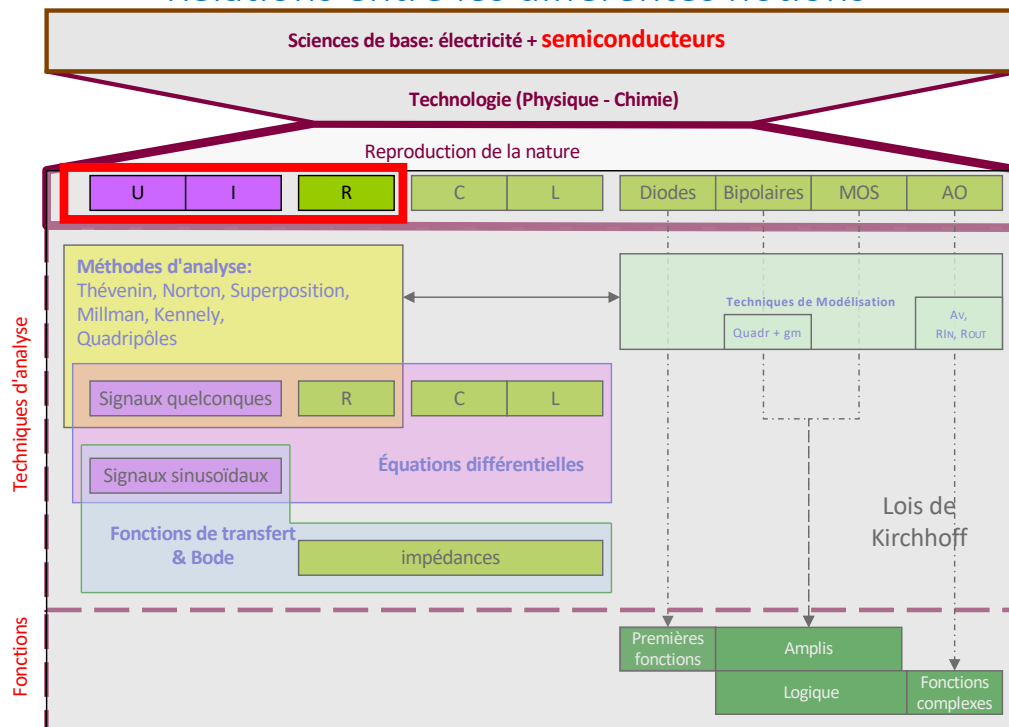


# Relations entre les différentes notions



1

Nous rappelons que l'objectif est de présenter une série de composants clés qui seront ensuite assemblés pour former des fonctionnalités électroniques. Les composants sont généralement décrits avec des formules simples, mais leur assemblage donne lieu à des expressions beaucoup plus complexes à exploiter. Entre la vision composant et celle des circuits il est nécessaire d'introduire un ensemble de techniques d'analyses basées sur des simplifications.

Le cours d'aujourd'hui est lié à la connaissance des sources de tension et de courant. Pour illustrer la relation entre ces deux dimensions nous choisissons d'exploiter la loi d'ohm.

# Les sources (tension - courant)

## Manifestation de signaux électriques (Courant et Tension)

- Grand éventail de signaux. Cas particulier des signaux sinusoïdaux
- Superposition des signaux
- Aspects phénoménologiques
  - Qui produit ces signaux? Sources de Tension et de Courant
  - Sources idéales vs sources réelles
- Aspects énergétiques

## Formules importantes aujourd'hui :

- $U = R.I$  (Loi d'ohm)
- $P = U.I$  (Puissance électrique)

2

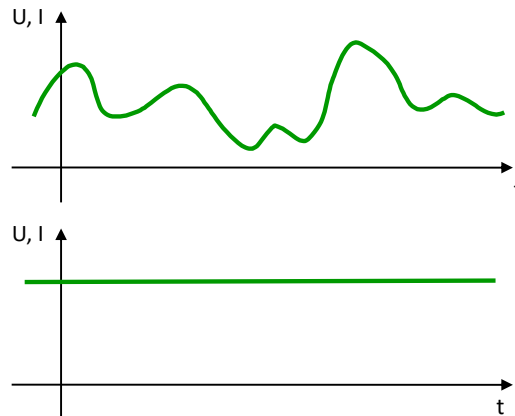
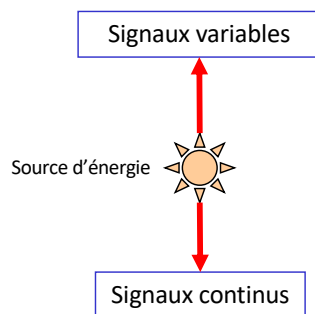
Ces premières notions seront ensuite développées avec la notion de signal en termes phénoménologiques et mathématiques. Nous expliciterons quelles sources produisent quels types de signaux. Comme dans toute science, afin de parler un langage commun, un certain nombre de Notations et de Conventions seront introduites.

La tension est une notion liée à une quantité de matière disponible, alors que le courant est notion plus dynamique représentant une quantité de matière qui se déplace. Pour pouvoir exploiter un courant, il faut donc mettre en évidence un chemin permettant de le véhiculer. Pour le quantifier nous proposons d'exploiter la loi d'ohm via l'usage d'une résistance.

# Signaux

C'est quoi un signal????

- Une **information** (le signal véhicule un **message**)
- Un **phénomène** à l'origine de sa génération (de l'énergie est nécessaire pour le produire : cours d'**électrotechnique**)
- Notion dynamique:  $I$  (charges en déplacements)
- Notion statique:  $U$  (répartition de charges)



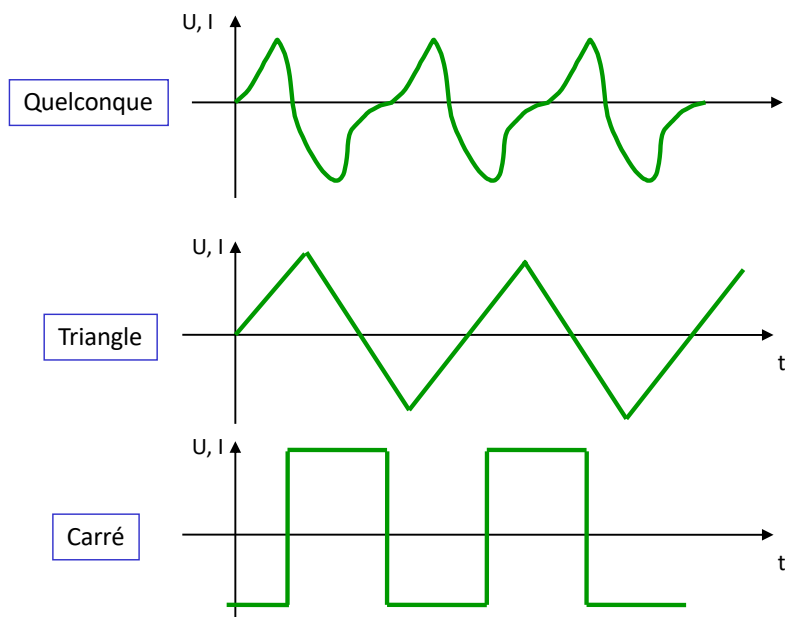
3

La définition du signal est souvent perçue de manière ambiguë. Il faut principalement associer le signal à deux notions:

- une interprétation. Le signal représente une information, un message qu'il faudra exploiter selon son contenu.
- un phénomène: La manifestation d'un signal suppose qu'une activité ait lieu, et qui dit activité dit variation d'énergie (on consomme plus ou moins d'énergie).

Il existe des signaux de natures constantes (le niveau d'énergie consommé reste constant avec le temps), et des signaux de natures variables (le niveau d'énergie consommé varie avec le temps).

## Signaux alternatifs/périodiques



4

Les signaux variables peuvent être alternatifs s'ils présentent des valeurs centrées autour d'un seuil de référence (généralement 0V).

Si les signaux évoluent selon un profil répétitif, on dira alors qu'il s'agit de signaux périodiques. Les signaux périodiques reproduisent systématiquement la même évolution après une durée spécifique que l'on appelle période.

Ces évolutions peuvent être faciles à représenter par exemple dans le cas de signaux carrés ou triangulaires ou beaucoup plus complexes.

Dans tous les cas, il est possible de démontrer qu'un signal périodique est constitué d'une série de sin et de cos, de fréquences calculables, et que l'on appelle série de Fourier.

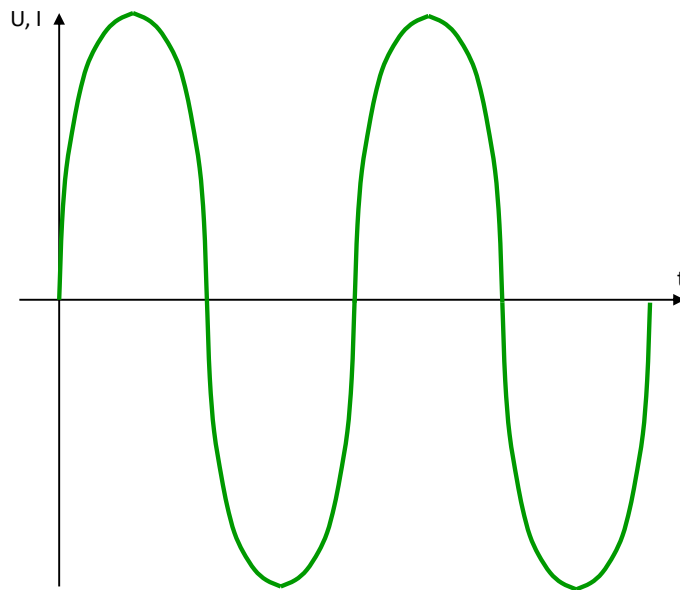
## Signaux sinusoïdaux

Valeurs crêtes

Valeurs crêtes-crêtes (ou crêtes à creux)

Valeurs moyennes

Valeurs efficaces



5

Puisque tout signal périodique se ramène à un ou plusieurs sin, c'est le signal sinusoïdal "pur" qui sera le plus souvent exploité pour caractériser le comportement de circuits prévus pour propager et/ou transformer les signaux variables.

Dans le cas d'un sin, on mettra en évidence un certain nombre de paramètres tels que:

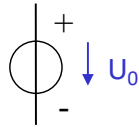
- sa valeur crête
- sa valeur crête-crête
- sa valeur moyenne
- sa valeur efficace

Nous vérifierons ultérieurement cette nuance importante entre valeur moyenne et valeur efficace (je propose en classe des expériences amusantes, mais, je vous invite solennellement à ne pas essayer).

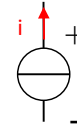
## Comment créer ces signaux?

Il faut des sources d'énergie:

Source de tension



Source de courant



Premières conventions

**Signaux continus** représentés avec des Majuscules :  $U, V, I$

**Signaux variables** représentés avec des minuscules :  $u(t), v(t), i(t), \underline{u}, \underline{v}, \underline{i}$

*Courant d'électrons inverse du courant électrique*

6

La production d'un signal suppose la réalisation d'un certain travail. L'origine de ce travail sera appelée **source** par la suite.

Les sources se déclinent en plusieurs catégories. En électricité, il existe une première classification séparant les sources de tension (qui imposent de manière prévisible, une quantité de matière disponible) et les sources de courant (qui imposent de manière prévisible, le déplacement d'une quantité de matière).

Cette quantité de matière disponible ou en déplacement peut être constante (signaux continus) ou variable.

Nous adoptons déjà les premières conventions:

- Nous associerons des majuscules pour décrire des grandeurs constantes
- Nous associerons des minuscules pour décrire des grandeurs variables
- nous rappelons qu'en électronique, le courant électrique est opposé au déplacement des électrons

## Complément terminologique

Mots clefs

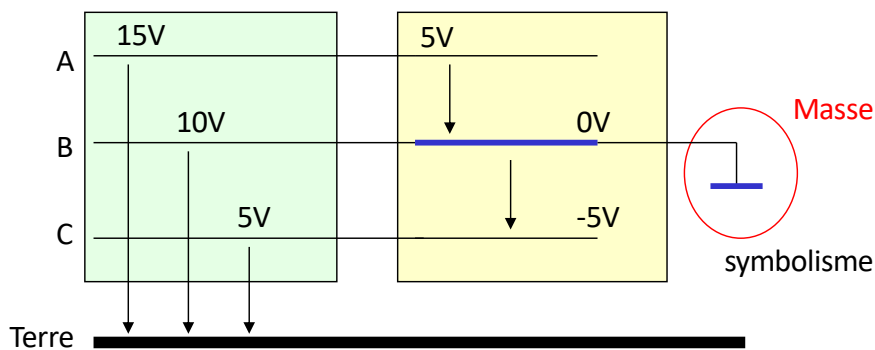
Potentiel, différence de potentiel, tension

important

Référence: Terre, Masse

Equipotentielle

Court-circuit, circuit ouvert



7

Quelques mots clefs permettent de compléter notre terminologie.

Un potentiel est toujours évalué par rapport à une référence (Terre ou masse), Une différence de potentiel correspond à un écart entre deux points quelconques et leurs valeurs spécifiques sont connues.

Dans le cas d'une tension, on s'intéresse aussi à la différence de potentiel entre deux points, mais sans obligatoirement connaître les potentiels spécifiques des deux points.

Une série de points appartiennent à une équipotentielle s'ils sont tous reliés entre eux. Le contact physique est **nécessaire**. On utilise un fil (avec ou sans embranchements) que l'on considère comme un conducteur parfait (résistivité nulle).

Il ne faut pas confondre Terre et Masse. La Terre est neutre et représente un potentiel nul. La masse est une référence (observer son symbolisme) pour un système donné. Elle correspond à un 0V relatif au système, même si par rapport à la Terre elle pourrait correspondre à plusieurs volts. Cette contrainte est souvent la cause de bien des soucis lorsque l'on branche des appareils connectés à la Terre sans que l'on y prête attention.

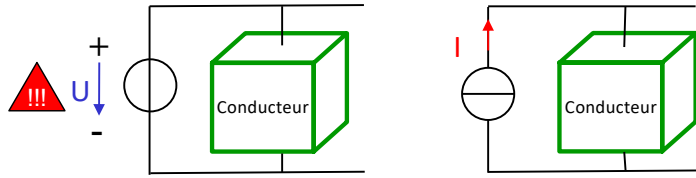
Lorsque deux potentiels ne sont reliés par aucun obstacle, on dira que le circuit est ouvert

Lorsque deux points sont reliés au même potentiel, on dira qu'ils sont court-circuités.

## Établissement d'un courant

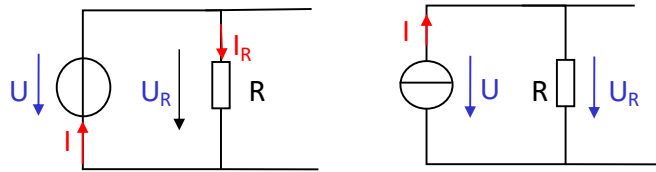
Condition pour observer un courant?

- Une source d'énergie
- Un circuit fermé



Relation entre I et U?

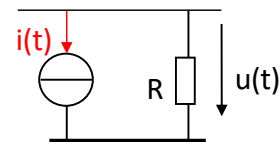
- La loi d'ohm  $U = RI$
- Principe de causalité



Si courant électrique et tension de mêmes sens alors ils sont de mêmes signes

Justification de ces conventions???

Danger!!!!!!!!!!  
Bien observer les circuits



8

Pour qu'un courant puisse s'établir, il faut une (des) source(s) d'énergie capable de produire des charges et créer un chemin permettant d'amener des électrons de l'endroit où ils sont majoritairement créés (noté « - ») vers l'endroit où il en manque (noté « + »).

Généralement ce chemin inclut un (des) conducteur(s) pour véhiculer le courant.

Sources et conducteurs sont reliés. Considérons qu'un fil représente deux extrémités permettant de relier deux objets. Pour relier plus de deux objets, il faut des embranchements permettant d'obtenir autant d'extrémités que d'objets à relier. Ces différents embranchements sont au même potentiel. On parle alors d'équipotentielle.

Une équipotentielle particulière sert souvent de référence et on l'appelle la masse (représente un 0V relatif au circuit).

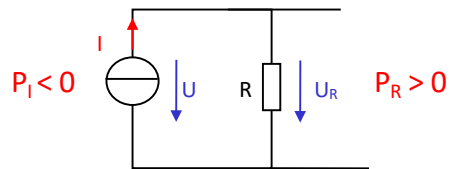
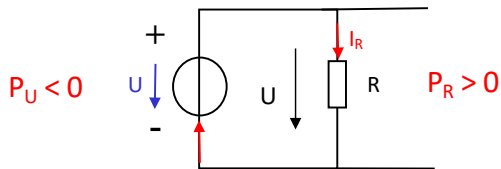
En électricité, outre le fil, le conducteur le plus courant est la résistance, et la relation qui existe alors entre le courant et la tension est représentée par la loi d'ohm ( $U = RI$ ).

Remarque: On notera que si courant et tension sont de même sens, alors ils seront de même signe. Il s'agit d'une convention et non pas d'une réalité physique. On la justifiera dans la diapositive suivante

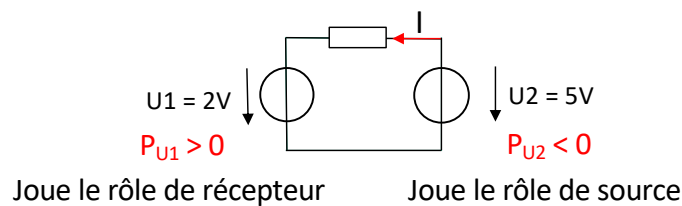


## Petite parenthèse puissance et convention

$P < 0$  : Donne – perd vs  $P > 0$  : Absorbe – gagne  
Or,  $P = U \cdot I$



Attention!!!



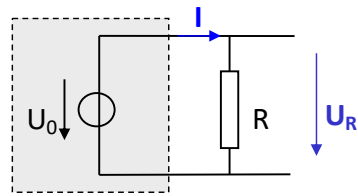
9

En Suisse:

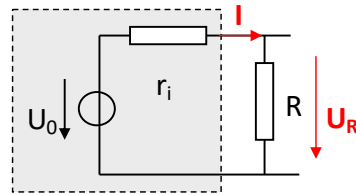
- si courant et tension sont de même sens et donc de même signe on dira que la puissance est positive (on gagne). C'est le cas des récepteurs qui absorbent (gagnent) cette puissance.
- En revanche, pour une source qui donne (et donc perd de l'énergie), la puissance sera négative. En conséquence, courant et tension sont de sens opposés, et donc de signes opposés.
- C'est un moyen mnémotechnique simple pour s'en rappeler.

Malgré tout, il peut y avoir des cas « surprenants ». En effet, une source peut très bien jouer le rôle de récepteur et absorber de la puissance. C'est le cas de la source  $U_1$  dans l'exemple proposé. Courant et tension de la source sont de même sens et donc de même signe et la puissance est considérée positive

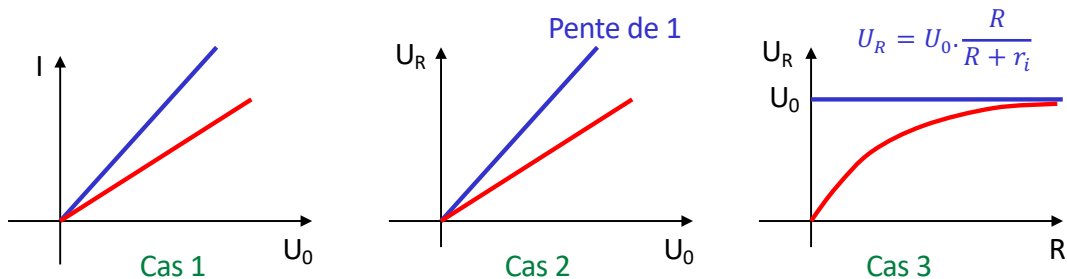
## Analyse sources de tension idéale et réelle



Idéale



Réelle



10

L'analyse des sources de tension permet de distinguer des sources idéales qui n'ont aucune imperfection (en particulier une résistance interne) et les sources réelles qui présentent une résistance interne.

### Cas 1 :

- Avec une source idéale: le courant qui traverse la charge est prévisible car linéairement dépendant de la tension selon une pente  $1/R$

- Avec une source réelle: le courant est toujours linéairement dépendant de la tension, mais avec une pente plus faible  $1/(R+r_i)$

### Cas 2 :

- Avec une source idéale: la tension aux bornes de la charge (résistance externe à la source) est identique à  $U_0$  (mêmes équipotentielles). La pente de  $U_R$  vaut alors 1 ( $45^\circ$ ).

- Avec une source réelle: la tension  $U_R$  est ici inférieure à  $U_0$  à cause de la chute de potentiel due à  $R_i$ . La pente reste cependant constante de valeur  $R/(R+r_i)$ , qui est l'expression d'un diviseur résistif

### Cas 3 :

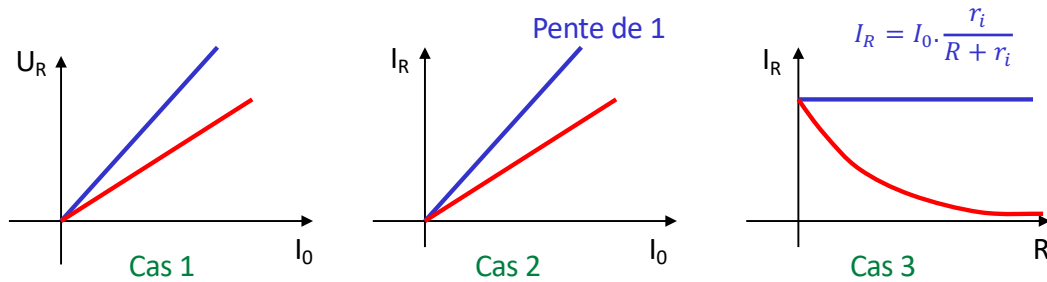
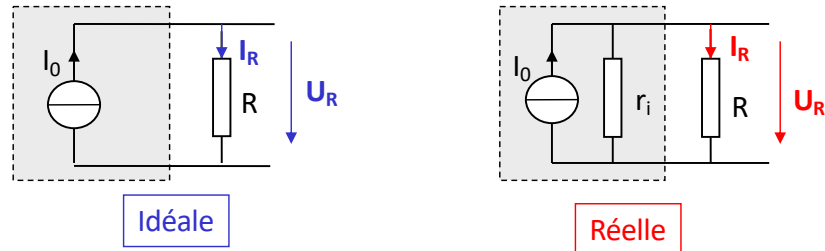
Ce cas est plus complexe que les deux précédents, en particulier pour la source réelle. Une démarche intuitive permet de comprendre l'état de  $U_R$  lorsque  $R$  tend vers 0 et lorsque  $R$  tend vers  $\infty$ .

Pour avoir l'allure précise de la courbe, il faut une démarche analytique permettant d'exprimer formellement  $U_R = f(R)$ .

- Avec une source idéale: la tension aux bornes d'une charge (résistance externe à la source) est constante quelle que soit la valeur de la charge.

- Avec une source réelle: la tension aux bornes d'une charge évolue selon un rapport résistif  $R/(R+r_i)$ .  $U_R$  tend bien vers  $U_0$  lorsque  $R$  tend vers l'infini.

## Analyse sources de courant idéale et réelle



11

Dans le cas d'une source de courant, la résistance interne se retrouve en parallèle avec le courant. Nous observons encore trois cas comme précédemment avec les mêmes natures d'explication.

### Cas 1 :

-Avec une source idéale: la tension aux bornes de la charge est prévisible car linéairement dépendant de la tension selon une pente R

-Avec une source réelle: la tension aux bornes d'une résistance équivalente à deux résistances en parallèle diminue par rapport à la version idéale. En effet la valeur de la résistance équivalente est toujours plus petite que la plus petite des deux. Plus intuitivement, le courant I qui traverse R est plus petit que  $I_0$ , car ce dernier se répartit dans  $R_i$  et R.

### Cas 2 :

-Avec une source idéale: le courant  $I_R$  qui traverse R est identique à  $I_0$  (il n'y a qu'une seule boucle). La pente de  $I_R$  vaut 1.

-Avec une source réelle: le courant  $I_R$  qui traverse R est plus petit que  $I_0$ . En effet  $I_0$  se répartit dans les deux résistances. La pente vaut  $R_i/(R+R_i)$  comme dans le cas précédent.

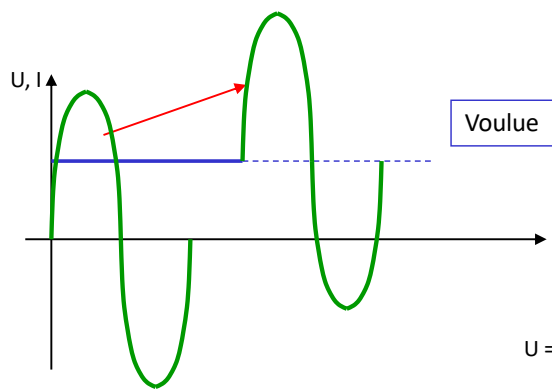
### Cas 3 :

Comme pour la source de tension, ce cas est plus complexe que les deux précédents, en particulier pour la source réelle. Une démarche intuitive permet de comprendre l'état de  $I_R$  lorsque R tend vers 0 et lorsque R tend vers  $\infty$ . L'allure précise de la courbe est obtenue avec une démarche analytique permettant d'exprimer formellement  $I_R = f(R)$ .

-Avec une source idéale: Le courant qui traverse R est toujours le même que  $I_0$  (il n'y a qu'une seule boucle, donc un seul courant).

-Avec une source réelle: le courant  $I_0$  se répartit dans les deux résistances selon un rapport proportionnel aux valeurs des résistances.  $U_R = I_0 \cdot R_{EQ} = I_0 R_i \cdot R / (R + R_i) = I_R \cdot R$  on en déduit que  $I_R = I_0 \cdot R_i / (R + R_i)$

## Superposition de signaux

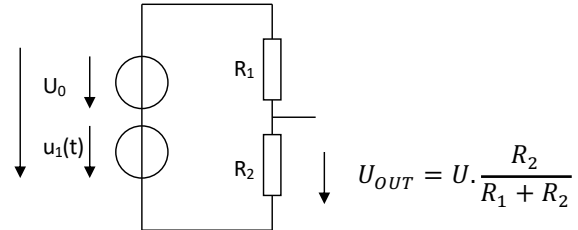


Voulue



Gênante

$$U = U_0 + u_1(t)$$



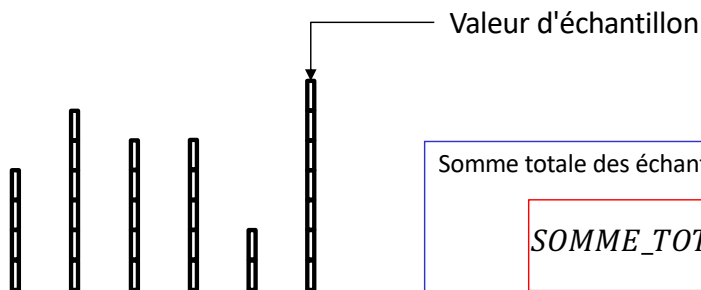
12

Finalement, la plupart des circuits auxquels nous sommes confrontés mélangent des signaux continus et variables.

On parle alors de "superposition" de signaux.

Nous verrons ultérieurement que cette superposition est soit désirée (par exemple en amplification) soit indésirable (lorsque l'un des signaux correspond à une perturbation)

## Valeurs moyennes (Domaines discrets)



Somme totale des échantillons

$$SOMME\_TOTALE = \sum_i VALEUR_i$$

Valeur moyenne des échantillons

$$VALEUR\_MOYENNE = \frac{SOMME\_TOTALE}{NB\_ECHANTILLONS}$$

13

Outre I et U, l'une des principales grandeurs en électricité est la consommation. Si la consommation totale nous alerte davantage puisque c'est elle qui nous est facturée chaque mois, la consommation instantanée est électroniquement plus intéressante car elle est liée à la nature des sources qui doivent fournir un travail (et développer une certaine puissance) et aux dispositifs électroniques qui doivent dissiper cette énergie.

Les signaux sont souvent "anarchiques" et on ne constate alors que la consommation moyenne du circuit qui les exploitent.

On pourrait penser qu'il s'agit d'un simple calcul de moyenne combinant tension et courant.

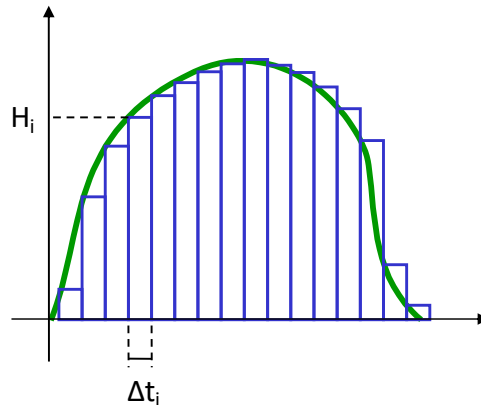
Dans le monde discret, c'est le cas, et une moyenne se calcule aisément.

On somme les différentes valeurs obtenues que l'on divise par le nombre de valeurs analysées, obtenant ainsi la moyenne.

## Valeurs moyennes (Domaines continus)

1) Approximation de la surface de la courbe par un histogramme

Comparable au domaine discret



Surface d'une barre  $S_i = H_i * \Delta t_i$ .  
**L'ERREUR EST GRANDE!!!**

$$\text{Surface Totale} = \sum_i H_i * \Delta t_i \quad \text{et}$$

$$\text{Moyenne} = \frac{\text{Surface Totale}}{\text{NB échantillons} * \Delta t} = \frac{\text{Surface Totale}}{\text{Temps Total}}$$

$$\text{Somme Totale} = \sum_i H_i \quad \text{et}$$

$$\text{Moyenne} = \frac{\text{Somme Totale}}{\text{NB échantillons}}$$

14

Dans le domaine continu (attention à la confusion entre le domaine continu ou analogique, et les signaux continus, donc non variables), le calcul est plus complexe, d'autant plus complexe que la loi mathématique qui décrit le phénomène est complexe. Il existe cependant des méthodes numériques qui permettent de revenir au cas précédent.

Il suffit d'approximer la courbe par une série d'échantillons. On observe donc une série de petites surfaces. La surface totale est calculée comme précédemment mais diffère (puisque'il s'agit d'une approximation) de la surface obtenue par la courbe réelle.

Question : Pourquoi être passé par le calcul de la somme des surfaces divisée par le temps total alors que la somme des valeurs d'échantillons divisée par le nombre d'échantillons (comme dans le domaine discret) est bien plus simple. Nous verrons que dans une solution analogique nous n'aurons pas d'autre choix que de calculer la surface réelle (via le calcul d'une intégrale). Ce calcul de surface se justifie pour effectuer une comparaison.

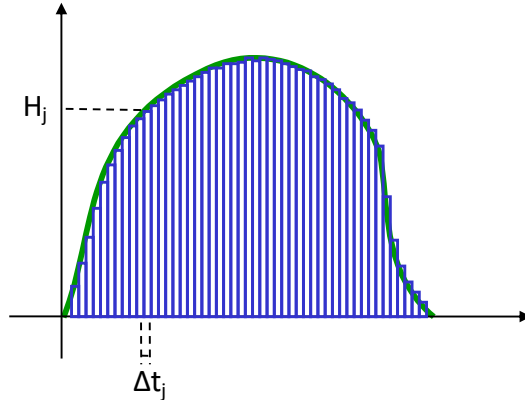
Comment améliorer la qualité de cette approximation?

## Valeurs moyennes (Domaines continus)

2) Le "pas" de calcul est plus fin

Toujours comparable au domaine discret

Surface d'une barre  $S_i = H_i * \Delta t_i$ .  
**L'ERREUR EST PETITE!!!**



$$\text{Surface Totale} = \sum_i H_i * \Delta t_i \quad \text{et}$$

$$\text{Moyenne} = \frac{\text{Surface Totale}}{\text{NB échantillons} * \Delta t} = \frac{\text{Surface Totale}}{\text{Temps Total}}$$

$$\text{Somme Totale} = \sum_i H_i \quad \text{et}$$

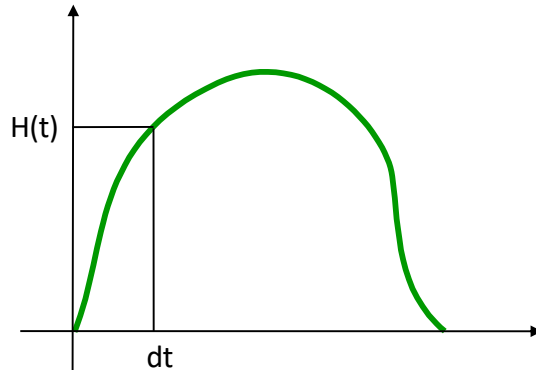
$$\text{Moyenne} = \frac{\text{Somme Totale}}{\text{NB échantillons}}$$

15

Pour obtenir un résultat plus précis, il suffit de diminuer l'écart entre deux échantillons. La surface obtenue respecte davantage la forme d'origine.  
Le nombre d'échantillons a augmenté et chaque surface est plus petite.  
Le calcul reste un calcul de moyenne du monde discret.  
Quelle est la limite de précision?

## Valeurs moyennes (Domaines continus)

3) Le "Pas" de calcul est infinitésimal  
domaine continu



Surface d'une barre infinitésimale  $dS = H(t) * dt$

L'ERREUR EST NULLE

$$\text{Moyenne} = \frac{\text{Surface totale}}{\text{Période d'analyse}}$$

$$\text{Surface totale} = \int_0^T H(t).dt$$

$$\text{Moyenne} = \frac{1}{T} \int_0^T H(t).dt$$

16

Si l'écart entre 2 échantillons est infinitésimal, nous pouvons considérer que nous avons autant d'échantillons que de points sur la courbe.

Nous sommes en fait revenus à la courbe d'origine. Nous avons abandonné le monde discret pour revenir dans le monde continu.

L'outil qui permet de calculer une moyenne est alors différent puisque nous passons d'une somme d'éléments énumérables à une somme d'éléments non énumérables.

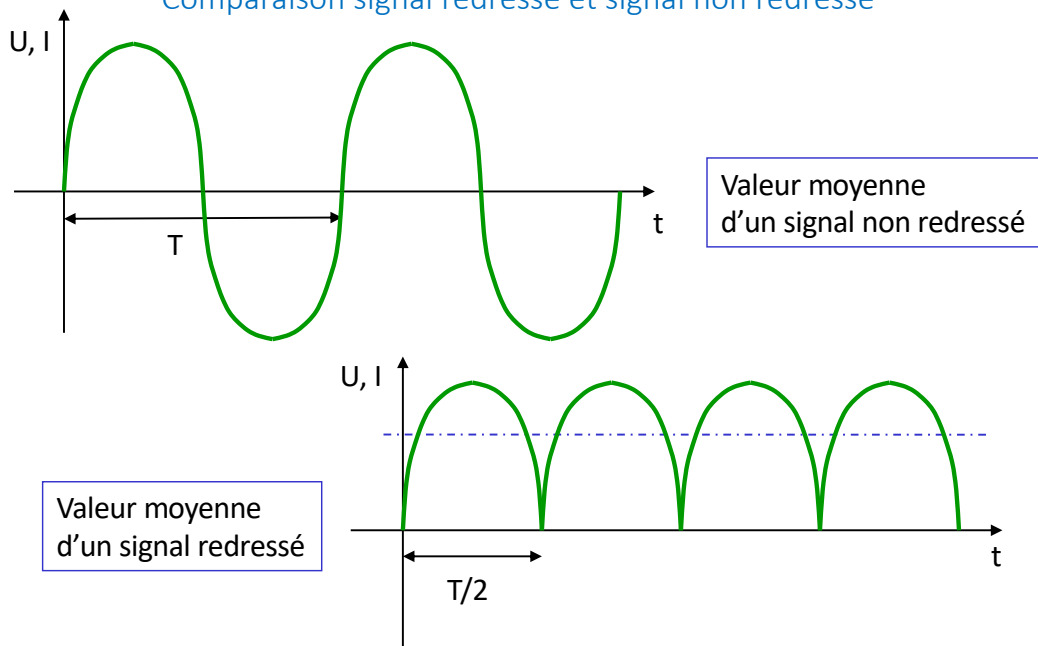
La somme dans ce monde là s'appelle l'intégrale et sa résolution nous donne directement la surface réalisée par la courbe qui nous intéresse.

Si T est la période d'analyse, alors la valeur moyenne correspond à la surface divisée par cette période.



## Application:

Comparaison signal redressé et signal non redressé



17

Lorsque nous analysons des signaux centrés autour d'une valeur moyenne nulle, le calcul de la surface est plus complexe.

Naturellement une telle valeur moyenne vaut 0 alors que sur le plan énergétique il s'est passé bien autre chose.

Pour s'en convaincre (ne le faites surtout pas) il suffit d'enfoncer ses doigts dans une prise 220 V.

C'est plutôt la valeur absolue du signal qui devrait retenir notre attention, les "effets" du courant n'étant pas compensables (le retour ne compense pas l'aller). Calculer une valeur absolue porte le nom de redressement du signal.

## Analyse

$$Surface = \int_0^{T/2} V(t).dt = \int_0^{T/2} A.\sin(\omega t).dt = \int_0^{T/2} A.\sin(2\pi f t).dt$$

$$-\frac{A}{2\pi f} [\cos(2\pi f t)]_0^{T/2} = -\frac{AT}{2\pi} [\cos\pi - \cos 0] = \frac{AT}{\pi}$$

$V_{MOY} = \text{Surface} / \text{période d'analyse}$

$$V_{MOY} = \frac{+AT}{\pi T/2} = \frac{2A}{\pi}$$

Période d'analyse =  $T/2$

A.N. si  $A = 1 \text{ V} \Rightarrow V_{MOY} = 0.636 \text{ V}$

18

Le signal redressé est mathématiquement complexe à représenter et à exploiter. Une solution consiste à sommer (intégrer) sur une demi-période ( $T/2$ ). La fonction analysée peut rester un Sin.

Bien entendu, la valeur moyenne sera calculée à partir de la demi-période.

Dans le cas d'un Sin d'amplitude 1V, cette valeur moyenne nous donne environ 0.63V, ce qui ne correspond pas tout à fait au  $1/\sqrt{2} = 0.7\text{V}$  d'une valeur efficace.

D'où vient cette différence?

## Application (Calcul de la valeur efficace)

$$\text{Énergie} = \int_0^T P(t) \cdot dt = \int_0^T U(t) \cdot I(t) \cdot dt = \int_0^T \frac{U^2(t)}{R} \cdot dt = \int_0^T RI^2(t) \cdot dt$$

*Somme de toutes les puissances* *Si appliquée à R*

**Valeur efficace**  
(liée à la notion de puissance)

$$P(t) = U(t) \cdot I(t)$$

$$P_{\text{EFF}} = U_{\text{EFF}} \cdot I_{\text{EFF}} = U_{\text{EFF}}^2 / R = R \cdot I_{\text{EFF}}^2$$

$P_{\text{EFF}}$  comparable à la puissance moyenne

$$\text{Énergie} = \int_0^T \frac{A^2 \sin^2(2\pi ft)}{R} \cdot dt = \int_0^T \frac{A^2 [1 - \cos(4\pi ft)]}{2R} \cdot dt$$

$$\frac{A^2}{R} \cdot \left[ \frac{t}{2} - \frac{\sin 4\pi ft}{8\pi f} \right]_0^T = \frac{A^2}{R} \left[ \frac{T}{2} - \frac{\sin 4\pi}{8\pi f} - \frac{0}{2} + \frac{\sin(0)}{8\pi f} \right] = \frac{A^2 T}{2R}$$

$$P_{\text{EFF}} = \frac{\text{Énergie}}{T} = \frac{A^2}{2R} = \frac{U_{\text{EFF}}^2}{R} \text{ ou encore } U_{\text{EFF}} = \frac{A}{\sqrt{2}}$$

A.N. si  $A = 1 \text{ V} \Rightarrow U_{\text{EFF}} = 0.707 \text{ V}$

19

En fait, la valeur efficace est obtenue depuis la puissance qui a été calculée.

A supposer que l'on connaisse les valeurs efficaces du courant et de la tension, on peut exprimer la valeur de la puissance moyenne (ou puissance efficace, qui est un paramètre objectif) selon la relation:

$$P_{\text{EFF}} = U_{\text{EFF}} \cdot I_{\text{EFF}}$$

Dans le cas d'une résistance, il existe une relation entre le courant et la tension  $U_{\text{EFF}} = R \cdot I_{\text{EFF}}$

Auquel cas:  $P_{\text{EFF}} = U_{\text{EFF}}^2 / R$

De cette relation on tire effectivement  $U_{\text{EFF}} = A/\sqrt{2}$  où A est l'amplitude du signal analysé.