

ELECTROCI NETIQUE I

Classes préparatoires et 1^{er} cycle
de l'Enseignement Supérieur

M. AICHE
e-mail: mourad.aiche@u-bordeaux.fr

Documents téléchargeables à l'adresse url :

<https://www.cenbg.in2p3.fr/ftp/hshd/CPBx>

The image shows three overlapping screenshots of a web browser displaying the FTP directory structure for 'ELECTROCI NETIQUE I'. The top screenshot shows the root directory 'Index of /ftp/hshd/CPBx' with a list of subdirectories: Parent Directory, Semestre_1/, Semestre_2/, and Semestre_3/. The middle screenshot shows the 'Semestre_1' directory 'Index of /ftp/hshd/CPBx/Semestre_1' with subdirectories: Parent Directory, Electrocinetique1/20, and Mecapoint/. The bottom screenshot shows the 'Electrocinetique1' directory 'Index of /ftp/hshd/CPBx/Semestre_1/Electrocinetique1' with a table listing files and their last modified dates.

Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory	-	-	-
TD/	2019-09-03 23:26	-	-
Annales/	2020-09-08 22:30	-	-
Cours/	2020-09-15 00:04	-	-

Cycle préparatoire Bordeaux (CPBx) 1^{ère} Année

(Année universitaire 2021 – 2022)

CP100 série A (95 inscrits- 3 groupes A1, A2 et A3)

Enseignements obligatoires (Semestre 1) Physique 1 (code UE: 4TBX103U)

(Mécanique du point, **Electrocinétique** et outils mathématiques)

Electrocinétique 1

6 Cours → Semaine 37 – 41 (6/10/2020)

6 TDs → début Semaine 38

Modalité de Contrôle des Connaissances (MCC)

1 DS (1h30) coef. =1/8 (0,25) → semaine 43 (Vendredi 29/10/2021) 14:00 - 15:30
B18/Amphi)

Sommaire

Programme annuel du cours sur l'électrocinétique (1 & 2)

(Semestre 1)

I- CIRCUITS ELECTRIQUE EN REGIME CONTINU (6 CM)

1- Introduction à l'électrocinétique (2,5 CM)

- 1.1 Charges électriques et Courants
- 1.2 Dipôles actifs et passifs
- 1.3 Loi d'Ohm
- 1.4 Glossaire électronique
- 1.5 Lois fondamentales de l'électrocinétique
- 1.6 Association de dipôles
- 1.7 Puissance et Energie électrique mise en jeu dans un dipôle

2- Méthodes d'analyse des circuits en courant continu (3,5 CM)

1. Définitions

2. Réseaux en régime permanent

- 2.1 méthode générale de résolution
- 2.2 Méthode des noeuds
- 2.3 théorème de Millman
- 2.4 Méthode des mailles
- 2.5 Théorème de superposition
- 2.6 Equivalence d'un dipôle et d'un générateur de tension: **Théorème de Thévenin**
- 2.7 Equivalence d'un dipôle et d'un générateur de courant: **Théorème de Norton**
- 2.8 Equivalence générateur de courant \leftrightarrow générateur de tension

Semestre 2 (7 CM + 7 TD)

II-CIRCUITS ELECTRIQUES EN REGIME TRANSITOIRE

- 1- Etablissement et rupture d'un régime continu.
- 2- Régime transitoire dans des circuits du 1^{er} ordre.
- 3- Régime transitoire dans des circuits du 2^e ordre.
- 4- Régime transitoire dans des circuits comprenant des A.O.

III- L' Amplificateur Opérationnel (A.O.)

1- Généralité sur l'A.O.

- 1-1 Caractéristique de l'AO de gain fini
- 1-2 L'A.O. réel et l' A.O. idéal
- 1-3 Les deux régime de l' A.O. idéal

2- L'A.O.I en régime linéaire

- 2-1 L'amplificateur non inverseur
- 2-2 L'amplificateur inverseur
- 2-3 L'amplificateur sommateur
- 2-4 L'amplificateur soustracteur
- 2-5 L'amplificateur suiveur

IV-CIRCUITS ELECTRIQUES EN REGIME SINUSOIDAL

1. Définitions, généralités

- 1.1 Grandeurs périodiques s(t)
- 1.2 Grandeurs sinusoïdales
- 1.3 Circuits en régime permanent (ou forcé) sinusoïdal

2. Dipôles en regime permanent sinusoïdal

- 2.1 Loi d'Ohm – impédance - admittance
- 2.2 Impédance élémentaire
- 2.3 Association d'impédances complexes
- 2.4 Générateurs sinusoïdaux
- 2.5 Association dipôle actif et dipôle passif

3. Analyse de circuits en régime sinusoïdal

- 3.1. Généralités
- 3.2. Méthode des mailles – méthode des noeuds
- 3.3. Théorème de Thévenin et Norton

Quelques définitions

Qu'est ce que l'électricité ?

Le mot **électricité** désigne un phénomène physique qui permet un transfert de l'énergie d'un générateur vers un récepteur pour produire une action : un mouvement (moteur), de la chaleur, de la lumière ...

Qu'est ce que l'électronique ?

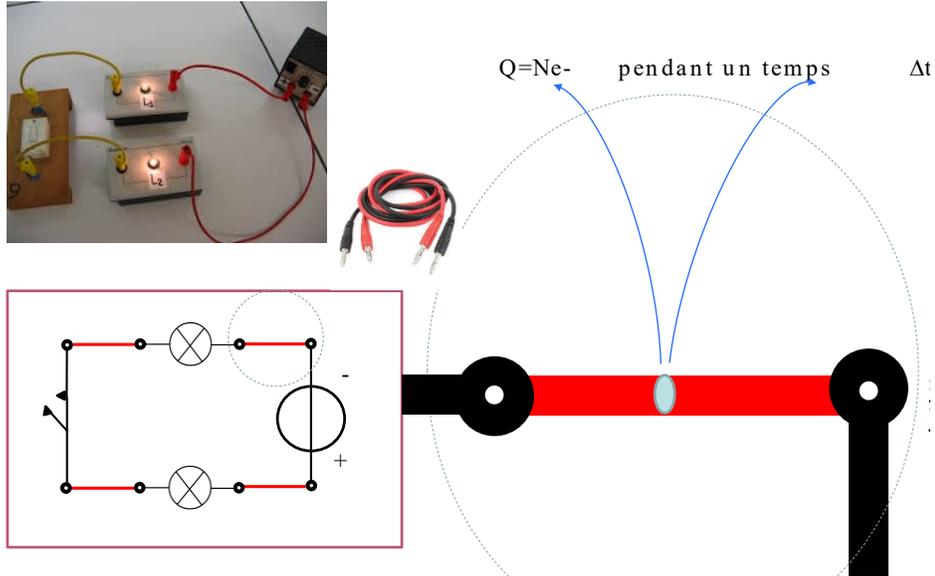
L'électronique est la science du traitement des signaux électriques. Elle utilise des composants particuliers (LED, processeur, transistor...) fonctionnant généralement avec un courant électrique de faible intensité.

Informatique
Mathématiques appliquées
Electromagnétisme
Électronique
Electricité



I- Circuits électriques en régime continu

1 - Introduction à l'électrocinétique



I- Circuits électriques en régime continu

1 - Introduction à l'électrocinétique

1.1 - Charges électriques et Courants

Un courant électrique I (Ampère (A)), résulte d'un déplacement au cours du temps t (seconde (s)) de charges électriques Q (Coulomb (C)) d'un point à un autre d'un matériau dit conducteur.

a) Définition de l'unité de mesure

Un courant I de $1A$ correspond au déplacement d'une charge Q de 1 Coulomb pendant un temps t de 1s.

L'intensité du courant, à un instant t , est représentée par le débit de charges.

$$I(A) = \frac{Q}{t} \left(\frac{\text{Coulomb}}{\text{seconde}} \right) = \frac{Q}{t} (A)$$

Les charges mobiles peuvent être positives (des ions) ou négatives (des électrons). Les courants ioniques sont possibles dans des solutions ioniques (électrolytes) ou dans des gaz. Les courants électroniques sont possibles dans des gaz et certains solides qu'on appelle conducteur.

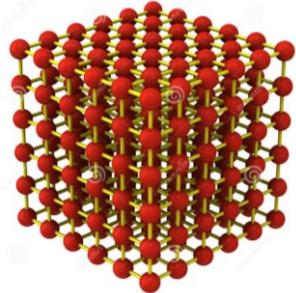
Exemple : La charge d'un électron est de $e = -1,6 \cdot 10^{-19} C$. Une charge Q de $1C$ correspond donc à :

$$Q = N|e| \text{ soit } N = \frac{1C}{|e|} = \frac{1}{1,62 \cdot 10^{-19}} \approx 6,17 \cdot 10^{18}$$

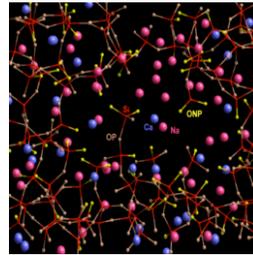
Un courant de 1 Ampère correspond au déplacement dans un conducteur de $6,17 \cdot 10^{18}$ électrons en 1 seconde.

b) Structure atomique des matériaux solides

Structure atomique d'un conducteur
(structure cristalline)
Présence d'électrons libres



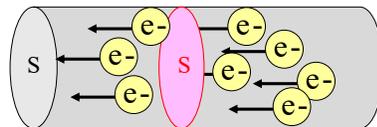
Structure atomique d'un isolant
(structure amorphe)
les électrons sont liés aux atomes



c) Qu'est ce que la résistance électrique d'un matériau solide

Un matériau **conducteur** offre moins de résistance (chocs e-atomes) au passage d'un courant en raison d'une présence de **couloirs ou galeries** de passage dans sa structure.
Les chocs e-atomes (friction) provoquent un échauffement du conducteur.

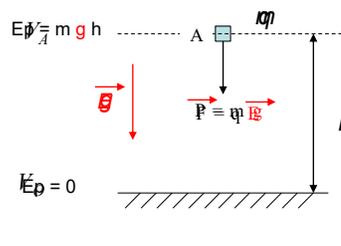
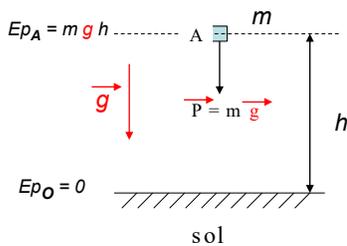
Le passage d'un courant d'1 Ampère dans un fil cylindrique de section S, correspond au passage de $6,17 \cdot 10^{18}$ électrons à travers celle-ci à chaque intervalle de temps d'1 seconde.



d) Comment déplacer un électron dans un conducteur ?

Analogie avec l'énergie potentielle gravitationnelle

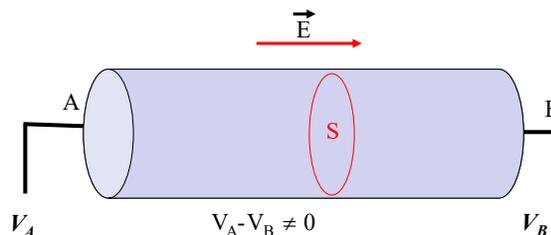
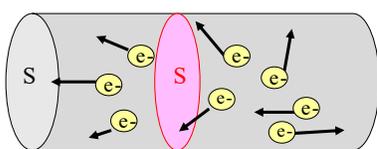
V désigne le potentiel électrique (Volt)



Si $Ep_A - Ep_0 \neq 0 \Rightarrow m$ sera en mouvement

Si $V_A - V_0 \neq 0 \Rightarrow q$ sera en mouvement

Illustration



Quelques définitions et terminologie

$V_A - V_B$:

- est appelée **différence de potentiel** et en abrégé **d.d.p** ou **ddp**
- on l'appelle également **tension électrique** ou **tension**.
- On écrit généralement $U_{AB} = V_A - V_B$ en respectant l'ordre d'apparition des indices A et B

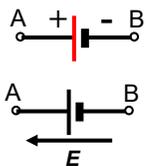
e) Les sources de tensions

Les appareils électriques capables de générer une différence de potentiel sont communément appelés des **générateurs de tension**.



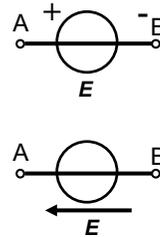
Représentation schématique d'un générateur de tension continue

Soit un générateur de f.e.m. E , branché entre A et B

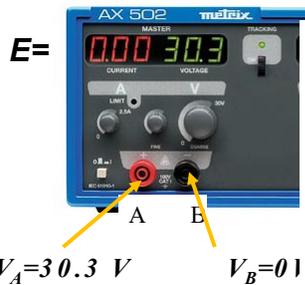


On écrit $U_{AB} = V_A - V_B = +E$
en respectant l'ordre d'apparition des bornes + et -.

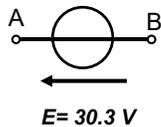
De même on écrira $U_{BA} = V_B - V_A = -E$



Convention de signe pour les tensions



Exemple 1

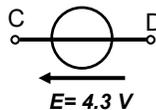


Si je calcule
 $U_{AB} = V_A - V_B = 30.3 - 0 = 30.3 \text{ V} = E$

Si je calcule
 $U_{BA} = V_B - V_A = 0 - 30.3 = -30.3 = -E$

Exemple 2

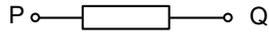
Le calcul donne : $U_{DC} = -4.3 \text{ V}$
 $U_{DC} = V_D - V_C < 0 \rightarrow V_D < V_C$



La tension calculée est une grandeur algébrique. La flèche de tension indique à quelle borne se trouve le potentiel électrique le plus élevé.

1.2 - Dipôles actifs et passifs

Un dispositif électrique aussi compliqué soit-il peut être décomposé en éléments simples qu'on appelle des **dipôles**. La forme générique d'un dipôle est schématisée par un **rectangle** et par **deux fils conducteurs** parfaits **reliés en deux points** par exemple P et Q qu'on appelle **bornes** du dipôles.



Les dipôles les plus fréquemment utilisés sont :		Valeur	Symboles
	Générateurs de tension	Tension (V: Volt)	
	Générateurs de courant	Intensité (A: Ampère)	
	Résistors ohmiques	Résistance R (Ω : Ohm)	
	Condensateurs	Capacité C (F: Farad)	
	Bobines ou Self	Inductance L (H: Henry)	
	Les diodes	Tension seuil (V) Résistance interne (Ω)	

Convention de signe pour les courants

Soit un dipôle PQ traversé par un courant I

Un problème récurrent que l'on rencontre dans la résolution des réseaux électriques, est celui de déterminer la valeur et le sens du **courant dit réel I** traversant le dipôle PQ.

Solution

Je défini une variable algébrique I_{PQ} ou I_{QP} que je vais déterminer grâce à un système d'équations (chapitre suivant).

Remarque : $I_{PQ} = -I_{QP}$



L'ordre dans les indices I_{QP} signifie que j'ai supposé que le courant va de Q vers P.

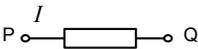
Inversement, si je considère la variable I_{PQ} cela signifie que j'ai supposé que le courant va de P vers Q.

A l'examen du résultat du calcul par exemple de la variable I_{PQ} , deux cas possibles :

• $I_{PQ} > 0$ alors I va bien de P vers Q

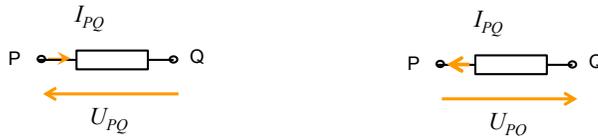
• $I_{PQ} < 0$ alors I va plutôt de Q vers P.

Convention de signe, tension-courant, pour un dipôle passif (récepteur)

Soit un dipôle PQ traversé par un courant I 

Un dipôle **est dit passif** si les valeurs calculées du courant et de la tension sont de mêmes signes :

$$I_{PQ} > 0 \text{ et } U_{PQ} > 0 \quad \text{ou bien} \quad I_{PQ} < 0 \text{ et } U_{PQ} < 0$$



Règle:

Lorsqu'un dipôle est **passif** (récepteur) les flèches représentant le sens du courant et de la tension à ses bornes, sont **orientées en sens opposés**.

Remarque 1: Dans un circuit électrique alimenté avec des générateurs continus en régime permanent, les dipôles **résistifs**, **capacitifs** et **inductifs** sont toujours passifs.

Remarque 2: Dans un circuit électrique, un dipôle **passif** consomme de l'énergie électrique.

Convention de signe, tension-courant, pour un dipôle actif

Soit un dipôle PQ traversé par un courant I 

Un dipôle **est dit actif** si les valeurs calculées du courant et de la tension sont de signes opposés:

$$I_{PQ} > 0 \text{ et } U_{PQ} < 0 \quad \text{ou bien} \quad I_{PQ} < 0 \text{ et } U_{PQ} > 0$$

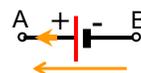


Règle:

Lorsqu'un dipôle est **actif**, les flèches représentant le sens du courant et de la tension à ses bornes, sont **orientées dans le même sens**.

Remarque:

1) Dans un circuit électrique en régime permanent, les générateurs de tension et/ou de courant jouent le rôle de **dipôles actifs**.

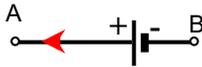


2) En présence de plusieurs générateurs dans le même circuit, certains d'entre eux peuvent se comporter comme des **dipôles passifs**. On leur appliquera à ce moment là, la même convention de signe que n'importe quels dipôles passifs.

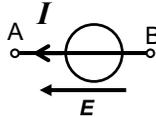
Dans un circuit électrique, un dipôle est dit **actif** s'il fournit de l'énergie électrique

Sens conventionnel du courant

Pour des raisons historiques, le sens conventionnel du courant délivré par un générateur est celui du déplacement des charges positives. Il est donc opposé à la direction de déplacement des électrons.



Le courant électrique I délivré par un générateur de tension actif sort toujours par la **borne positive**.



Lorsqu'un générateur de tension est **actif** dans un circuit électrique, les deux flèches de tension et de courant sont **orientées dans le même sens**.

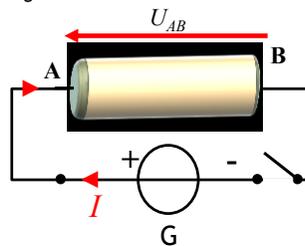
1.3 - Loi d'Ohm

Soit un **conducteur** de forme cylindrique, de longueur L et de section S , traversé par un courant I lorsque ses deux extrémités A et B sont reliées aux bornes d'un générateur G :

On définit la résistance R du conducteur par la relation :

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

avec ρ la résistivité du matériau.



Si V_A et V_B désignent les potentiels électriques aux deux points de contact A et B , on peut écrire alors la relation (loi d'Ohm) sous sa forme la plus habituelle suivante :

$$V_A - V_B = U_{AB} = \rho \frac{L}{S} I_{AB} = R I_{AB}$$

$$\boxed{U_{AB} = R I_{AB}} \text{ comme } I_{AB} = I$$

$$\boxed{U_{AB} = R I}$$

La loi d'Ohm traduit la dépendance de l'effet qui est le passage du courant à la cause qui est la présence d'une différence de potentiel ou tension aux extrémités d'un conducteur en fonction du matériau caractérisé par sa résistance.

Cette dépendance est rarement linéaire. Le graphe $U_{AB} = f(I_{AB})$ n'est pas toujours une droite.

Remarque :

Au cours de ce semestre on ne considérera que le cas où U_{AB} est proportionnel à I_{AB} ou dit autrement que R est une constante.

Classement des matériaux en fonction de leur résistivités ρ

La résistivité s'exprime en **ohm.mètre** ($\Omega.m$).

La gamme de résistivité des matériaux est très grande :

Métaux	Semi-conducteurs (300K)	Isolants
Argent : $1,47.10^{-8} \Omega.m$	Silicium : $2400 \Omega.m$	Verre : 10^{10} à $10^{14} \Omega.m$
Cuivre : $1,72.10^{-8} \Omega.m$	Germanium : $0,5 \Omega.m$	Mica : 10^{11} à $10^{15} \Omega.m$
Aluminium : $2,63.10^{-8} \Omega.m$		Eau : $0,1$ à $10^5 \Omega.m$

1.4 - Glossaire électronique

Il convient d'acquérir la terminologie utilisée en électrocinétique pour décrypter et comprendre les énoncés.

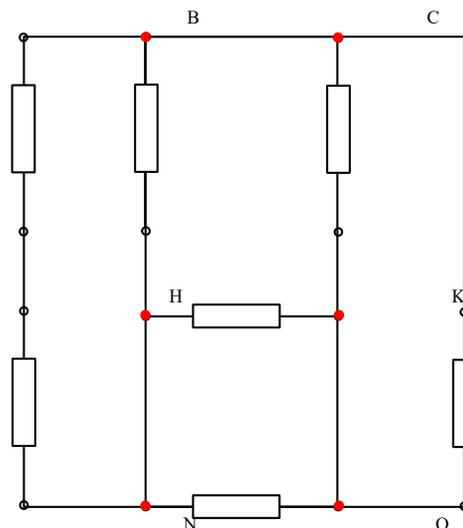
a) **Réseau électrique** : Ensemble de dipôles électriques dont les bornes sont reliées entre elles par des fils conducteurs et susceptibles d'être parcourus par des courants.

b) **Nœud et nœud principal**:

- **Nœud** : Point de jonction d'au moins 3 fils
- **Nœud principal** : point de jonction d'un minimum de 3 dipôles.

On identifie les nœuds du réseau électrique ...

On identifie maintenant les nœuds principaux du réseau ... en raccourcissant la longueur des fils connectant les nœuds du réseau électrique.



1.4 - Glossaire électronique

Il convient d'acquérir le vocabulaire utilisé en électrocinétique pour décrypter et comprendre les énoncés.

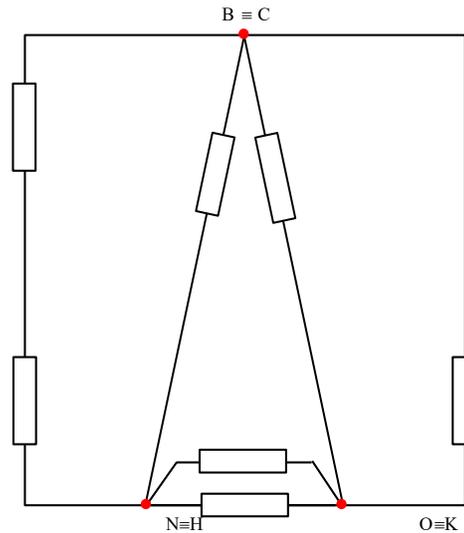
a) **Réseau électrique** : Ensemble de dipôles électriques dont les bornes sont reliées entre elles par des fils conducteurs et susceptibles d'être parcourus par des courants.

b) **nœud principal**: Point de jonction d'un minimum de 3 dipôles.

On identifie les nœuds du réseau électrique ...

On identifie maintenant les nœuds principaux du réseau ... en raccourcissant la longueur des fils connectant les nœuds du réseau électrique.

Il y a donc 3 nœuds dans le réseau ci-contre



1.4 - Glossaire électronique

Il convient d'acquérir le vocabulaire utilisé en électrocinétique pour décrypter et comprendre les énoncés.

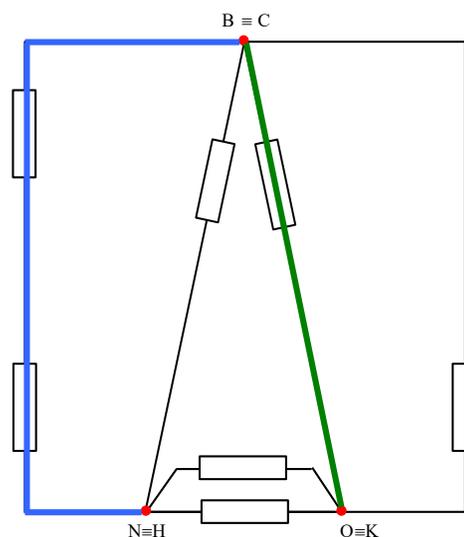
a) **Réseau électrique** : Ensemble de dipôles électriques dont les bornes sont reliées entre elles par des fils conducteurs et susceptibles d'être parcourus par des courants.

b) **nœud principal**: Point de jonction d'un minimum de 3 dipôles.

c) **branche** : une branche relie 2 nœuds principaux.

Au total il y a combien de branches ?

Rép: 6 branches



1.4 - Glossaire électronique

Il convient d'acquérir le vocabulaire utilisé en électrocinétique pour décrypter et comprendre les énoncés.

a) **Réseau électrique** : Ensemble de dipôles électriques dont les bornes sont reliées entre elles par des fils conducteurs et susceptibles d'être parcourus par des courants.

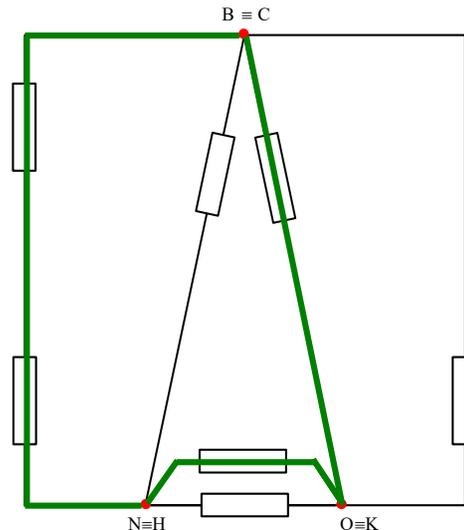
b) **nœud principal**: Point de jonction d'un minimum de 3 dipôles.

c) **branche** : une branche relie 2 nœuds principaux.

c) **maille** : Ensemble de branches constituant une boucle fermée.

Au total il y a combien de mailles ?

Rép: 10 mailles



1.5 - Lois fondamentales de l'électrocinétique

1.5.1 Régimes permanents et quasi-permanents

Le régime *permanent* est celui qui existe après la fin des phénomènes transitoires qui se produisent lors de la mise sous tension d'un circuit.

Si une grandeur électrique G est fonction du temps, il existe *a priori* des phénomènes de propagation dans le circuit et G est en fait une fonction du temps et de l'espace : $G = f(t, x)$. Mais si les dimensions du circuit sont négligeables devant la longueur d'onde associée au phénomène, on peut négliger la propagation. Par exemple, pour une fréquence de 1 MHz, la longueur d'onde associée ($\lambda = c/f$) est voisine de 300 m. Ce n'est que pour des fréquences supérieures à 1 GHz que la dimension des circuits devient comparable à celle de la longueur d'onde.

Dans l'approximation, dite des états quasi-permanents, on admet que G est seulement fonction du temps. Il n'y a pas accumulation des charges dans certains points du circuit : à un instant donné, l'intensité est la même en tous les points d'un conducteur donné.

1.5.2 Lois de Kirchhoff

Dans l'approximation des états quasi-permanents, on peut formuler les deux lois suivantes :

- aux bifurcations (nœuds) d'un circuit, il y a conservation de la charge électrique : **la somme des courants qui entrent dans un nœud est égale à la somme des courants qui en repartent.**
- dans une chaîne de conducteurs (branche), il y a additivité des tensions : la tension (ou différence de potentiel) aux bornes d'une branche est la somme des tensions aux bornes des dipôles qui la compose.

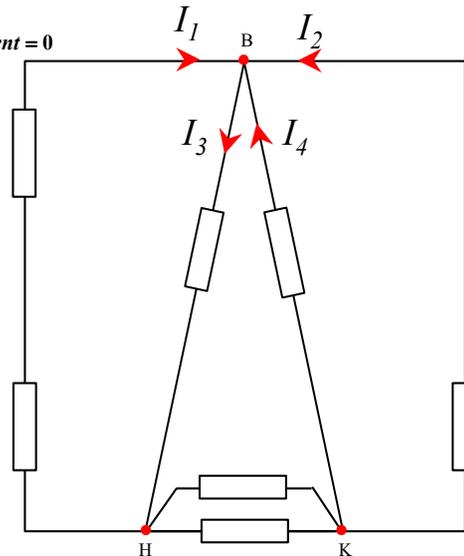
Ces deux lois, appelées aussi loi des **nœuds** et loi des **mailles**, sont les lois fondamentales de l'électrocinétique et elles permettent (en principe) l'étude de tous les circuits électriques.

Loi de Kirchhoff appliquée au nœud B (lois des nœuds)

On suppose avoir déterminé l'intensité et le sens des courants dans le circuit vu précédemment. D'après la loi de Kirchhoff, la conservation de la charge électrique au nœud B donne:

$$I_1 + I_2 + I_4 = I_3 \quad \text{ou bien} \quad \sum I_{\text{arrivent}} = \sum I_{\text{partent}}$$

$$I_1 + I_2 + I_4 - I_3 = 0 \quad \text{càd} \quad \sum I_{\text{arrivent}} - \sum I_{\text{partent}} = 0$$



Remarque:

Ne pas confondre la loi des nœuds avec la méthode des nœuds qui sera abordée dans le prochain cours.

Loi de Kirchhoff appliquée à une boucle (lois des mailles)

On suppose avoir déterminé les tensions et leur orientation dans le circuit étudié précédemment. D'après la loi de Kirchhoff sur l'additivité des tensions, dans la maille on écrira :

On part du nœud B, on parcourt une boucle pour revenir ensuite en B
Soit la boucle B-C-H-K-B :

La tension sera précédé d'un signe :

+ si la flèche est orientée dans le sens du parcours

- si la flèche est orientée dans le sens opposé

$$V_B - V_B = U_{BB} = U_1 + U_2 - U_3 - U_4 = 0$$

$$\sum_k U_k = 0$$

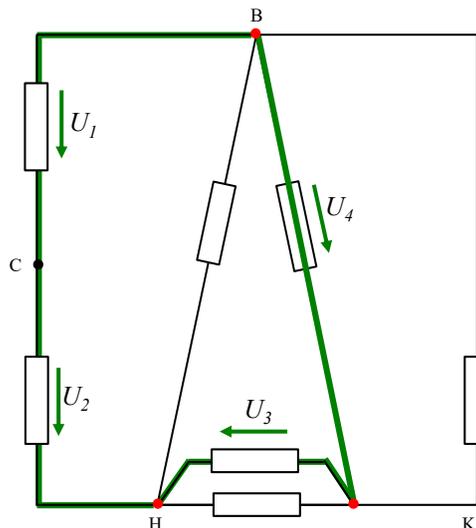
Invertissons le sens du parcours :

Soit la boucle B-K-H-C-B :

$$V_B - V_B = U_{BB} = U_4 + U_3 - U_2 - U_1 = 0$$

Remarque:

Ne pas confondre la loi des mailles avec la méthode des mailles qui sera abordée dans le prochain cours.



1.6 - Associations de dipôles

1.6.1 Caractéristique d'un dipôle

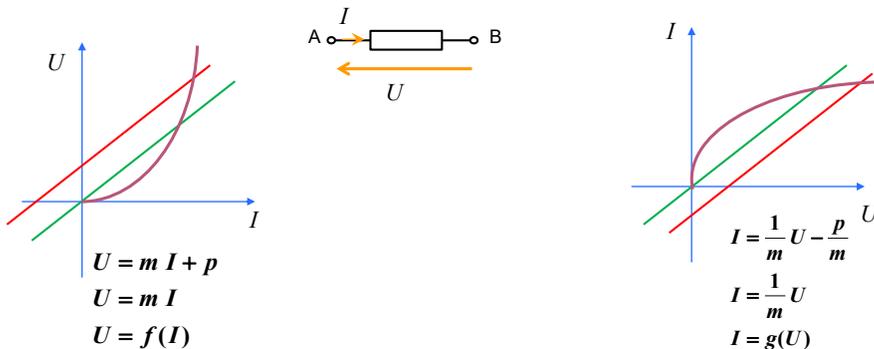
L'essentiel de l'étude d'un circuit électrique, se résume à la détermination de l'ensemble des courants et des tensions qui apparaissent dans le circuit.

Dans un dipôle, courant et tension sont liés par les relations réciproques :

$$U = f(I) \quad \text{et} \quad I = g(U)$$

Les graphes correspondants dans les plans (U, I) et (I, U) sont les caractéristiques du dipôle.

Dans la représentation $U = f(I)$, on met en avant la loi des **mailles** et les **générateurs de tension**. Dans la représentation $I = g(U)$, on met en avant la loi des **nœuds** et les **générateurs de courant**.



1.6.2 Classification des dipôles

□ Dipôles actifs et passifs

Un dipôle passif consomme de l'énergie. Sa caractéristique passe par l'origine. ($I = 0$ si $U = 0$).

Un dipôle actif fournit de l'énergie au circuit dans lequel il est connecté.

Le dipôle 1 est actif, 2 et 3 sont passifs.

□ Dipôles symétriques

La caractéristique est symétrique par rapport à l'origine.

Un dipôle symétrique est toujours passif. Son fonctionnement n'est pas modifié si on inverse le sens du courant : il n'est pas polarisé. Sur la figure 2, le dipôle n°

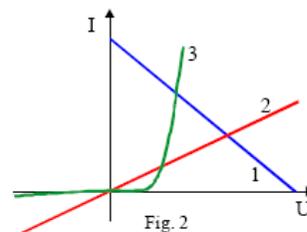
2 est symétrique.

□ Dipôles linéaires

La caractéristique est une droite d'équation :

$$U = a.I + b \quad \text{ou} \quad I = p.U + q$$

En électronique, on utilise de nombreux dipôles non linéaires. Les circuits qui contiennent ces dipôles ne peuvent, en général, pas être étudiés avec des méthodes analytiques rigoureuses. La connaissance des caractéristiques permet alors l'analyse de ces circuits avec des méthodes graphiques.



1.6.3 Les dipôles linéaires idéaux

□ **Résistance** ² (Fig. 3-a).

La loi d'Ohm qui traduit la dépendance entre courant et tension, s'écrit :

$$U = R.I \quad \Leftrightarrow \quad I = G.U$$

R est la **résistance** dont la valeur s'exprime en *ohms* (Ω).

G est la **conductance** dont la valeur s'exprime en *siemens* (S) ou Ω^{-1}

Si la valeur de la résistance est fonction du courant, elle est non linéaire. C'est le cas pour les résistances métalliques, les varistances, les photorésistances...

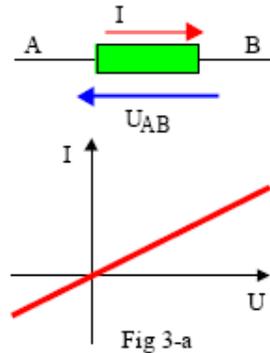


Fig 3-a

□ **Source de tension idéale** (Fig. 3-b).

La tension U entre ses bornes, égale à E (force électromotrice du générateur), est indépendante du courant qu'elle délivre. Pour les sources réelles, la tension de sortie diminue si le courant débité augmente. Les accumulateurs au plomb, les alimentations stabilisées de laboratoire sont de bonnes approximations des sources de tension idéales.

Une pile électrochimique usagée présente une forte résistance interne : sa tension diminue dès qu'elle débite dans une charge.

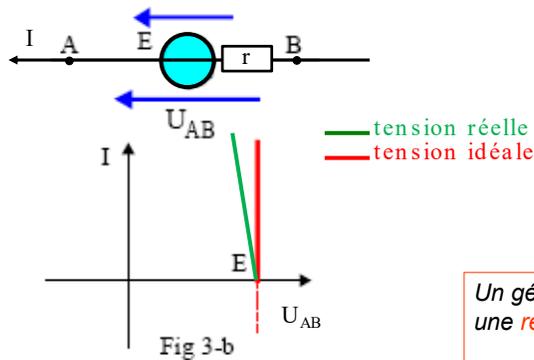


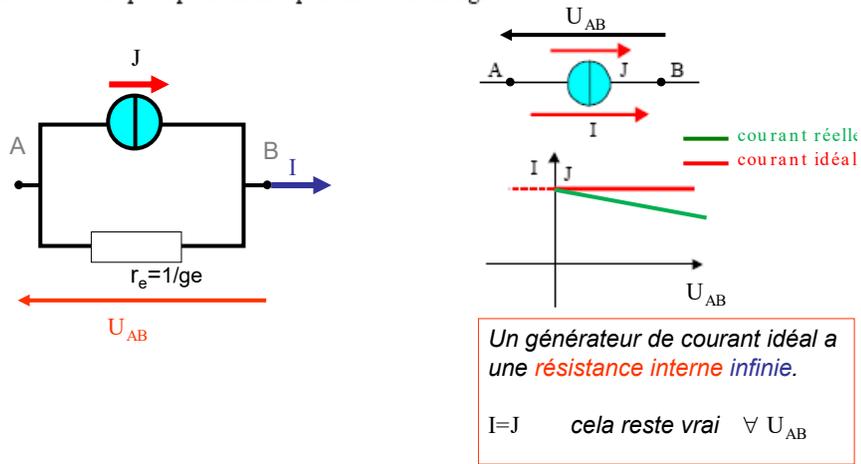
Fig 3-b

Un générateur de tension idéale a une **résistance interne nulle**.

$$U_{AB} = E \quad \text{cela reste vrai } \forall I$$

□ **Source de courant idéal** (Fig. 3-c).

Le courant de sortie I , égal à J le courant électromoteur du générateur, est indépendant de la tension entre les bornes de la source. La résistance interne est infinie. Il n'existe pas dans la vie courante de modèle de source de courant. Il est possible de simuler une source de courant en plaçant en série une source de tension et une résistance beaucoup plus grande que la charge. Des circuits électroniques simples permettent de réaliser des sources de courant qui débitent un courant pratiquement indépendant de la charge.



1.6.4 Les dipôles en association série

On se propose de déterminer le dipôle équivalent à l'association de plusieurs dipôles élémentaires.

Dans une branche de circuit reliant deux nœuds A et C, on rencontre deux résistors de résistance R_1 et R_2 montés en série. Le courant I qui traverse ces deux résistors est le même.

On cherche à remplacer R_1 et R_2 par une résistance équivalente R_{eq} de telle sorte que le courant et la tension entre A et C restent inchangés.

❖ Convention de signe et loi d'Ohm

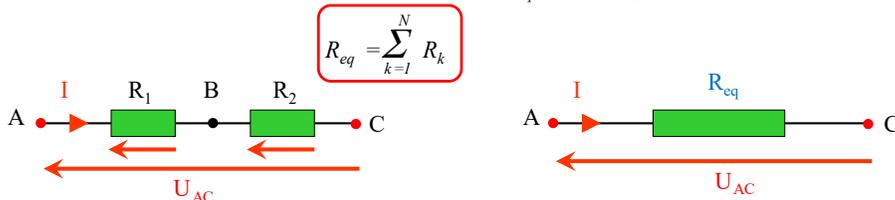
$$U_{AB} = R_1 I_{AB} = R_1 I \quad \text{et} \quad U_{BC} = R_2 I_{BC} = R_2 I \quad \text{et d'autre part} \quad U_{AC} = R_{eq} I_{AC} = R_{eq} I$$

❖ Loi de Kirchhoff

$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} = R_1 I + R_2 I = (R_1 + R_2) I = R_{eq} I$$

D'où $R_{eq} = (R_1 + R_2)$

On peut généraliser pour N résistances en série : $R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_N$



1.6.5 Les dipôles en association parallèle

On se propose de déterminer le dipôle équivalent à l'association de plusieurs dipôles élémentaires.

Dans deux branches d'un même circuit reliant deux nœuds A et C, on rencontre deux résistors de résistance R_1 et R_2 montés en parallèle ou en dérivation. La tension U aux bornes de ces deux résistors est la même.

On cherche à remplacer R_1 et R_2 par une résistance équivalente R de telle sorte que le courant et la tension entre A et C restent inchangés.

❖ Convention de signe et loi d'Ohm

$$U_{AC} = R_1 I_1 \text{ et } U_{AC} = R_2 I_2 \text{ et d'autre part } U_{AC} = R I_{AC} = R I$$

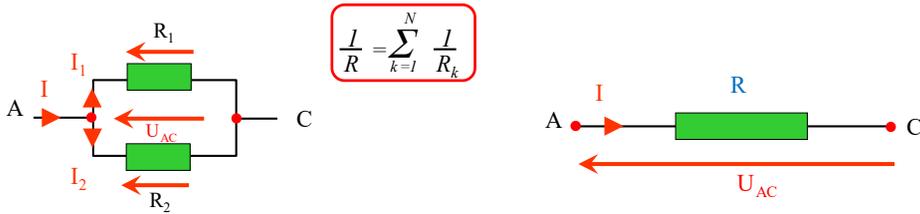
❖ Loi de Kirchhoff

$$I = I_1 + I_2 = U_{AC}/R_1 + U_{AC}/R_2 = U_{AC}(1/R_1 + 1/R_2) = U_{AC}/R$$

La résistance équivalente à deux résistances en parallèle est donc telle que :

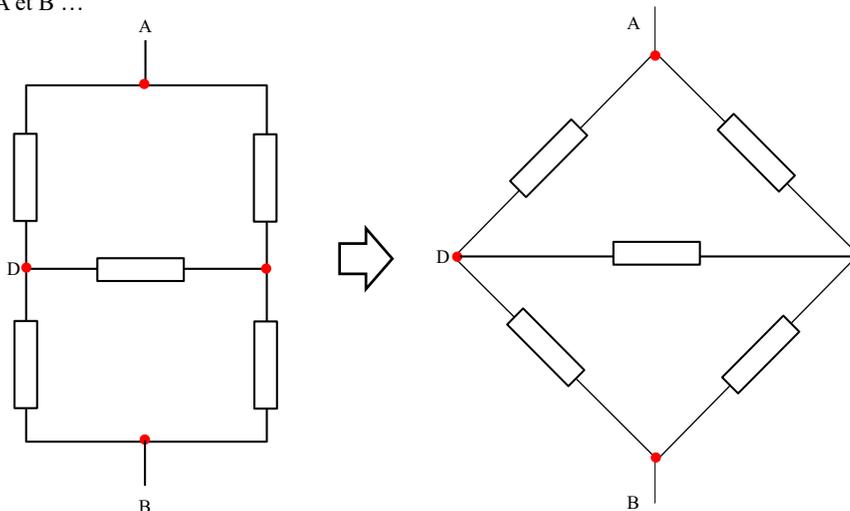
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

On peut généraliser pour N résistances en parallèle :



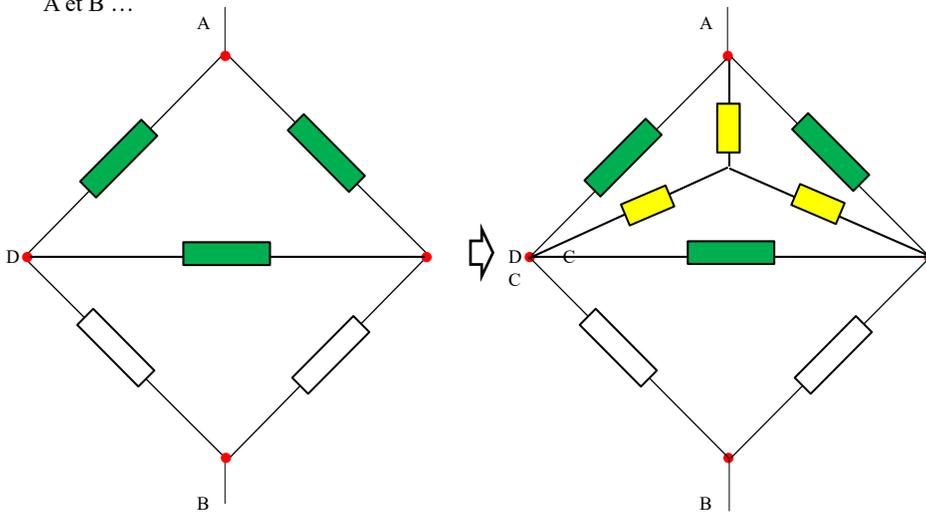
1.6.6 Les dipôles en association triangle ou étoile

On cherche à simplifier le schéma d'une portion d'un réseau électrique entre les nœuds A et B ...



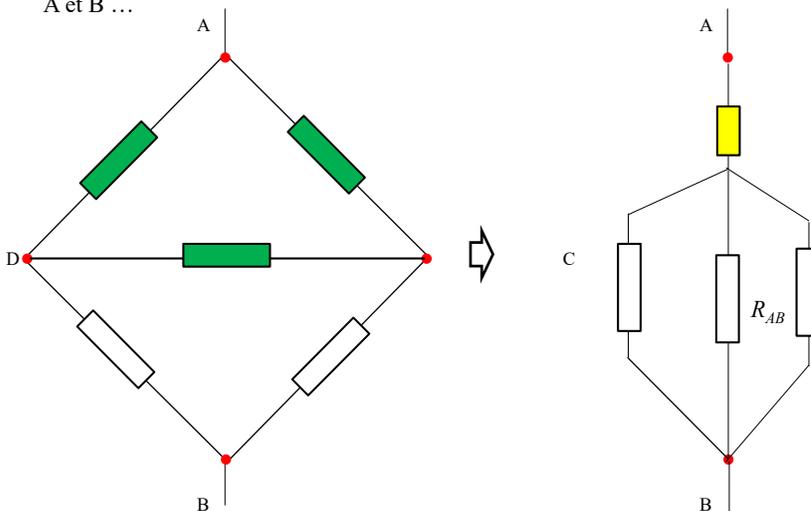
1.6.6 Les dipôles en association triangle ou étoile

On cherche à simplifier le schéma d'une portion d'un réseau électrique entre les nœuds A et B ...

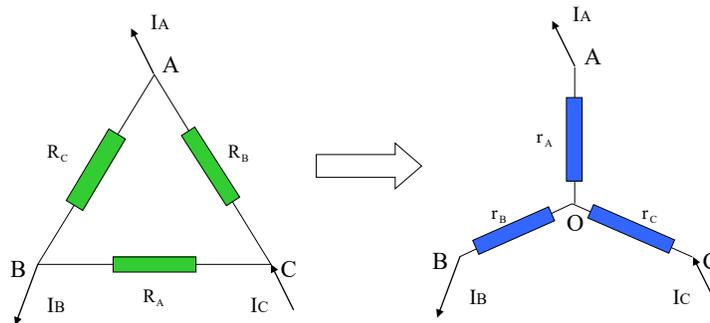


1.6.6 Les dipôles en association triangle ou étoile

On cherche à simplifier le schéma d'une portion d'un réseau électrique entre les nœuds A et B ...



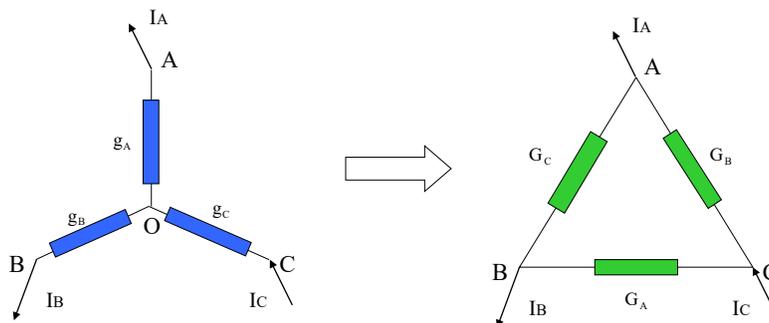
1.6.6 Les dipôles en association triangle ou étoile

Transformation de Kenelly (triangle \Leftrightarrow étoile)

Equivalence électrique : même courant I_A, I_B, I_C
 même potentiel V_A, V_B, V_C

$$r_A = \frac{R_B R_C}{R_A + R_B + R_C} \quad r_B = \frac{R_A R_C}{R_A + R_B + R_C} \quad r_C = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B + R_C}$$

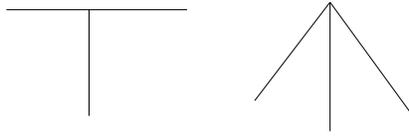
1.6.6 Les dipôles en association triangle ou étoile

Transformation de Kennelly (étoile \Leftrightarrow triangle)

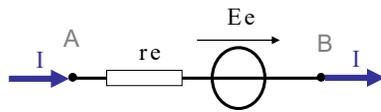
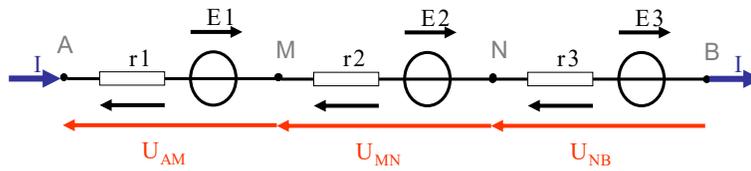
Equivalence électrique : même courant I_A, I_B, I_C
 même potentiel V_A, V_B, V_C

$$G_A = \frac{g_B g_C}{g_A + g_B + g_C} \quad G_B = \frac{g_A g_C}{g_A + g_B + g_C} \quad G_C = \frac{g_A g_B}{g_A + g_B + g_C}$$

 << Etoiles cachées >>

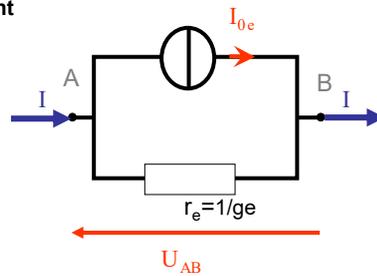
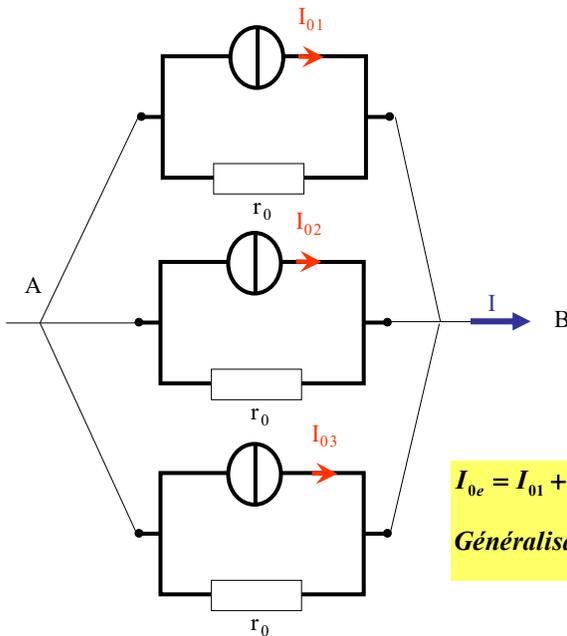


1.6.7 Association série de générateurs de tension



$E_e = E_1 + E_2 + E_3$ et $r_e = r_1 + r_2 + r_3$
 Généralisation: $E_e = \sum_{i=1}^N E_i$ et $r_e = \sum_{i=1}^N r_i$

1.6.8 Association parallèle de générateurs de courant



$I_{0e} = I_{01} + I_{02} + I_{03}$ et $g_e = g_1 + g_2 + g_3$
 Généralisation: $I_{0e} = \sum_{i=1}^N I_{0i}$ et $g_e = \sum_{i=1}^N g_i$

1.7. Puissance et Energie électrique mise en jeu dans un dipôle

La puissance est définie par la quantité :



$$P(W) = P_{AB}(W) = I_{AB}(A) \cdot U_{AB}(V) = I_{BA}(A) \cdot U_{BA}(V)$$

L'ordre dans lequel on choisit les indices de U et I doit être le même.

Convention: La puissance est définie comme une grandeur algébrique :

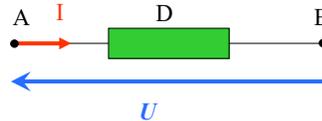
$P > 0$: le dipôle reçoit de l'énergie, il est dit **passif**

$P < 0$: le dipôle fournit de l'énergie, il est dit **actif**

Exemple:

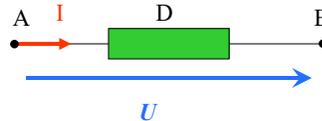
On mesure aux bornes du dipôle ci-contre $U=12V$ et $I=5A$ avec les orientations indiquées

$$P = U_{AB} I_{AB} = U I = 12 \times 5 = 60W \quad \text{Le dipôle est passif}$$



On mesure aux bornes du dipôle ci-contre $U=12V$ et $I=5A$ avec les orientations indiquées

$$P = U_{AB} I_{AB} = -U I = -12 \times 5 = -60W \quad \text{Le dipôle est actif}$$



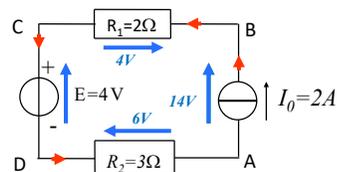
Exercice 5 (série de TD)

Calculer les puissances électriques mises en jeu dans les différents dipôles (AB, BC, CD, DA) constitutifs des deux circuits ci-dessous. Discuter le bilan énergétique.

1° Détermination de l'intensité du courant qui traverse chaque dipôle

Dipôles en série.

L'intensité et le sens du courant dans le circuit sont fixés par le générateur de courant monté en série avec le reste des dipôles.



2° Calcul des tensions aux bornes des dipôles

$$U_{BC} = R_1 \cdot I_{BC} = 2 \cdot I_0 = 2 \cdot 2 = 4V$$

$$U_{DA} = R_2 \cdot I_{DA} = 3 \cdot I_0 = 3 \cdot 2 = 6V$$

$$U_{BA} = U_{BC} + U_{CD} + U_{DA} = R_1 \cdot I_0 + E + R_2 \cdot I_0 = 4 + 4 + 6 = 14V$$

3° Calcul de la puissance électrique aux bornes de chaque dipôle

$$P_{R1} = U_{BC} \cdot I_{BC} = 4 \cdot I_0 = 4 \cdot 2 = 8W$$

$$P_{E} = U_{CD} \cdot I_{CD} = E \cdot I_0 = 4 \cdot 2 = 8W$$

$$P_{R2} = U_{DA} \cdot I_{DA} = 6 \cdot I_0 = 6 \cdot 2 = 12W$$

$$P_{g_c} = U_{BA} \cdot I_{BA} = 14 \cdot -I_0 = 14 \cdot -2 = -28W$$

Bilan énergétique: $\Sigma P_k = 0$.

règle: La somme totale des puissances algébriques dans un réseau électrique est toujours nulle.

Fin diapo