

# Projet bloc électronique : Strongbox 3000

**Equipe du projet :** Dagan Eugene, Jouslin de Noray Eric, Martin Léo, Linard Raphaël, Meghith Adam, Bacon Adrien

## Sommaire :

- Remise en situation et clarification des attentes page 2

---
- Proposition d'un circuit interne fonctionnel page 4

---
- Schéma logique des cartes et étude de l'une en détail page 6

---
- Analyse des valeurs de la résistance R5 page 9

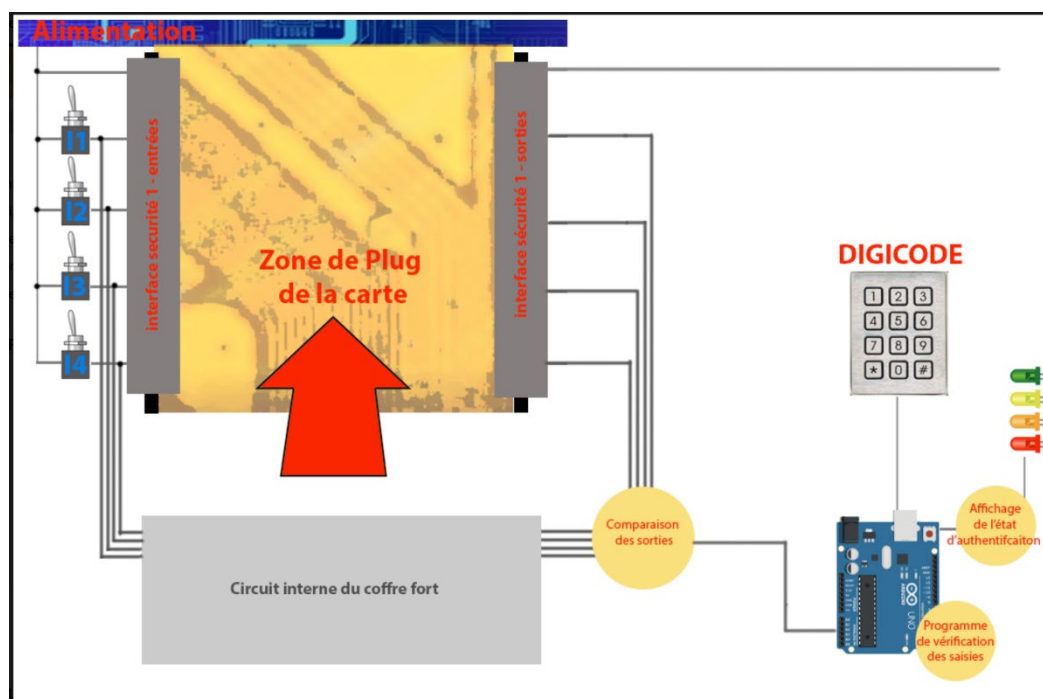
---
- Circuit électrique page 11

---
- Conclusion page 13

## Première partie : remise en situation :

Une célèbre agence d'espionnage a vécu des heures sombres ces dernières semaines. À plusieurs reprises, le matériel mis à disposition sur le terrain pour leurs agents a été détourné. Pour résoudre ce problème, l'agent R propose un prototype de coffre-fort nouvelle génération avec des mécanismes d'authentification plus efficaces.

Pour faciliter la production, un prototype rudimentaire est envisagé à l'aide d'une carte électronique de type Arduino et de composants simples comme des LEDs. L'agent R a rapidement produit un schéma de l'environnement de tests :



Il propose ensuite de doter chaque agent d'une carte électronique avec un numéro (CARD\_ID) unique que lui seul connaîtra. En fonction de ce numéro, une série de 4 interrupteurs devra être positionnée avant d'insérer la carte pour activer le système d'authentification. Une fois la carte insérée une combinaison de résistances allumées sera formée et une tension spécifique pour chacun des 8 modèles de carte sera obtenue.

Ensuite, une fois la carte insérée et validée un pavé numérique devient disponible pour permettre plusieurs types de contrôles mais on ne nous demandait pas encore d'effectuer cette étape. En effet, il nous était alors demandé de rendre nos travaux sur le fonctionnement de la carte et du système du coffre pour le 25 octobre.

Dans un premier temps, nous avons déterminé un code de sortie sous forme binaire (correspondant aux résistances allumées) pour chacun des modèles. Nous avons pu les déterminer grâce au tableau désignant les différentes résistances activées pour chaque modèle.

Modèle	Carte	Code Carte	Code Sortie
1	11	1010	1000
	12	1011	
2	2	0001	0100
3	8	0111	1100
	14	1101	
	15	1110	
4	1	0000	0010
	9	1000	
	5	0100	
5	10	1001	1010
6	3	0010	0110
	13	1100	
	16	1111	
7	6	0101	0001
	7	0110	
8	4	0011	0011

**Dans le tableau ci-joint :**

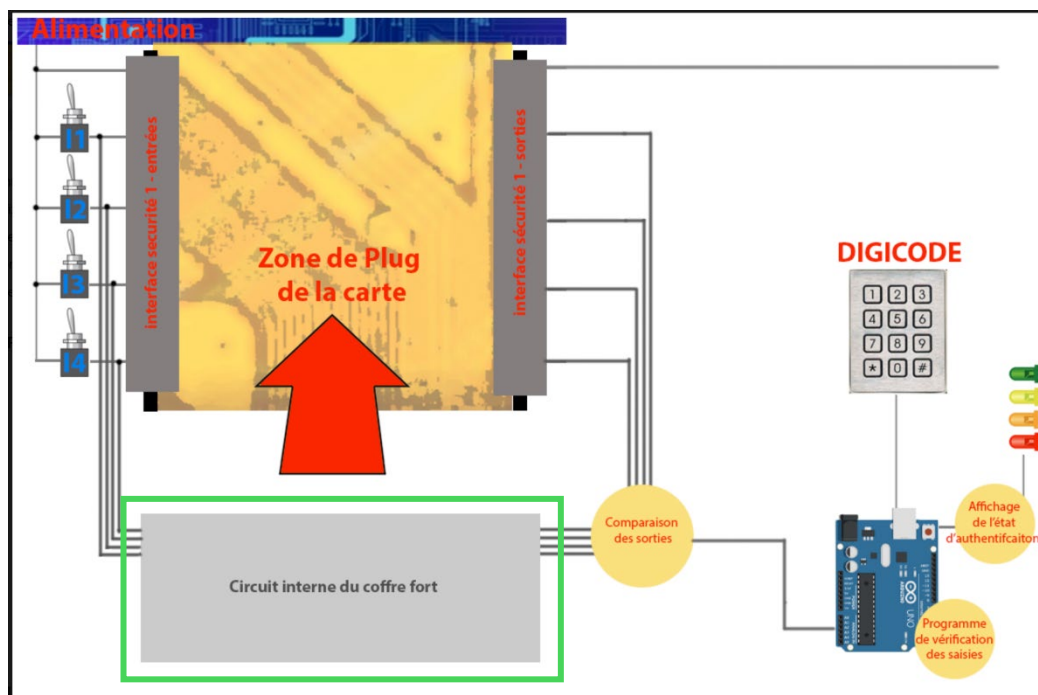
- La colonne « code carte » correspond aux interrupteurs actionnés sous forme binaire et dans l'ordre. Par exemple dans le code 1010 : I1\_fermé/I2\_ouvert/I3\_fermé/I4\_ouvert.
- La colonne « code sortie » correspond aux résistances reliées au courant en sortie, sous forme binaire et dans l'ordre.

**Dans ce projet, il est attendu la construction des schémas de toute la première partie électronique du coffre, qui comprend :**

1. Le circuit interne
2. Les circuits des cartes
3. Le calcul de la tension de sortie de notre circuit.

## Deuxième partie : proposition d'un circuit interne fonctionnel

Le circuit interne du coffre-fort doit avoir pour fonctionnalité la vérification de la carte insérée en fonction de la combinaison d'interrupteur actionné. Pour cela, le circuit interne doit être capable de prévoir la combinaison de sortie en fonction des interrupteurs pour pouvoir comparer ce résultat avec la sortie du plug.



Pour cela nous avons analysé le tableau des sorties en fonction des entrées :

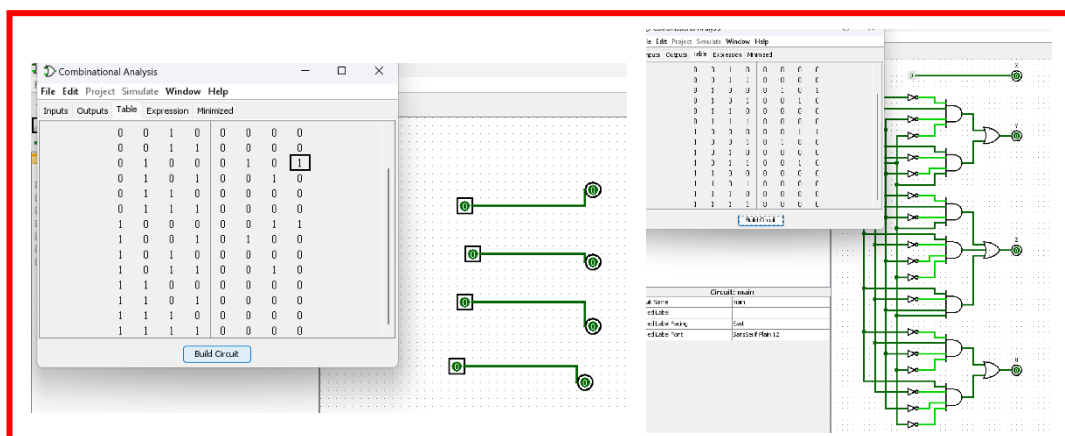
Modèles	Cartes correspondantes (combinaison d'interrupteurs associée)	Résistances activées
Modèle 1	I1 et I3 ; I1 et I3 et I4	R1
Modèle 2	I4	R2
Modèle 3	I2 et I3 et I4 ; I1 et I2 et I4 ; I1 et I2 et I3	R1 et R2
Modèle 4	Aucun interrupteur ; I1 ; I2	R3
Modèle 5	I1 et I4	R1 et R3
Modèle 6	I3 ; I1 et I2 ; Tous les interrupteurs	R2 et R3
Modèle 7	I2 et I4 ; I2 et I3	R4
Modèle 8	I3 et I4	R3 et R4

Nous avons alors transposé ces valeurs en binaires. Les interrupteurs actionnés entraînent des 1 et les autres des 0. De même pour les cartes.

Avec les combinaisons obtenues, nous avons alors construit une **table de vérité** du circuit interne et avec la fonction « création de circuit » sur logisim nous avons pu construire le circuit logique.

### Exemple de l'utilisation de l'outil sur logisim :

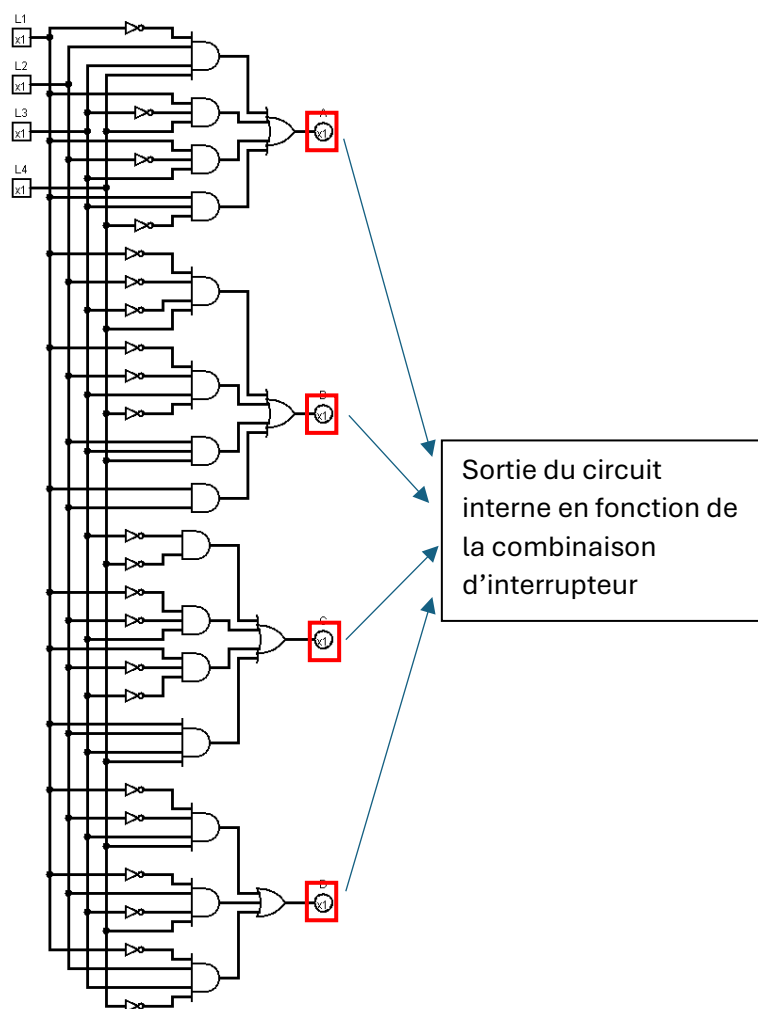
Il suffit de paramétrer le nombre d'entrées et de sorties et de modifier manuellement la table de vérité.



Maintenant, si nous appliquons cette méthode à notre problème de circuit interne, nous obtenons :

L1	L2	L3	L4	A	B	C	D
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	0	0	1	1	0
0	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0	0	1
0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	1	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0	0	0
1	0	1	1	1	0	0	0
1	1	0	0	0	1	1	0
1	1	0	1	1	1	0	0
1	1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	1	0	1	1	0

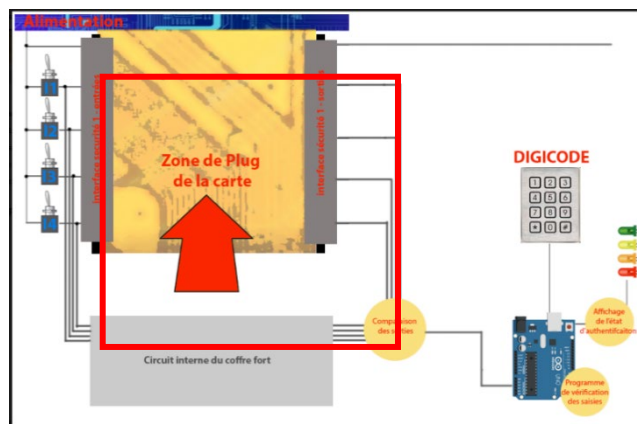
Avec ceci nous pouvons ensuite construire un circuit électrique répondant au schéma logique ci-joint.





## Troisième partie : schéma logique des cartes et étude de l'une d'entre elle.

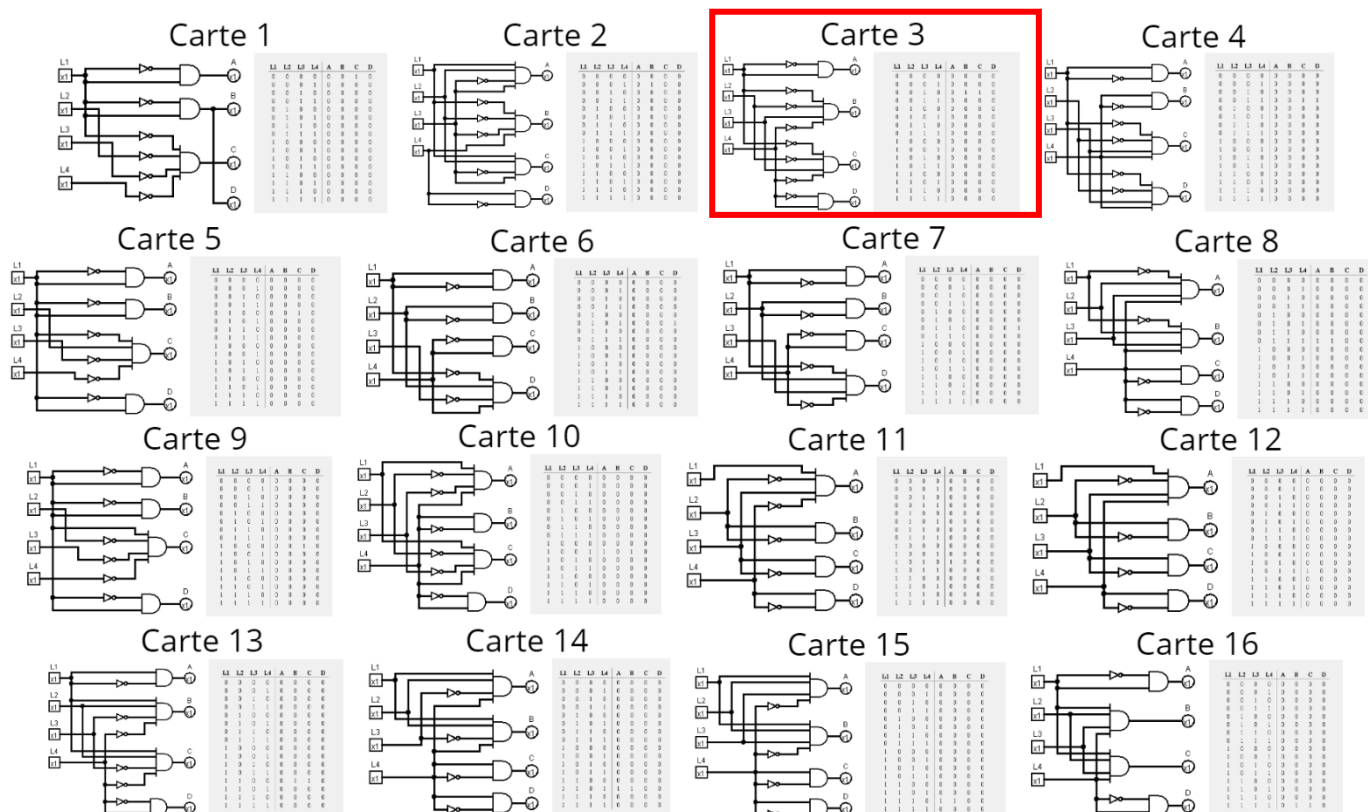
En parallèle du circuit interne, une dérivation du circuit du coffre est en charge de lire les cartes et de sortir une combinaison de courant qui permette d'allumer une ou plusieurs résistances.



Ici la carte permet de compléter le circuit et d'activer telle ou telle résistance. Les sorties sont ensuite comparées à celle du circuit interne (voir ci-contre).

Les entrées et sorties des cartes sont fournies dans le tableau ci-dessus. Grâce à l'outil logisim « création de circuit », on peut ainsi générer toutes les cartes pour que celles-ci activent les bonnes résistances uniquement si les bons interrupteurs sont enclenchés.

Ci-joint : les schémas logiques des 16 cartes fournis aux agents secrets :

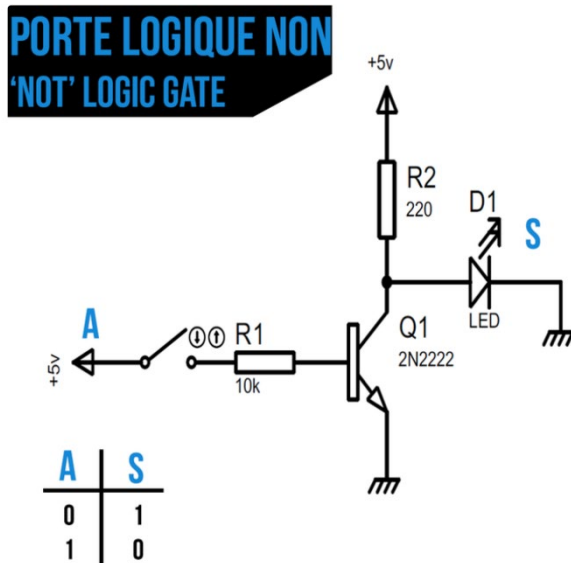


A l'aide du schéma logique d'une carte on peut ainsi créer le schéma du circuit électrique d'une carte et même un circuit électrique virtuel (notamment sur Tinkercad).

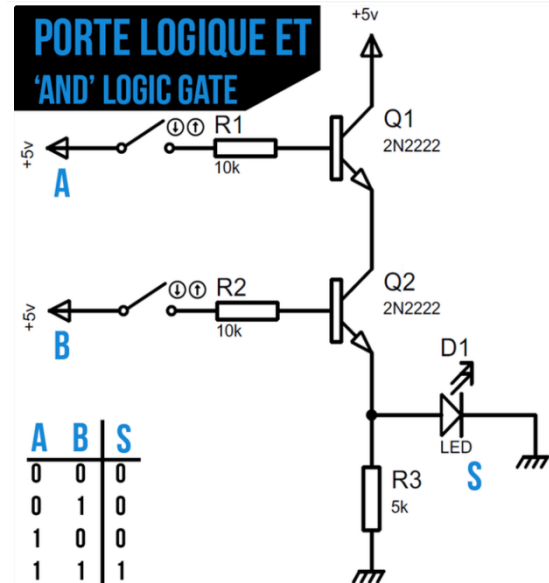
**Prenons l'exemple de la carte encadrée ci-dessus :**

- ➔ Pour transformer la carte n°3 en circuit électrique, nous nous sommes renseignés sur des schémas basiques. Par exemple, nous avons trouvé certains équivalents de porte logique sous forme de circuits électriques composés de dipôles :

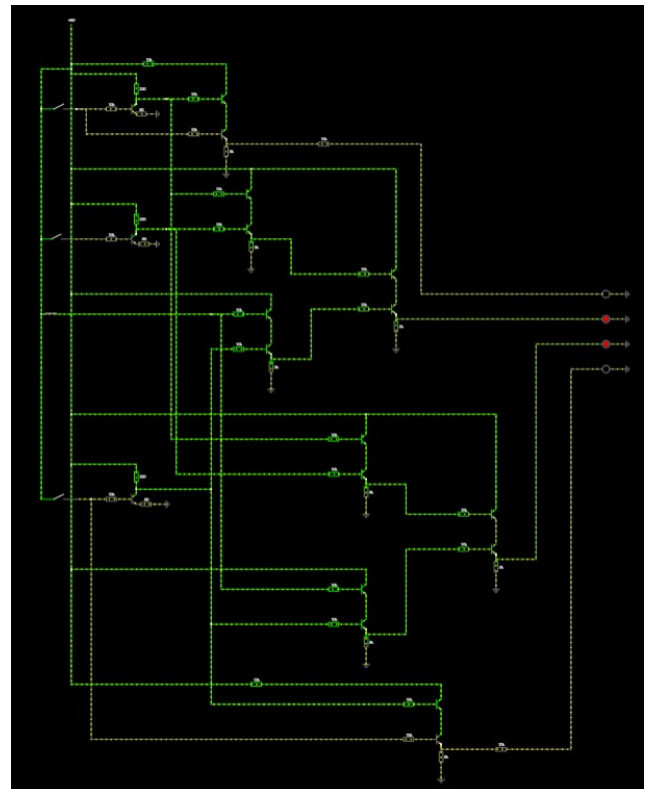
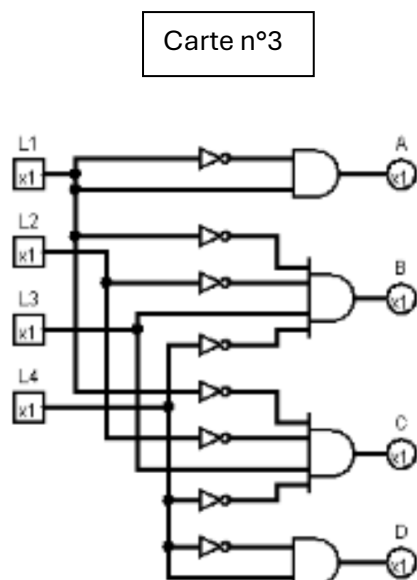
Une porte NON :



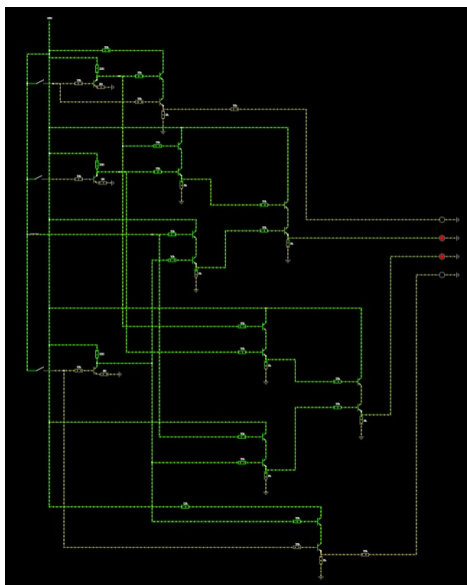
Une porte ET :



- ➔ Nous pouvons ainsi **transformer le circuit logique en circuit électrique**

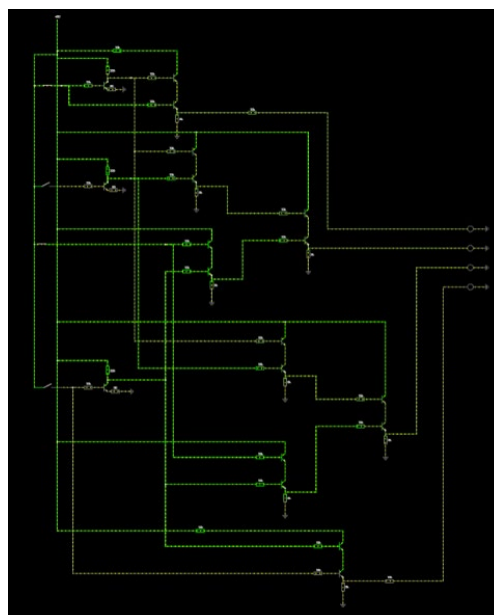
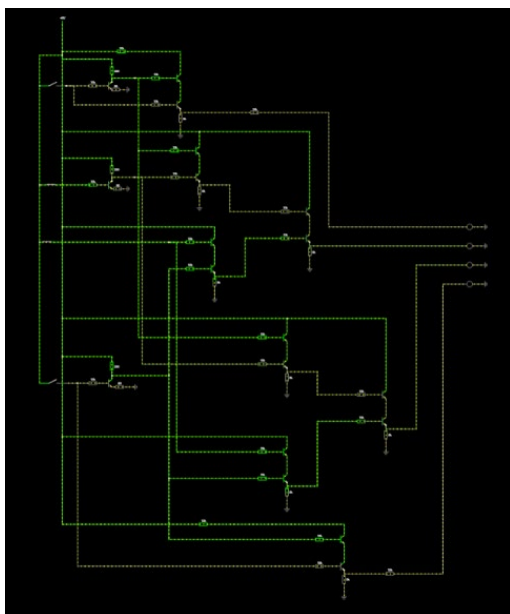


- ➔ Nous pouvons ainsi vérifier si notre circuit fonctionne simplement en changeant la combinaison d'interrupteurs. Voici quelques exemples :



Voici la bonne combinaison avec seulement l'interrupteur I3 de fermé et on voit que les LED 2 et 4 s'allument comme voulu.

Et voici le cas de deux fausses combinaisons, dans le premier cas on ferme I3 ainsi que I2 et on observe bien qu'aucune LED ne s'allume. Dans le deuxième cas, les interrupteurs I1 et I3 sont fermés et aucune LED ne s'allume.

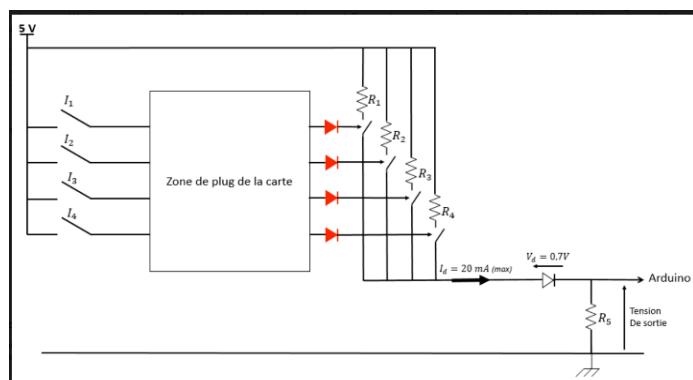


Dans ces circuits de la carte n°3, il faut imaginer **que la partie générateur + interrupteurs ne se trouve pas dans la carte** en elle-même. Cette partie du circuit est en amont du plug de la carte. De même pour les LEDs mises pour tester le circuit celles-ci ne se trouvent pas à proprement parlé dans la carte. En vérité, celles-ci sont destinées à être remplacées par des résistances en aval du plug de la carte dans le circuit du coffre.



## Quatrième partie : valeur de la résistance R5.

Ensuite le coffre doit pouvoir détecter en fonction de la résistance de sortie quel modèle de carte a pu être inséré. Pour cela il nous faut analyser la tension de la résistance R5 (sur le schéma)



Nous avons tout d'abord tenté d'atteindre la valeur de la résistance R5 par une approche classique de calcul en utilisant les lois de Kirchhoff. Mais nos efforts n'ont **pas abouti** car la dernière étape nous menait à une équation à deux inconnus car nous ne connaissions pas la valeur de l'intensité à R5.

Nous avons donc dû utiliser une autre méthode, à savoir :

Utiliser la formule d'un pont diviseur de tension et tester la formule sur plusieurs valeurs de R5.

Pour rendre tout cela lisible, nous avons formulé notre méthode sous la forme d'un tableau Excel :

	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
Req		0,157106321	0,3031371	0,4392237	0,5663484	0,6853682	0,7970343	0,9020078	1,0008729	1,0941476	1,1822931	1,2657212	1,3448006	1,4198628	1,4912063	1,5591008	1,6237904	1,6854969	1,7444219	1,8007494	1,8546474	1,906			
modèle 1 R1		0,009129512	0,0182203	0,0272727	0,0362869	0,0452632	0,0542017	0,0631027	0,0719665	0,0807933	0,0895933	0,0983368	0,1070539	0,115735	0,1243802	0,1329897	0,1415638	0,1501027	0,1586066	0,1670757	0,1755102	0,183			
modèle 2 R2		0,019457014	0,0387387	0,0578475	0,0767857	0,0955556	0,1141593	0,1325991	0,1508772	0,1689956	0,1869565	0,2047619	0,2224138	0,2399142	0,257265	0,2744681	0,2915254	0,3084388	0,3252101	0,341841	0,3583333	0,374			
modèle 3 R1 R2		0,028505138	0,0566348	0,0843965	0,1117972	0,138844	0,1655438	0,1919001	0,2179284	0,2436351	0,2690022	0,2940628	0,3188197	0,3432607	0,3674092	0,3912648	0,4148327	0,4381181	0,461126	0,4838614	0,5063281	0,528			
modèle 4 R3		0,042574257	0,0843137	0,1252427	0,1653846	0,2047619	0,2433962	0,2813084	0,3185185	0,3550459	0,3909091	0,4261261	0,4607143	0,4946903	0,5280702	0,5608936	0,5931034	0,6247863	0,6555322	0,6855567	0,7149667	0,74			
modèle 5 R1 R3		0,051527861	0,1018354	0,1509655	0,1989589	0,2458548	0,2916302	0,3365008	0,3803206	0,4231821	0,4651163	0,506163	0,5463208	0,5856469	0,6241576	0,6618779	0,6988019	0,7350427	0,7705326	0,8053228	0,8394339	0,872			
modèle 6 R2 R3		0,061648746	0,1215548	0,1797909	0,2364261	0,2915254	0,3451505	0,3973597	0,4482085	0,4977492	0,5460317	0,5931034	0,6390093	0,683792	0,7274924	0,7701493	0,8117994	0,8524781	0,892219	0,9310541	0,9690141	1,00			
modèle 7 R4		0,089583333	0,1755102	0,258	0,3372549	0,4134615	0,4867925	0,5574074	0,6254545	0,6910714	0,754386	0,8155172	0,8745763	0,9316667	0,9868952	1,0403226	1,0920635	1,1421875	1,1907692	1,2378788	1,2835821	1,327			
modèle 8 R3 R4		0,13030303	0,2529412	0,3695714	0,4777778	0,5810811	0,6789474	0,7717949	0,86	0,9439024	1,0238095	1,1	1,1727273	1,2422222	1,3085957	1,3723404	1,4333333	1,491367	1,548	1,6019608	1,6538462	1,703			
différence		0,010327502	0,0205184	0,0305748	0,0404388	0,0501294	0,0595976	0,0689464	0,0781907	0,0873322	0,0963732	0,1054251	0,114389	0,1232648	0,1320524	0,1407524	0,1492656	0,1576921	0,1660331	0,1742887	0,1824601	0,190			
modèle 1		0,009048124	0,0178961	0,0265489	0,0350115	0,0432885	0,0513945	0,0593304	0,0670512	0,0746304	0,0820457	0,0893309	0,0963999	0,1033465	0,1101443	0,1167967	0,1233073	0,1296793	0,1359159	0,1420204	0,1479958	0,15			
2 et 3		0,01406312	0,0276789	0,0408463	0,0535974	0,0659179	0,0778254	0,0894053	0,1005901	0,1114198	0,1219069	0,1320633	0,1419006	0,1514296	0,160661	0,1696048	0,1782708	0,1866683	0,1948062	0,2026932	0,2103376	0,217			
4 et 5		0,008953604	0,0175217	0,0257228	0,0335743	0,0410329	0,0482394	0,0551924	0,0618021	0,0681362	0,0742072	0,0800269	0,0856065	0,0909567	0,0960874	0,1010083	0,1057284	0,1102564	0,1146004	0,1187682	0,1227672	0,126			
5 et 6		0,010120895	0,0191794	0,0288255	0,0374672	0,0456706	0,0534603	0,0608589	0,0678978	0,0745671	0,0808955	0,0869504	0,0926895	0,0981451	0,1033349	0,1082714	0,1129675	0,1174354	0,1216864	0,1257313	0,1295802	0,133			
6 et 7		0,027934598	0,0539554	0,0782091	0,1008288	0,1219361	0,141642	0,1600477	0,1772461	0,1933222	0,2083542	0,2224138	0,235567	0,2478746	0,2593928	0,2701733	0,2802641	0,2897094	0,2985502	0,3068247	0,314568	0,3			
7 et 8		0,040719697	0,077431	0,1105714	0,1405229	0,1676195	0,1921549	0,2143875	0,2345455	0,252831	0,2694236	0,2844828	0,298151	0,3105556	0,3218104	0,3320178	0,3412698	0,3496492	0,3572308	0,364082	0,3702641	0,375			
modèle 8		0,008953604	0,0175217	0,0257228	0,0335743	0,0410329	0,0482394	0,0551924	0,0618021	0,0681362	0,0742072	0,0800269	0,0856065	0,0909567	0,0960874	0,1010083	0,1057284	0,1102564	0,1146004	0,1187682	0,1227672	0,126			
Intensité de Ireq		0,157106321	0,1515686	0,1464079	0,1415871	0,1370736	0,132839	0,1288583	0,1251091	0,121572	0,1182293	0,1150656	0,1120667	0,1092202	0,1065147	0,1039401	0,1014869	0,0991469	0,0969123	0,0947763	0,0927324	0,090			
valeur de résistance valable		NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON			
		0,1591338	résistance 189 ohm																						

### 1) Formule d'un pont diviseur de tension

	1	2	3	4	5	6
Req	0,157106321	0,3031371	0,4392237	0,5663484	0,6853682	0,7970343
modèle 1 R1	0,009129512	0,0182203	0,0272727	0,0362869	0,0452632	0,0542017
modèle 2 R2	0,019457014	0,0387387	0,0578475	0,0767857	0,0955556	0,1141593
modèle 3 R1 R2	0,028505138	0,0566348	0,0843965	0,1117972	0,138844	0,1655438
modèle 4 R3	0,042574257	0,0843137	0,1252427	0,1653846	0,2047619	0,2433962
modèle 5 R1 R3	0,051527861	0,1018354	0,1509655	0,1989589	0,2458548	0,2916302
modèle 6 R2 R3	0,061648746	0,1215548	0,1797909	0,2364261	0,2915254	0,3451505
modèle 7 R4	0,089583333	0,1755102	0,258	0,3372549	0,4134615	0,4867925
modèle 8 R3 R4	0,13030303	0,2529412	0,3695714	0,4777778	0,5810811	0,6789474

Dans ces cellules, nous faisons varier R5 de +1 Ohm.

Ces 9 lignes appliquent la formule d'un pont diviseur de tension à chaque modèle en prenant comme valeur la Résistance équivalente correspondante du modèle. La formule entrée est la suivante :

$$=4,3 * ((J2 / (J2 + 26,37))$$

Valeur de la tension soustraite par Vd (la tension de la diode).

J2 correspond à la valeur de R5 utiliser qui varie à chaque colonne.

Cette valeur correspond à la résistance du modèle. Ici, 26,37 Ohm correspond à la résistance équivalente avec tous les interrupteurs fermés.

## 2) Différence entre les modèles et correspondance avec l'Arduino

On sait que l'Arduino peut identifier 1023 valeurs de tension entre 0 et 5V. On fait donc  $5 / 1023$  pour obtenir le DELTA N qui sera notre différence minimale entre chaque tension de sortie pour que l'Arduino puisse les différencier. On obtient alors 0,00488V.

Pour vérifier si la résistance R5 permet cet écart de tension, on fait la différence des tensions de sortie trouvées précédemment.

différence	1 et 2	2 et 3	3 et 4	4 et 5	5 et 6	6 et 7	7 et 8
modèle	0,010327502	0,0205184	0,0305748	0,0404988	0,0502924	0,0599576	
	0,009048124	0,0178961	0,0265489	0,0350115	0,0432885	0,0513845	
	0,01406912	0,0276789	0,0408463	0,0535874	0,0659179	0,0778524	
	0,008953604	0,0175217	0,0257228	0,0335743	0,0410929	0,048294	
	0,010120885	0,0197194	0,0288255	0,0374672	0,0456706	0,0534603	
	0,027334588	0,0539554	0,0782091	0,1008288	0,1219361	0,141642	
	0,040036097	0,077421	0,105721	0,1408399	0,1727465	0,2023649	
	0,008953604	0,0175217	0,0257228	0,0335743	0,0410929	0,048294	

$$=(J6-J5)$$

Ici J6 représente la tension du modèle 2 moins celle du modèle 1 avec R5 = 1  $\Omega$ .

$$=MIN(J13:J19)$$

Cette cellule sert à repérer la valeur des différences la plus faible, ce minimum sert dans la suite dans le choix de la résistance.

## 3) Intensité maximum

Enfin, dans cette dernière partie du tableau, nous retrouverons la dernière condition du choix de la résistance R5 à savoir une intensité inférieure à 20mA.

Intensité de Ureq	0,157106321	0,1575686	0,1464079	0,1415871	0,1370736	0,132839	0,128583	0,1251091	0,121572	0,11822
valeur de résistance valable	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON
0,1591338, résistance 189 ohm										

$$=(4,3*26,37/(J2+26,37))/26,37$$

Cette formule correspond à celle d'un pont diviseur de tension mais cette fois ci elle permet de déterminer la tension aux bornes de la diode. Nous avons divisé directement par la résistance utilisée pour obtenir l'intensité. Nous avons utilisé le cas dans lequel tous les interrupteurs sont allumés, car cela nous fournira la plus grande valeur de I possible pour chaque valeur de R5.

$$=SI(J22<0,02;SI(J20>0,00488;"OUI";"NON");"NON")$$

Cette cellule repère les résistances respectant les conditions, soit :

- Une intensité inférieure à 20mA
- Une différence entre les tensions des modèles supérieurs à DELTA N (0,00488V)

$$=MAX.SI.ENS(20:20;24:24;"OUI")$$

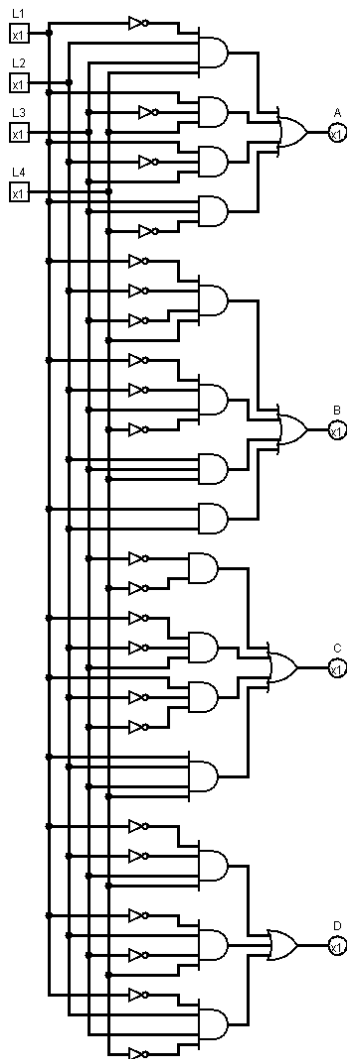
Cette dernière fonction sert à repérer la plus haute valeur des différences minimales parmi les résistances respectant les conditions énumérées précédemment. Cela sert à s'assurer que la carte Arduino puisse différencier facilement les tensions.

## 4) Conclusion du tableau

Ainsi, nous avons obtenu une résistance optimale de 189 Ohm mais une autre condition était d'utiliser une résistance E24. Cette dernière n'existe que sous certaines valeurs. En étant le plus proche de 189 Ohm et en respectant les différentes conditions, la résistance E24 a pour valeur 200 Ohm. Nous choisirons donc une résistance E24 de 200 Ohm pour notre circuit.

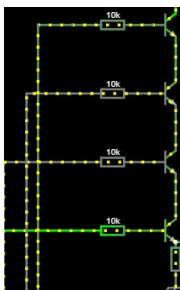
## Cinquième partie : circuit interne :

Pour rappel, le schéma logique du circuit interne ressemblait à ceci :

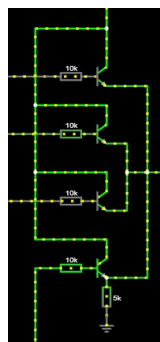


L1	L2	L3	L4	A	B	C	D
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	0	0	1	1	0
0	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0	0	1
0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	1	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0	0	0
1	0	1	1	1	0	0	0
1	1	0	0	0	1	1	0
1	1	0	1	1	1	0	0
1	1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	1	0	1	1	0

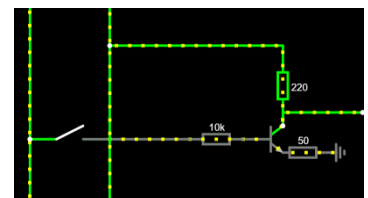
Et après avoir modélisé chacune des portes logiques avec des transistors :



Fonction ET à 4 entrées

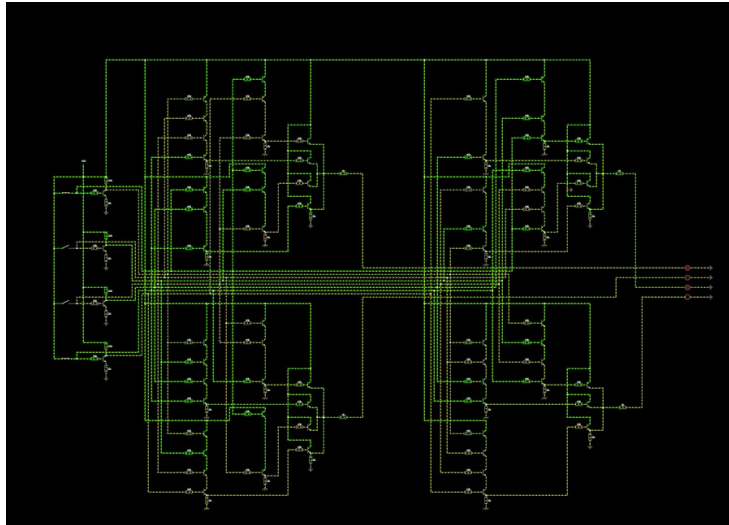


Fonction OU à 4 entrées



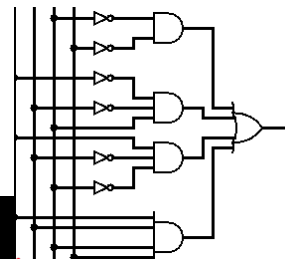
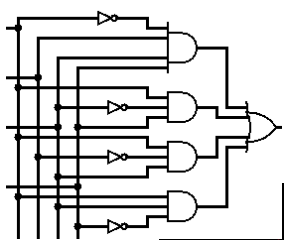
Fonction inverse

Nous pouvons dès maintenant traduire notre schéma logique en un réel circuit électrique et en voici le résultat :

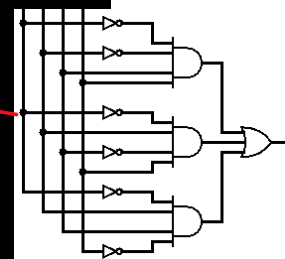
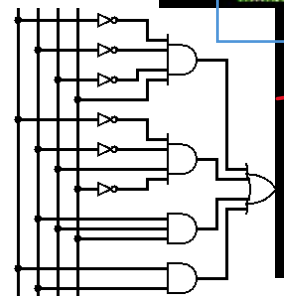


Cela peut paraître incompréhensible mais avec un plan détaillé tout est bien plus clair :

Le circuit est découpé en 4 parties : chacune ressortant une partie du code par une porte OU. Pour l'optimiser, nous avons appliqué la fonction inverse qu'une seule fois, au début de celui-ci. Cela explique les 8 câbles traversant le circuit.



L1  
x1  
L2  
x1  
L3  
x1  
L4  
x1



Si l'on prend l'exemple ci-dessus, l'interrupteur 1 et 4 sont fermés ce qui correspond au code 1001 et cela nous renvoie 1010, on peut vérifier si la réponse est valable grâce au tableau :

Modèle	Carte	Code Carte	Code Sortie
1	11	1010	1000
	12	1011	
2	2	0001	0100
3	8	0111	1100
	14	1101	
	15	1110	
4	1	0000	0010
	9	1000	
	5	0100	
5	10	1001	1010
6	3	0010	0110
	13	1100	
	16	1111	
7	6	0101	0001
	7	0110	
8	4	0011	0011

On remarque que le circuit nous renvoie bien le bon résultat.

## Conclusion du livrable 1 :

En résumé, nous avons pu traiter tout le début du problème. Actuellement notre première ébauche de coffre-fort est composée :

- D'un jeu de 16 cartes électroniques.
- D'un lecteur de carte.
- D'un système interne capable de vérifier la combinaison d'interrupteur associée à chaque carte.
- D'une tension de sortie (propre à chaque modèle de carte) pouvant être interprété par une carte Arduino

**A ce jour nous ne pouvons donc pas compléter le coffre et le rendre fonctionnel.**

Pour que celui-ci soit opérationnel il faudrait concevoir le comparateur de résultat, le code dans la carte Arduino et le code chiffré à exécuter sur l'interface voire une reconnaissance faciale ou digitale.