

# Etude des circuits électriques linéaires dans le cadre de l'ARQS.

---

## Objectifs :

- Introduire les lois de Kirchhoff (lois des noeuds et mailles)
- Etablir les conventions d'orientation des dipôles dans les réseaux
- Donner une modélisation linéaire des dipôles électrocinétiques
- Poser les grands principes des réseaux linéaires.

# **I - RÈGLES GÉNÉRALES DE L'ÉLECTROCINÉTIQUE**

- 1 - Géométrie des circuits
- 2 - Les lois de Kirchhoff
- 3 - Fonctionnement et orientation des dipôles

# **II - MODÉLISATION LINÉAIRE DES ÉLÉMENTS DU CIRCUIT**

- 1 - Les éléments du circuit
- 2 - Caractéristique des dipôles
- 3 - Les dipôles passifs usuels
- 4 - Les dipôles actifs de base

# **III - ASSOCIATIONS DE DIPÔLES**

- 1 - Association de dipôles linéaires en série
- 2 - Association de dipôles linéaires en parallèle
- 3 - Les ponts diviseurs

# **IV - LES GRANDS PRINCIPES DE L'ÉLECTROCINÉTIQUE**

- 1 - Le théorème de Millmann
- 2 - Le théorème de superposition
- 3 - Equivalence de Thévenin / Norton

# I - Règles générales de l'électrocinétique

## 1 - Géométrie des circuits :

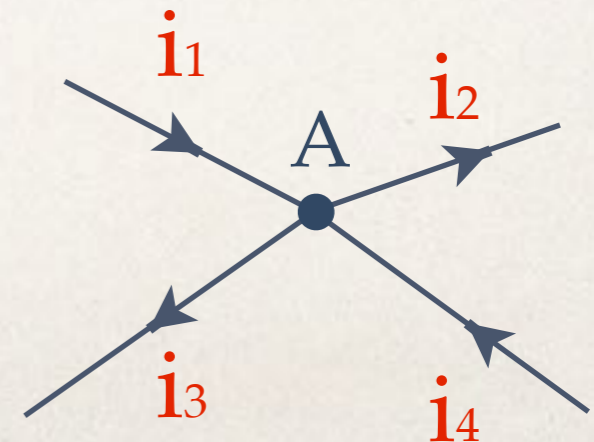
O2R

Déf :

On appelle circuit électrique (ou réseau) un ensemble de conducteurs appelés dipôles électrocinétiques reliés par des conducteurs de résistances négligeables

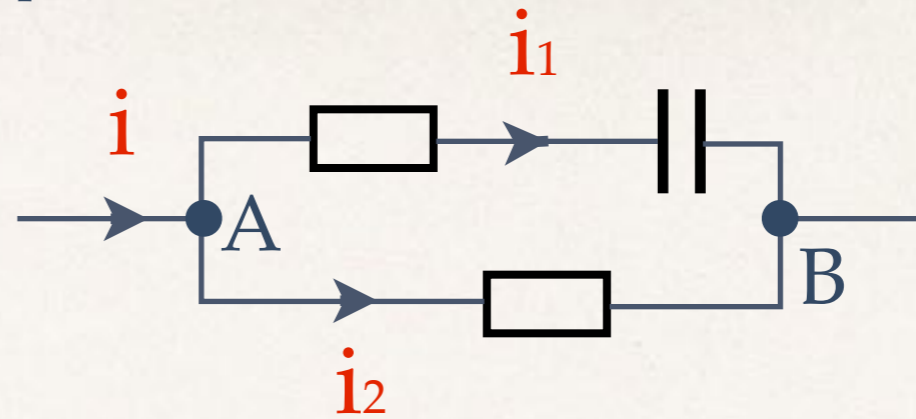
► Les noeuds :

Point de partage des courants.



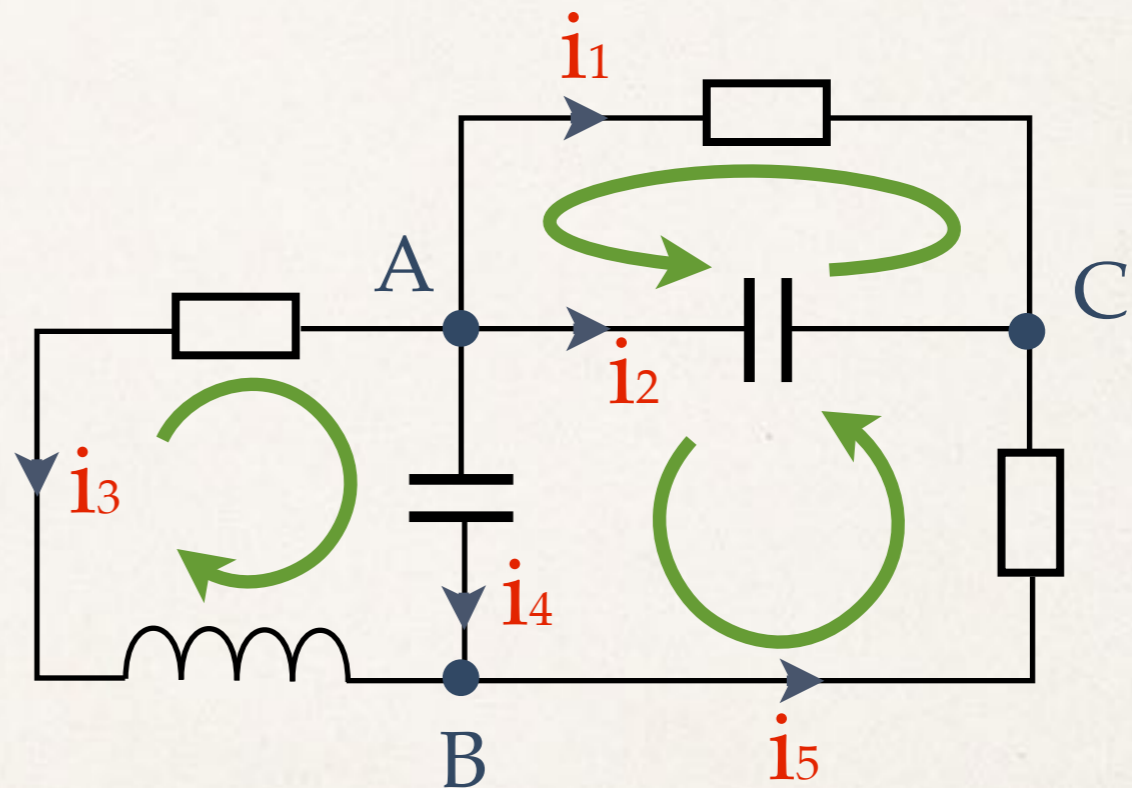
► Les branches :

Ensemble de dipôles montés en série entre deux noeuds



► Les mailles :

Boucle fermée au sein du circuit

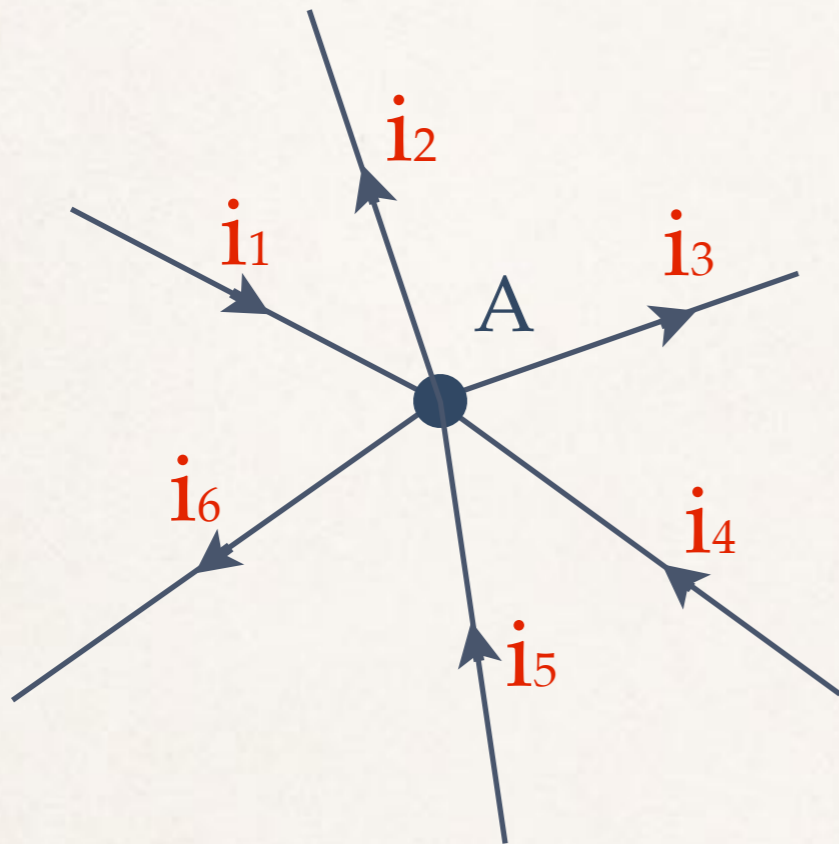


**A chercher :**

Application : Combien de noeuds-branches-mailles ?

## 2 - Les lois de Kirchhoff :

$\alpha$  - La loi des noeuds :



**Pouvez-vous deviner la loi simple reliant tous les courants ?**

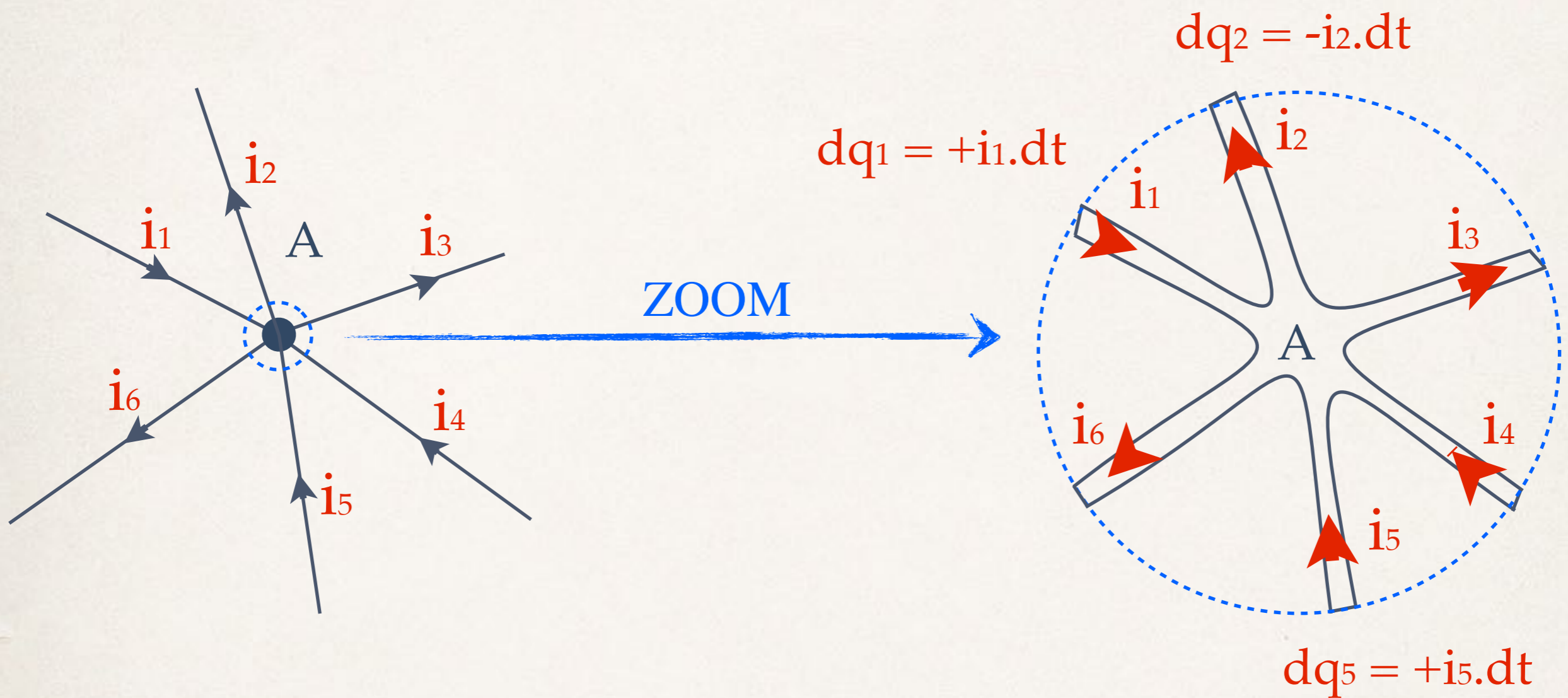
**— En classe — : algébrisation**

Cette loi traduit la conservation de la charge au niveau du noeud :  
ARQS  $\Rightarrow$  pas d'accumulation de charge sur le noeud.



Théorie des réseaux  
électriques 1845

Bilan des échanges de charges pendant une durée  $dt$  :

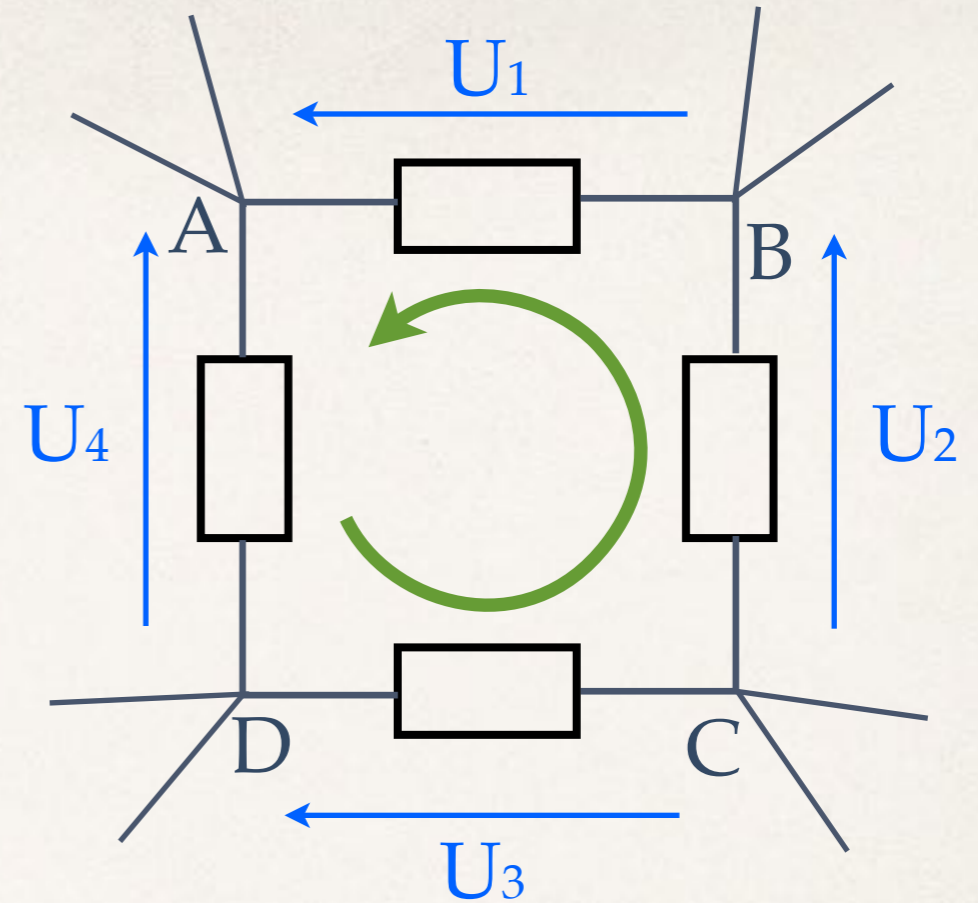


$dq = ?$

—Démonstration en classe—

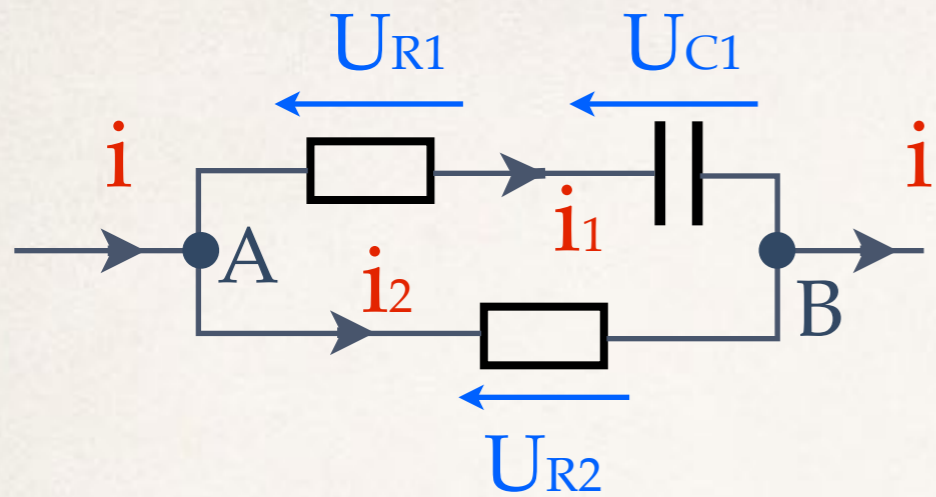
## $\beta$ - La loi des mailles :

Proposez une loi simple reliant toutes les tensions ?



— En classe — : algébrisation

# Application directe :



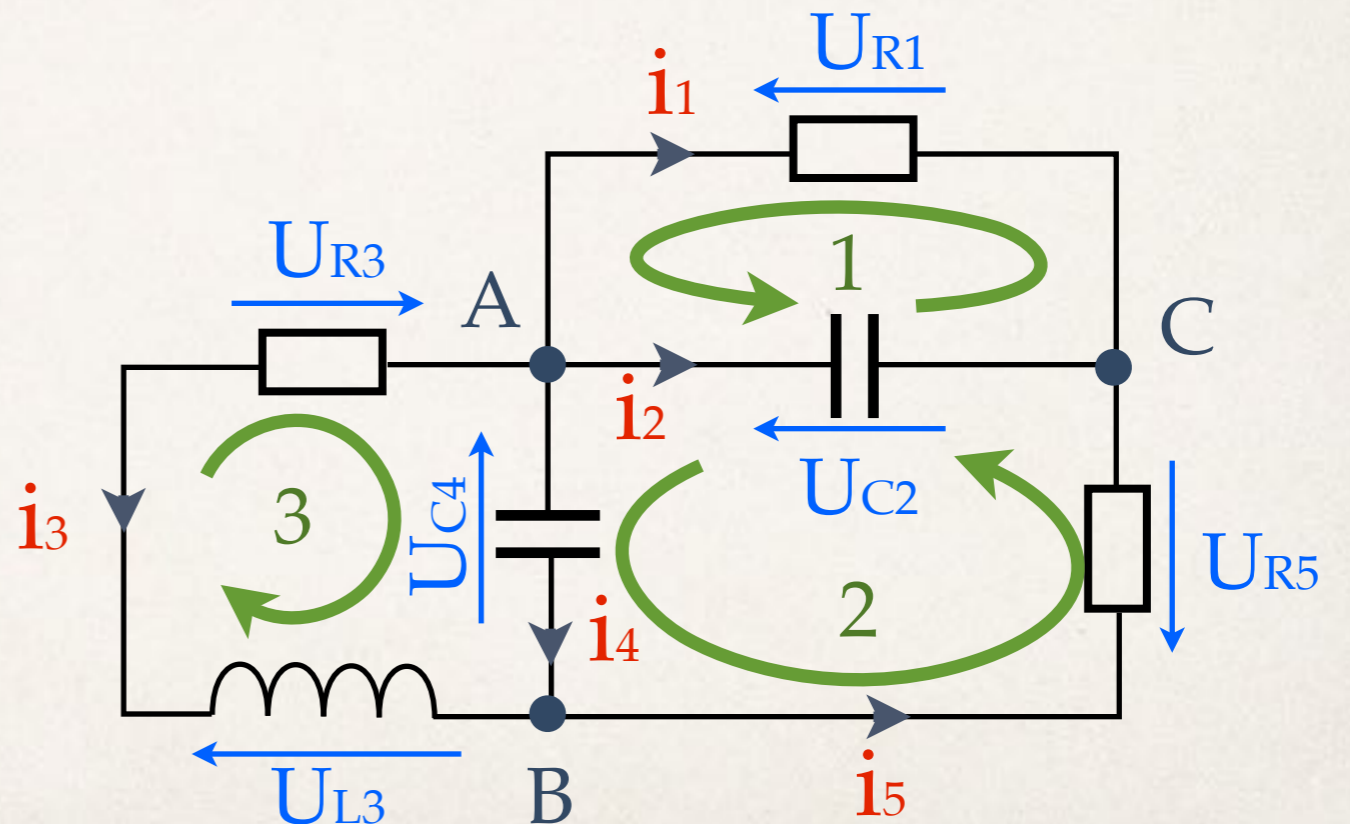
Lois des noeuds en A :

Lois des mailles :

— A chercher —

Lois des noeuds en A,B,C :

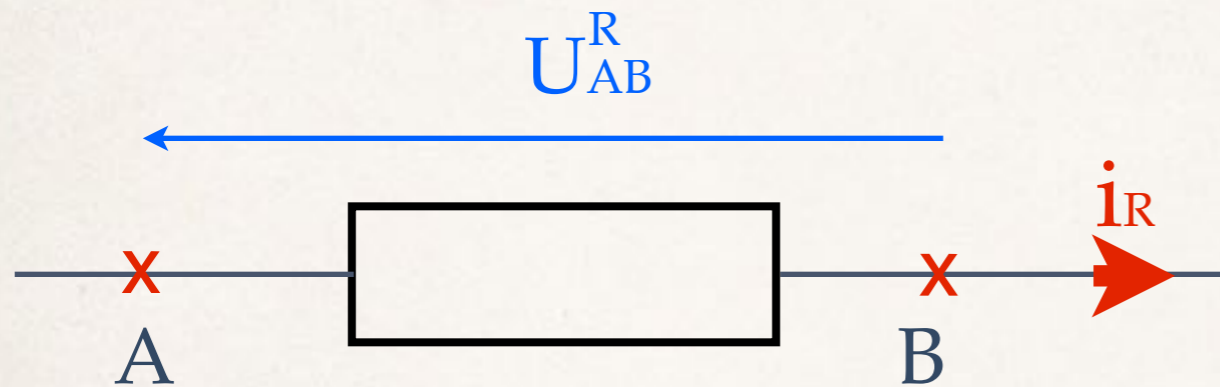
Lois des mailles :





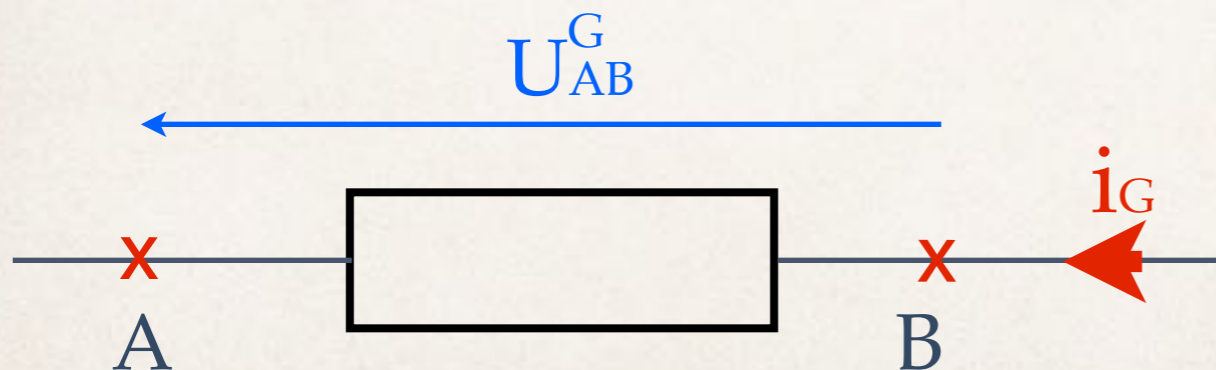
### 3 - Fonctionnement et orientation des dipôles :

#### $\alpha$ - Conventions :



C.R  
Flèches en sens opposés

Convention récepteur



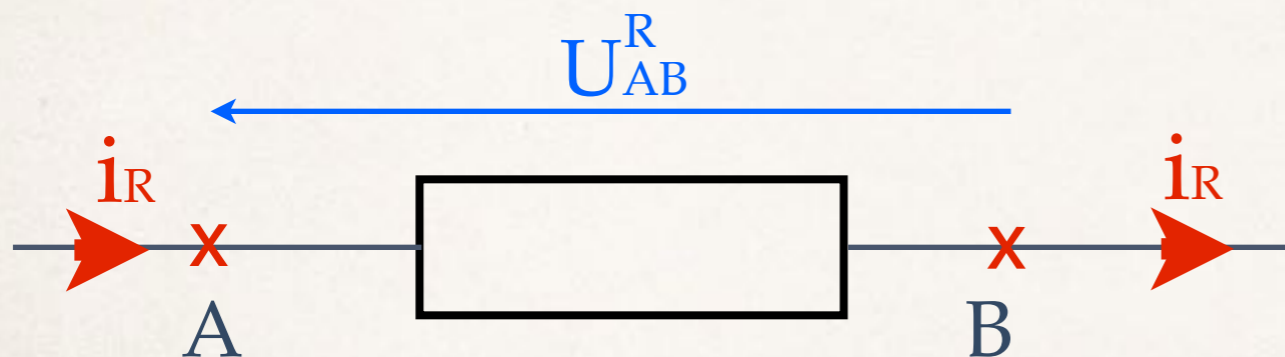
C.G  
Flèches de même sens

Convention générateur

# $\beta$ - Puissance de fonctionnement du dipôle :

On se place en convention récepteur :

On mesure l'énergie transmise du circuit au dipôle pendant  $dt$



$$E_p = q \cdot V$$

Une charge  $dq$  est reçue au potentiel  $V_A$  et une charge  $dq$  est donnée potentiel  $V_B$ .

— En classe — : Démo

Soit  $P_{Re\grave{c}ue} =$

**Devinez les formules**

et  $P_{Emise} =$

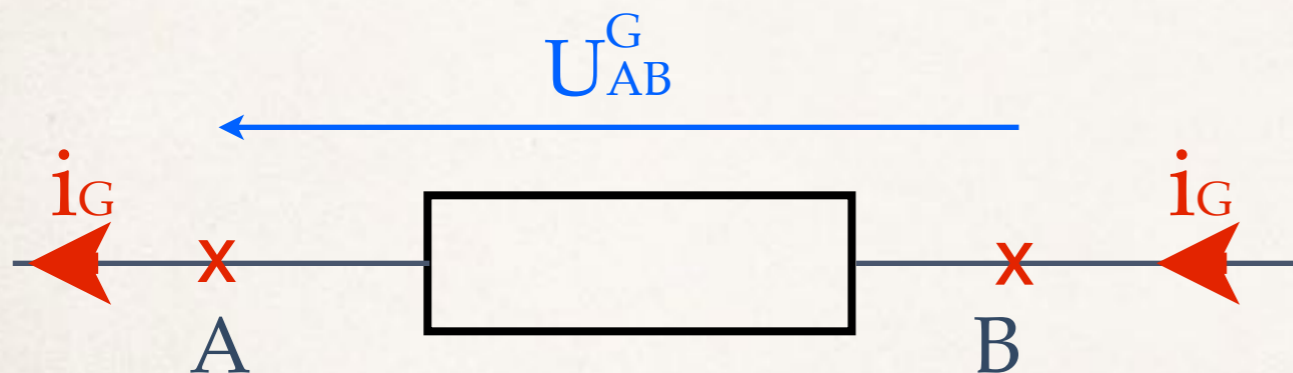
La puissance en CR est positive lorsque le dipôle reçoit de l'NRJ

**Quelle différence entre émission et reçue ?**

# Et en convention générateur :

On se place en convention générateur :

On mesure l'énergie transmise du dipôle au circuit pendant dt



$$E_p = q \cdot V$$

Une charge dq est donnée au potentiel  $V_A$  et une charge dq est reçue potentiel  $V_B$ .

Soit  $P_{Re\grave{c}ue} =$

**Devinez les formules**

et  $P_{Emise} =$

La puissance en CG est positive lorsque le dipôle émet de l'NRJ

**Quelle différence entre émission et reçue ?**

## CONCLUSION

Fonctionnement récepteur :  $P_{CR} > 0$   
( $P_{CG} < 0$ )

Fonctionnement générateur :  $P_{CG} > 0$   
( $P_{CR} < 0$ )

On fera bien la distinction entre convention récepteur (resp. générateur) et fonctionnement récepteur (resp. générateur).

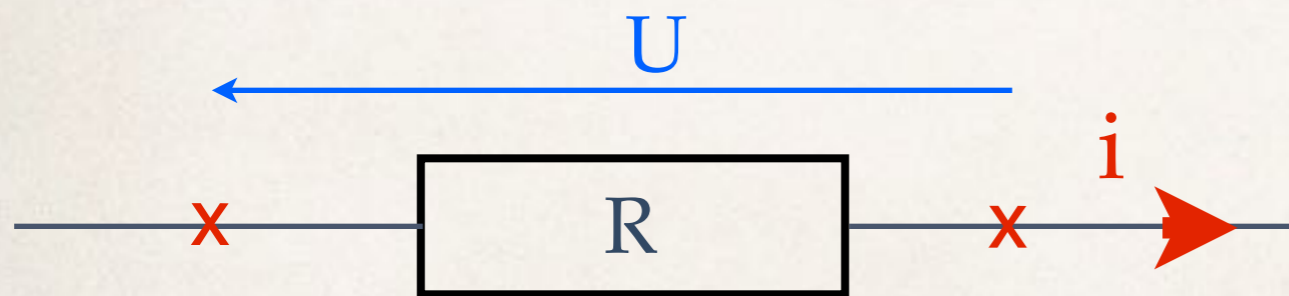
# II - Modélisation linéaire des éléments du circuit.

---

Propriété de linéarité :

## 1 - Les éléments du circuit

$\alpha$  - Les dipôles :  $(u, i)$



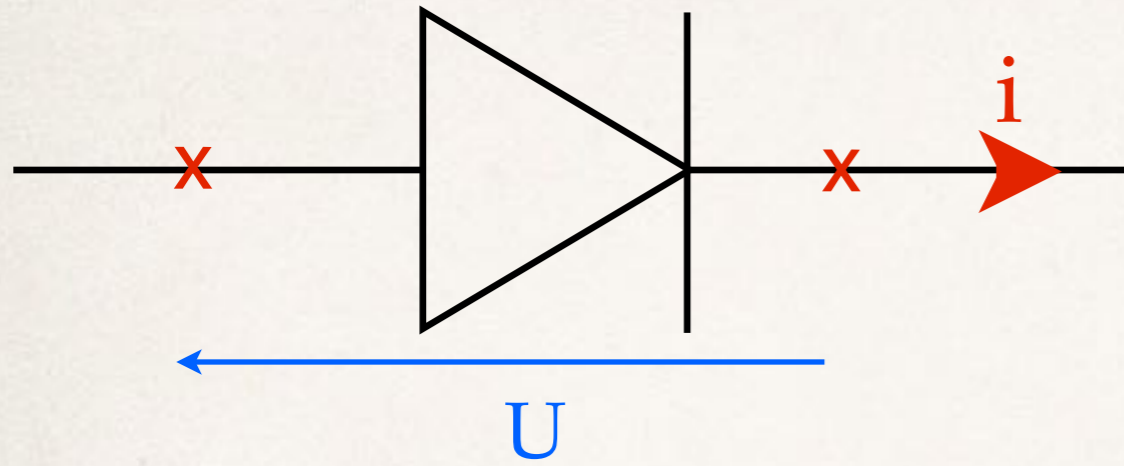
C'est une «boîte noire» :

- On ne veut pas savoir ce qui se passe à l'intérieur. (dans un 1er temps)

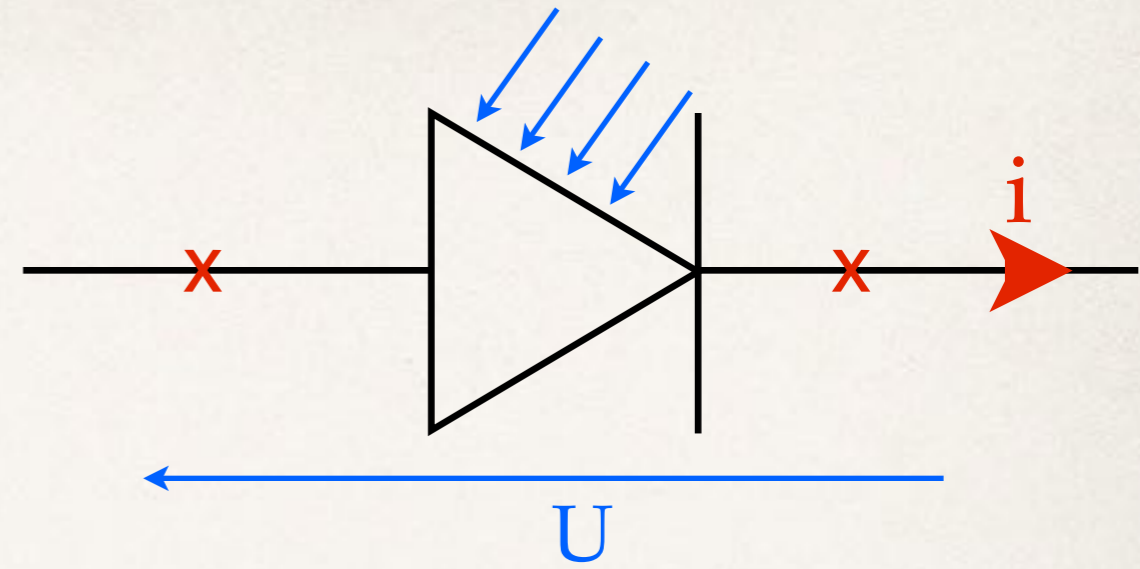
- Ses propriétés nous sont données par une caractéristique

ex :

diode

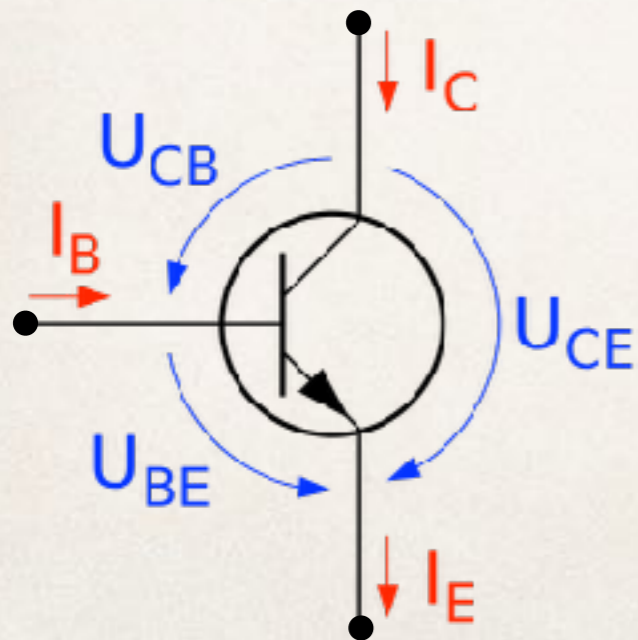


Photodiode

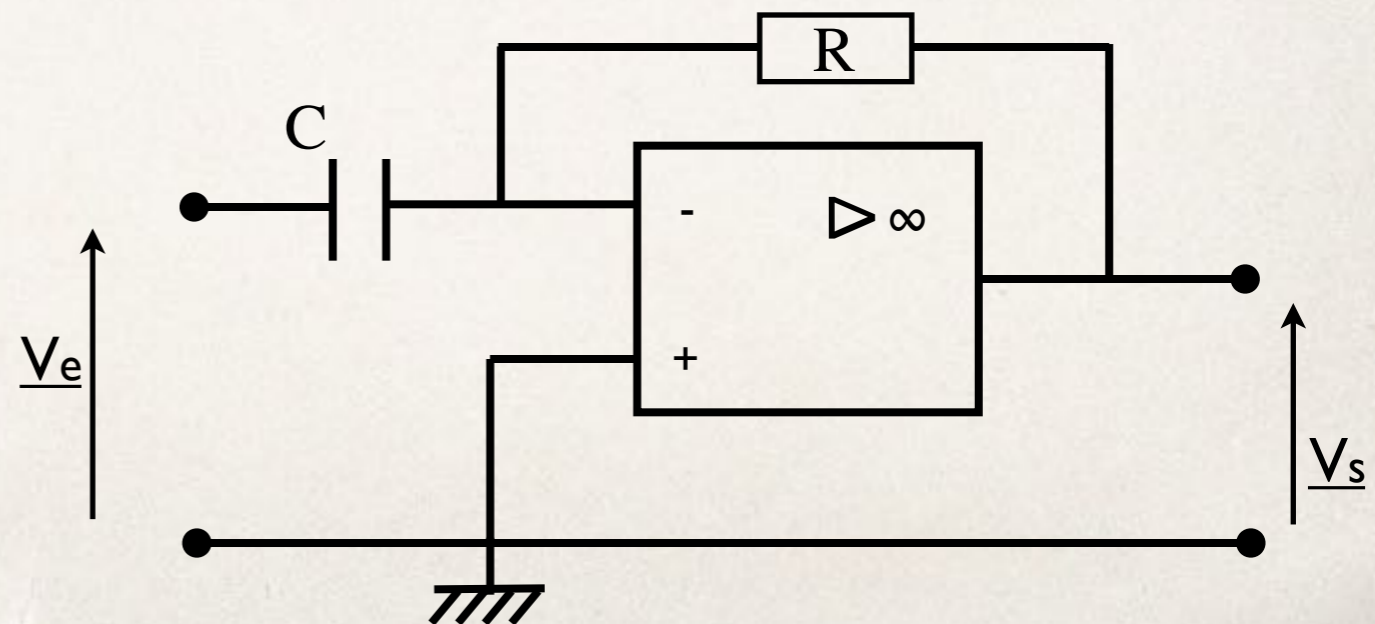


$\beta$  - Les multipôles :

Transistor : trois pôles



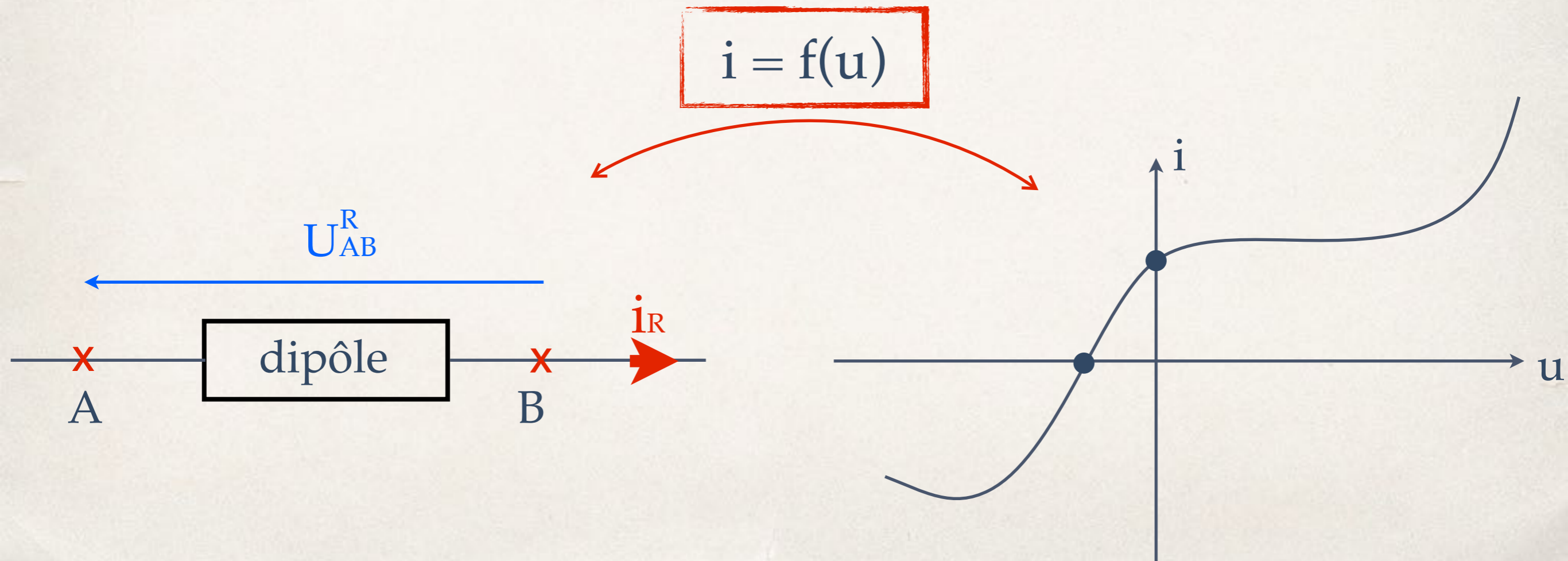
quadripôle : quatre pôles



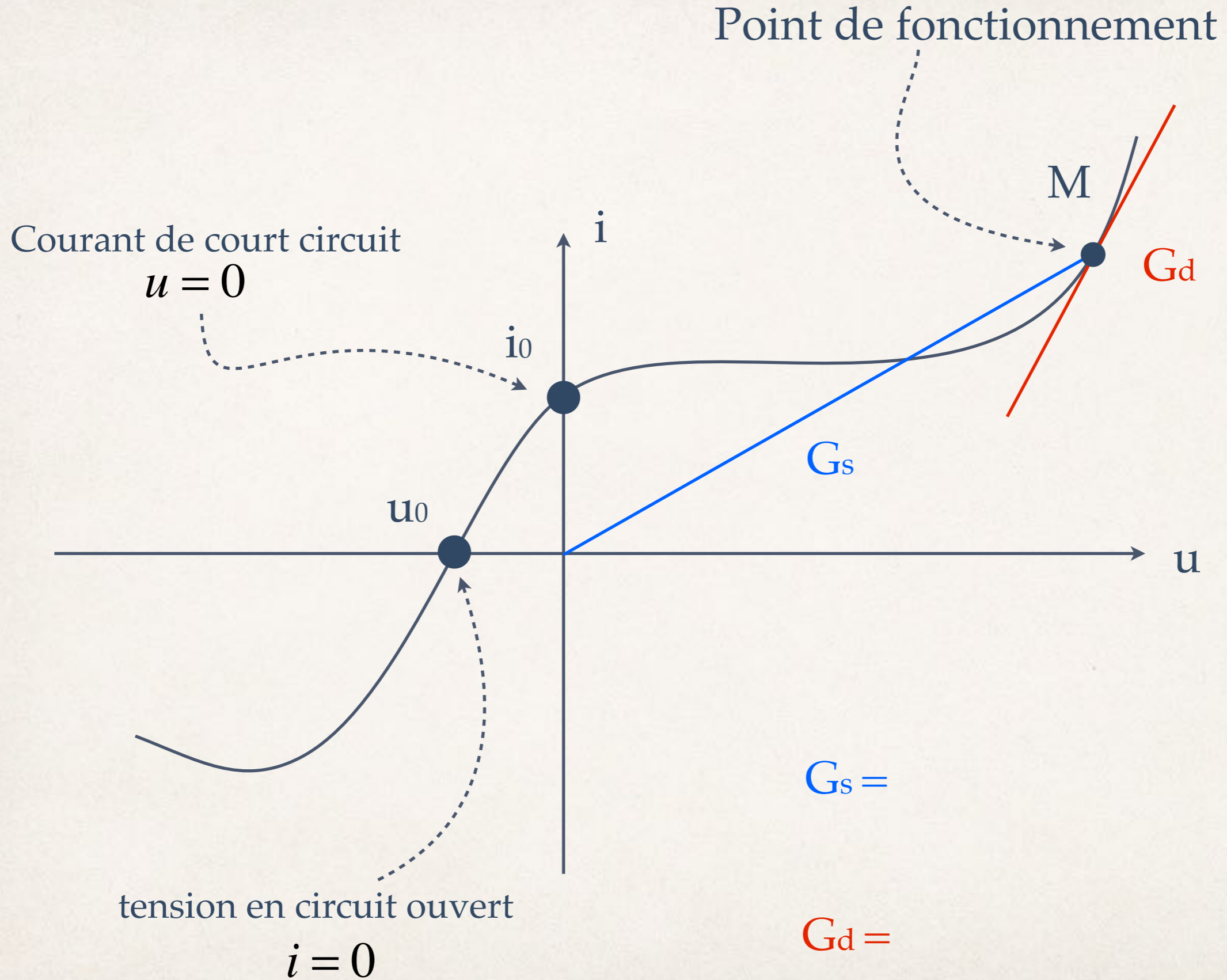
## 2 - Caractéristique des dipôles :

### $\alpha$ - Définition :

La caractéristique est une fonction  $i = f(u)$ , qui résume tous les processus physiques complexes internes au dipôle.



# $\beta$ - Propriétés





# $\gamma$ - Dipôles linéaires :

Déf° :

On parle de dipôles linéaires, lorsque la relat° entre  $u(t)$  et  $i(t)$ , obéit à une eq° diff. lin. à coef. cst. :

$$a_0 u + a_1 \frac{du}{dt} + a_2 \frac{d^2u}{dt^2} + \dots + b_0 i + b_1 \frac{di}{dt} + b_2 \frac{d^2i}{dt^2} = F(t)$$

La caractéristique statique est une droite.

Exemple 1 : le condensateur

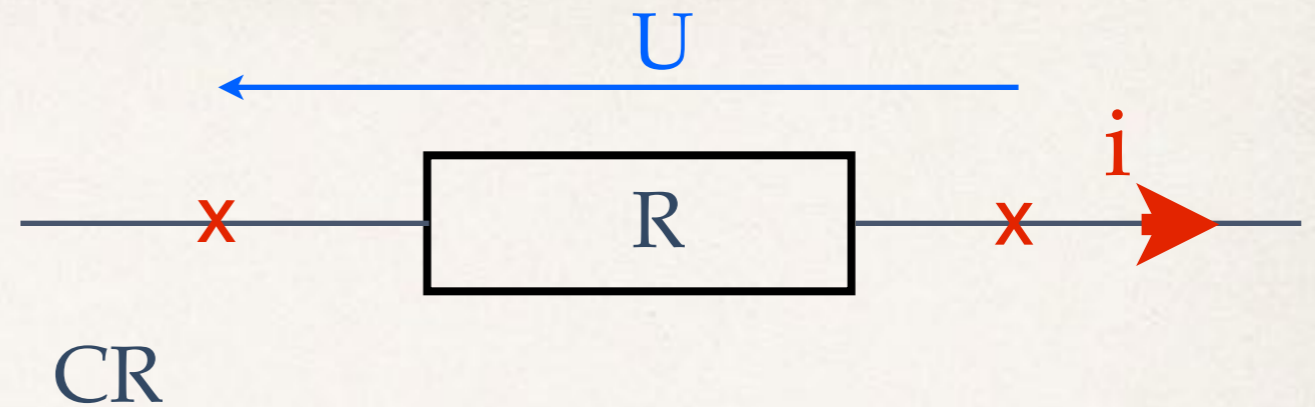
Exemple 2 : la bobine

Exemple 3 : le générateur (dipôle actif)

— En classe —

### 3 - Les dipôles passifs usuels :

$\alpha$  - La résistance :



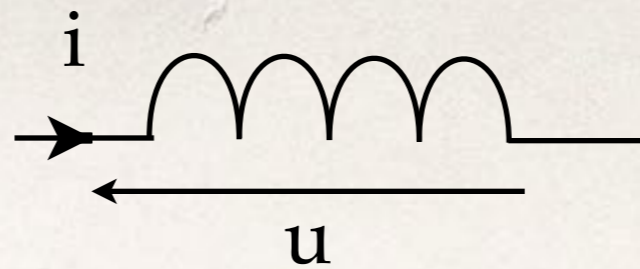
— En classe —

Prévoir copie double

$P_{re\grave{c}ue} = ?$

ODG :

$\beta$  - L'inductance :



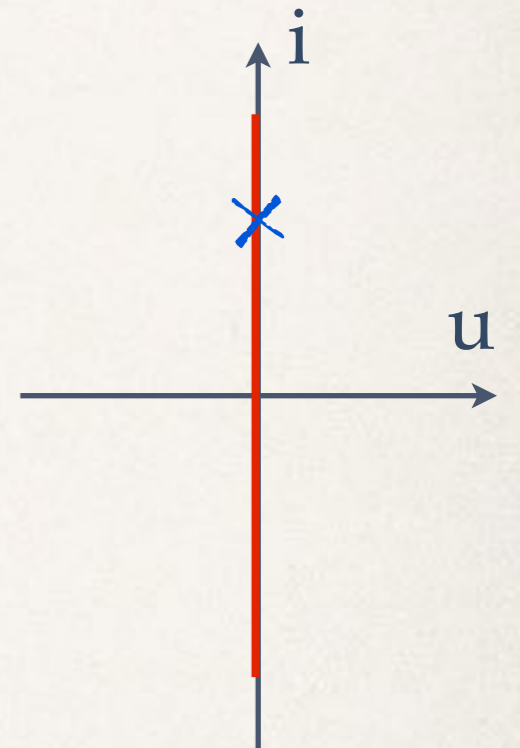
Caractéristique :

$$u = L \frac{di}{dt}$$

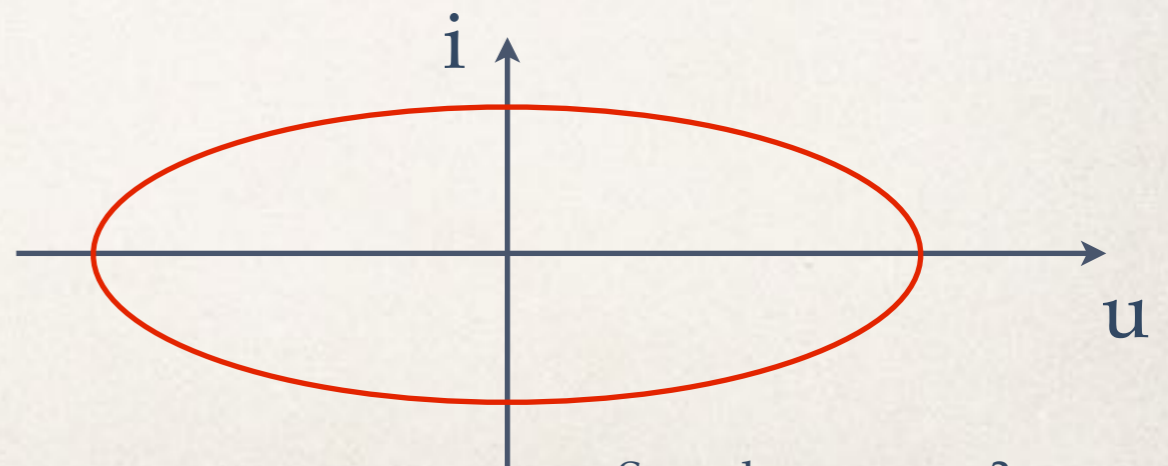
CR

— En classe —

Régime continu :  $i(t) = I_0 = \text{Cte}$



Régime sinusoïdal :  $i(t) = I_0 \cdot \sin(\omega t)$



Sens de parcours ?  
Limite qd  $\omega \rightarrow 0$  ?

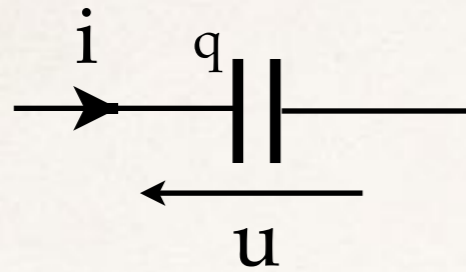
$P_{re\grave{c}ue} = ?$

— En classe —

Inductance réelle :

ODG :

# $\gamma$ - Le condensateur



CR

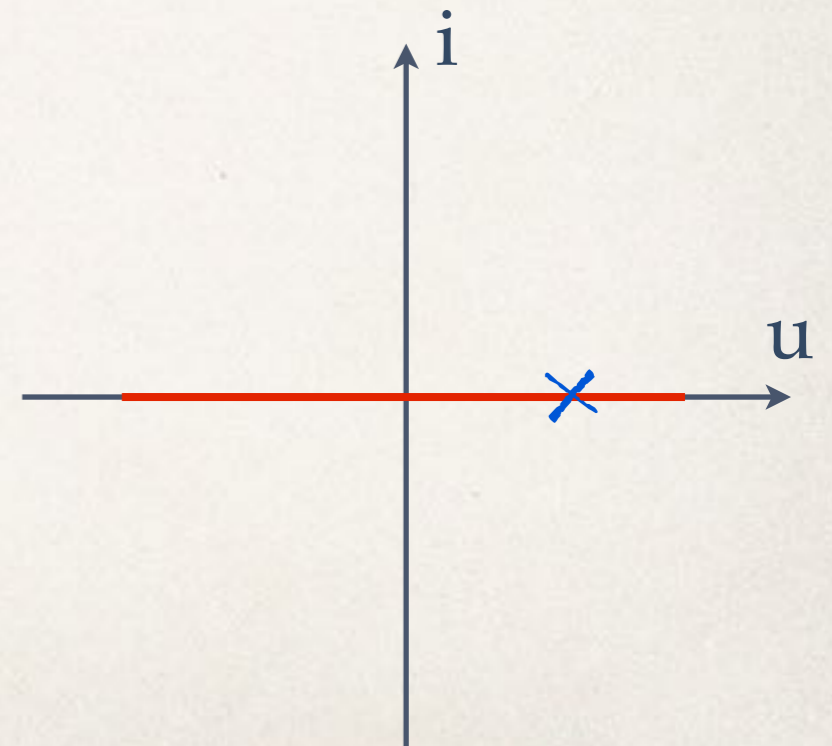
$$u = \frac{q}{C}$$

— En classe —

Or  $i =$

Soit la caractéristique :  $i =$

Régime continu :  $u(t) = U_0 = \text{Cte}$



(régime sinusoïdal --> cf TD)

$P_{re\grave{c}ue} = ?$

— En classe —

condensateur réel :

ODG :

# $\delta$ - Dipôle non linéaire : la diode

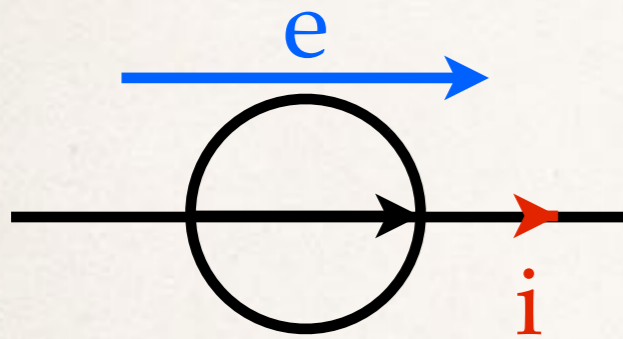
— En classe —

## 4 - Les dipôles actifs de base :

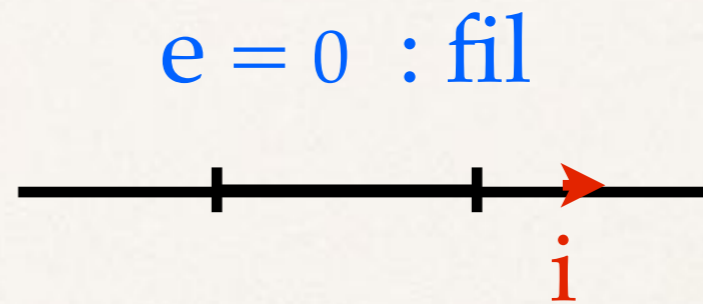
$\alpha$  - La source idéale de tension :

$$u = e$$

f.e.m

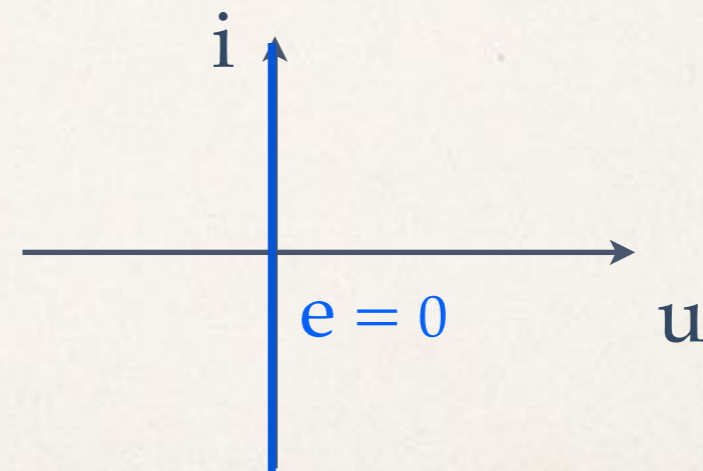
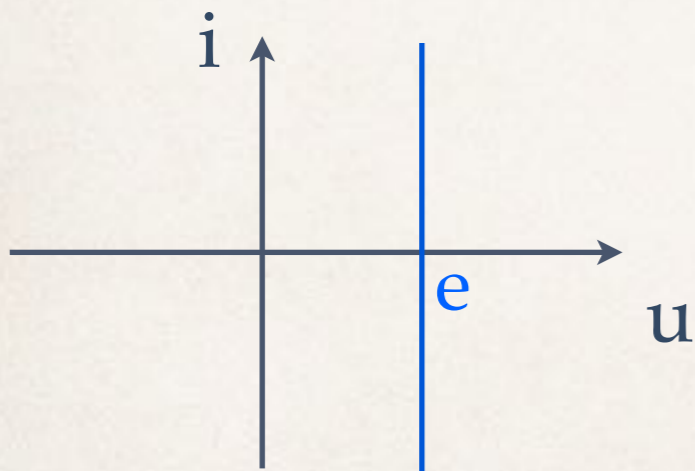


Allumée



Eteinte

(on efface le cercle)



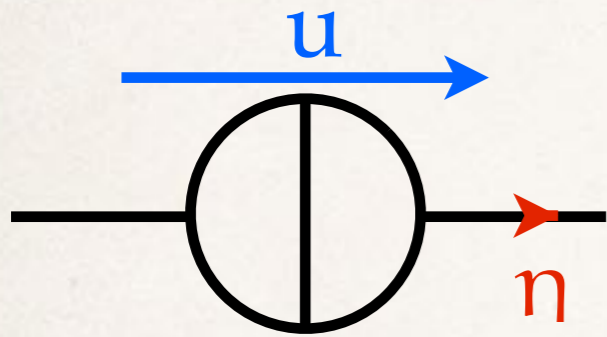
Dans tous les cas  $i$  est quelconque.



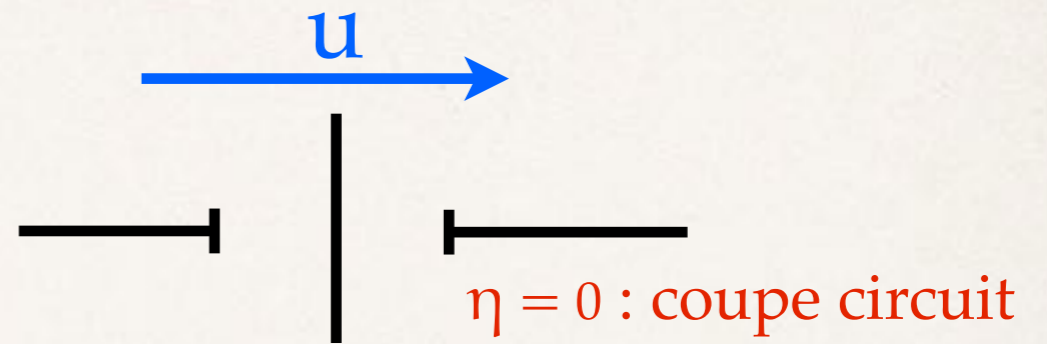
$\beta$  - La source idéale de courant :

$$i = \eta$$

c.e.m

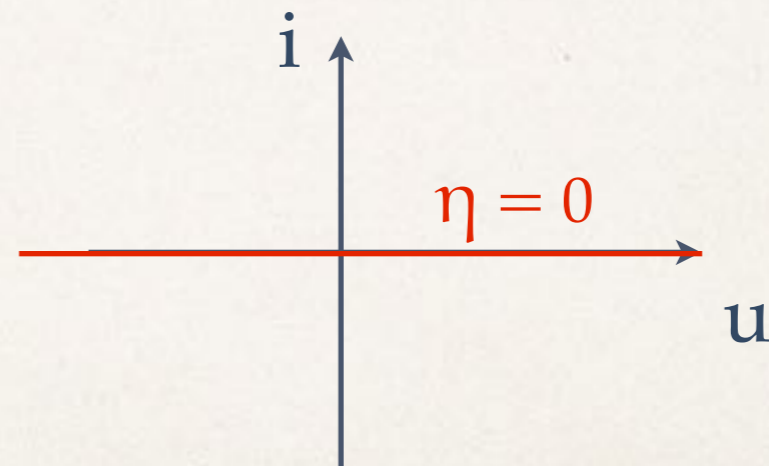
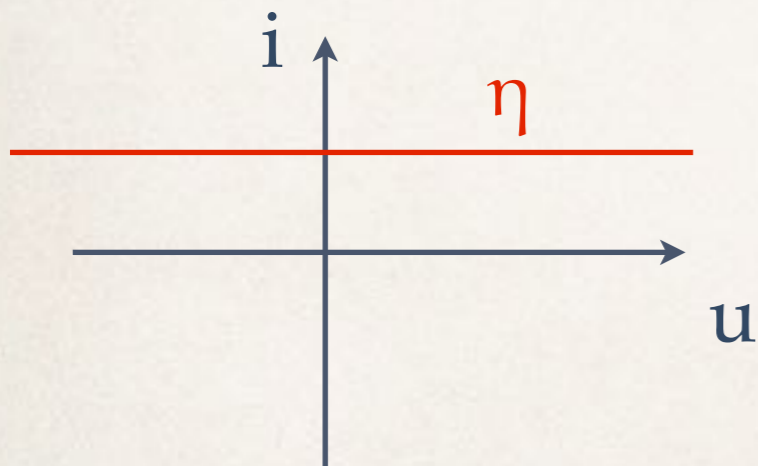


Allumée



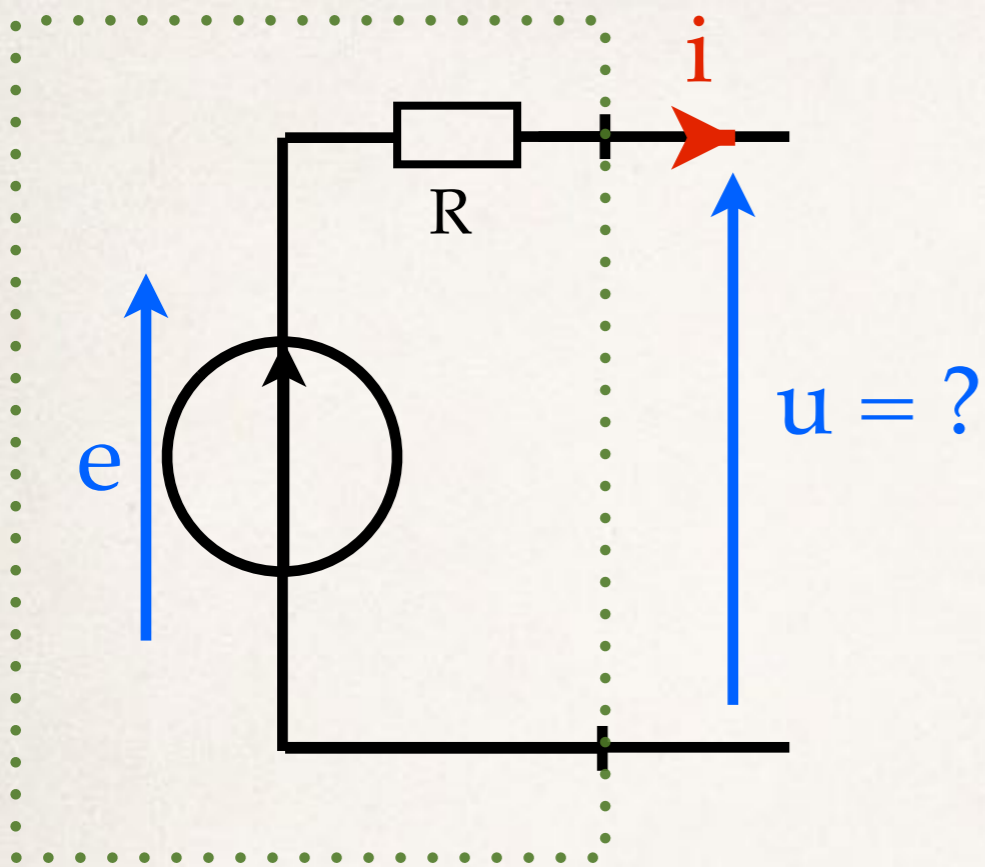
Eteinte

(on efface le cercle)

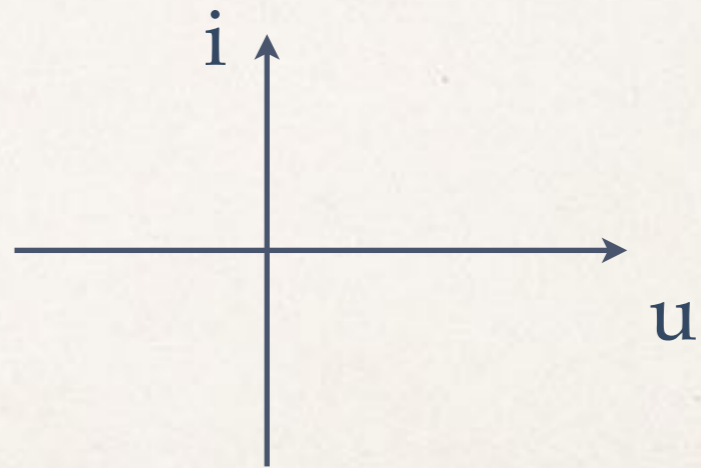
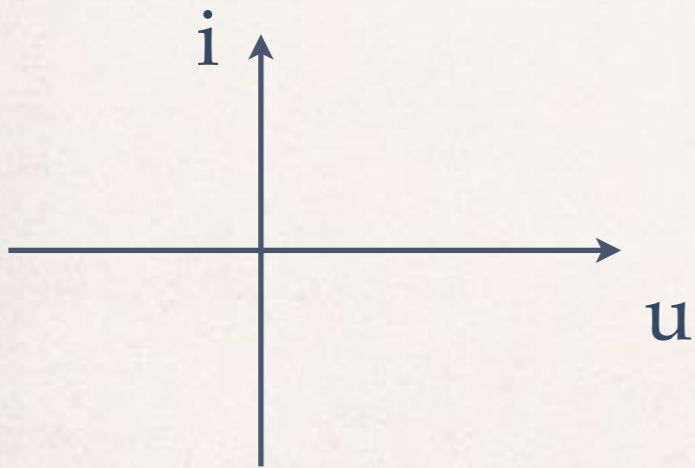
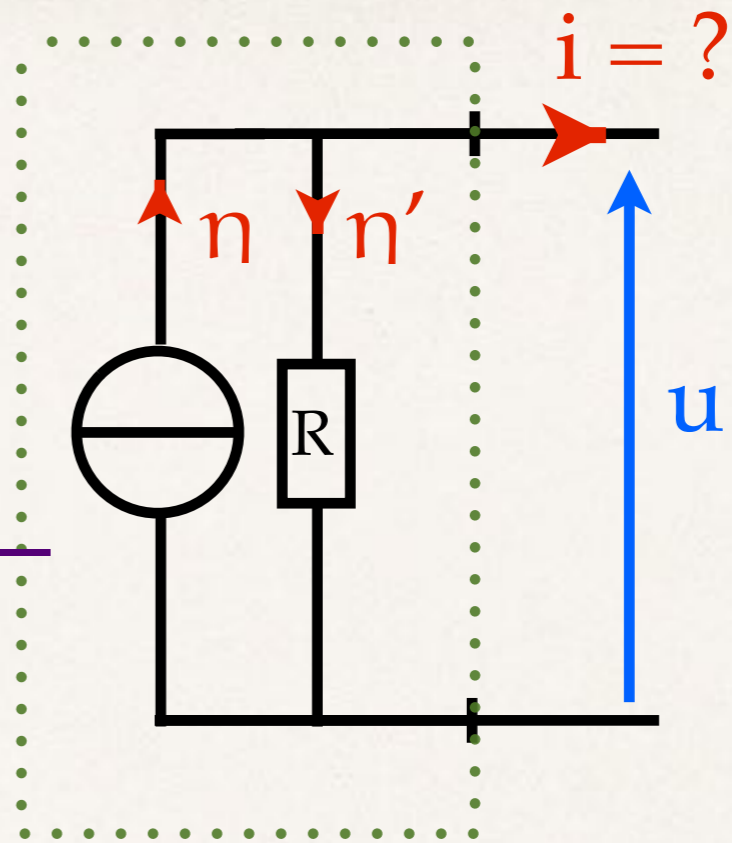


Dans tous les cas  $u$  est quelconque.

# $\gamma$ - Les sources réelles



— En classe —



Rq : Dipôle actif  $\Rightarrow$  la caractéristique ne passe pas par l'origine.

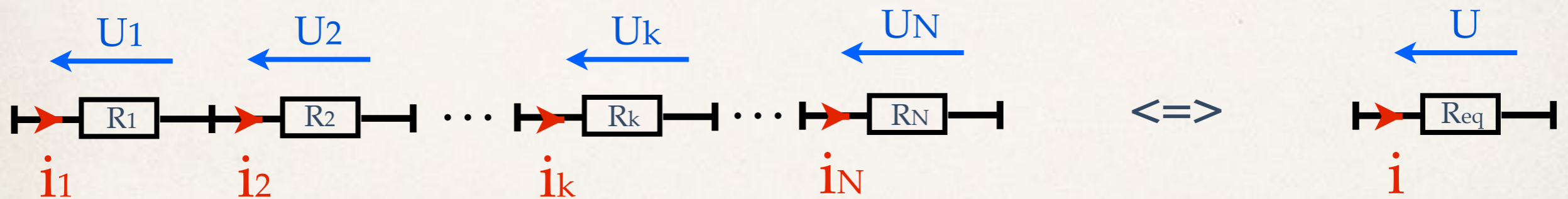
# III - Associations de dipôles

---

Association en série ou en parallèle de dipôles de même nature

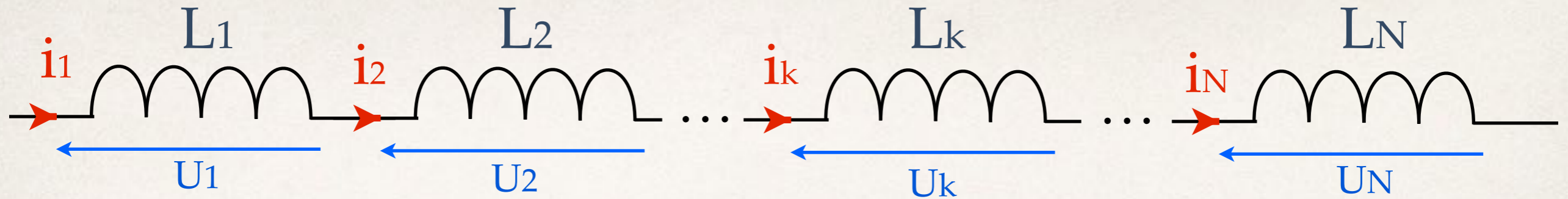
## 1 - Association de dipôles linéaires en série

$\alpha$  - Association de résistances en série :

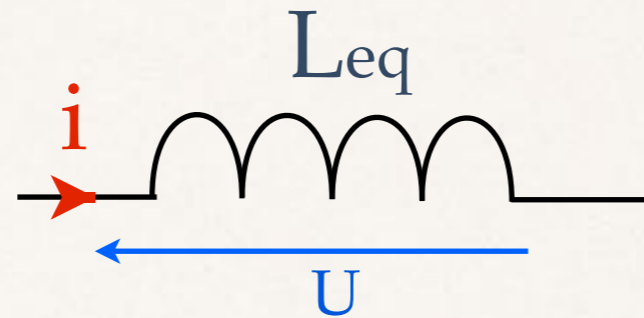


$$R_{eq} = ?$$

## $\beta$ - Association d'inductances en série :

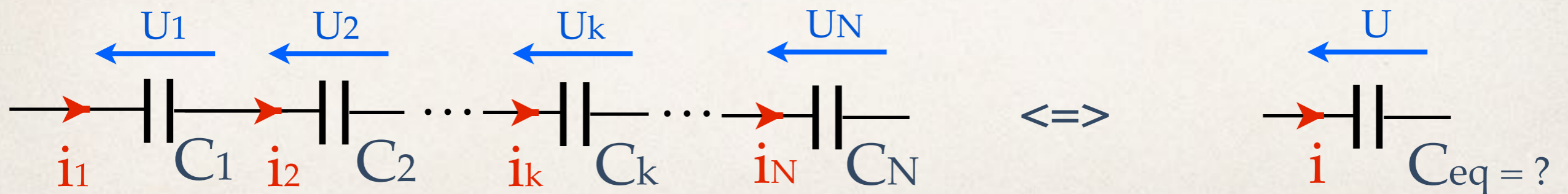


$\Leftrightarrow$



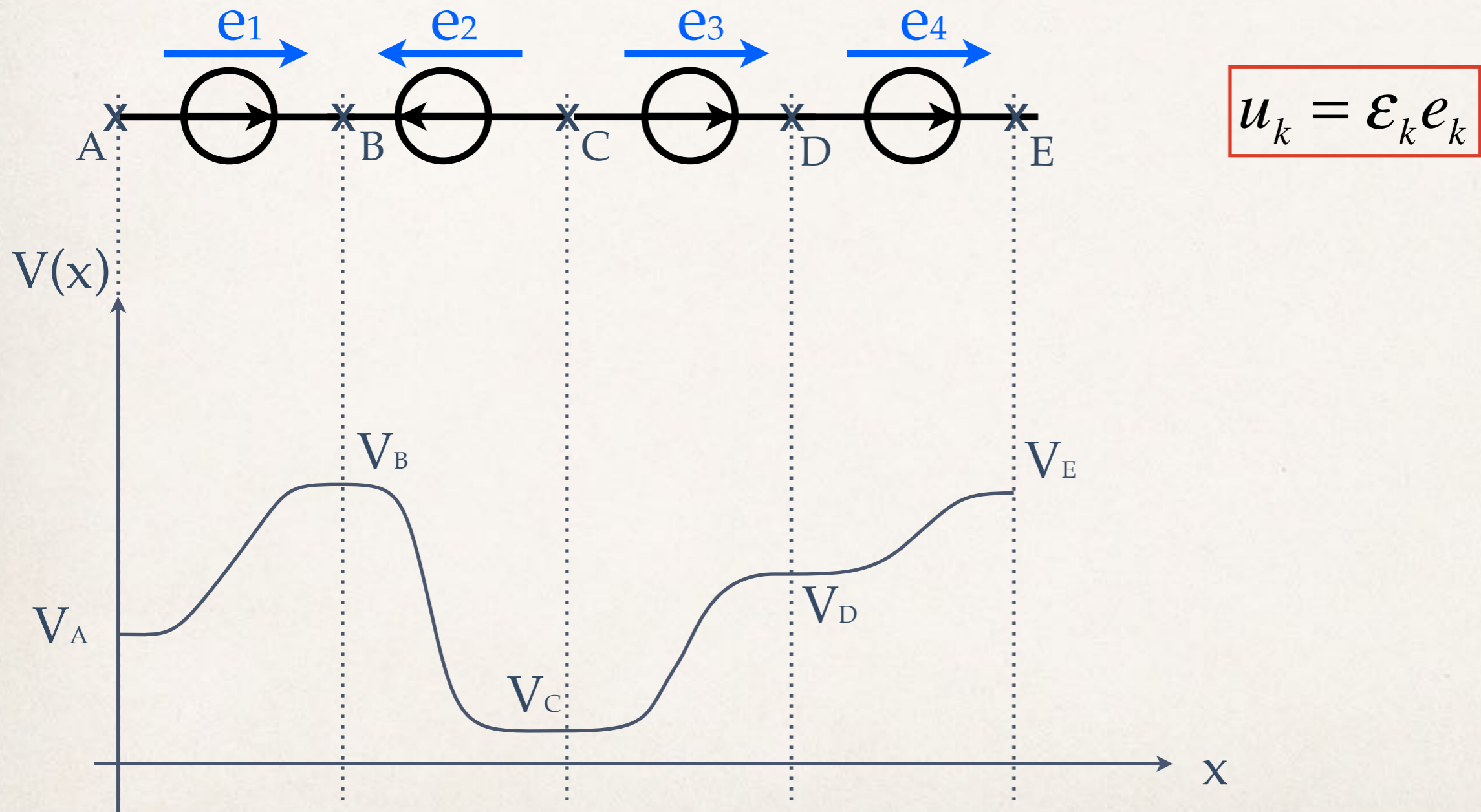
$L_{eq} = ?$

## $\gamma$ - Association de condensateurs en série :

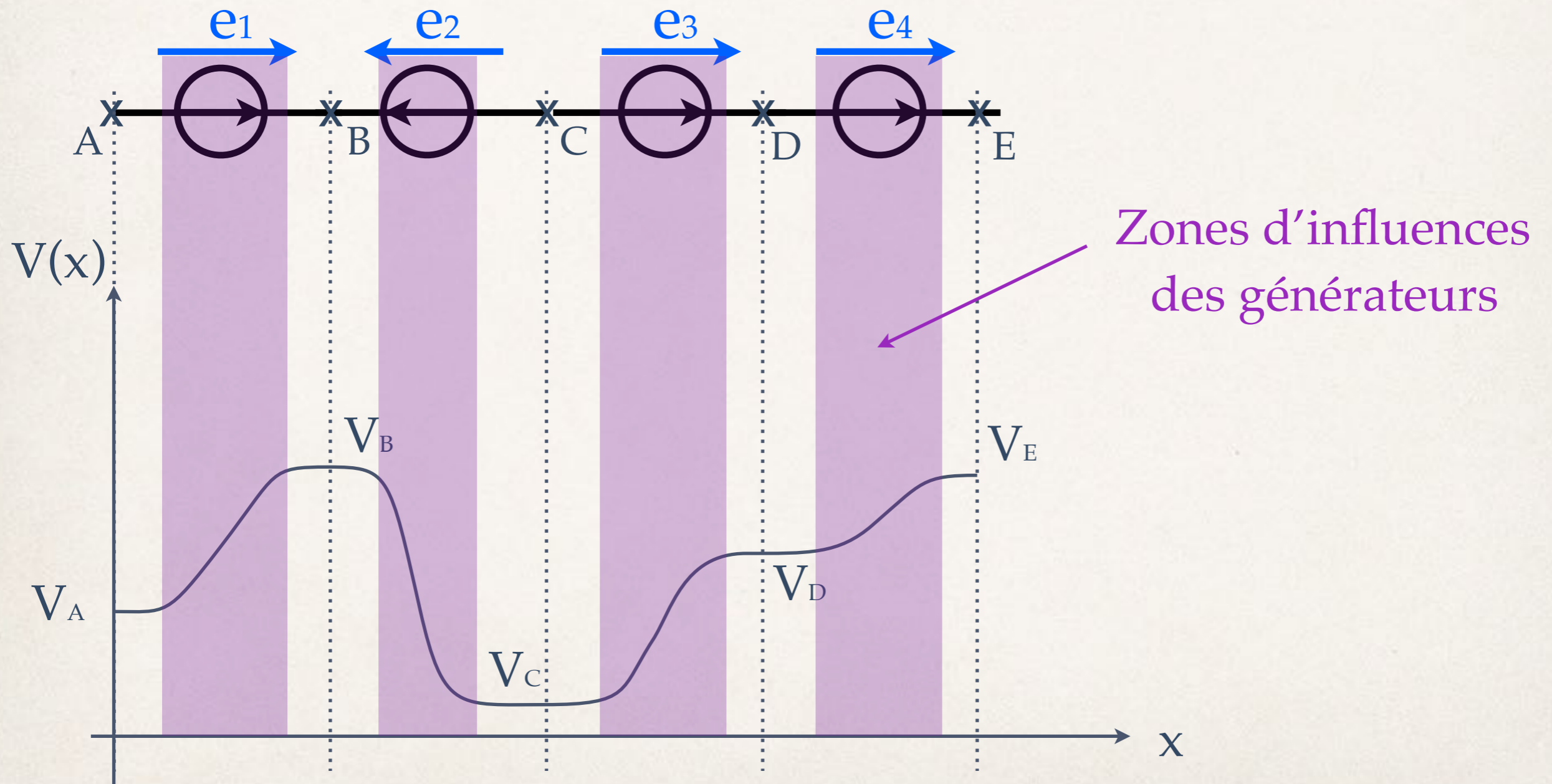


# $\delta$ - Association de générateurs de tension

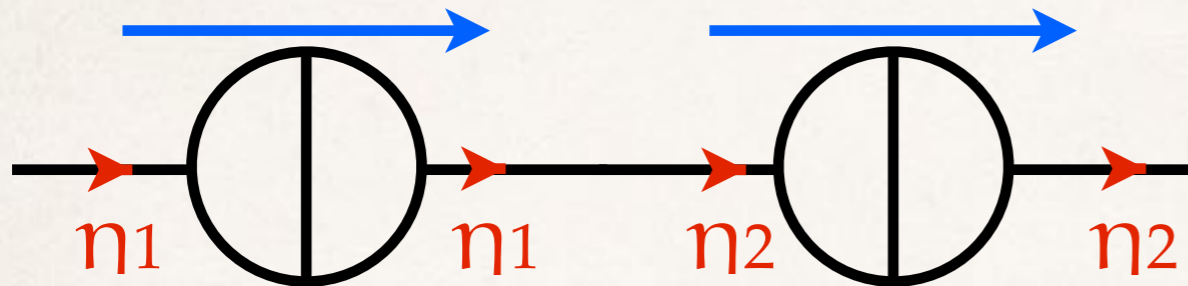
Chaque générateur induit une différence de potentielle entre ses bornes :



$$U = \sum_k \varepsilon_k e_k$$

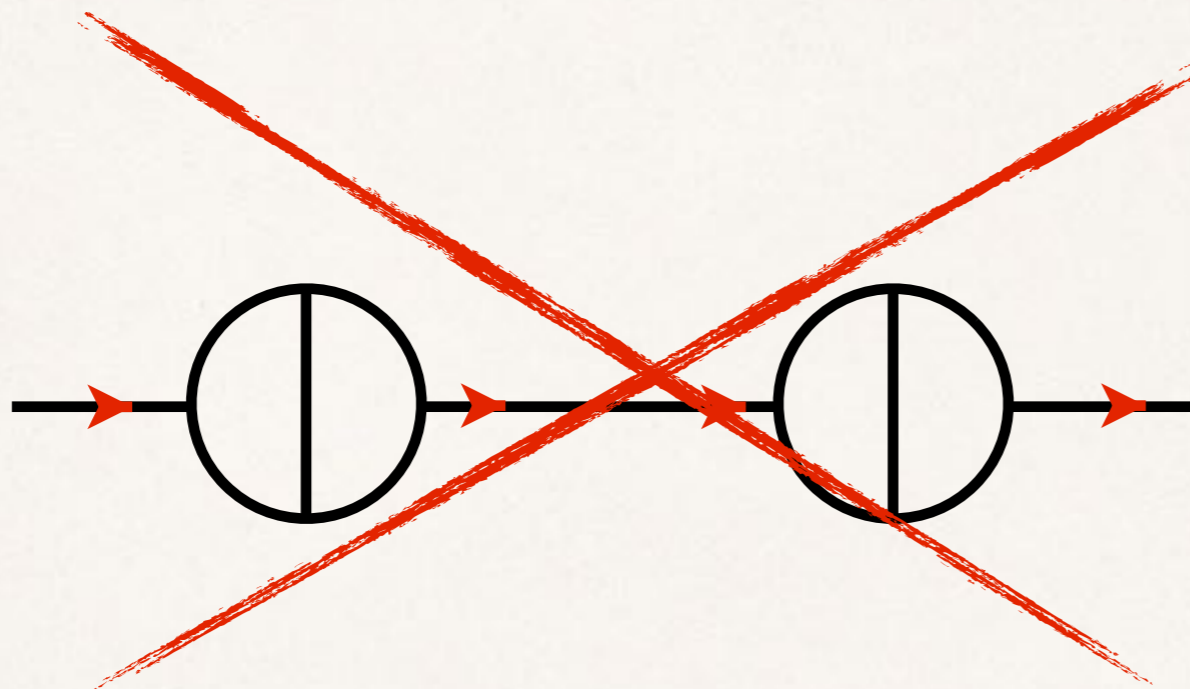


## $\delta$ - Association de générateurs de courant en série



On doit alors avoir nécessairement :  $\eta_1 = \eta_2$

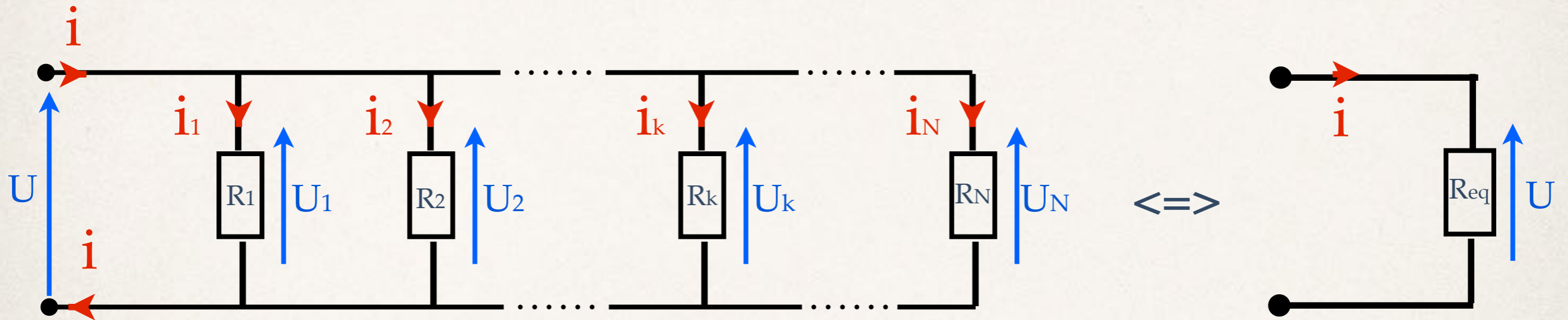
On ne met jamais en série des générateurs de courant.





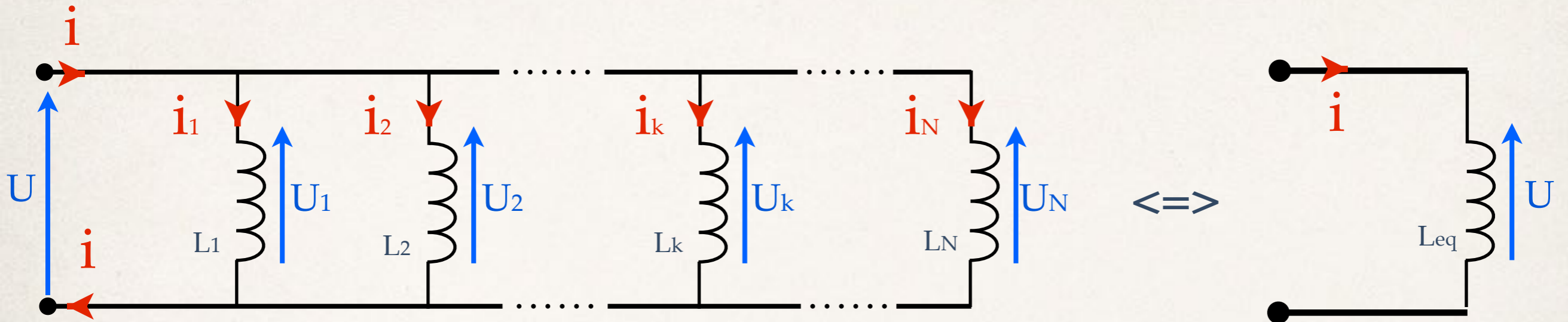
## 2 - Association de dipôles linéaires en parallèle

$\alpha$  - Association de résistances :



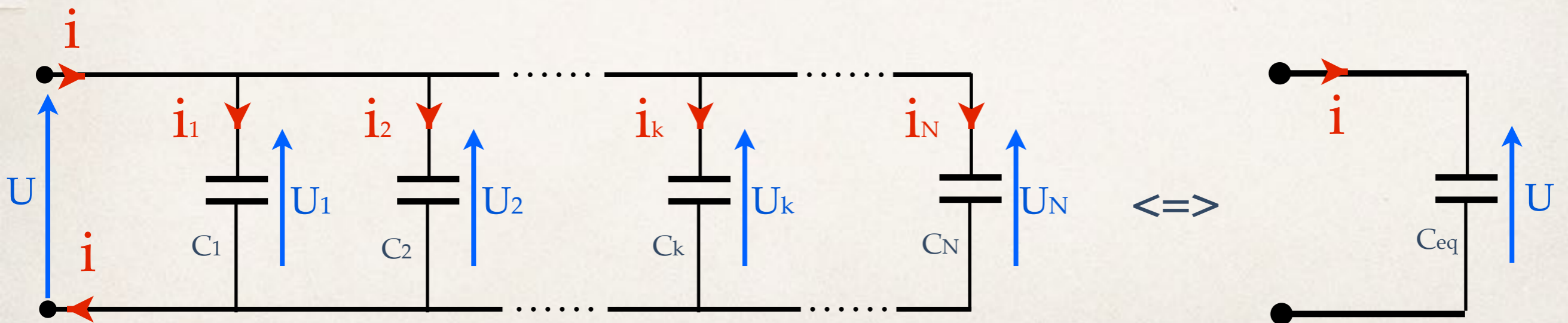
— En classe —

## $\beta$ - Association d'inductances

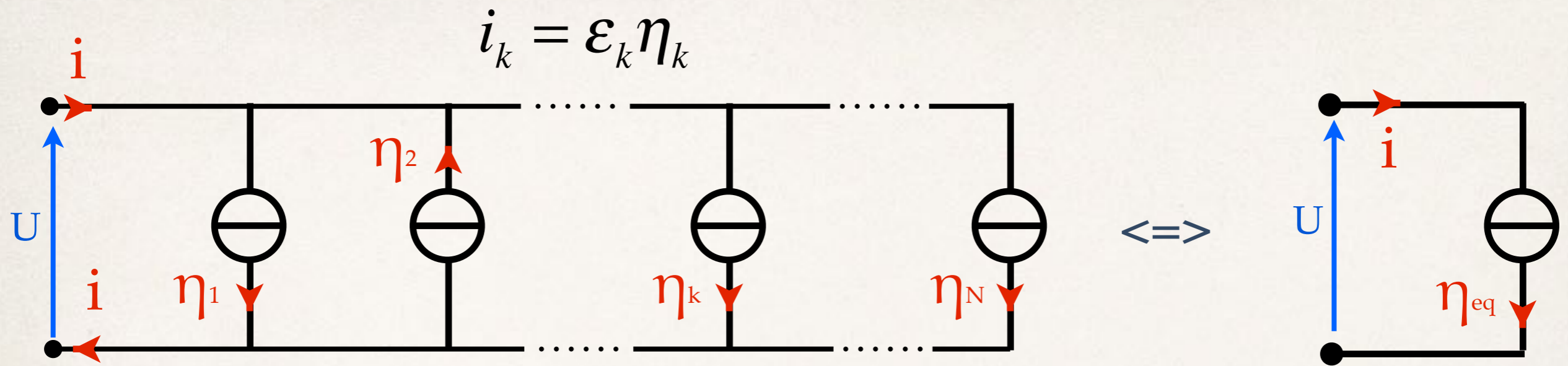


— En classe —

## $\gamma$ - Association de condensateurs

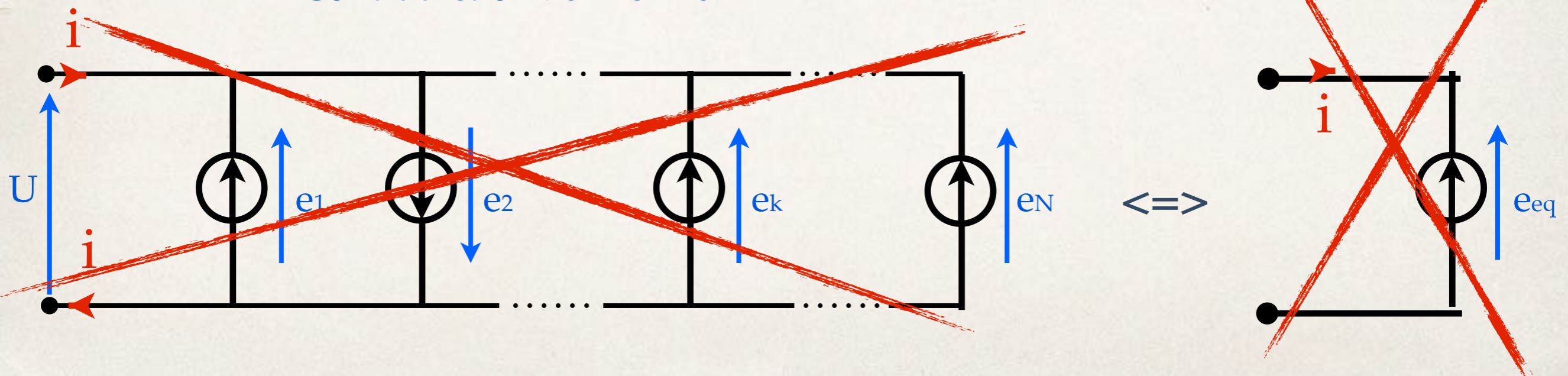


# $\delta$ - Association de générateurs de courant



$$i = \sum_k \varepsilon_k \eta_k$$

Contradiction :  $e_1 \neq e_2 \neq e_k$

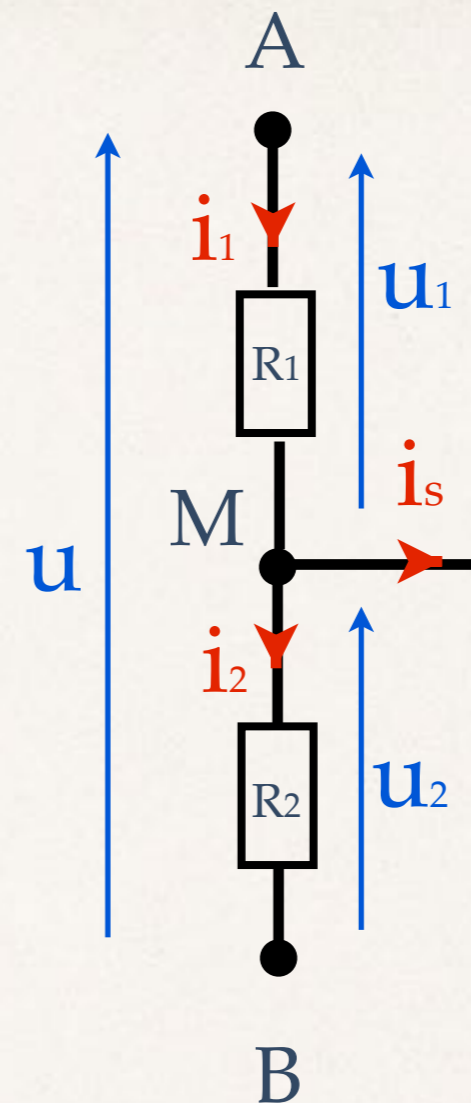


!!! A prendre sur copie double !!!

### 3 - Les ponts diviseurs

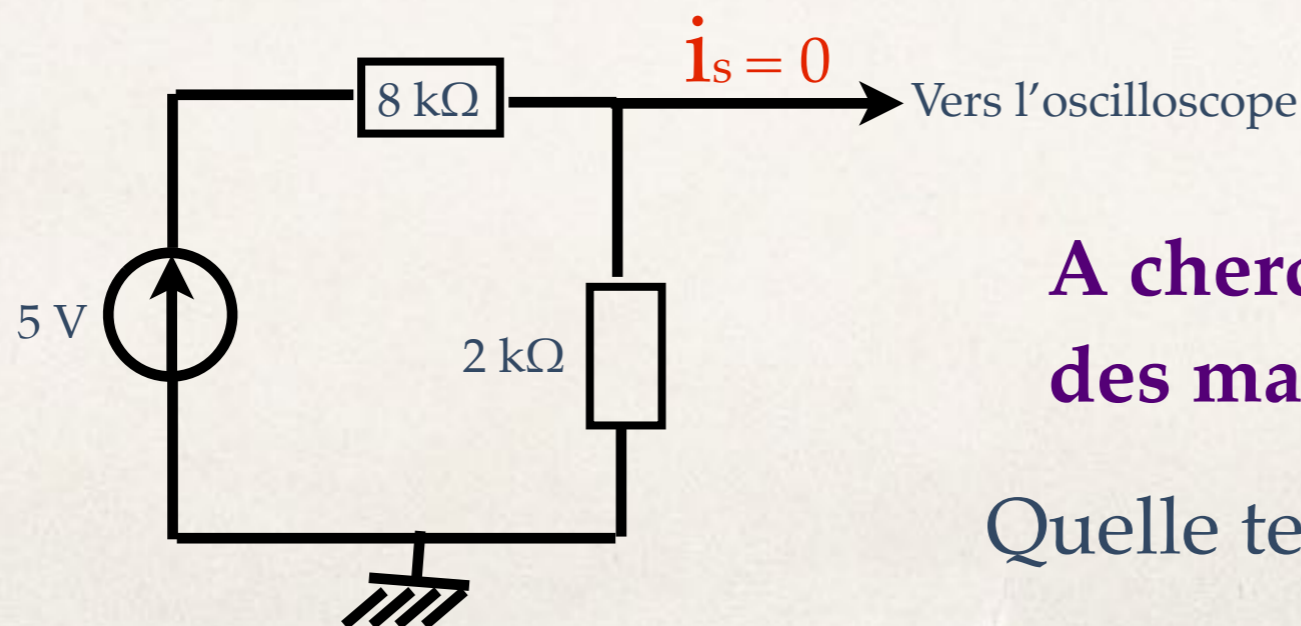
$\alpha$  - Diviseur de tension :

— En classe —



Hypothèse  
 $i_s = 0$

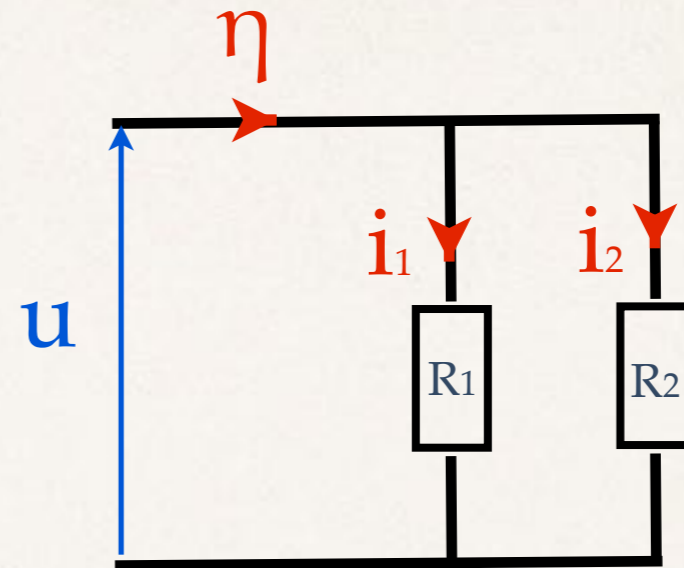
Application directe :



**A chercher avec la loi  
des mailles et noeuds**

Quelle tension est mesurée à l'écran ?

# $\beta$ - Diviseur de courant



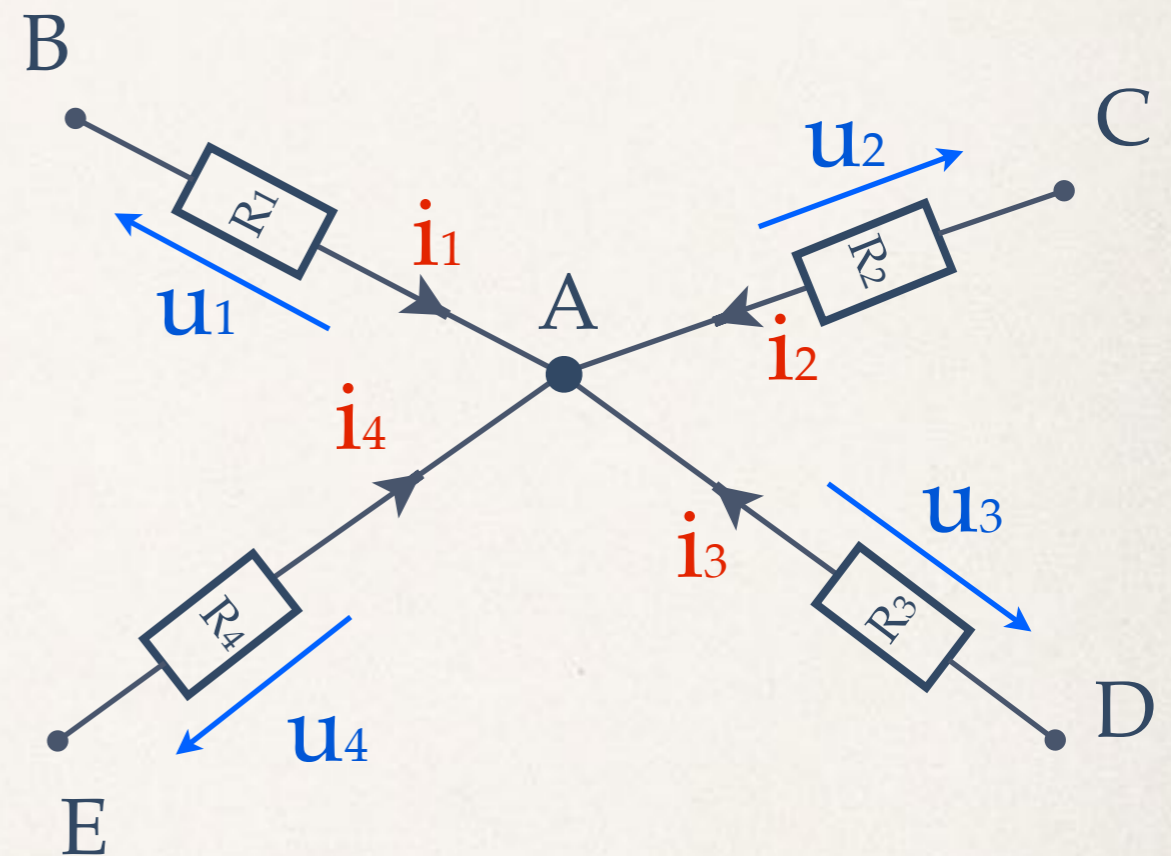
**A chercher avec la loi  
des mailles et noeuds**

# IV - Les outils de l'électrocinétique en régime continu.

---

## 1 - Le théorème de Millman

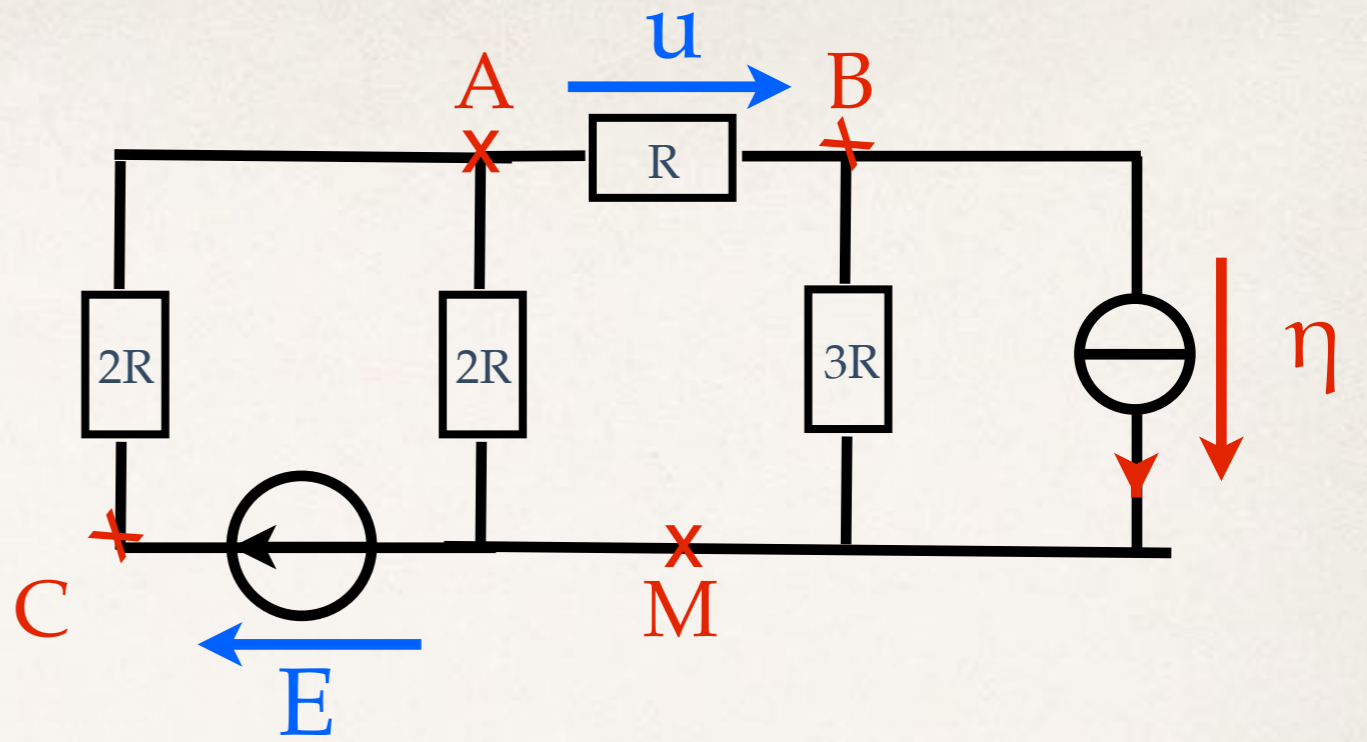
C'est la traduction de la loi des noeuds en terme de potentiels.



Cas général :

— En classe —

Application directe :



## 2 - Le théorème de superposition (Helmholtz)

Dans un réseau linéaire alimenté par plusieurs sources indépendantes, le courant (et la tension) aux bornes de chaque dipôle est égal à la somme des intensités (et tensions) à ses bornes, produites par chacune des sources individuellement (toutes les autres sources étant alors éteintes).

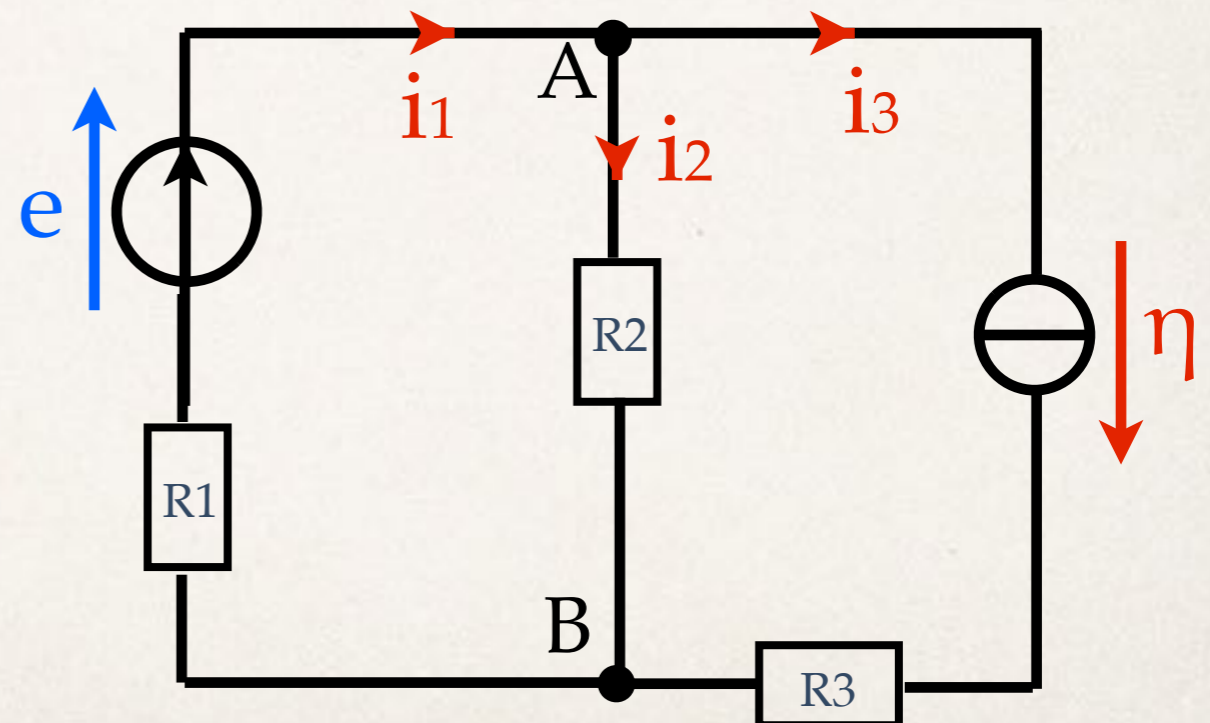


(Admis)

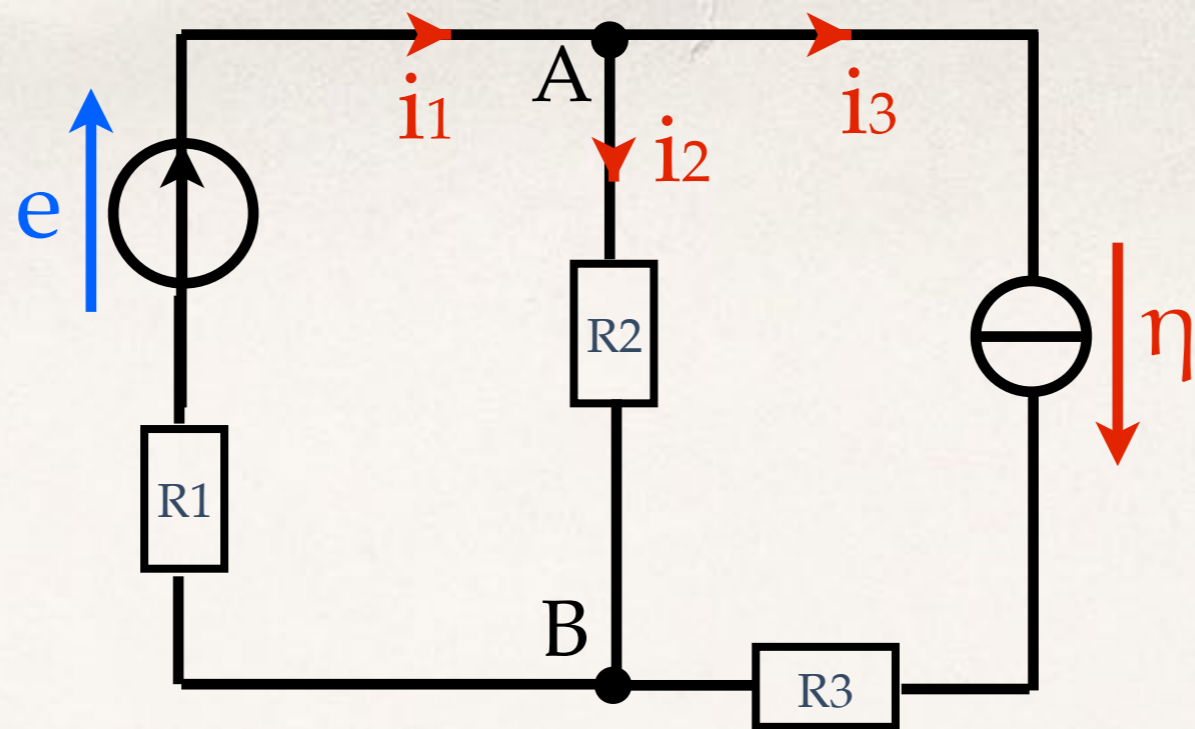
RQ : C'est une pure csq. de l'écriture des eq° de Kirchhoff :  
combinaisons linéaires simples des tensions et courants, où les générateurs interviennent comme des constantes.

Exemple concret :

— En classe —

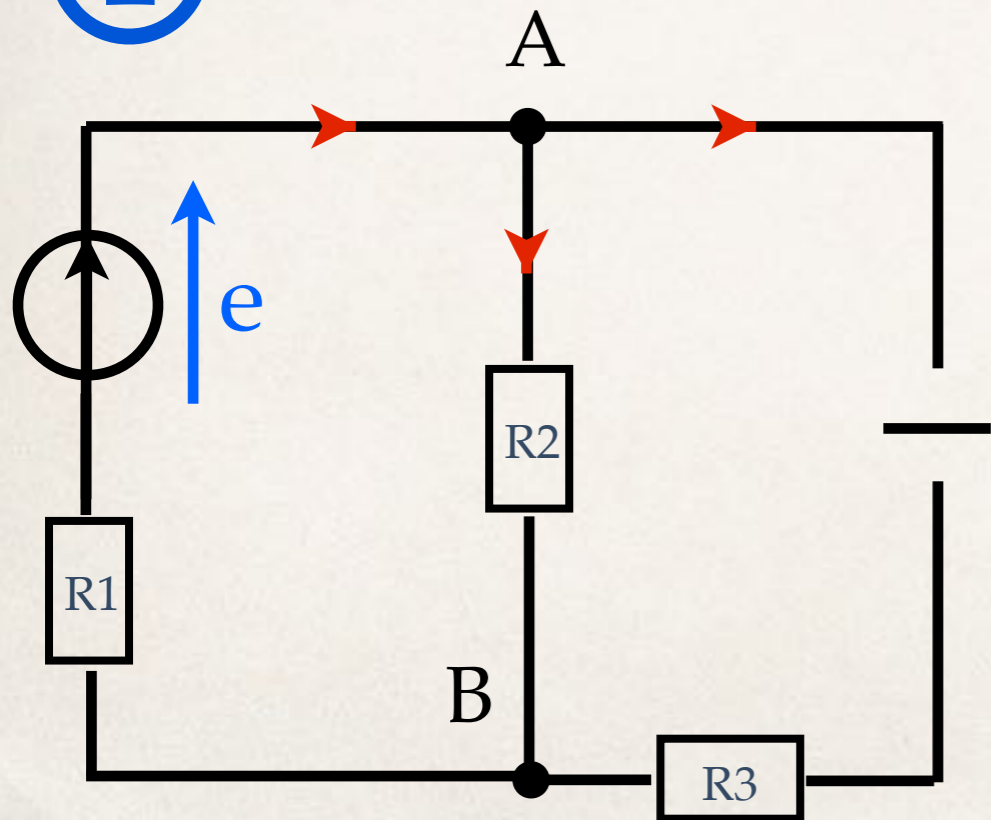






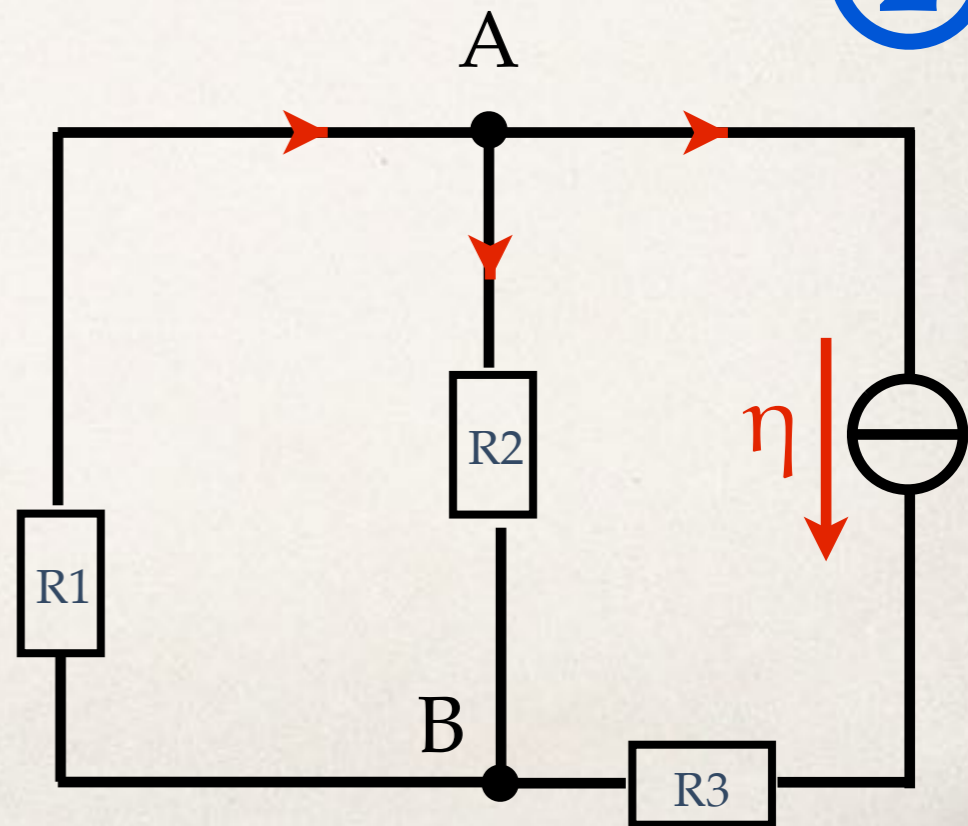
$\textcircled{=}$

①

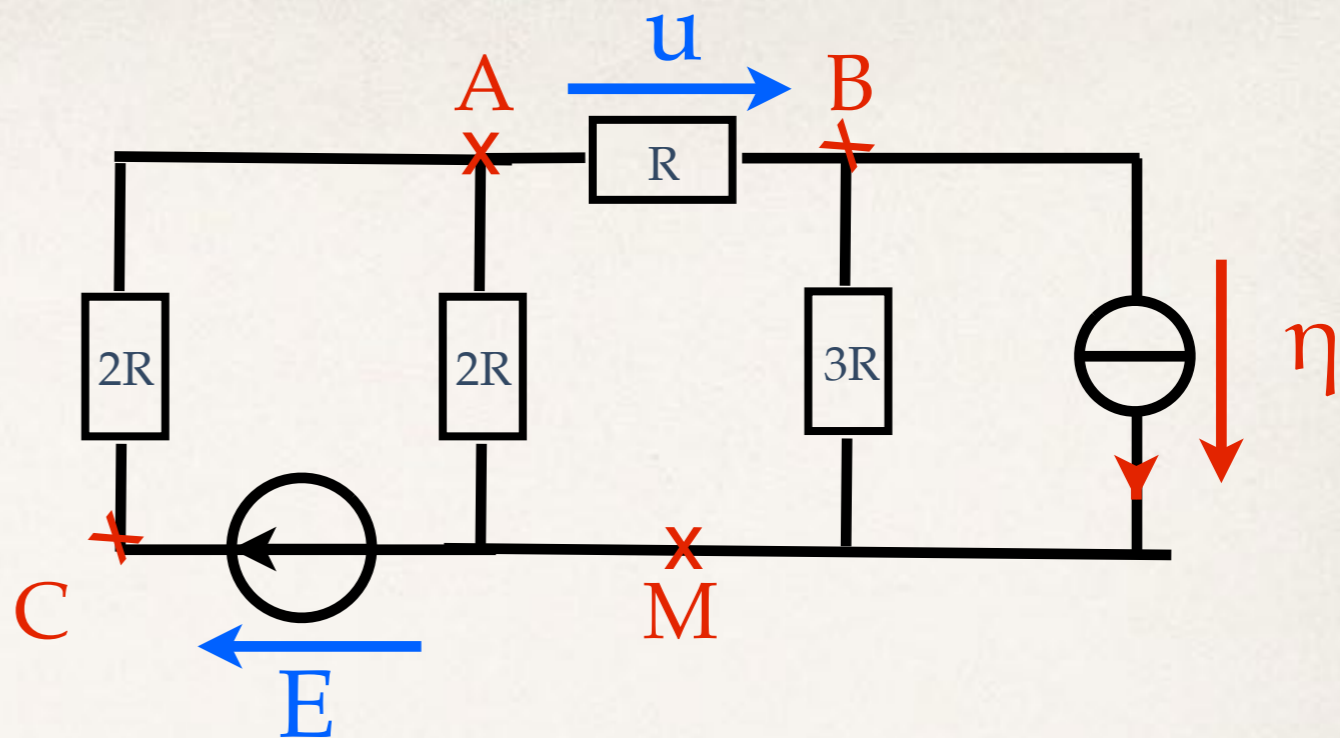


$\textcircled{+}$

②



Application directe :



### 3 - Equivalence de Thévenin / Norton

#### $\alpha$ - Théorème de Thévenin (HP)

Soit un réseau linéaire connecté à un autre réseau par ses bornes A et B. Vu depuis ses bornes A et B, le réseau linéaire est équivalent à une source de tension réelle :

- dont la f.e.m est égale à la tension du réseau en circuit ouvert entre A et B.
- dont la résistance interne est égale à celle du réseau toute source éteinte.

(Admis)

— En classe —

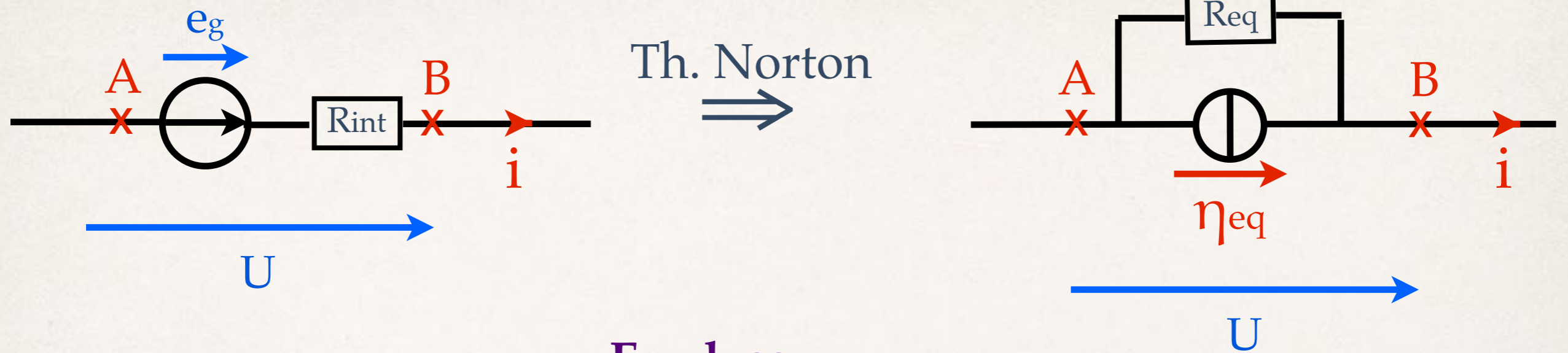
## $\beta$ - Théorème de Norton (HP)

Soit un réseau linéaire connecté à un autre réseau par ses bornes A et B. Vu depuis ses bornes A et B, le réseau linéaire est équivalent à une source de courant réel :

- dont le courant est égale au courant de court circuit entre A et B.
- dont la résistance interne est égale à celle du réseau toute source éteinte.

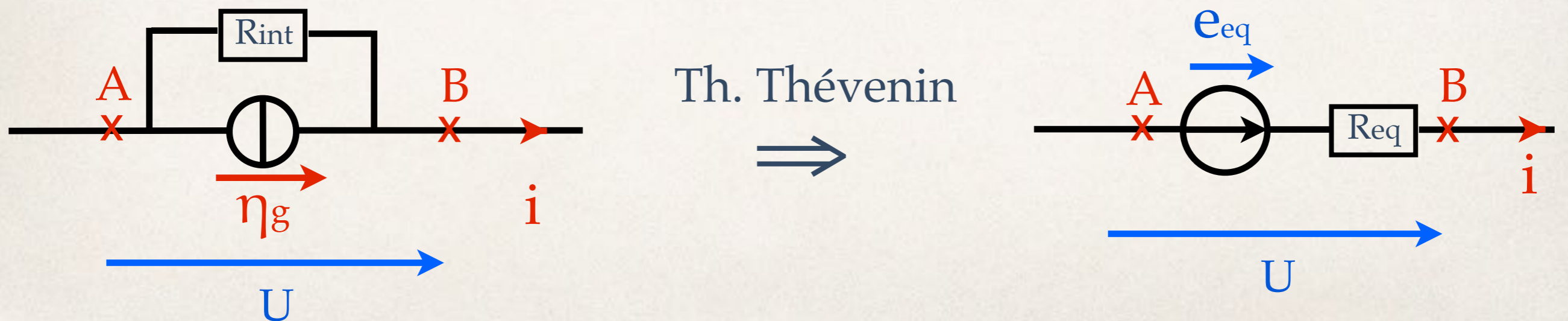
(Admis)

# $\gamma$ - Modélisation de Thévenin / Norton des sources



— En classe —

Du point de vue de tout réseau branché au générateur entre A et B, ces deux générateurs sont parfaitement équivalents car ils ont la même caractéristique.



Application directe :

