

Chapitre 1 : Notions élémentaires d'électrocinétique

LE COURS

A Courant et tension

A.1	Notion de charge électrique	1
A.2	Tension et potentiel	2
A.3	Courant électrique et intensité d'un courant	4

B Circuits électriques dans l'ARQS

B.1	Un peu de vocabulaire	6
B.2	Approximation des régimes quasistationnaires (ARQS)	7
B.3	Lois des mailles et d'additivité des tensions	9
B.4	Loi des nœuds	9

C Puissances reçue et cédée par un dipôle

C.1	Définitions	10
C.2	Lien entre puissance, intensité et tension	11
C.3	Fonctionnement générateur ou récepteur d'un dipôle	12

D Dipôles

D.1	Définitions	13
D.2	Exemples de dipôles usuels	14
D.3	Point de fonctionnement d'un circuit	16

A Courant et tension

A.1 Notion de charge électrique

► Électrisation des corps

La découverte de l'électrisation est due à Thalès de Milet (640-550 avt JC) : l'ambre (*êlektron* en grec ancien) jaune préalablement frottée sur une peau de chat attire de petits objets légers (bouts de papier par exemple). Les corps *électrisés* exercent donc des actions mécaniques.

L'électrisation peut se transférer d'un corps à un autre.

Les corps électrisés s'attirent ou se repoussent.



► Charge électrique d'un corps

La charge électrique est la grandeur physique permettant d'évaluer le degré d'électrisation d'un corps.

Pour les particules élémentaires, la charge est une des caractéristiques d'une particule donnée (électron, proton, muon, particule α , ...).

► On distingue deux classes de charges.

Ce qui les distingue, c'est notamment le sens de la force électrique subie. Pour distinguer ces deux classes, il suffit donc d'affecter à chacune un signe positif ou négatif.

Ainsi, on distingue :

- les charges négatives (classe à laquelle appartient l'électron par exemple) ;
- et les charges positives (classe du proton par exemple).

Par interaction électromagnétique :

- deux charges de même signe se repoussent ;
- deux charges de signes opposés s'attirent.

► La charge totale de l'univers est une grandeur conservative...

..., autrement dit, la charge totale de l'univers est constante. Cela signifie que des charges ne peuvent apparaître de nulle part. Ainsi, **le seul moyen qu'a un corps d'acquérir ou perdre de la charge, c'est d'en échanger avec son milieu extérieur.**

► La charge électrique est quantifiée

Il existe une charge **élémentaire** $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Cela signifie que les particules chargées que nous rencontrerons (électron, proton, cation, anion, ...) et tout corps chargé porteront une charge **multiple entier** de e .

Notamment, **un électron porte une charge $-e$** , alors qu'un proton porte une charge $+e$.

► Différents types de porteurs de charge

Les porteurs de charge sont des particules mobiles chargées permettant les transferts de charges d'un point à un autre de l'espace. Suivant le type de matériau conducteur (permettant un transfert de charge), les porteurs de charge sont de natures différentes :

- métaux : électrons libres**
- électrolytes : anions et cations en solution
- semi-conducteurs : électrons libres et "trous"
- plasmas : anions et cations en phase gazeuse

A.2 Tension et potentiel

Nous verrons plus tard dans l'année que la modification du mouvement d'une charge q grâce à d'autres corps chargés (par exemple, un électron situé entre deux plaques métalliques de charges opposées) peut être modélisée par une force $q\vec{E}$ où \vec{E} est un champ électrique. Il est possible de montrer que cette force est conservative et qu'elle confère à la particule une énergie potentielle électrique $E_p(M) = qV(M)$ où $V(M)$ est appelé **potentiel électrique** (dépendant de la position M de la charge dans l'espace). Or, nous démontrerons plus tard dans l'année également qu'une force conservative agit toujours dans le sens diminution de l'énergie potentielle qui lui correspond.

Dans le cas des électrons, $q = -e$, ainsi $E_p = -eV$. Ainsi, **les électrons sont donc attirés vers les potentiels les plus élevés**, afin de diminuer leur énergie potentielle.

(R) *Attention, ça ne veut pas dire qu'ils vont forcément s'y diriger. De même qu'une masse en chute libre est toujours attirée vers le bas, là où l'énergie potentielle de pesanteur est la plus faible ; pour autant, ça ne lui interdit pas d'être en mouvement vers le haut si une vitesse initiale vers le haut a été communiquée à la masse ...*

Le mouvement engendré par l'opportunité d'acquérir une énergie potentielle plus basse peut permettre d'ailleurs de produire un **transfert d'énergie** : dans l'exemple du moulin hydraulique ci-contre, l'eau peut se mettre en mouvement parce qu'elle a l'opportunité de diminuer son énergie potentielle de pesanteur en chutant. Lors de cette mise en mouvement, une partie de l'énergie potentielle de pesanteur qu'elle perd lui permet d'acquérir de l'énergie cinétique, donc de la vitesse, mais permet également de transférer de l'énergie cinétique de rotation au moulin (nécessaire pour moudre le blé). Il en sera de même dans un circuit électrique : les électrons se déplaçant dans le circuit peuvent céder une partie de leur énergie potentielle pour alimenter des dispositifs électriques. Ainsi, **pour alimenter électriquement un dispositif, il est nécessaire qu'il y ait des différences de potentiels au sein du circuit**, au même titre que pour l'eau du moulin, il faut une différence d'altitude dans le circuit hydraulique.



Définition

Une **tension** électrique est une **différence de potentiels** électriques entre deux points de l'espace. Dans le système international d'unités, elle s'exprime en volt (V).

Usuellement, on note les tensions avec la lettre U et les potentiels avec la lettre V .

Par convention, la tension $U_{AB} = V_A - V_B$ entre deux points A et B de l'espace est symbolisée par une flèche orientée de B vers A .



ATTENTION : une tension n'est PAS un vecteur !!!



Exemples

Voici des **ordres de grandeurs à connaître** suivant le contexte :

Pile : 1V, 10V continu

Alimentation d'un portable : 10V, 20V continu ou alternatif (sinusoidal)

Tension Domestique : tension sinusoidale de valeur efficace 220 V

Ligne haute tension EDF : 20 kV alternatif

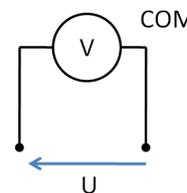
Tension produisant la foudre : de l'ordre de 500 MV

► **Mesure d'une tension avec un voltmètre**

Il faut utiliser les bornes **COM** et **V** du voltmètre.

Le voltmètre mesure toujours la tension orientée de la borne **COM** vers la borne **V** :

$$U = V_{\text{borne V}} - V_{\text{COM}}$$



► **Notion de masse**

Un **voltmètre** ne peut mesurer que des différences de potentiels et **ne peut donc pas mesurer un potentiel seul** ! De toute manière, vouloir mesurer un potentiel électrique n'aurait pas de sens puisque le potentiel électrique est une grandeur physique définie à une constante près arbitraire (car étant définie à partir d'une énergie potentielle elle-même définie à une constante près, comme nous le verrons plus tard dans l'année). Spécifier cette constante revient à définir arbitrairement une origine des potentiels. De la même manière que l'on peut choisir une origine pour un axe Ox , ou pour un axe temporel, ... Néanmoins, bien que la valeur d'un potentiel électrique seul ne représente pas grand chose d'intéressant, nous verrons qu'il sera pratique de définir arbitrairement cette origine des potentiels en précisant où se situe la **masse** dans le circuit :

Définition

La **masse** d'un circuit est une **référence de potentiel valant zéro** et choisie arbitrairement en un point du circuit.

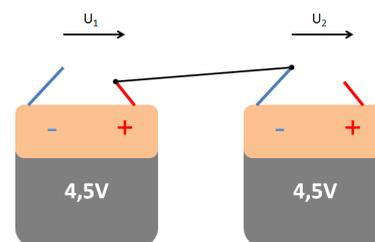
Elle est représentée par le symbole .

Le fait de définir arbitrairement une masse n'influe en rien les valeurs des tensions.

(R) Au même titre que le fait de définir arbitrairement l'origine d'un axe Ox en mécanique ne change pas les valeurs de distances de déplacement d'un mobile observées le long de cet axe.

Mais cela implique donc nécessairement que les valeurs des potentiels soient impactées par le choix de la masse.

Traisons un exemple. Relions deux piles de 4,5 V par un fil de la manière ci-contre. Suivant le choix de la masse, quelles sont les valeurs des potentiels électriques ?



	$U_1 = \dots\dots$	$U_2 = \dots\dots$	$V_A = \dots\dots$	$V_B = \dots\dots$	$V_C = \dots\dots$
	$U_1 = \dots\dots$	$U_2 = \dots\dots$	$V_A = \dots\dots$	$V_B = \dots\dots$	$V_C = \dots\dots$



(R) Ne pas confondre la masse symbolisée par avec la ligne de terre symbolisée par qui désigne le potentiel électrique du sol et dont la valeur n'est pas nécessairement homogène. Rigoureusement, cela ne peut donc constituer une référence de potentiel. Néanmoins, localement, notamment au voisinage de la salle de TP, on pourra considérer que le potentiel de la terre est homogène, et nous serons amenés à nous en servir de masse. Cela sera dû à l'usage d'appareil électrique relié à la terre, par mesure de protection (le rôle de la ligne de terre étant de pouvoir déclencher un disjoncteur différentiel au cas où une fuite de courant électrique se produirait à travers un usager touchant un appareil électrique comportant un défaut...).



B.2 Approximation des régimes quasistationnaires (ARQS)

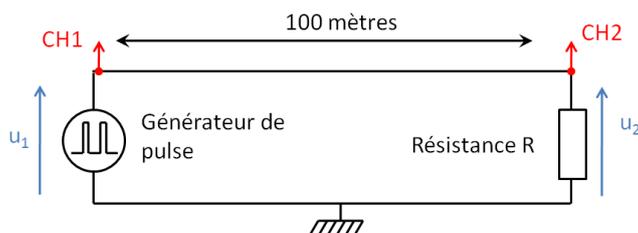
En régime variable, les valeurs que prennent les intensités et tensions sont liées à des phénomènes propagatifs. Il s'agit en l'occurrence d'ondes électromagnétique se propageant à des vitesses de l'ordre de $c \simeq 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

(R) Attention à ne pas confondre la vitesse de propagation des signaux avec la vitesse d'agitation thermique des électrons ou encore avec la vitesse d'ensemble déjà évoquée au début du chapitre.

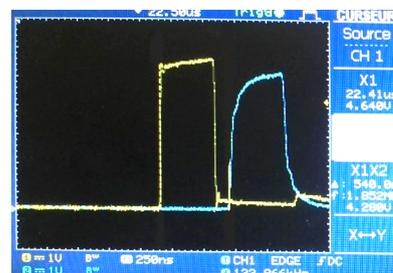
Cela implique par exemple que sur une même branche de conducteur, la valeur de l'intensité ou du potentiel électrique en deux points distincts peut différer à cause d'un retard de propagation de l'onde électromagnétique faisant varier la valeur de l'intensité en chaque point du circuit.

Expérience

Réalisons l'expérience ci-dessous et visualisons à l'aide d'un oscilloscope les tensions u_1 et u_2 .

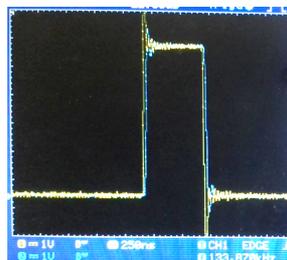
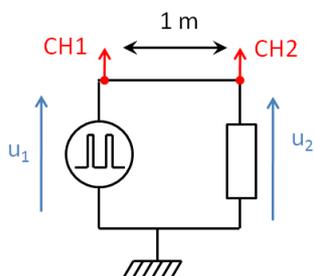


Sur l'oscilloscope, pour des *pulses* (impulsions) de largeur 400 ns, voici ci-contre ce que nous visualisons. L'impulsion est visualisée sur la voie 2 de l'oscilloscope avec un retard de 540 ns par rapport à celle de la voie 1. Ce qui correspond à une vitesse de propagation d'environ 2.10^8 m.s^{-1} , donc effectivement de l'ordre de c .



(R) On remarque qu'en plus, le signal s'est déformé lors de sa propagation.

Et si nous avons pris un câble plus court ? 1 mètre par exemple : le retard entre u_1 et u_2 n'est plus que d'une dizaine de nanosecondes, à comparer à largeur de l'impulsion de 400 ns.



Les deux signaux sont quasiment confondus !

(R) Ici, la distance de propagation étant nettement moindre que précédemment, on constate que le signal s'est nettement moins déformé.

Ainsi, lorsque les temps de propagation des ondes électromagnétiques deviennent très faibles, alors tout se passe comme si les modifications des valeurs des intensités et potentiels se répercutaient instantanément dans l'ensemble du circuit étudié.

Définition

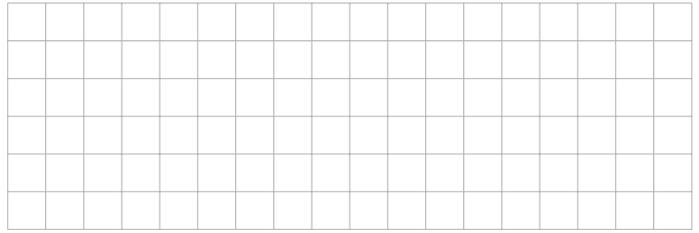
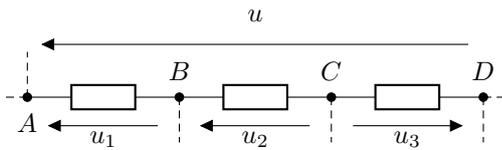
L'**approximation des régimes quasistationnaires (ARQS)** consiste à négliger les effets liés à la propagation des signaux électriques. Le critère de validité de cette approximation est le suivant :

$$\tau_{propag} \ll \tau_{signal}$$

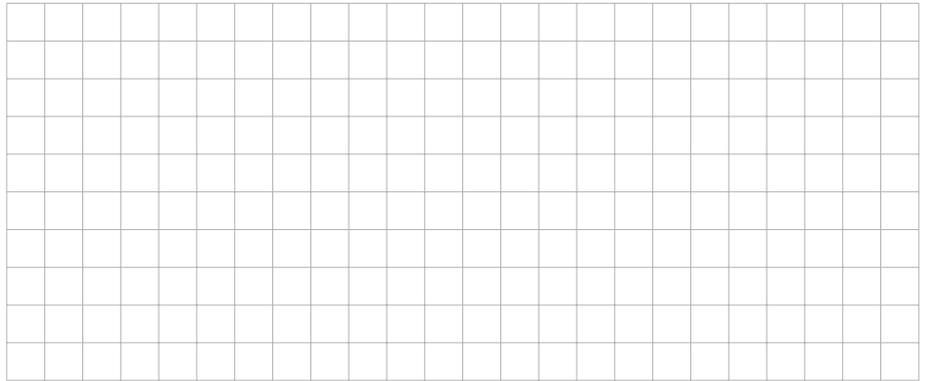
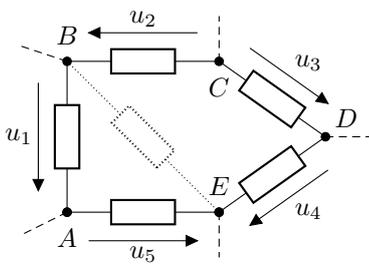
où τ_{signal} est le temps caractéristique d'évolution des signaux et τ_{propag} est le temps caractéristique des phénomènes propagatifs.

B.3 Lois des mailles et d'additivité des tensions

a. Loi d'additivité des tensions



b. Loi des mailles



8

Loi des mailles

On choisit arbitrairement un sens de rotation dans la maille étudiée. Si une tension d'une des branches de la maille est orientée dans le même sens de rotation, on l'affecte d'un signe +, sinon d'un signe - .
Alors, la somme des tensions des branches affectées de leur signe est égale à 0.

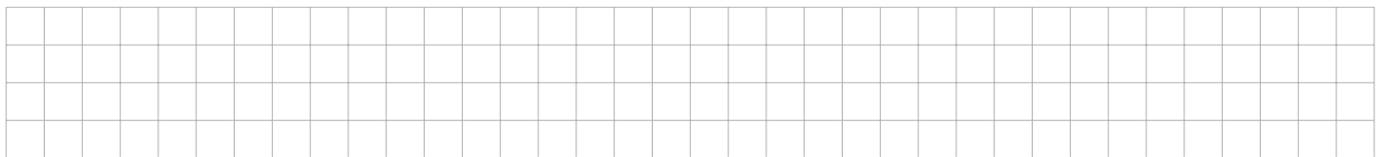
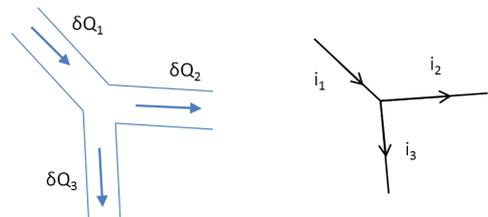


ACTIVITÉ N°1

B.4 Loi des nœuds

Dans l'ARQS, il n'y a pas d'accumulation de charges en un point du circuit. Ainsi, pendant un intervalle de temps dt , il repart autant de charges d'un nœud qu'il en arrive.

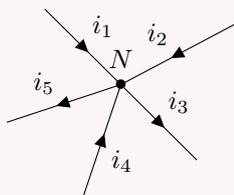
Étudions ce que cela implique lorsqu'on effectue un bilan de charge sur un nœud à trois branches.



9

On généralise aisément à tout type de nœud dans un circuit :

Loi des nœuds



La somme des intensités orientées vers un nœud est égale à la somme des intensités « qui en repartent ».

Dans l'exemple ci-contre :



ACTIVITÉ N°2

D Dipôles

D.1 Définitions

La manière dont varie le courant avec la tension (et inversement) diffère d'un dipôle à un autre. Cela est dû au fait que le déplacement des porteurs de charge, outre le fait qu'il soit dépendant de la tension appliquée, est également dépendant de la constitution même du dipôle : la nature du dipôle peut induire certains phénomènes physiques influençant le déplacement des porteurs de charges et donc l'intensité traversant le dipôle.

Pour rendre compte de cette relation entre courant et tension, on définit la caractéristique du dipôle :

Définition

La **caractéristique statique** d'un dipôle représente graphiquement l'intensité qui le traverse en fonction de la tension à ses bornes, ou l'inverse. Elle est établie - *et donc valable* - **en régime continu** ...

(R) ... d'où l'adjectif « statique ».

(R) Lorsqu'on établit une caractéristique, il sera nécessaire de préciser si la convention utilisée est la convention générateur ou récepteur.

Définition

Un **dipôle linéaire** est un dipôle dont la relation courant-tension (*reliant mathématiquement la tension et l'intensité de ce dipôle*) est une équation différentielle linéaire à coefficients constants.

Graphiquement, la **caractéristique statique prendra la forme d'une droite**.

Dans le cas contraire, le dipôle est non-linéaire.

Définition

Lorsque la caractéristique passe par l'origine, le dipôle est qualifié de **passif**.

Sinon, il est dit **actif**.

Définition

La **tension en circuit ouvert** U_{co} d'un dipôle correspond à la tension aux bornes de ce dipôle lorsque l'intensité qui le traverse est nulle.

L'**intensité de court-circuit** I_{cc} d'un dipôle correspond à l'intensité du courant traversant le dipôle lorsque celui-ci est court-circuité (tension nulle à ses bornes).

Comment mesurer ces grandeurs ?

On peut mesurer U_{co} à l'aide d'un voltmètre car celui-ci se comporte idéalement comme un interrupteur ouvert.



On peut mesurer I_{cc} à l'aide d'un ampèremètre car celui-ci se comporte idéalement comme un fil.

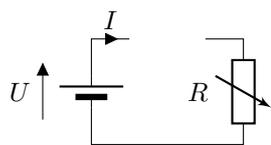


Un dipôle est **actif** lorsque sa tension en circuit ouvert U_{co} et son intensité de court-circuit I_{cc} sont **non-nulles**.

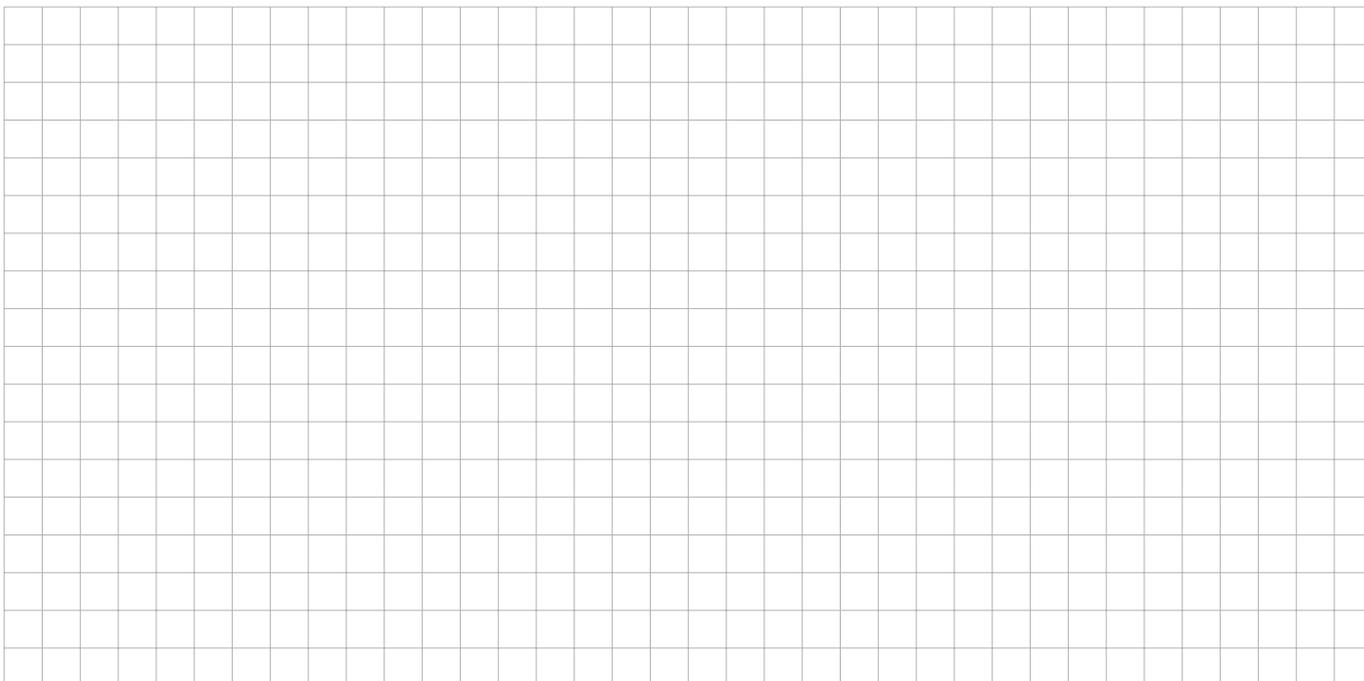
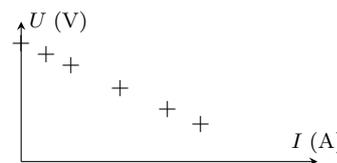
Pour un dipôle **passif**, $U_{co} = 0$ et $I_{cc} = 0$.

e. Modèle de Thévenin d'un générateur réel

Comment se comporte un générateur usuel, tel qu'une pile 4,5 V par exemple ? Effectuons l'expérience ci-dessous dans laquelle on fait varier la résistance R afin de limiter plus ou moins le débit de charge I . Mesurons U et I en conséquence. Et étudions graphiquement U en fonction de I .



I (mA)	0	254	503	1001	1480	1817
U (V)	4,50	4,07	3,64	2,80	1,98	1,41



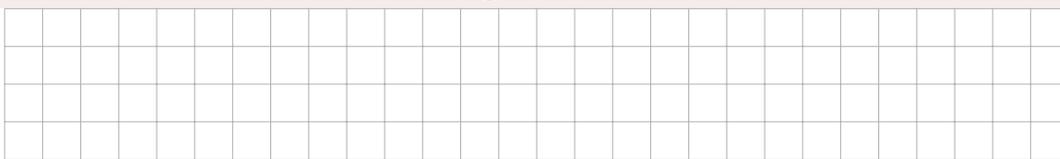
21

► Résistance de sortie d'un dipôle actif

Définition

Très souvent, un dipôle actif semble se comporter comme un générateur de Thévenin. On appellera alors **résistance de sortie**, la résistance interne intervenant dans le modèle de Thévenin correspondant.

Résistance de sortie d'un générateur en TP



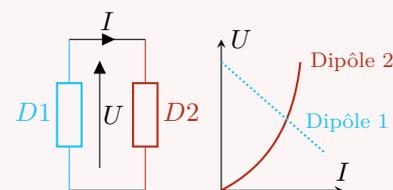
22

D.3 Point de fonctionnement d'un circuit

Définition

Le point de fonctionnement correspond au couple de valeurs U_0 et I_0 , tension et intensité observées dans un **circuit ne comportant que deux dipôles**. Il peut se déterminer soit par lecture graphique situé à l'**intersection des caractéristiques des deux dipôles**, soit par le calcul en résolvant le système d'équations constitué des deux relations courant-tension mises en jeu.

(R) Nécessairement, un des deux dipôles est étudié en convention générateur si l'autre est étudié en convention récepteur, afin qu'il partage la même tension U et la même intensité I .



23



ACTIVITÉ N°4