

Chapitre 1

L'INTUITION ET LE BON SENS EN ELECTRONIQUE

Ou comment sentir la physique des choses...

question : Quel rapport y a-t-il entre la plomberie et l'électronique ?

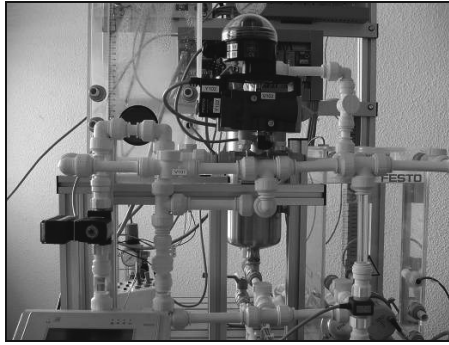


Figure 1 : Plomberie !

A première vue, aucun et pourtant, **cela coule de source** ! A partir d'analogies simples, vous allez comprendre. Vous aurez alors tout loisir de théoriser, modéliser et vous intéresser aux chapitres suivants en toute connaissance de cause.

Regardons par exemple les équivalences simples entre les domaines électronique et hydraulique.

Electronique	Hydraulique
Tension	Pression
Courant	Débit
Résistance	Obstacle à l'écoulement
Inductance	Bassin de rétention
Condensateur	Réservoir avec un fond en membrane
Diode	Clapet anti retour
Transistor	Vanne commandée

Figure 2 : Equivalence électronique hydraulique

Un **fil électrique** n'est plus ni moins qu'un tuyau qui transporte des électrons au lieu de l'eau.

Un **courant électrique** circule dans un fil électrique comme l'eau dans un tuyau. A l'image de l'eau qui ne peut pas s'accumuler à l'intersection de plusieurs tuyaux, le courant ne peut s'accumuler en arrivant sur une intersection de fils (appelé nœud).

D'où la loi fondamentale :

$$\text{Somme algébrique des courants arrivant sur un nœud} = 0$$

question : Qu'est-ce que l'effet de peau dans un conducteur filaire ou non ?

Un courant continu se propage dans toute la section du fil. Mais plus la fréquence augmente, plus le courant se propage sur les bords en délaissant le centre du conducteur. Une bonne image est le métro parisien aux heures de pointe où chacun souhaite rentrer le plus vite possible (haute fréquence) à la maison ; il est plus facile de faufiler sur les bords du couloir qu'en plein milieu.

Une **tension électrique** se manifeste toujours entre **2 points** d'un circuit. On parle de différence de potentiel (ou d.d.p en abrégé).



A l'image d'une chute d'eau à plusieurs « étages », et dont l'énergie potentielle dépend de la hauteur, la tension totale V_t entre le haut et le bas est la somme des tensions V_i entre chaque « étage ».

V_t Somme algébrique des tensions V_i
= tension totale V_t

Figure 3 : Chute de potentiel...

Une **résistance** est un composant semblable à un rocher dans une rivière : c'est un obstacle au passage du courant. Elle fait chuter la tension comme le rocher fait chuter la pression ou la force de l'eau en aval. De plus, une partie de l'énergie de l'eau est consommée pour user et détruire le rocher. Dans une résistance, une partie de l'énergie est dissipée sous forme de chaleur. Si le rocher (*la résistance*) est trop gros (*se*), l'eau (*le courant*) cherchera un autre passage plus facile en parallèle : en présence de branches parallèles, le courant passe toujours majoritairement par la branche la moins résistive...

Un **condensateur** est un composant capable de stocker de l'énergie sous forme de charge électrique. Un réservoir ou château d'eau est une bonne image de ce phénomène : plus le réservoir est grand (*plus la valeur du condensateur est grande*), plus l'énergie stockable est importante.

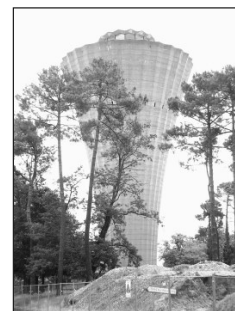


Figure 4 : Château d'eau

De plus, même si on coupe l'alimentation en amont, le réservoir (*le condensateur*) pourra se substituer à la source et fournir en eau le village (*en courant le montage*) tant que la pression dans le réservoir (*la tension à ses bornes*) sera suffisante.

Le château d'eau (*le condensateur*) constitue une isolation statique entre la source et l'utilisateur : les pressions (*les tensions continues*) en amont et en aval peuvent être différentes.

Même si un village possède un château d'eau, un cumulus dans chaque habitation est indispensable... Pour ne pas avoir de baisse de pression chez soi quand le voisin tire de l'eau chez lui... Il faut donc un « gros condensateur » de découplage sur l'alimentation à l'entrée d'une carte et des condensateurs de proximité (de découplage) placés à côté de chaque boîtier ou circuits intégrés.

Enfin, n'oubliez jamais qu'un condensateur est comme une (bonne) bouteille : quand on croit l'avoir vidée (*déchargé*), il reste toujours quelques gouttes au fond. Attention donc lorsque vous ouvrez un appareil électronique : même débranché, il peut subsister des tensions potentiellement dangereuses sur certains points des circuits.



Figure 5 : Bonne bouteille

Une **inductance** est un composant capable de stocker de l'énergie grâce à un courant qui la traverse. Un bassin de rétention ou un lac alimenté par une rivière est l'image parfaite de ce phénomène. Même si on coupe l'alimentation en amont, le flux continue de s'écouler en aval jusqu'à vidange complète du bassin : le courant dans une inductance ne peut pas s'annuler instantanément...



Figure 6 : Bassin inductif

Les deux composants **condensateur** et **inductance** apportent l'un et l'autre une « inertie » : ils peuvent donc « lisser » (*le débit*) et donc filtrer un signal électrique.

Une **association bien connue** : le réseau **R, L, C** parallèle.

Supposons un des deux réservoirs L ou C plein et l'autre vide. A la manière des vases communicants, le liquide passe alternativement d'un réservoir à l'autre. S'il n'y pas d'obstacle dans le tuyau de liaison, le mouvement du liquide continuera indéfiniment : on a fabriqué un oscillateur ; sinon l'échange s'arrêtera au bout

d'un certain temps (débit ou courant nul) car à chaque passage de fluide une partie de l'énergie sera perdue sur l'obstacle d'où des oscillations amorties.

attention, les composants R, L, C sont, comme tout objet, imparfaits : ils sont, par constitution physicochimique, à la fois résistif, capacitif et inductif, avec bien sûr, un effet prédominant R, L ou C. Ces composants sont donc des réseaux résonnants qui ont leurs fréquences de résonance propre. Ainsi, dans certains cas (alimentation de moniteur TV « fatiguée » par exemple), on peut entendre « chanter » un condensateur car sa fréquence de résonance est dans le domaine audible.

Et n'oubliez pas que, **plus un corps quelconque est gros, plus sa fréquence de résonance propre est basse**. Ce qui explique que lorsqu'on monte en fréquence, on doit utiliser des **petits** condensateurs pour être sûr qu'ils se comportent comme des vrais condensateurs à la fréquence de travail.

Une **diode** est un composant qui ne laisse passer le courant que dans un sens. Elle agit comme un clapet anti retour monté sur un réseau d'assainissement qui laisse passer l'eau claire mais empêche le retour des eaux usées.

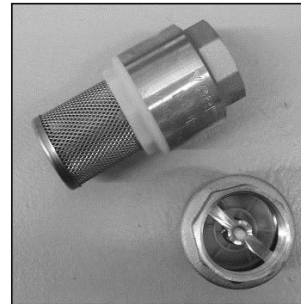


Figure 7 : Clapet anti retour

Un **transistor** n'est autre qu'une vanne dont on contrôle le débit en ouvrant plus ou moins le robinet... Trois états sont possibles :



Robinet fermé : il ne passe aucun flux (*courant*), on dit que le transistor est « bloqué ».

Robinet moyennement ouvert : le débit est proportionnel à l'angle d'ouverture de la vanne. Le transistor est dans sa zone linéaire.

Figure 8 : Robinet

Robinet totalement ouvert : le débit est maximum et ne peut plus augmenter quelque soit l'action sur le robinet. Le transistor est « saturé ».

Plus grande sera la manette, plus faible sera le couple (*la force*) à exercer pour ouvrir la vanne : plus grand sera le Beta (*gain en courant du transistor bipolaire*), plus petit sera le courant de commande à fournir sur son électrode de commande (*appelée la base*).

Un transistor peut donc servir d'interrupteur et/ou d'amplificateur suivant sa zone de fonctionnement.

attention : pour être utilisé en amplificateur, le transistor doit être « moyennement ouvert ». Il doit donc être parcouru par un courant (*flux*) **de repos** et une tension **de repos**. Autour de ce point de repos statique (*ou point de fonctionnement*), on appliquera des faibles variations sur la manette du robinet et l'on obtiendra des variations amplifiées de courant en sortie. Sans point de repos, le transistor ne peut pas travailler en amplificateur.

Ci-après, une illustration d'une association transistor, condensateur, avec l'exemple d'une ligne à retard analogique (utilisée dans les effets écho ou réverbération en musique).

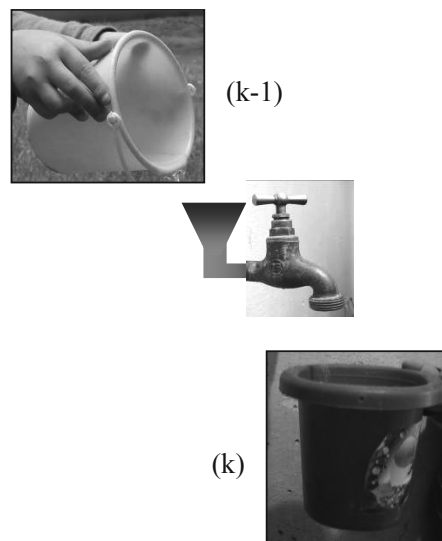


Figure 9 : Cellule à retard élémentaire

Une ligne à retard comporte n cellules élémentaires en série : Une vanne (k) (*un transistor*) permet de transférer le contenu du seau (k-1) (*un condensateur*) dans le seau (k). Le temps de retard complet de la ligne est égal à n fois celui généré dans la cellule élémentaire k : Il dépend de la contenance du seau (*du condensateur*) du nombre de cellules et de la fréquence de transfert imposée par la vanne (*par l'horloge du système*). Ce type de circuit porte le nom ainsi justifié, de « Brigade de pompiers » (à l'ancienne...) ou FBB « Fire Bucket Brigade » en anglais.

Un **transformateur** trouve encore son analogie avec la plomberie mais élargie aux phénomènes naturels. L'eau se trouvant dans la nature sous trois formes possibles : la neige tombe en montagne avec une faible pression (flocons légers) et un grand débit (flocons denses). Elle s'entasse sur les glaciers qui exercent une forte pression mais délivrent un mince filet d'eau (faible débit).

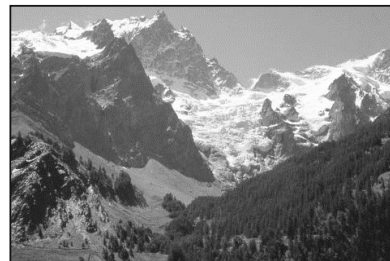


Figure 10 : Glacier transformateur

Petite pression (*tension*) et grand débit (*grand courant*) en entrée ; grande pression (*tension*) et faible débit (*courant*) en sortie : c'est un exemple de transformateur élévateur de tension.

Mais on trouve plus souvent dans les applications domestiques, des transformateurs abaisseurs de tension 240 V (secteur) --> 18 V par exemple.

attention : « rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme » : le produit « pression débit » ($U.I$) homogène à une puissance, est constant si le système est sans perte... (En réalité, le rendement en puissance est toujours inférieur à 1 !)

Les **portes logiques** : en composant discret (unitaire) ou en FPGA (circuit intégré programmable), ce ne sont que des associations de vannes ouvertes ou fermées (fonctionnement binaire)... Il faut juste faire attention au diamètre pour les raccorder entre elles ! Le débit de la précédente (*le courant de sortie*) doit être suffisant pour actionner la vanne (*porte*) suivante. (Notion de « Fan out » statique et dynamique).

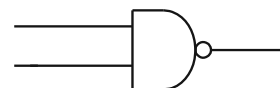


Figure 11 : Porte « non et »

La conception et la simulation de circuit

Très prisée des élèves en général, la simulation des circuits ne fait pas tout. D'ailleurs, n'oubliez pas que nos illustres anciens (tel Bob Pease de chez National Semi Conductor) ont développé dans les années 1960 des multitudes de circuits dont les fameux amplificateurs opérationnels 741, 723, etc., sans simulateur.... Aussi performant soit-il, le simulateur ne remplace pas le génie créatif, ni l'intelligence humaine. Le fameux AOP 741 est vendu en millions d'exemplaires depuis des dizaines d'années et pourtant, si l'on devait croire un simulateur des années 2000, il ne fonctionnerait pas !

Mais il est aussi vrai que, les simulateurs (analogiques, mixtes, comportementaux) de circuits tous dérivés de près ou de loin du noyau SPICE, sont d'une aide précieuse pour les concepteurs d'aujourd'hui. Il faut simplement une bonne dose de vigilance et faire preuve d'esprit critique à chaque fois que l'on utilise un tel simulateur sur ordinateur.

Car **attention** : la principale difficulté en électronique réside dans le passage 2D à 3D (3^e dimension...) : ce n'est pas parce qu'un circuit « semble » fonctionner en simulation (sur écran plat 2D !) qu'il sera opérationnel une fois réalisé en 3D.

Une règle d'or : ne jamais prendre pour argent comptant les résultats fournis par un simulateur. Car le simulateur, aussi fin soit-il, ne reproduira jamais parfaitement la réalité. Une analyse « intellectuelle » du schéma est donc indispensable pour maximiser les chances d'un fonctionnement correct une fois le montage câblé.

Autrement dit, le cerveau d'un bon électronicien doit savoir se montrer critique et systématiquement se demander « *si cela ne marche pas en simulation, pourquoi cela ne marche pas ?* » **mais** « *si cela marche en simulation, pourquoi cela marche-t-il ?* » »

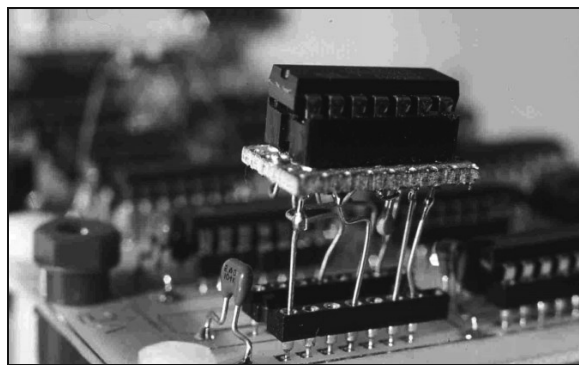


Figure 12 : L'électronique 3D selon l'auteur...

Puis, avec des simulations plus fines, **en ajoutant des éléments parasites** (R, L, C) représentatifs d'imperfections de composants et de câblage, aux endroits stratégiques, on pourra estimer l'impact de ces éléments sur les caractéristiques essentielles du circuit (bande passante, stabilité, etc.).

Il faudra également simuler **la mise sous tension et l'extinction du montage** pour éviter toute (mauvaise) surprise.

La mesure des caractéristiques d'un circuit

Lorsque qu'un circuit a été étudié puis simulé, et enfin réalisé en 3D, il convient de vérifier ses performances.

Mais il y a un grand principe à ne jamais oublier : le fait même, d'effectuer une mesure sur un objet quelconque perturbe le résultat de la mesure.

En particulier en électronique, le fait de placer une sonde sur un circuit, modifie ce circuit et donc les caractéristiques mesurées. Il est donc indispensable de connaître les spécifications et principes des appareils de mesures pour évaluer leur impact sur la mesure et quantifier cette erreur (cf. Chapitre 9).