contact@museebolo.ch
info@didel.ch

www.museebolo.ch/activites/ateliers-logidules

0101010001101000
0010000001101001
0111010001101000
0111010001110101

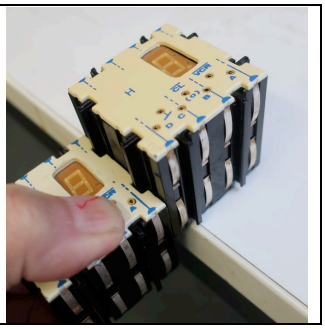
Calculatrice binaire

Mise en route

Les logidules ont toujours un coin commun. Un circuit imprimé avec 2 fentes apporte l'alimentation USB 5V.

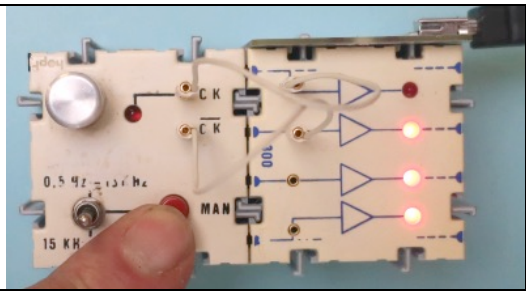
On sépare plus facilement les logidules sur un bord de table.

Chaque douille logidules a 2 états :
0 (proche de 0V) et 1 (entre 4 et 5V). Les entrées non connectées sont à l'état 1.

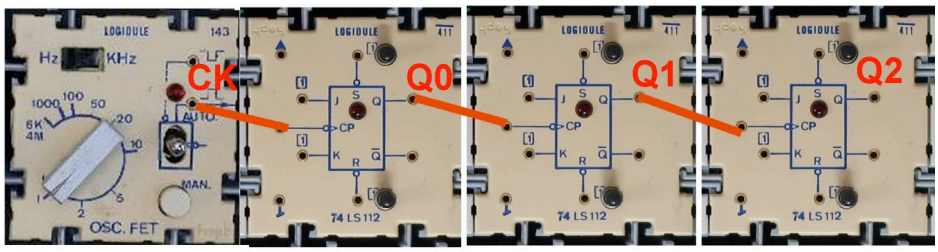


Analysons l'oscillateur. L'afficheur binaire (4 Leds) permet de visualiser les 2 sorties complémentaires de l'oscillateur :
si l'une est à zéro, l'autre est à un.

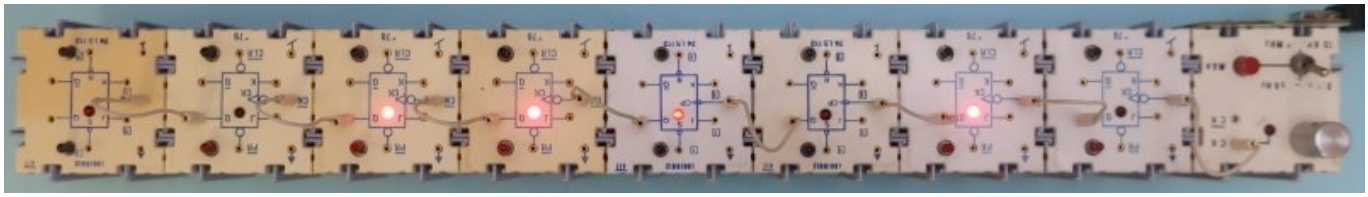
L'oscillateur a un levier que l'on centre pour passer en mode manuel. Il y a deux gammes non calibrées. A partir de 20 Hz, on ne voit plus le clignotement, mais il suffit de bouger rapidement pour voir des traits lumineux.



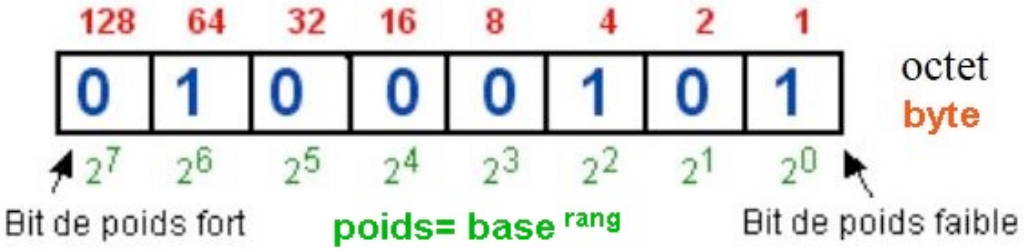
Premier montage: compteur binaire



Les bascules divisent par $2=2^1$, $4=2^2$, $8=2^3$ etc. Avec **n** bascules on compte jusqu'à 2^n.
Avec 8 bascules, on forme un mot binaire appelé byte ou octet. Comme en décimal, on préfère voir les bits de poids faible à gauche.

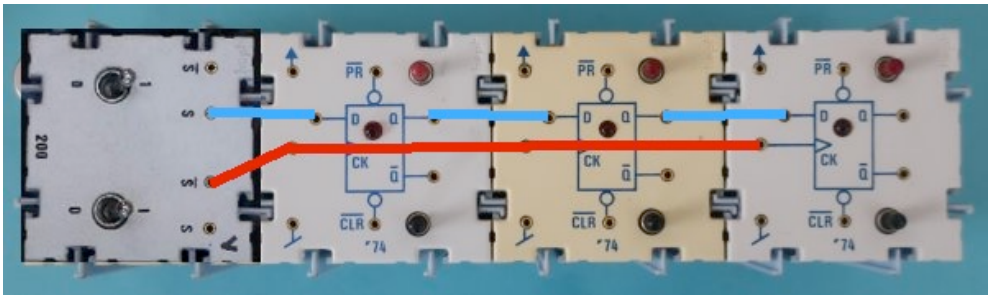


Les bits ont un rang de 0 à 7 et un poids de $1=2^0$ à $128=2^7$. La valeur maximale est $255=2^8-1$.



Registre à décalage

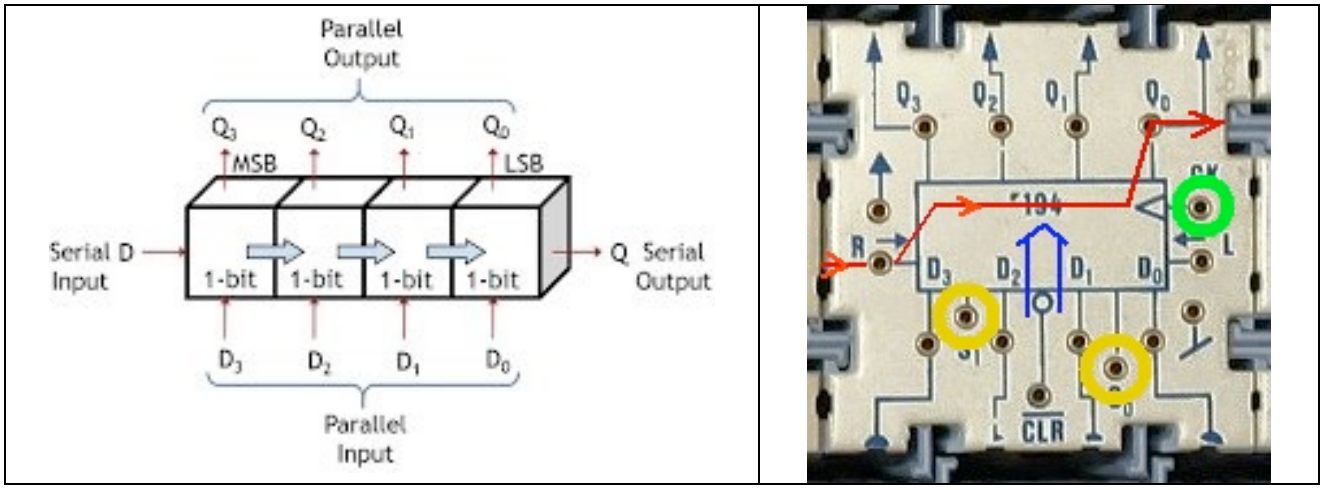
La bascule D est une mémoire 1 bit.
A chaque impulsion sur l'entrée Ck (front montant), l'entrée D est copiée sur la sortie Q.
Testons le câblage suivant :



On voit le registre se "remplir" ou se "vider" selon que l'interrupteur "fil bleu" est à "1" ou "0".
On a construit un registre à décalage de 3 bits. Utilisons plutôt le registre logidule 4 bits '194.

Registre à décalage

Le circuit '194 peut décaler en série et en parallèle, à l'instant d'horloge, quand le signal Ck (en vert) passe de 0 à 1. Il sait faire 4 choses selon 2 signaux de commande S0 S1 (en jaune).



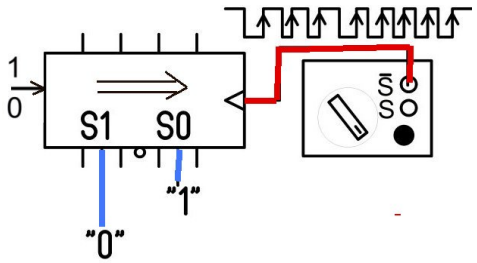
Ignorons S0, à "1" si non connecté. Si S1=1 on charge en parallèle (flèche bleue). Si S1=0, on décale à droite (en rouge): ce qui entre en R passe dans Q3, Q3 dans Q2, Q2 dans Q1, Q1 dans Q0, et l'état de Q0 avant le coup d'horloge a été transféré dans une partie non visible, où il a été perdu.

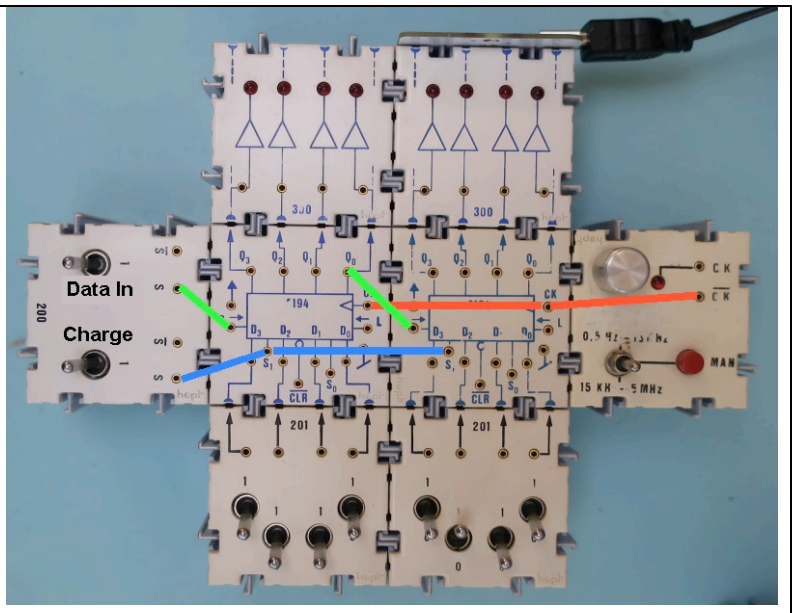
Charger et décaler

Pour bien comprendre le '194, testons séparément les deux modes.

1) Charge parallèle. Il faut le bon mode (Charge actif, fil bleu à "1") et une impulsion d'horloge pour charger.

2) Décalage (Charge inactif, fil bleu à "0"). On injecte à chaque Ck un bit (DataIn, fil vert) et on décale le contenu.

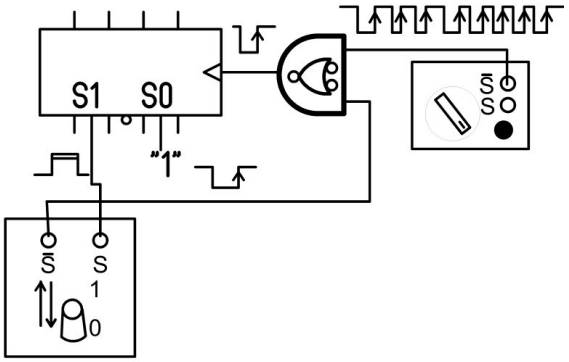




Ce serait plus pratique de charger en bougeant l'interrupteur, sans devoir donner une impulsion d'horloge. On séparerait mieux les fonctions.

Mais le '194 a besoin d'une horloge, qu'il y ait charge OU décalage. Ajoutons cette porte OU, qui doit se faire avec une porte ET en vertu de règles logiques pour spécialistes.

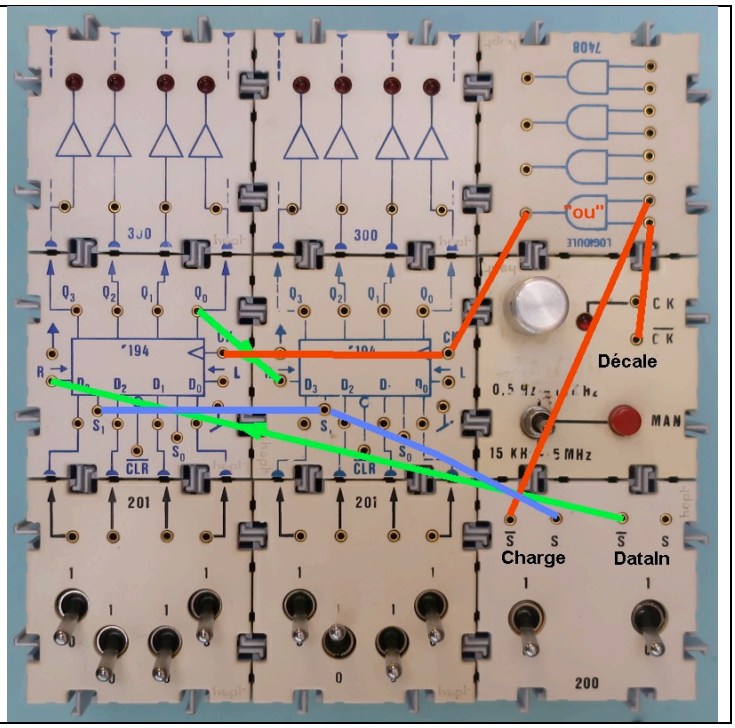
Un interrupteur peut être mis sur l'entrée à gauche (vert clair) pour injecter un "1" ou "0" quand on décale.



Pour bien comprendre le '194, testons séparément les deux modes.

1) Charge parallèle. Il faut le bon mode (fil bleu à "1") et une impulsion d'horloge pour charger.

2) Décalage (fil bleu à "1"). On injecte à chaque Ck un bit (fil vert) et on décale le contenu.



Ce qui est intéressant maintenant, c'est de transporter ce mot de 8 bits vers un autre registre.

Transfert entre 2 registres 8 bits

Le registre qui est ajouté est en mode décalage (fil bleu, S1="0").

Son DataIn vient de la sortie du registre du bas (fil vert).

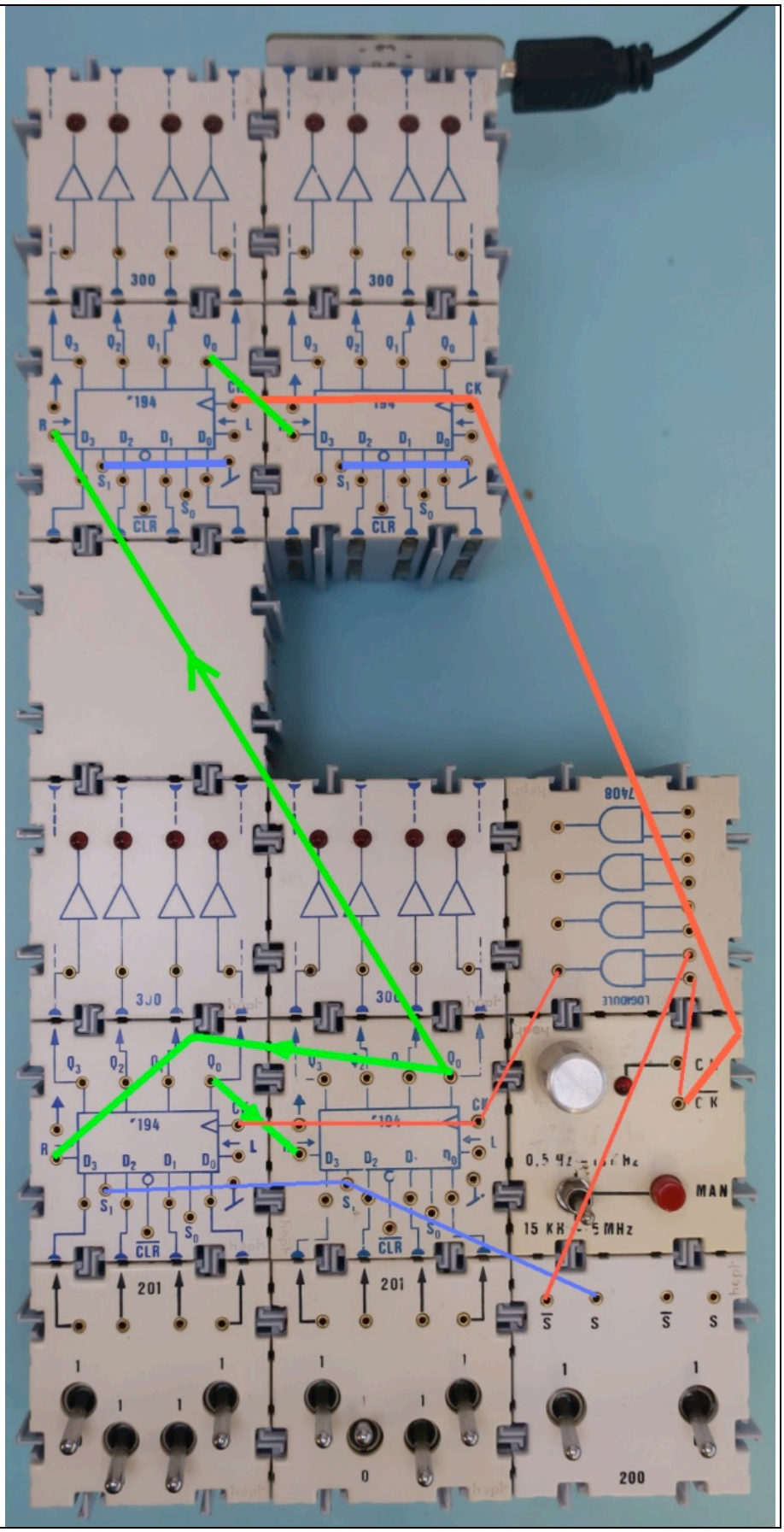
On a bouclé le registre du bas (en vert clair).
Après 8 impulsions, il retrouve la même information.

Les fils du précédent montage sont en trait fins. L'interrupteur DataIn n'est plus nécessaire.

Test :

Impulsion Charge
On voit sur les leds la copie des interrupteurs

Huit impulsions de décalage
On voit que l'information passe dans le registre du haut et le registre du bas a été rétabli.



Envoi de 8 impulsions

Se serait bien d'ajouter un compteur et envoyer automatiquement 8 impulsions.

C'est le bouton **Charge** qui doit déclencher l'envoi.
Un compteur va compter 8 impulsions Ck et stopper l'envoi.

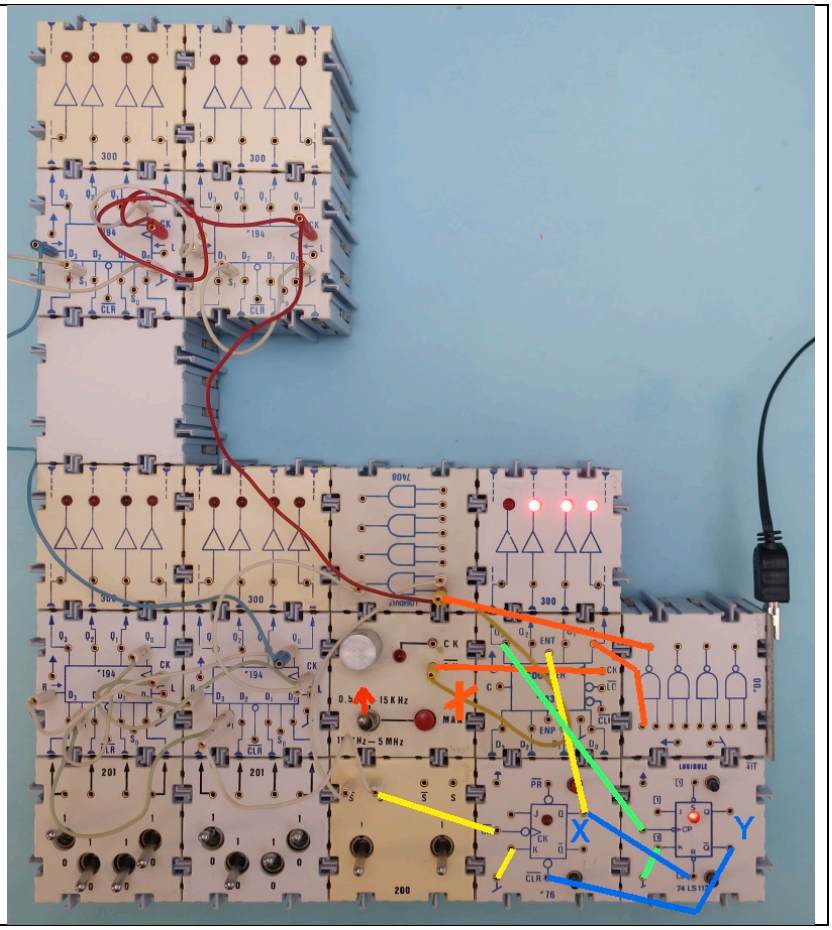
Une astuce permet d'utiliser seulement un compteur par 16 et deux bascules.

Procédons par étape pour comprendre ce que l'on doit câbler.

1) Le fil qui arrive pour le Ck des registres doit être déplacé pour recevoir 8 impulsions chaque fois que l'on veut pour un nouveau transfert.

2) Le compteur par 16 va compter 16 impulsions, mais on n'en prendra que la moitié en utilisant Q1 inversé comme signal Ck.

3) L'astuce est d'utiliser le signal ENT qui bloque le compteur pour couper les impulsions Ck.



4) La bascule X est activée quand on remet à zéro l'interrupteur **Charge**

5) X débloque le compteur qui pulse le nouveau **/Ck** et décale.

6) X à l'état "1" permet à la bascule Y de basculer quand la sortie Q3 passe à zéro, après la 8e impulsion.

7) Immédiatement, la bascule X voit son signal /Clr activé et passe à zéro, ce qui remet immédiatement Y à zéro. On ne voit pas Y passer à "1", cela dure moins d'une microseconde.

8) On peut recommencer un transfert.

Ne pas démonter ce montage

On sait additionner en décimal :

		1 ← 1ère retenue	2e retenue →	11
474	→	474	→	474
+358		+358		+358
=		2 ← 1er chiffre du résultat	3e chiffre du résultat →	832
				↑ 2e chiffre du résultat

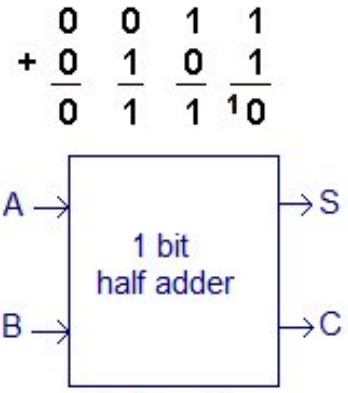
1111 1011 1101 --- 11000 Poids 16 8 4 2 1	En utilisant les poids de bits, on peut vérifier 11 13 ---- 24

On voit que l'addition en première colonne n'additionne que 2 chiffres.
Il faut ensuite tenir compte du report.

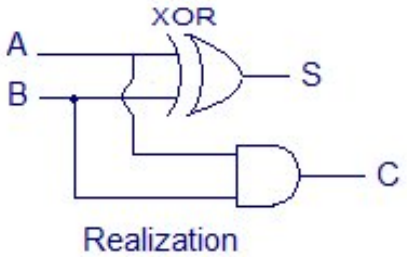
Il y a 4 cas à analyser, ce que l'on fait avec une table de vérité.
1+1 donne 10, la somme S vaut 0 et le report C (Carry) vaut un.
Le Carry doit être "mémorisé", puisqu'il intervient dans la colonne suivante.

Inputs		Outputs	
A	B	S	C
0	0	0	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	0	1

Truth table



Schematic

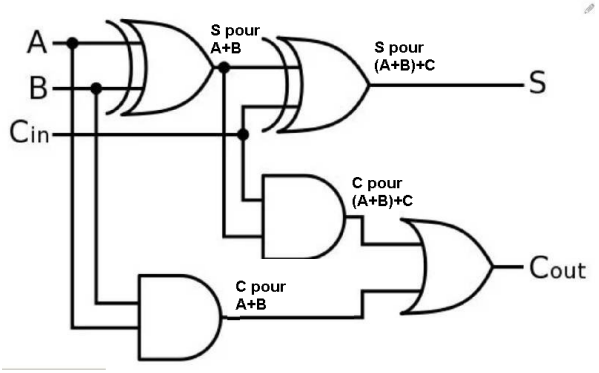


Realization

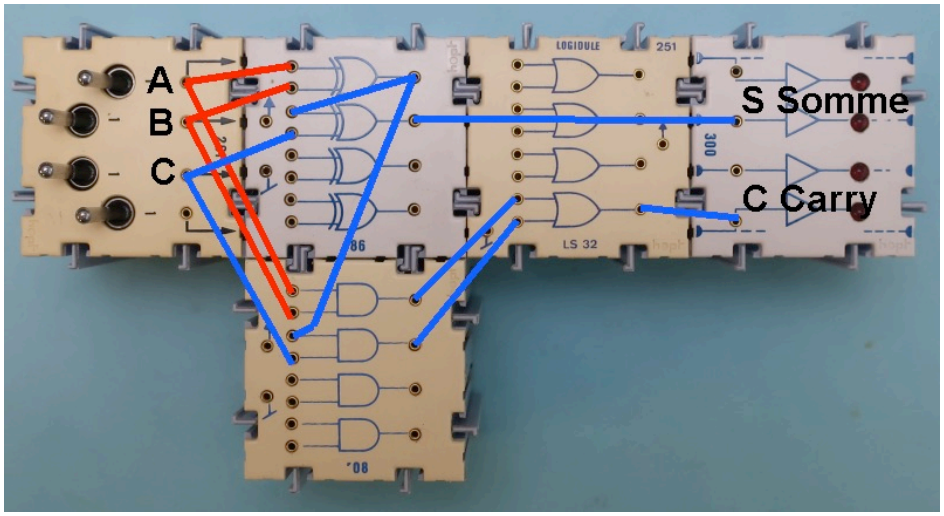
Pour la somme S, on voit que la sortie est active pour l'un ou l'autre mais pas les deux.
C'est la fonction **OU exclusif** (XOR). Pour le Carry, c'est l'un et l'autre, il faut une porte **ET**.

On vient de voir comment additionner 2 bits. Pour en additionner 3, on additionne 2 et on ajoute le 3e. Pour la somme, cela fait deux XOR en cascade. Pour le Carry, ou voit qu'il provient de la première OU de la 2e addition, il faut ajouter une porte OU.

Le schéma est le suivant :

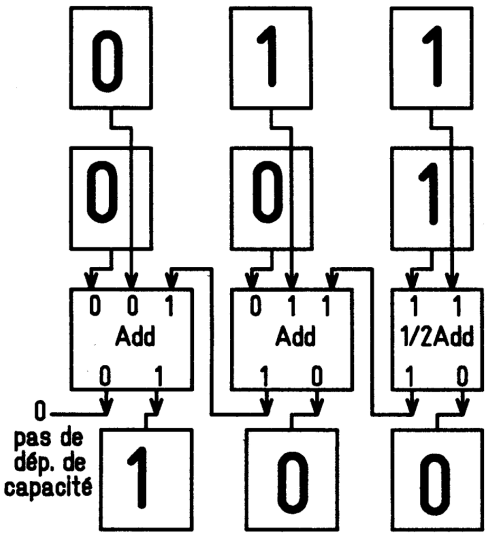


Un bon choix dans la position des logidules facilite le câblage.



Addition parallèle

Une calculatrice pourrait se faire avec autant d'additionneurs que de bits à additionner
et quantité d'interrupteurs et affichages.

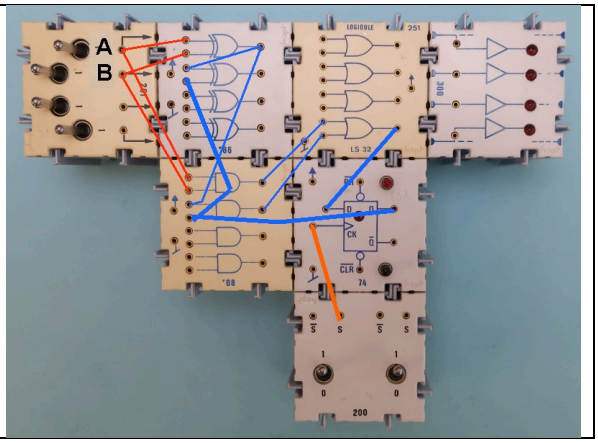


Addition série

Pensons à l'addition en décimal comme on la fait à la main (papier-crayon) : Les nombres sont fixes, et on déplace l'additionneur de gauche à droite, en se souvenant du carry pour l'appliquer après décalage. Il faudrait des aiguillages compliqués pour faire cela en binaire, mais on a vu que c'est facile de décaler l'information dans un additionneur fixe.

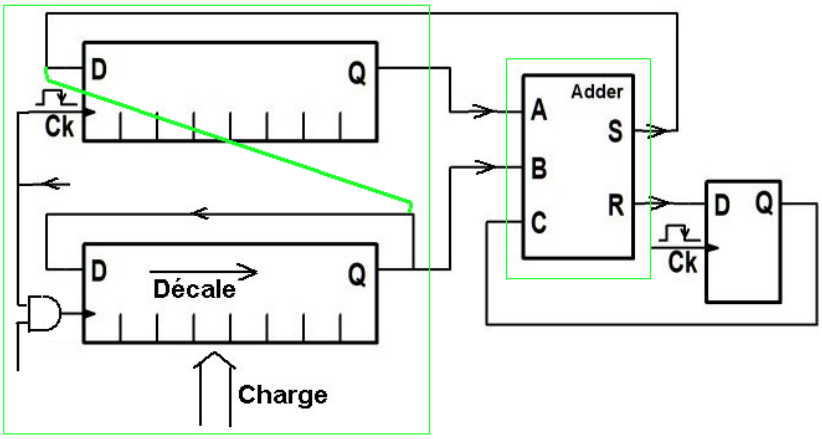
Le signal Ck va décaler les nombres à additionner et il faut chaque fois mémoriser
le Carry pour en tenir compte au Ck suivant.

Ajoutons donc à notre additionneur une bascule D qui mémorise le Carry Cout en entrée pour fabriquer le Carry In.

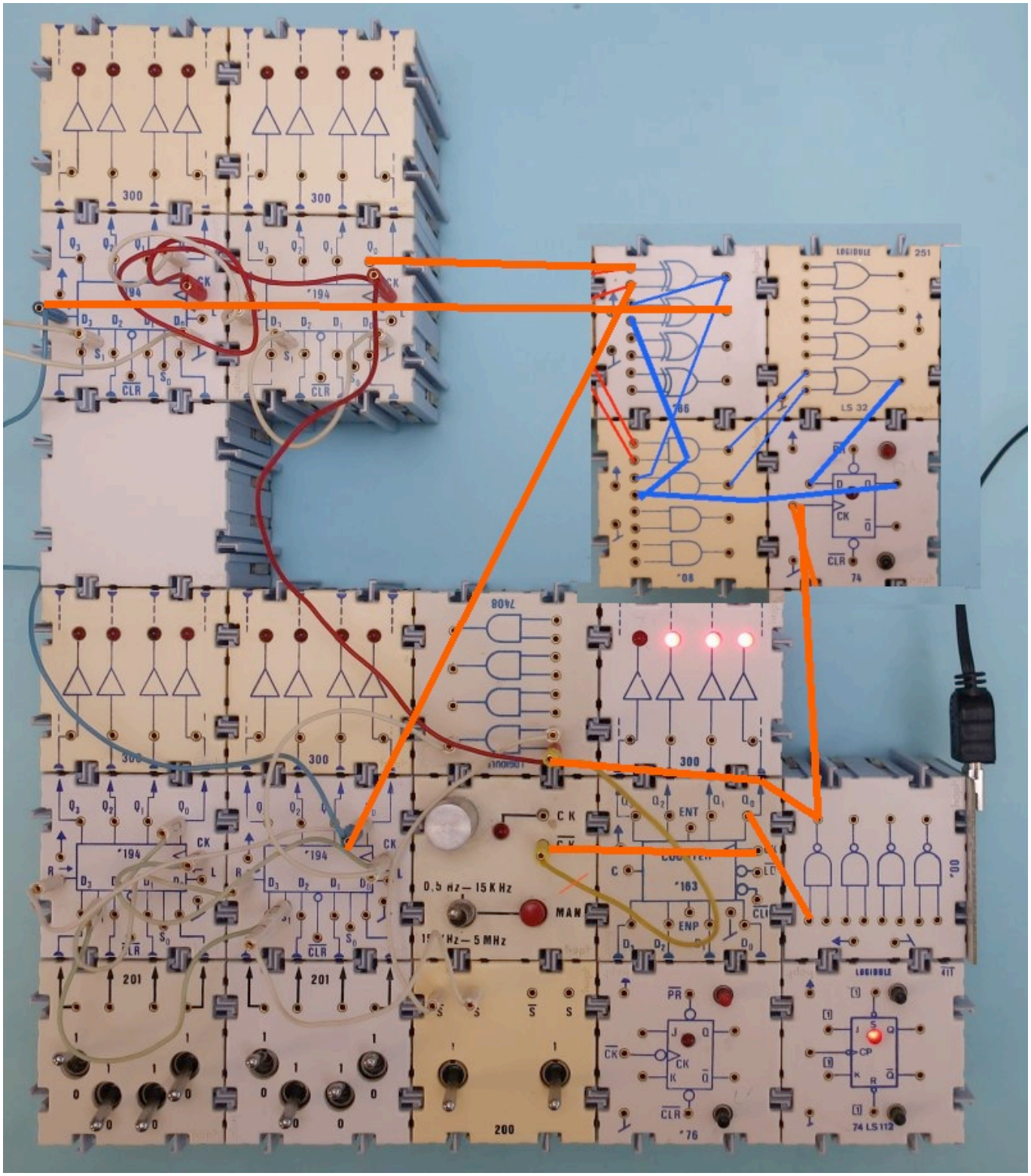


Calculatrice série

On a un montage en attente qui transfère d'un registre dans un autre (en vert dans la figure ci-dessous). Modifions à peine le montage pour que les deux registres envoient leur contenu à l'additionneur.



Ajoutons l'additionneur au montage transfert série et câblons les quelques fils pour que l'information circule selon le schéma de la calculatrice.



Test de la calculatrice

Comme toutes les calculatrices, il faut mettre à zéro les registres avant de calculer.
La solution est d'activer les entrées /Clr des registres (un interrupteur est disponible)
et lancer un transfert. On peut ensuite enchaîner les additions.

jdn 210402