

# La boucle cybernétique

## Introduction

### L'espoir cybernétique

Après la guerre, sous l'impulsion de Norbert Wiener, apparaît la cybernétique. C'est la nouvelle science à la mode, et les scientifiques, redisent ce qu'il ont déjà dit à propos des centraux téléphoniques: Cette machine par sa complexité nous rapproche de la compréhension du cerveau. Rosemblat, s'inspirant des neurones des seiches va essayer de simuler des fonctions élémentaires, mais rapidement cette direction s'essouffle, et les chercheurs partent travailler dans une nouvelle discipline naissante: L'informatique.

### Le second souffle des réseaux neuronaux

Aujourd'hui les travaux sur les neurones connaissent un renouveau grâce aux réseaux neuronaux. C'est la nouvelle tarte à la crème. Je la crois très apte à interfacer des systèmes intelligents au niveau des organes des sens, mais je la vois mal tenir des raisonnements abstraits et faire des inférences.

### Le grand concept de la réaction

La cybernétique est basée sur un concept très simple, mais très performant: la notion de réaction. C'est parce qu'il est très important que je me suis fatigué à dessiner et rédiger ces pages. Prenez-les au sérieux: La contre réaction c'est le début de l'adaptation.

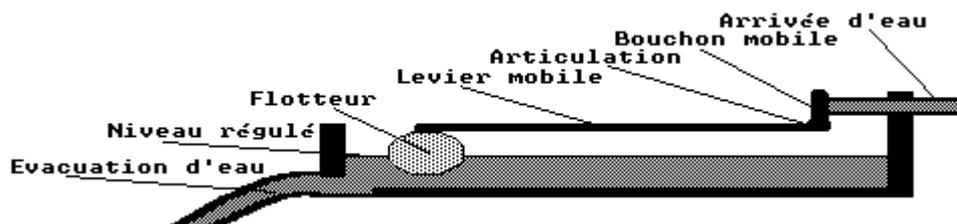
### Je dédie ce paragraphe à Jean-Pierre

Je fais régulièrement des conférences sur l'intelligence artificielle, et ... je suis souvent attaqué par des philosophes qui n'aiment pas tellement que l'on dise qu'une machine puisse être intelligente ... Puis ce jour là, je vois Jean-Pierre qui lève la main et qui dit que lui il considère que la boucle cybernétique est la première structure intelligente qu'il connaisse. J'ai été bien heureux de cette aide ... mais ça m'a étonné que l'on puisse considérer que ce circuit si simple qui peut se mettre en équation en une seule ligne puisse être intelligent. Depuis j'ai un peu révisé mon jugement, et je pense que ce circuit est une des premières étapes qui mènent à l'intelligence artificielle, c'est pourquoi, malgré sa simplicité, je vous prie de le prendre au sérieux.

## Regardons tout d'abord un exemple

### Description générale

Le dessin ci-dessus présente un schéma synoptique d'un régulateur de niveau d'eau, dont un exemple quotidien est celui de la chasse d'eau. Le but est d'obtenir dans un récipient un niveau d'eau régulé, c'est à dire un niveau d'eau constant, même s'il y a une fuite.



Dans ce récipient, flottant sur le liquide on trouve un flotteur, dont la hauteur est fonction du niveau de l'eau dans le récipient. Ce flotteur est solidaire d'un levier, lequel entraîne un bouchon mobile qui vient presser contre l'arrivée d'eau. Le rôle du bouchon mobile est de moduler le débit en appuyant plus ou moins sur l'arrivée d'eau.

Pour que cet exemple concret modélise bien un régulateur électronique, il faut faire l'hypothèse que le récipient présente une fuite, qui sera toujours compensée par la régulation.

### Dans le cas où le niveau monte au-dessus du niveau de consigne

Supposons que la fuite qui extrayait l'eau du réservoir, pour une raison non précisée, diminue brutalement de moitié. Dans ce cas le débit d'eau qui coule dans le réservoir pour compenser la fuite est supérieur à la fuite. Donc le niveau d'eau monte, le flotteur monte, le bras monte et vient appuyer le bouchon mobile contre l'arrivée d'eau qui se trouve, à la fin de cette réaction en chaîne, diminuée.



En conclusion on voit que le système ainsi construit tend à s'équilibrer pour compenser les perturbations extérieures qui modèleraient la fuite. On dit qu'il est auto-régulé.

### Cas où le niveau descend au-dessous du niveau de consigne

Supposons maintenant que la fuite initiale augmente brutalement: Dans ce cas, l'arrivée d'eau par le haut, qui compensait l'ancienne valeur de la fuite, est donc nettement incapable de maintenir cette compensation: le niveau d'eau se met à baisser. Aussitôt que le niveau baisse, le flotteur baisse, le levier baisse, et le bouchon mobile s'éloigne de l'arrivée d'eau et en laisse couler beaucoup plus. Ainsi la boucle est bouclée, et par ce mécanisme dit de réaction notre système est donc équilibré.

### **La boucle de réaction**

Le mécanisme que nous avons décrit s'appelle une boucle de réaction.

Le terme de boucle vient du fait que les effets de la perturbation se propagent d'élément en élément pour revenir après avoir décrit une boucle, à l'élément de départ: On a les boucles suivantes:

#### Diminution de la fuite

- Augmentation du niveau d'eau
- Augmentation de la hauteur du levier
- Augmentation de la pression du bouchon mobile
- Diminution du débit
- Diminution du niveau d'eau

#### Augmentation de la fuite

- Diminution du niveau d'eau
- Diminution de la hauteur du levier
- Diminution de la pression du bouchon mobile
- Augmentation du débit
- Augmentation du niveau d'eau

On voit donc que, partant d'un niveau d'eau, on y revient après une réaction en chaîne de tous les éléments de cette boucle. D'où le nom de cette structure: "Boucle de réaction".

### **Boucle de réaction négative**

Dans le type de boucle de réaction que nous avons décrit, on voit que la réaction du système s'oppose aux perturbations et tend à les annuler. On convient d'appeler ces boucles: "boucle de réaction négative".

#### Modélisation d'un amplificateur

Nous avons donc vu que la contre-réaction négative tendait à stabiliser le système s'il est déséquilibré par les perturbations. Une des conséquences de cette structure est que le débit de la fuite est annulé par le débit d'arrivée d'eau.

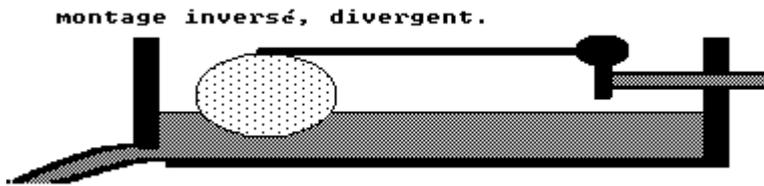
Si maintenant nous compliquons un peu le montage, et si nous partageons dans un rapport de 1 pour 10 l'eau qui arrive: Nous laissons le petit flux de 1 remplir le réservoir, et nous gardons pour notre usage personnel le flux de 10.

Que devient le montage. En réfléchissant nous découvrons que le système converge vers un autre lieu de stabilité qui sera: Niveau d'eau = niveau de consigne, flux de fuite = flux qui entre dans le réservoir, et puisque nous partageons le flux qui arrive dans les proportions 1, 10, nous avons pour notre usage personnel un flux qui est égal à 10 fois le flux de la fuite.

Si on choisit de voir le flux de fuite, non pas comme une fuite, mais comme un flux de commande, nous avons fabriqué un merveilleux amplificateur dynamique de courant de gain 10... Et il suffit de diviser le flux d'entrée dans les proportions 1, 100, pour obtenir un gain de 100.

## Boucle de réaction positive

### Introduction



Dans le schéma ci-dessus on voit un autre type de boucle de réaction dit : " Boucle de réaction positive " qui fonctionne très différemment.

### Regardons les deux configurations de fonctionnement

#### *Premier cas*

Supposons que le niveau d'eau soit égal au niveau de consigne, et que par exemple une perturbation diminue le flux de fuite. A ce moment là, il entre plus d'eau dans le réservoir qu'il n'en sort, et le niveau d'eau monte. Ce qui a pour effet de faire monter le flotteur, qui ouvre encore plus l'arrivée d'eau. donc le niveau monte encore. Et cela indéfiniment jusqu'à la catastrophe !!!

#### *Second cas*

Supposons que nous repartons à nouveau de l'état d'équilibre précédent, mais que ce coup-ci la perturbation augmente la fuite: Dans ce cas il sort plus d'eau dans le réservoir qu'il n'en arrive; et le niveau se met à baisser, ce qui a pour effet de diminuer encore l'arrivée d'eau. Ici encore cela se produit indéfiniment jusqu'à ce que le réservoir soit vide. A ce moment le flotteur pend dans le vide et ferme totalement l'arrivée d'eau. Ici au moins il n'y a pas de catastrophe.

### La contre réaction positive

A travers cet exemple nous voyons que la contre réaction positive, loin de s'opposer aux perturbations, les amplifie selon un processus d'avalanche. La mise en équation de ce système conduirait à mettre en évidence un processus exponentiel. On trouverait une exponentielle à coefficient positif dans le cas d'emballement du système, et une exponentielle à coefficient négatif dans le cas de l'étouffement.

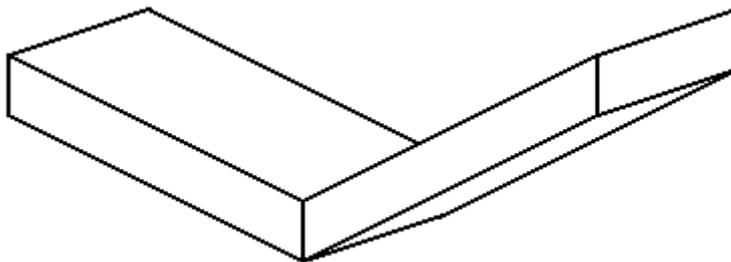
### Modélisation d'une mémoire bistable

Il est important de noter que ce système à contre réaction positive possède deux lieux de stabilité : "lieu de butée haute", et "lieu de butée basse". Ceci est très important : On dit que ce montage est bistable.

Si on place le système en déséquilibre haut ou bas, il reste dans cette position, on dit que ce montage est une mémoire.

Nous sommes donc en présence d'une modélisation physique d'une mémoire bistable.

### Un ticket de métro pour modéliser une mémoire bistable



Il présente en effet deux lieux de stabilité B et C, et d'autres analogies avec le bistable, que nous développerons avec plaisir.



### Regarder une mémoire bistable

Sans en dire plus pour l'instant, voici le schéma d'une mémoire électronique bistable :

