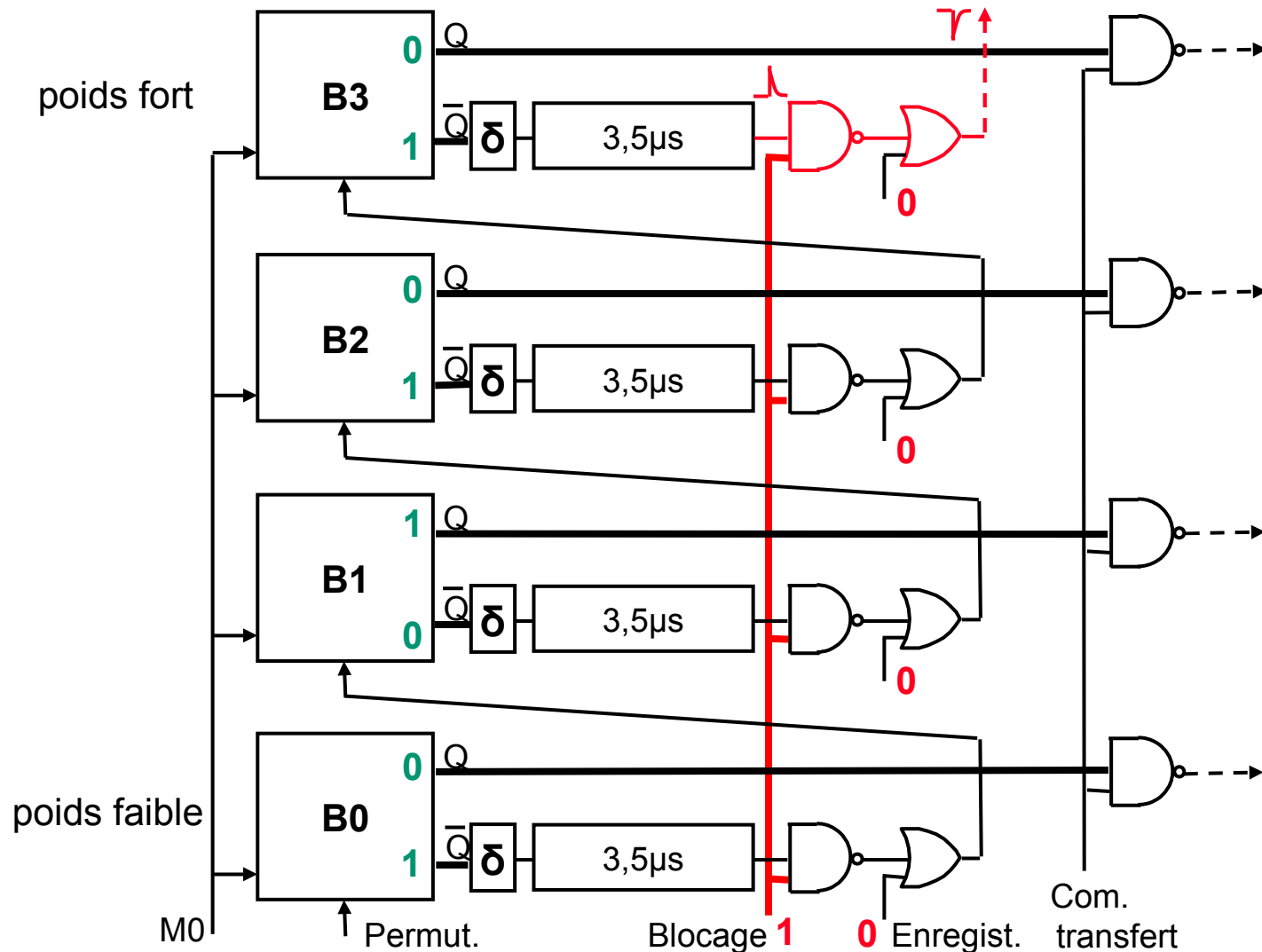
Addition d'une valeur (1ère étape : présentation second opérande)



Addition d'une valeur (2ème étape (+3,5 μ s) : premiers reports)



Addition d'une valeur (3ème étape (+7 μ s) : débordement)



Le 3ème report indique un résultat (18) qui ne tient pas sur 4 bits.

Il indique un **débordement**. Sur certains totaliseurs, des chiffreurs supplémentaires sont prévus pour surveiller l'occurrence de cet événement.

Complémentation logique et arithmétique

□ Complémentation logique

- Inversion de tous les bits
ex: 011010 => 100101

□ Complémentation arithmétique

- Les nombres positifs et négatifs sont supposés prolongés indéfiniment à gauche par, respectivement, des 0 et des 1

- ex :0000000011 => 3
 1111111101 => -3

- Le complément arithmétique d'un nombre x et un nombre binaire -x tel que :

$$x + -x = 0$$

ex:

$$x = \dots 0011 \Rightarrow 3$$

$$-x = \dots 1101 \Rightarrow -3$$

□ Les nombres binaires négatifs sont obtenus par :

- Une première complémentation logique

$$\dots 000011 \Rightarrow \dots 111100$$

- l'ajout de 1

ex :

$$\dots 111100 + 1 = \dots 111101$$

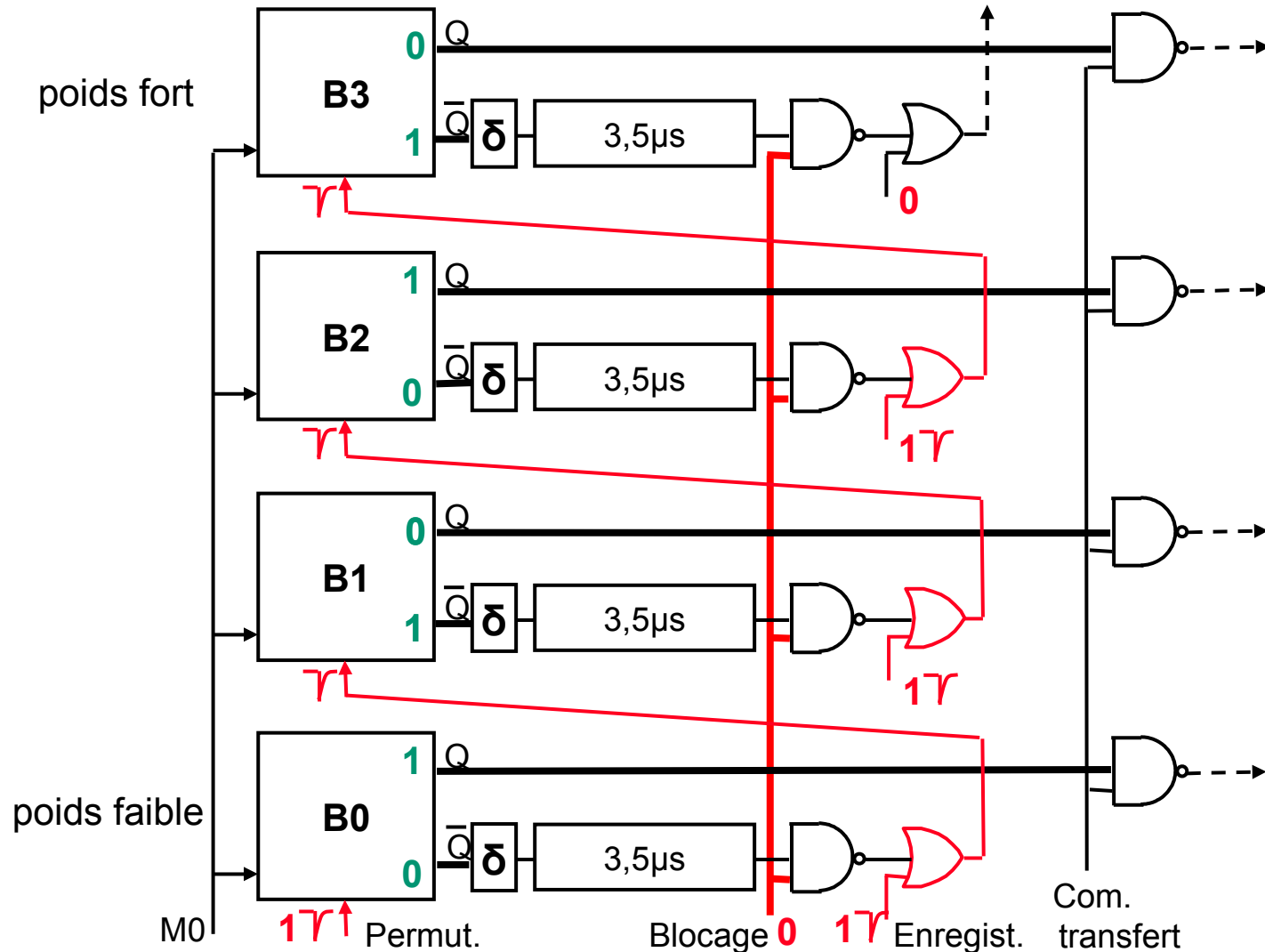
En effet :

$$\begin{array}{r} \dots 111 \\ \dots 0011 \\ + \dots 1101 \\ \hline \dots 0000 \end{array}$$

Nombres algébriques bornés

- ❑ **Pour une raison pratique évidente, les nombres binaires ont une largeur bornée (8,16, 32, 64, 128 bits)**
- ❑ **La conservation de leur signe suppose que seulement n-1 bits soient utilisés :**
 - par exemple sur 8 bits :
les nombres positifs vont de 00000000 à 01111111 (127)
les nombres négatifs vont de 11111111 (-1) à 10000000 (-128)
 - Le dernier bit à gauche (poids fort) constitue le **bit de signe** Il ne doit donc pas être affecté par les calculs
- ❑ **La surveillance des débordements se fait par une opération logique entre leur nième bit et une éventuelle retenue vers leur n+1 ième bit.**

Complémentation logique



Contenu totalisateur:
avant opération :
 1101
après opération :
 0010

L'opération s'effectue en envoyant une impulsion sur toutes les entrées d'enregistrement et en bloquant la génération de retenues

Opérations semi-complexes (séquences)

❑ Complémentation arithmétique

- Complémentation logique
- Ajouter la constante 1

❑ Décalage gauche (1 position)

- Ajouter le contenu d'un totalisateur à lui-même (via un autre totalisateur)

❑ Soustraction

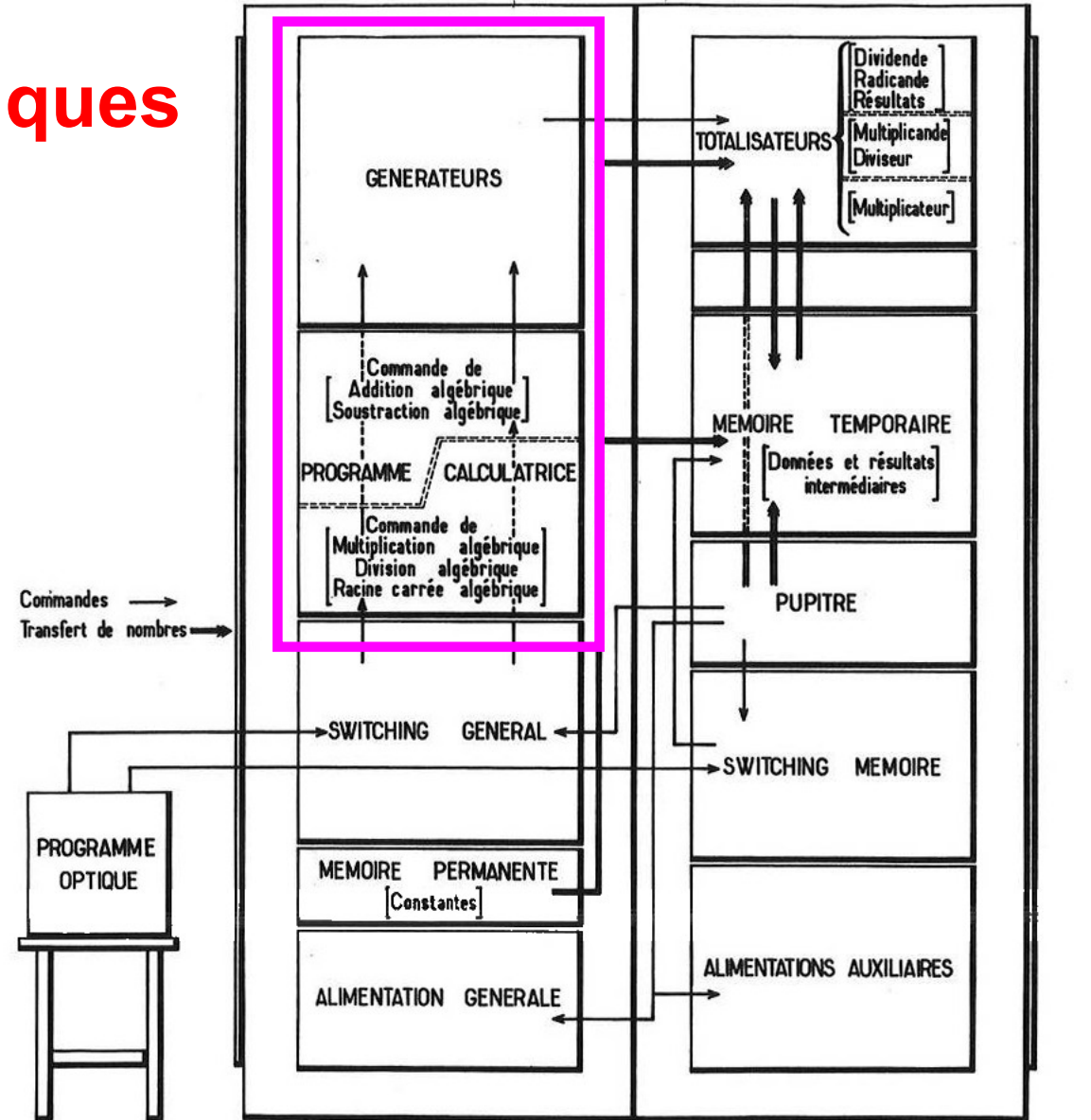
- Calculer dans un totalisateur le complément de la valeur à soustraire
- L'additionner à la valeur initiale contenue dans un autre totalisateur

❑ Multiplication / division

- Par additions / soustractions et décalages-gauches successifs

Séquenceurs automatiques

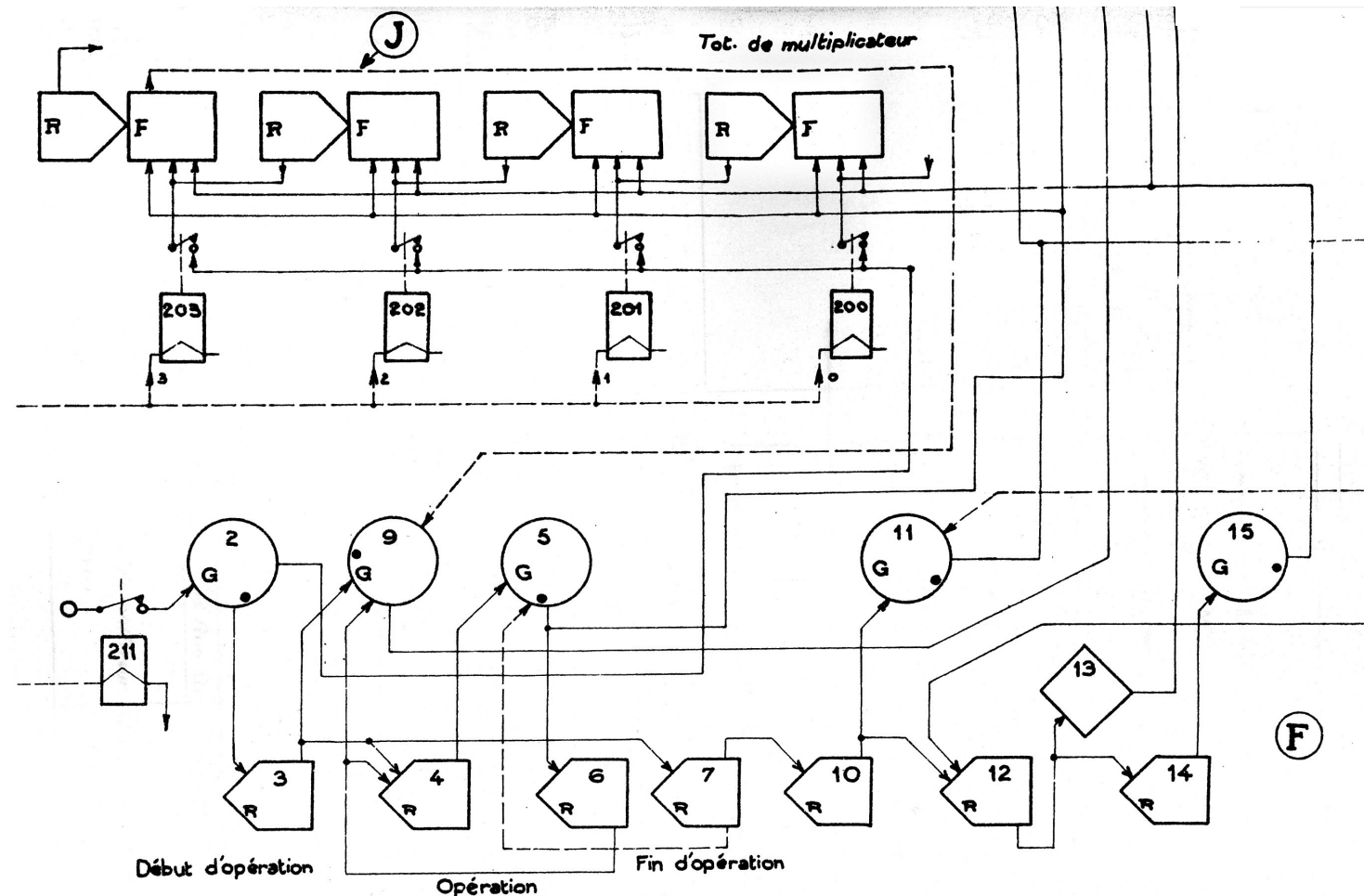
- Des séquenceurs électroniques génèrent la succession des commandes vers les chiffreurs et les organes de mémorisation pour réaliser les différentes opérations élémentaires



MACHINE A CALCULER ELECTRONIQUE DE L'INSTITUT BLAISE PASCAL

Schéma de principe (séquenceur de multiplication)

- ❑ Electronique + relais
- ❑ Symbolisme asynchrone à états ?
- ❑ Boucles et C-éléments ?
- ❑ Formalisme connu ou inventé ?



Conclusions

❑ Points positifs

- Originalités sur les techniques de calcul (inspirées des calculateurs mécaniques?)
- L'addition "à la Couffignal" mériterait d'être évaluée sur des micro-processeurs "bas de gamme"

❑ Critiques

- Choix architecturaux discutables
 - Calculateur plutôt qu'ordinateur
- Mauvais choix technologique
 - Flip-flop excité par les cathodes
- Réalisation de mauvaise qualité (style "radio grand public") (rétro-ingénierie difficile!)

