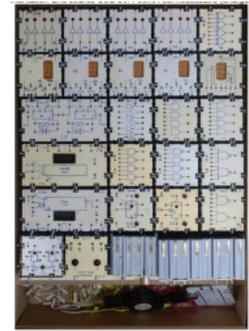


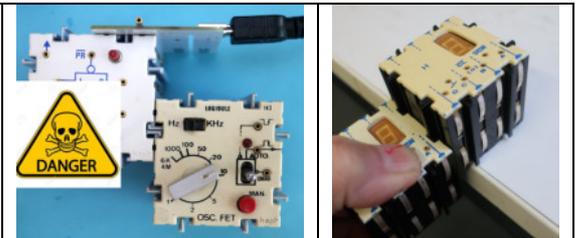
Hello geek!

Que faire d'amusant avec cette boite de Logidules (LAA du 50^e EPFL) ?



Génial cette boite ! Les modules ont été fabriqués par les techniciens de l'EPFL et des étudiants les ont utilisés pendant 25 ans pour apprendre à construire des interfaces ordinateurs comme il y en a dans ton téléphone.

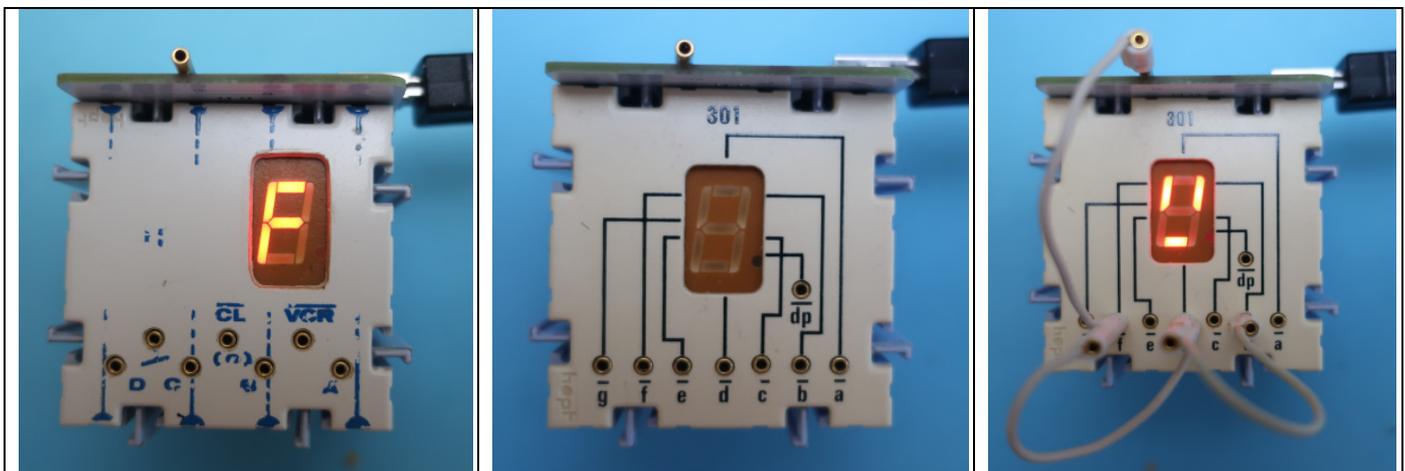
Petite règle à suivre, deux logidules doivent avoir un coin commun, et la plaquette d'alimentation doit être centrée.
Pour séparer deux boites, un bord de table aide à pousser bien parallèle.



1 Afficher

Tu as une prise 220V sur la table et tu vois comment alimenter un Logidule. Tu as certainement envie de commencer par l'affichage 7 segments. Connecte-le; Il affiche un F, bizarre! On comprendra plus tard.

Tu vois qu'il y a un autre affichage. Lui, il semble mort ! Mais mets des fils depuis la douille sur l'alimentation (du +5V) et tu peux allumer chaque segment. Dans ce logidule, il n'y a que 8 diodes lumineuse.



Bon, tu as câblé pour voir une lettre de ton prénom? C'est pratique ces douilles hermaphrodites. Revenons au logidule avec décodeur.

Ajoute un interrupteur quadruple. Pas besoin de fils, tu vois qu'il y a 4 contacts entre les interrupteurs et l'affichage.
Avec les interrupteurs, tu composes un mot binaire: 0000 affiche un zéro, 0001 affiche un 1, 0010 affiche un 2, .. 1001 un 9. C'est comme cela que l'on compte en binaire. Continue à compter en binaire. L'affichage montre des lettres, c'est de l'hexadécimal.
Quand tous les interrupteurs sont à 1, on a l'état binaire 1111, qui est décodé pour afficher le signe F en hexa. Donc, si l'affichage isolé montrait un F, c'est qu'une entrée non connectée prend l'état logique "1", C'est comme cela pour toutes les entrées de ces logidules, Note que j'ai dit signe F et pas lettre F. Cela nous



2 Un bit peut peser lourd

Avec 4 bits on peut représenter 16 états. Regarde encore ces 4 interrupteurs qui forcent les 4 bits, 4 entrées de l'affichage. Ils ont un poids! Bouge un seul interrupteur vers le haut. Depuis la droite, le poids est 1,2,4,8. Combine 2 interrupteurs et ajoute les poids: $4 + 8 = C$. Ben oui, 12 en décimal, C en hexa ! Avec les poids, tu passes facilement d'une base à l'autre.

Poids	8	4	2	1
	2^3	2^2	2^1	2^0
Rang	3	2	1	0

Comme tu es malin, tu comprends en passant que si on veut donner un nom aux interrupteurs, A B C D ne nous apprend rien, mais A8 A4 A2 A1 dit comment ils agissent.

Autre chose encore, tu sais qu'en mathématique on parle de puissance. Les puissances de 2 sont $2^0 = 1$, $2^1 = 2$, $2^2 = 4$, $2^3 = 8$, etc.. Donc on a des poids qui sont les puissance de 2, et l'exposant est appelé rang. Le rang des interrupteurs est 0 1 2 3, et si tu préfères les marquer A3 A2 A1 A0, ok. En informatique, on compte toujours à partir de zéro, et pas à partir de 1.

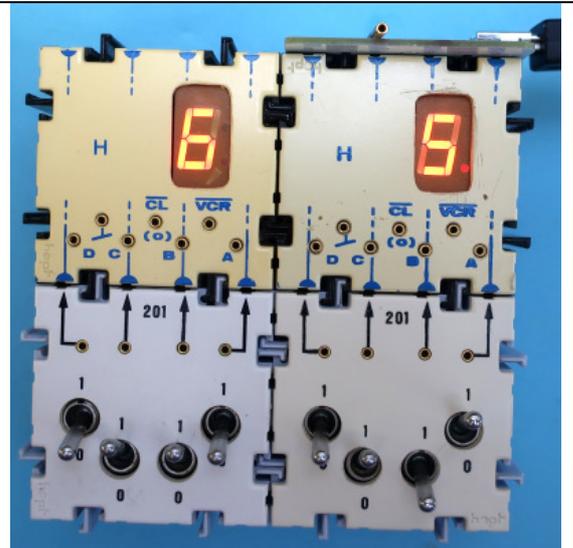
Continuons avec 8 bits. Connecte un 2^e affichage avec ses interrupteurs. On a donc ajouté les dizaines - - non !! les "hexaines". L'hexa, c'est comme le décimal, simplement on passe à l'unité supérieure pour 0xF, 0xFF, 0xFFF au lieu de 9, 99, 999. Mais alors, si 10 hexa (que l'on écrira 0x10) est équivalent à 16, que vaut 0x100?

16x16 évidemment !

En décimal, $100 = 10 \times 10$.

En hexa $0x100 = 0x10 * 0x10$ - tu vois le problème avec le x?

x, lettre de l'alphabet, est utilisé comme signe de la multiplication en arithmétique simple. x avec un 0 devant, annonce un nombre hexa. Pour éviter la confusion, il faut un autre signe pour la multiplication: dans tous les programmes, on utilise l'étoile *, même si on multiplie du décimal.



Donc, avec 8 bits on peut compter jusqu'à $0xFF = 0x100 - 0x1 = 256 - 1 = 255$.

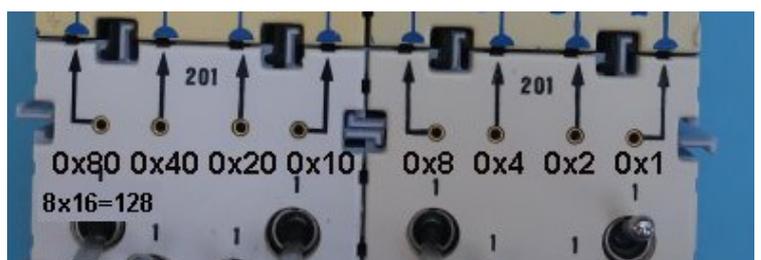
256 est un nombre à mémoriser, comme bon nombre de puissances de 2: 1 2 4 8 16 32 64 128 256 512 1024 = 2^{10} 65536 = 2^{16} 1048576 = 2^{20}

Pourquoi ces 3 dernières valeurs que tu n'arriveras pas à mémoriser?

1024 est le "kilo" des informaticiens. Les premières mémoires de 1k en 1974, c'était la révolution! En 1980, les mémoires ont atteint 64k et c'était le maximum pour les ordinateurs avec 16 bits d'adresse. Ensuite, les mémoires ont atteint 1 mégabit (2^{20}) et ce n'est pas fini, On ne va pas s'embêter avec des lignées de chiffres; ce qui compte ce sont les ordres de grandeur.

Quels sont les poids pour notre mot de 8 bits? Les puissances de 2 vues plus haut.

Evidemment, pour les 4 interrupteurs de poids fort, ce sont des "hexaines" et il faut multiplier par 16. Le poids le plus fort est $2^3 * 16 = 128$. Si tous les interrupteurs-bits sont à "1", le total fait 255.

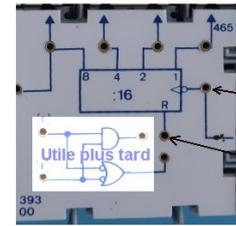


Voilà, tout ça est très simple quand on a compris.

3 Compteur binaire

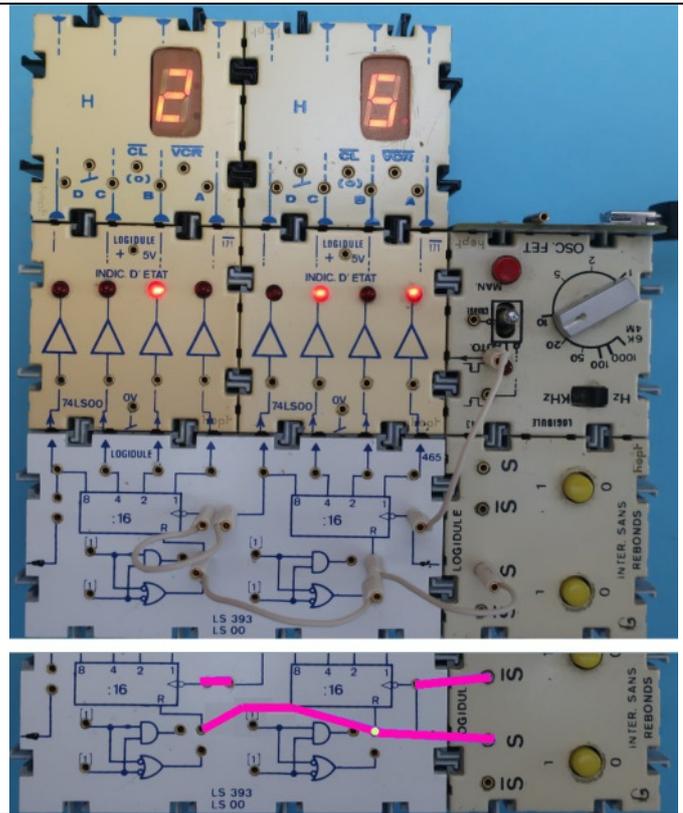
Un circuit compteur binaire par 16 est dessiné comme un rectangle avec une entrée de comptage qui est sensible à un "front d'horloge", une transition du signal d'entrée de "1" à "0". Le compteur avance à chaque front. La sortie de poids 8 fait avancer le compteur suivant. Une entrée de remise à zéro statique force toutes les sorties à zéro. Si on ne la câble pas, son état est "1", donc le compteur est bloqué à zéro.

Sorties binaires avec les poids 8 4 2 1



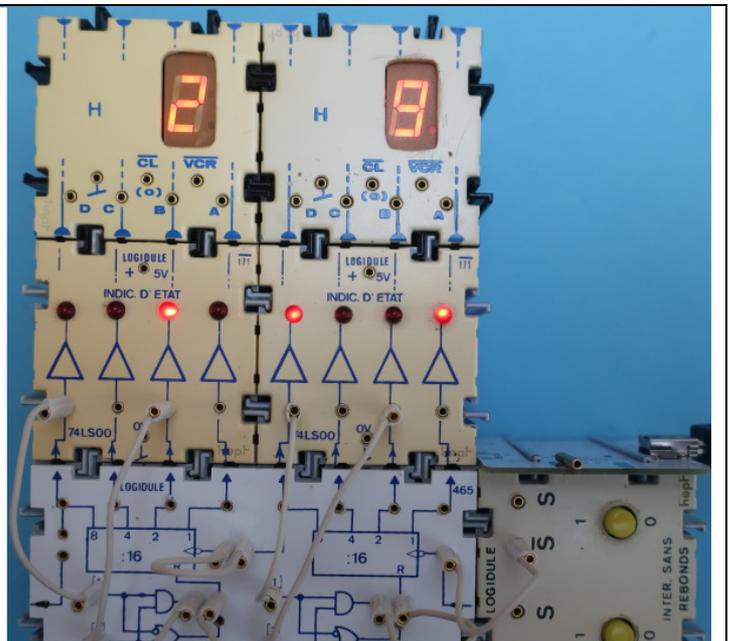
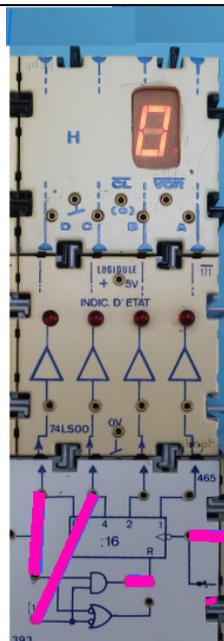
Entrée des impulsions
Remise à zéro (reset)

Prends le compteur logidule formé de deux compteurs par 16. Avec le logidule poussoir, tu peux générer les impulsions de comptage et agir sur le reset, C'est comme un compte-personne mécanique, mais il compte en hexadécimal. Tu peux aussi brancher l'oscillateur et compter à toute vitesse.



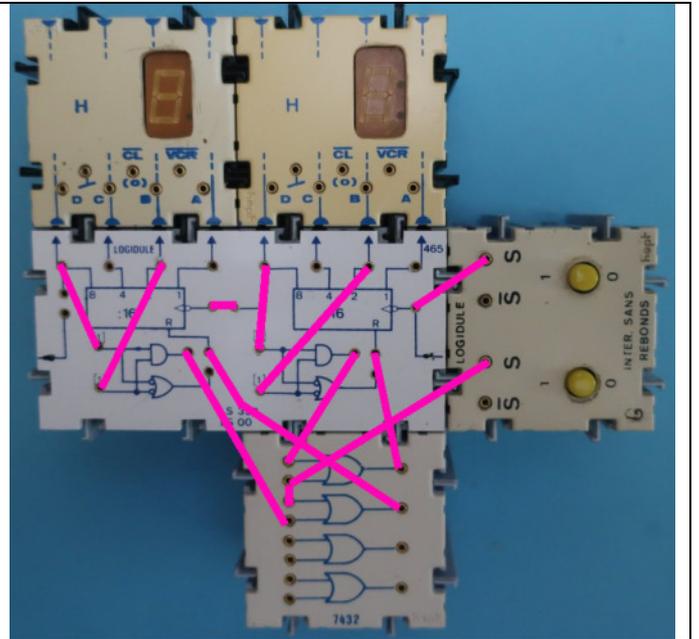
4 Compteur décimal

Comment faire pour que cela compte en décimal? Jusqu'à 9, c'est parfait. Avec l'état suivant qui affiche A, on déborde le décimal. Alors coupons avec un reset quand on voit apparaître le 0xA. Le binaire affiche 1010. Demandons à de l'électronique de détecter si le bit de poids 2 **ET** celui de poids 8 sont actifs, et activer la sortie. Ce circuit est prévu sur le logidule; son symbole est une demi-lune. Ajoutons



On a perdu le reset manuel. Comment raisonner pour le rétablir? On doit faire un reset si on active le poussoir reset **OU** si la porte **ET** a décodé l'état 10 interdit. C'est une porte logique avec un symbole facile à reconnaître.

La sortie de la porte ET sur le logidule est combinée avec la sortie du poussoir sur un logidule OU supplémentaire.



5 Chronomètre

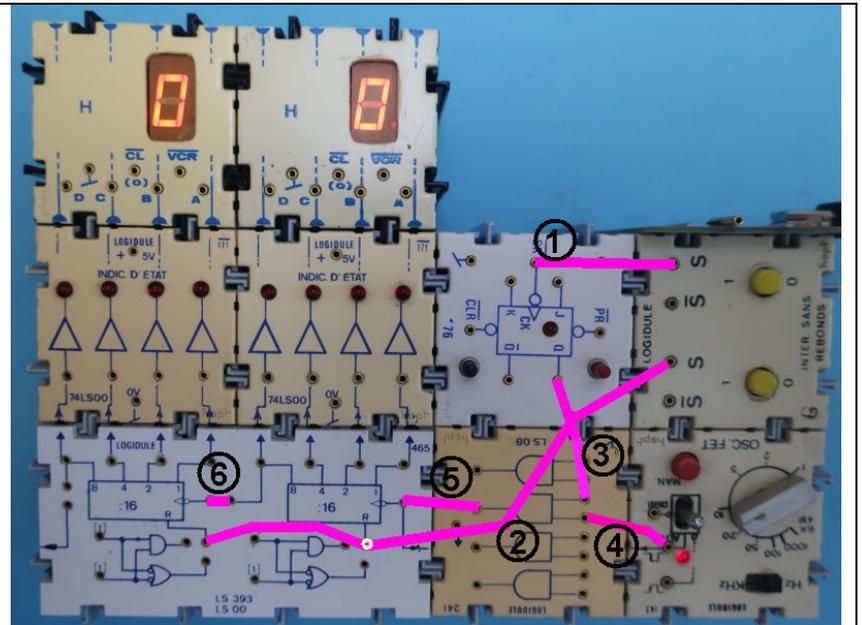
Câble de nouveau le compteur binaire simple, mais avec l'oscillateur cette fois. On va faire un chronomètre qui mesure le temps en hexa, avec une unité de temps réglable.

Un chronomètre a en général un bouton Start/stop. Il y a deux modes de fonctionnement; soit on compte, soit on est arrêté; ces modes durent autant que l'on veut, on parle d'"état logique". Il y a encore une action instantanée (avec un poussoir) pour mettre à zéro.

Deux états, cela fait penser à une balançoire à bascules; elle penche d'un côté ou de l'autre et il faut une impulsion pour la faire basculer. Le module électronique correspondant s'appelle aussi bascule et il a une ou 2 entrées pour faire basculer; comme pour les interrupteurs électriques, certains ont 2 positions visibles, d'autres un poussoir qui change la position du contact interne.

Dispose les logidules et fait le câblage dans l'ordre pour avoir quelques explications:

- (1) Mets ce premier fil et teste que la bascule change d'état à chaque pression.
- (2) Deux fils pour le reset du compteur.
- (3) (4) (5) (6) Avec ces 4 fils, le compteur devrait avancer à chaque oscillation (clock), si la bascule est à "1". Régle le clock à 2-5 Hz. La porte **ET** bloque le passage des impulsions si la bascule est à "0".



Règle l'oscillateur pour avoir des impulsions rapides, mais pas trop. Le jeu est de mesurer sa rapidité et chronométrer le temps mis pour une doubles action:

Reset - poussoir - poussoir - le "temps" est affiché.

Il faut que la valeur du compteur suite à une double pression soit autour de 0x80. Quel est alors ton record de durée pour 2 pressions? En hexa, le record ici est un **minimum**, il n'a pas besoin de s'exprimer en millisecondes !

Compter en décimal, on sait faire.

Pour le centième de seconde, on a un oscillateur réglable, apprenons à le calibrer !

A 100 Hertz, la sortie du compteur doit battre la seconde. Ta montre ou téléphone bat sûrement la seconde, mais il faut compter 10 ou 30 secondes pour être précis.

On apprend sur internet que notre temps de réaction est de ~250ms, mais il ne faut pas confondre réaction et réflexe. Ce que l'on mesure en pressant 2 fois de suite est autre chose; on parle de vélocité d'un pianiste, sans donner des mesures.

6 Horloge

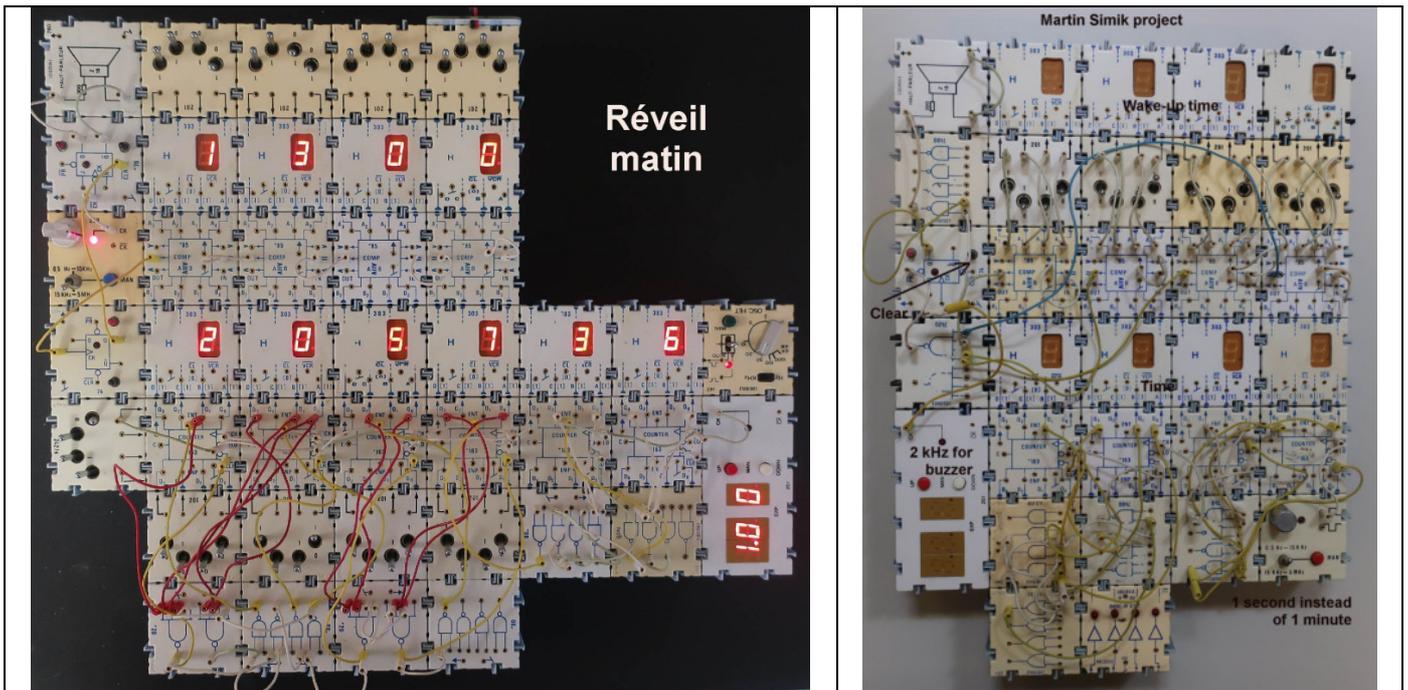
Une horloge affiche les secondes, minutes, heures, jours. Plus est compliqué, mais par programmation c'est juste un peu plus long pour traiter les anomalies du calendrier.

On sait diviser par 10. Comment diviser par 60? Comment diviser par 24? Comment diviser par 7? Essaie, c'est facile de vérifier.

Pour afficher les 7 jours de 1 à 7, c'est expliqué sous <https://www.didel.com/Affi7jours.pdf>

Bravo si tu comprend.

Si tu penses à un réveil matin, il faudrait ajouter des circuits pour comparer avec des interrupteurs ou un autre compteur qui affiche l'heure de réveil. Il faut une bascule qui passe à "1" et active un buzzer quand c'est l'heure, et un bouton poussoir pour revenir à l'état "attente de l'heure". Il y a encore le problème de la mise à l'heure. Et pour avoir une heure précise, il faut un oscillateur qui utilise un quartz à 32'768 Hz. Pourquoi cette fréquence bizarre? C'est 2^{15} , donc facile d'obtenir 1 Hz avec un compteur binaire: 15 bascules à la suite qui divisent par 2. Il faut beaucoup de logidules pour un réveil, mais ce n'est pas si difficile à câbler.



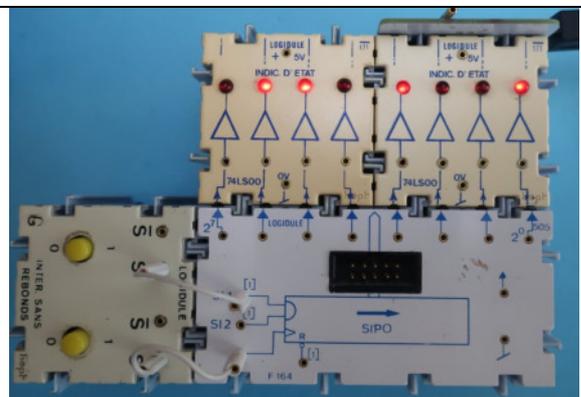
7 Registre série

Pour transmettre l'heure que l'on voit sur l'image ci-dessus, il faut une longue phrase ou connecter les 24 fils pour aller vers un autre affichage. Ce n'est naturellement pas la solution. On voit qu'un câble USB a 4 fils: deux pour le 5V et deux pour toutes sortes d'informations. Quel est le miracle?

Une variante de la bascule utilisée pour compter est utilisée pour mémoriser un bit, comme dans les mémoires. La différence est que dans les mémoires, on écrit 8 ou 16 bits d'un coup dans 8 ou 16 bascules en parallèle, alors que dans le registre série, les bascules sont à la queue-leu-leu et l'information se décale comme des billes noires et blanches dans un tuyau.

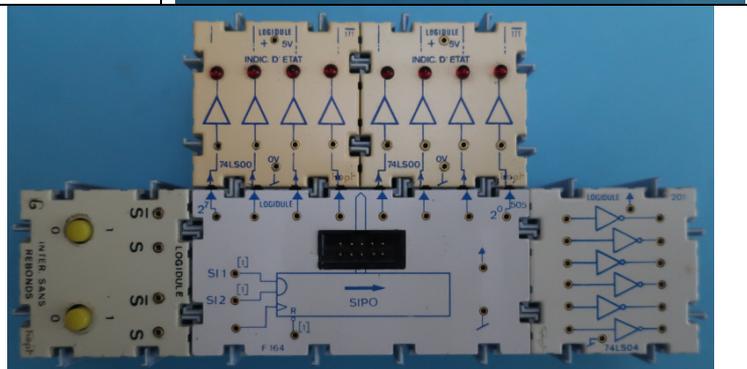
Câble le registre SiPo (Serial in, Parallel out). Le poussoir du haut () donne l'information via un porte ET (ignorons la 2^e entrée) , Une impulsion avec le poussoir du bas copie l'entrée sur la première bascule et décale les autres. Il faut 8 impulsions pour remplir ou vider le registre.

Que se passe-t-il si le serpent se mord la queue (l'entrée est câblée sur la sortie)? Pout changer la condition initiale, il faut déplacer la sortie sur le poussoir.



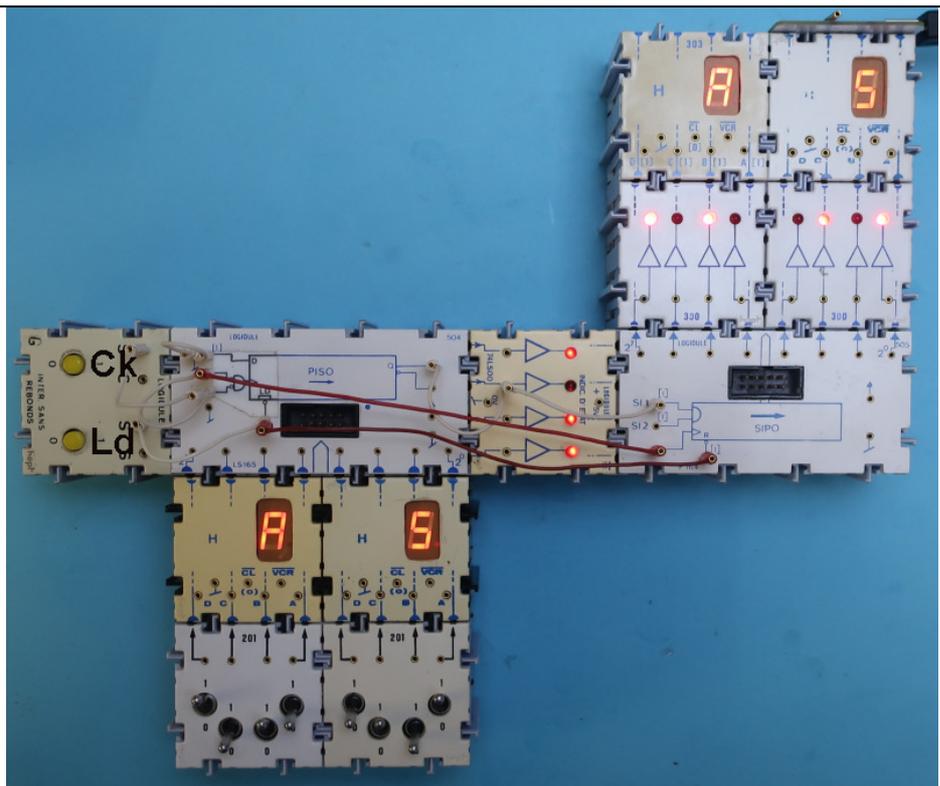
Essayons un autre câblage: la sortie passe par un inverseur avant d'aller sur l'entrée. Comme un poussoir est libre, on câble le reset.

Si on part avec tout des zéros, le registre se remplit et se vide en 16 impulsions. Si on s'arrange en soulevant le fil de partir d'un motif alterné 10101010 , quel est la longueur de la séqence? Est-ce que l'on peut avoir des séquences très courtes?



8 Transmettre de l'information

Ajoutons le registre PiSo (Parallel In, Serial Out). Il a une entrée Ld (load, charge) pour transférer les 8 entrées parallèles dans des bascules que l'on ne voit pas (si, la dernière). L'impulsion d'horloge va faire sortir les 8 bits un à un par la dernière bascule et on rétransforme en parallèle dans le SiPo.

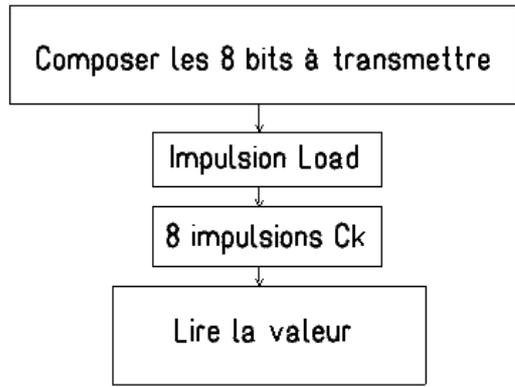
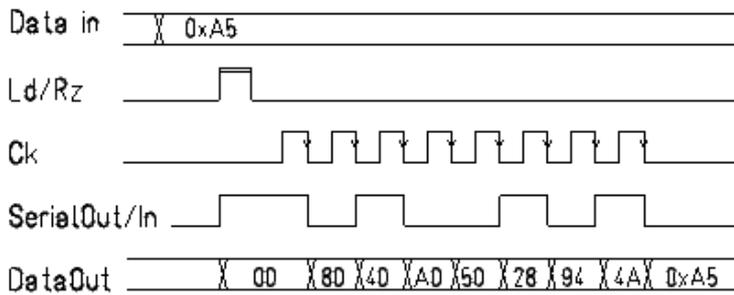


Ces registres on des entrées un peu spéciales, il faut câbler exactement.



La séquence de transfert se décrit très bien dans un organigramme (ci-contre).

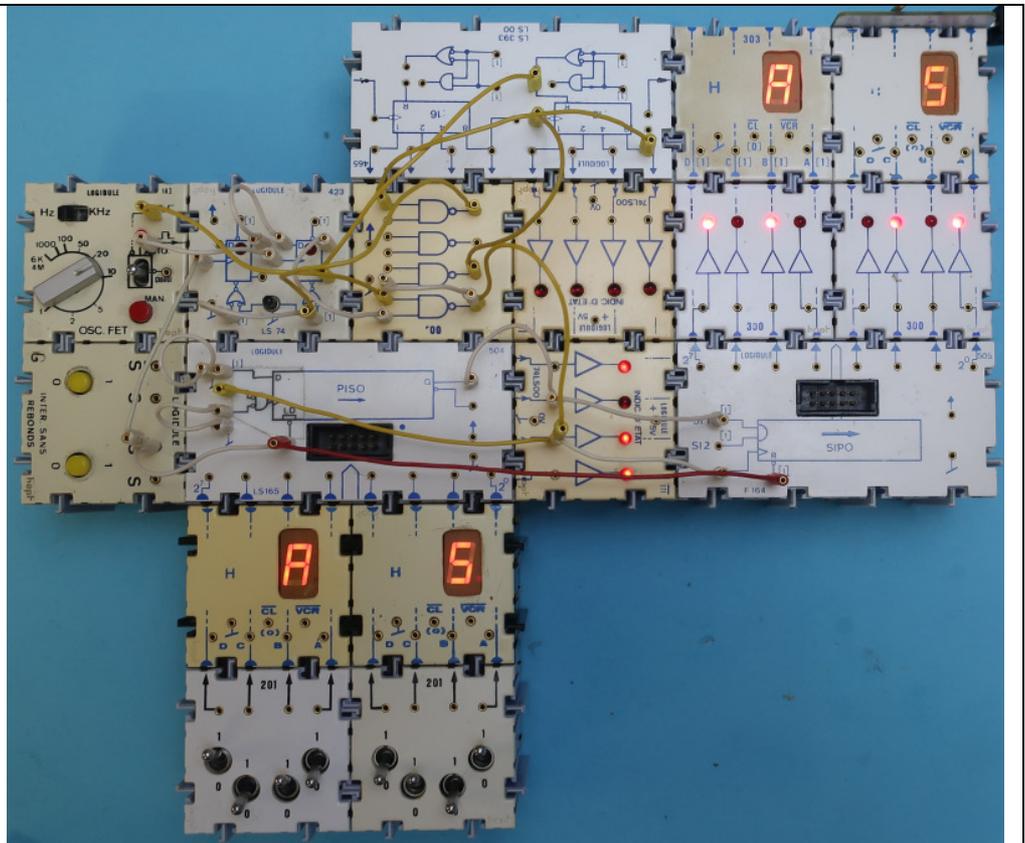
On peut aussi faire un diagramme des temps:



9 Envoi automatique

Comment automatiser cet envoi? C'est là que le diagramme des temps est utile. Si on a pressé sur Ld, il faut passer dans un état qui active un oscillateur, et compter les impulsions. A la 8^e impulsion, il faut passer dans un nouvel état qui est l'état de repos, on peut allumer une led pour dire que de l'information est arrivée.

Le schéma est délicat à bien comprendre, il faut synchroniser parce que l'on pèse à un instant quelconque par rapport à l'oscillateur et il faut inverser des signaux à cause des circuits utilisés.



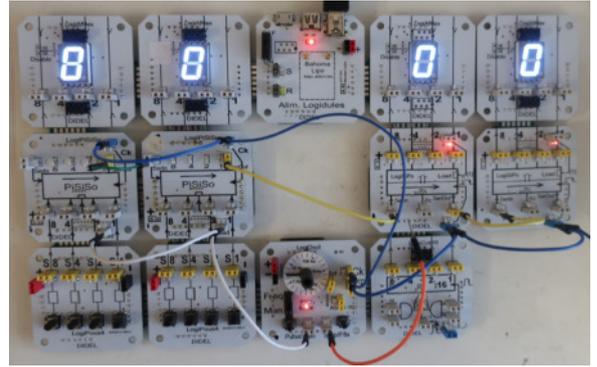
Ce montage montre comment transférer de l'information en série. Mais il faut comprendre que celui qui la reçoit doit la traiter et cela peut prendre du temps. Il faut au moins un signal en retour pour dire "merci, tu peux m'envoyer l'information suivante". Sur les premiers PC, le connecteur de la prise série avait 25, puis 9 contacts. Sur les deux fils d'un câble USB, l'information passe alternativement dans un sens ou l'autre selon un protocole très complexe géré par logiciel.

=====

Commentaire pour enseignants

Le circuits logiques "historiques" avec leurs signaux inversés demandent un niveau d'abstraction supplémentaire qui n'a plus de sens.

Des prototypes de nouveaux logidules ont été développée en été 2020, Tous les signaux sont actifs à "1", et les Ck agissent au front montant. La fonctionnalité logique n'est donc pas perturbée par des contraintes technologiques. La présence d'un microcontrôleur dans chaque module permet parfois des aides é la compréhension de la fonctionnalité (retards, clignotements). Pour le dernier montage, le séquenceur est dans l'oscillateur . On explique son organigramme et le câblage est simple. En 2^e étape, on peut le câbler avec des portes et bascules.



Cet atelier apporte les notions suivantes:

Binaire, hexa, poids, rang, conversion

Compteurs et affichages

Portes ET, OU, Bascules utilisées intuitivement

Registres et transfert d'information

Etats, diagrammes des temps et séquenceur simple.

Protocole de communication.

Il y a le matériel pour câbler un additionneur et en ajoutant les registres, démontrer une calculatrice série. Voir <https://www.didel.com/AtelierLogi50eComplement.pdf>

Ce survol est une approche culturelle minimale et peut être complété par des éléments pris dans la littérature et dans les chapitres 1,2,3 de la documentation des nouveaux logidule (voir www.didel.com/Logidules.html).

Test (40') avec Rémi, 12 ans, peu scientifique.

Fautes dans premières manips, il n'a jamais câblé. Poids des interrupteur 1 2 4 8 ok, Passage aux hexaines difficile. Vient de voir les puissances à l'Ecole, pas assimilé.

Compteur: ne décode pas le dessin, voit que les fils. Le texte est modifié pour expliquer le compteur par 16 en oubliant les portes ET et OU.

Compteur par 10. Expliqué oralement en ajoutant un affichage binaire pour montrer l'état de la sortie de la porte ET, qui passe à "1" quand l'état 0xA est décodé. On ajoute alors le fil vers le reset.

Avec le OU, pas de problème pour câbler, pas pris le temps de creuser.

Compteurs par 6, etc, horloge pas fait.

Registre série. Câblé le montage de la section 7 et démontré le transfert.

Ne pas voir le contenu du PiSo est embêtant. Comprendre les bits qui sortent, avec l'aide du diagramme des temps suppose une certaine maturité.

Idées d'améliorations bienvenues.

jdn 200818