

# LE REDRESSEMENT

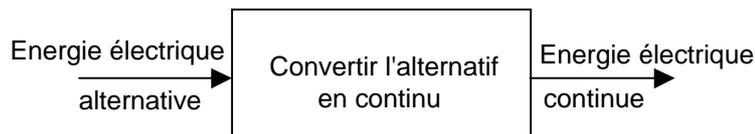
## 1. Les formes de l'énergie électrique

L'énergie électrique peut se présenter sous deux formes principales : l'alternatif et le continu.

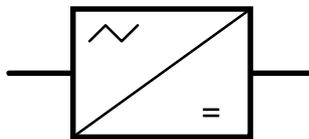
Pourquoi l'alternatif ? La production et le transport de l'énergie électrique sont beaucoup plus faciles sous forme alternative. Son utilisation sous cette forme présente un certain nombre d'avantages. En ce qui concerne le chauffage résistif et l'éclairage par incandescence il n'a pas de différence entre l'alternatif et le continu. La force motrice utilisait le continu car ce dernier permettait la variation de vitesse de manière relativement facile, ce n'est plus vrai actuellement. Les moteurs électriques à courant continu étant fragiles et coûteux, on a cherché à les remplacer par les moteurs à courant alternatif qui sont plus solides, plus faciles à construire et donc meilleur marché que les moteurs à courant continu. Le continu est encore utilisé, pour la variation de vitesse, pour les puissances relativement faibles.

## 2. Approche fonctionnelle du redressement

Le redressement, est la conversion de la forme alternative vers la forme continue de l'énergie électrique.



le symbole fonctionnel habituel est le suivant :



La conversion de l'alternatif vers le continu est relativement facile mais la conversion inverse est beaucoup plus difficile.

## 3. Les composants et les procédés de cette conversion

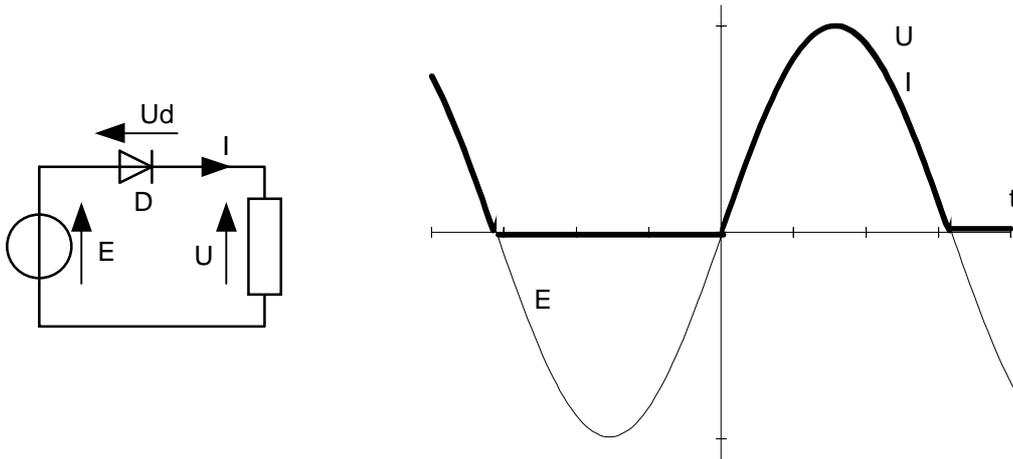
Le redressement utilise principalement la diode c'est-à-dire un composant à semi-conducteur que l'on peut assimiler, dans un premier temps, à un interrupteur qui ne laisserait passer le courant que dans un sens. La diode se ferme automatiquement pour laisser passer le courant dans le sens privilégié et s'ouvre pour empêcher le passage du courant dans le sens opposé.

Un autre composant utilisé est le condensateur qui est une sorte de réservoir à électrons. Le condensateur peut être assimilé au volant d'inertie qui est capable d'emmagasiner de l'énergie et de la redistribuer en cas de besoin. Le condensateur gomme les variations de tension.

Le troisième composant est la bobine d'inductance, ce composant est capable de gêner la variation du courant. La bobine d'inductance est donc capable de lisser les variations du courant.

### 3.1. Étude du comportement de la diode

Considérons un générateur de tension alternative sinusoïdale alimentant un résistor, il s'établit un courant alternatif sinusoïdal dans le circuit. Plaçons une diode, le courant positif est inchangé, le courant négatif est annulé. Il s'ensuit des conséquences sur les tensions présentes aux bornes des composants.



**Question :**

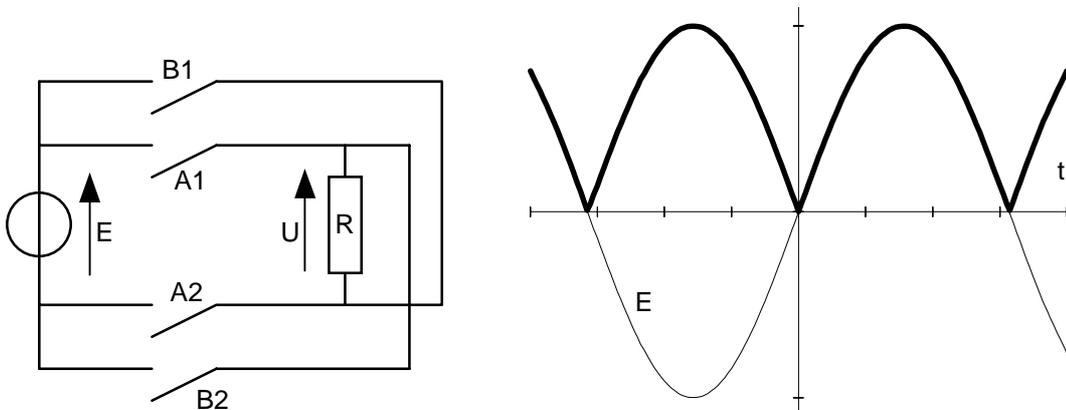
Tracez la forme de la tension aux bornes de la diode.

On constate que la diode a supprimé la partie négative de la sinusoïde. Le récepteur étant résistif, le courant a la même forme que la tension  $U$ . La fermeture de l'interrupteur équivalent est automatique ; dès qu'elle est soumise à une tension positive<sup>1</sup>, la diode autorise le passage du courant, elle cesse de conduire si le courant qui la traverse devient nul, elle se comporte alors comme un interrupteur ouvert.

**3.2. Récupérer la partie perdue de la sinusoïde**

Il s'agit de ne plus "jeter" la partie négative de la sinusoïde mais de l'utiliser en l'inversant pour que le résultat soit une tension et un courant toujours positifs.

Analysons fonctionnellement le dispositif à mettre en place. Il faut créer un inverseur automatique comme le montre le schéma de principe suivant.



Cette fois toute la sinusoïde participe au courant continu. Le problème étant l'ouverture et la fermeture automatiques des interrupteurs. Les diodes en sont-elles capables ?

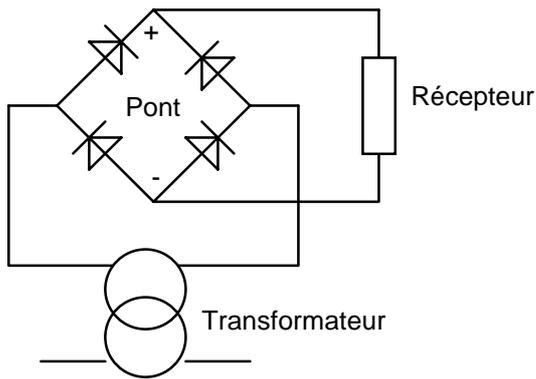
**Questions :**

Analysez l'oscillogramme de droite en utilisant l'équivalence de gauche.

Remplacez chaque interrupteur par une diode en prenant garde au sens.

Étudiez le comportement des diodes lorsque la tension  $E$  commence à devenir positive. Il faut se servir du fait que les diodes, même si elles sont considérées comme un interrupteur ouvert, sont traversées par un courant très faible mais non nul. Dire par exemple quelles sont les diodes qui conduisent lorsque  $E$  est positif. Les diodes  $B$  peuvent-elles conduire si les  $A$  sont passantes ?

<sup>1</sup> selon les conventions du schéma ci-dessus,



Voici la forme habituelle du schéma des quatre diodes ci-dessus.

**Questions :**

Dessinez, en employant une couleur, le parcours du courant lors d'une alternance positive et d'une autre couleur le parcours du courant lors d'une alternance négative. Bien marquer le fait que le sens courant dans le récepteur est inchangé.

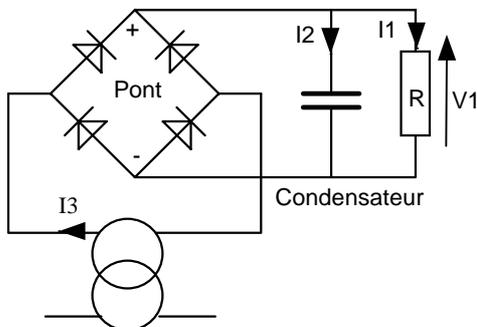
Représentez, sur un oscillogramme, la forme du courant dans les diodes et dans le secondaire du transformateur.

Comment le transformateur "voit-il" le pont de diodes ?

**4. Améliorer la qualité du continu**

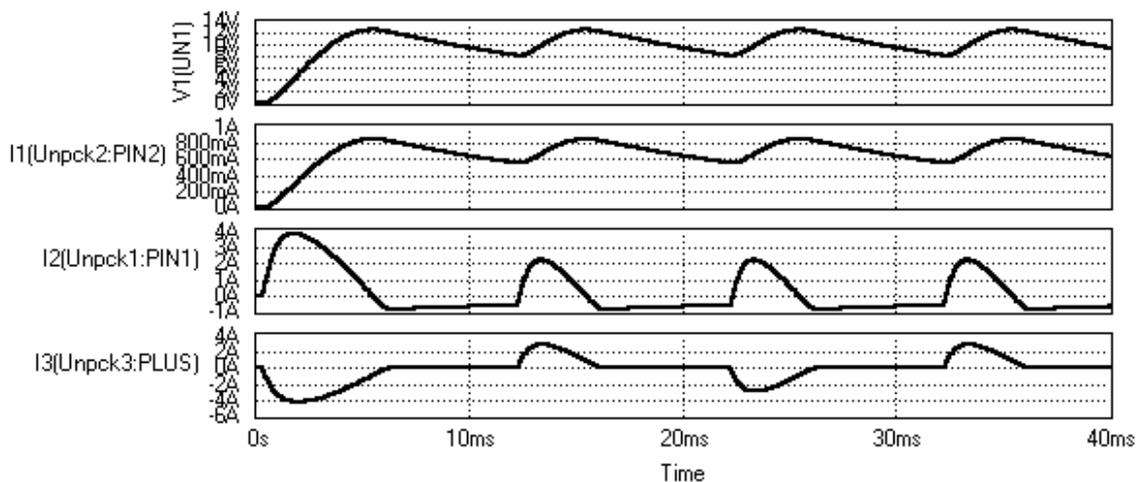
Bien que le courant ne soit plus négatif, ce n'est toujours pas le continu tel qu'on l'imagine. Le transformateur, le pont de diodes et le récepteur ont donné tout ce qu'ils pouvaient, il faut ajouter des composants, il faut limiter les variations de la tension et du courant.

La simulation va nous permettre de voir l'influence du condensateur et de la bobine d'inductance



On peut constater, sur la figure ci-dessous, que la tension et le courant varient moins et qu'ils tendent donc à se rapprocher du continu souhaité. La présence du condensateur est favorable sur ce plan.

Le courant dans le condensateur est formé d'impulsions dont le maximum<sup>2</sup> dépasse 2 A alors que l'intensité du courant dans le récepteur est inférieure à 1 A. Le courant dans le transformateur n'est plus sinusoïdal, il est formé de pointes. Sur ce plan, le condensateur est défavorable.

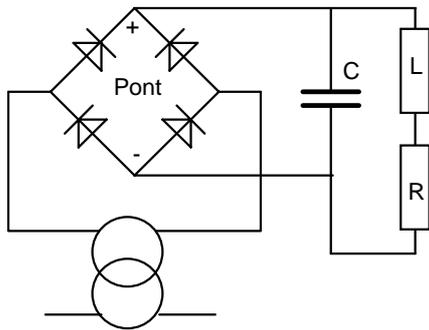


La technique d'amélioration utilisant le condensateur est acceptable pour les dispositifs de petites puissances comme les alimentations des montages électroniques.

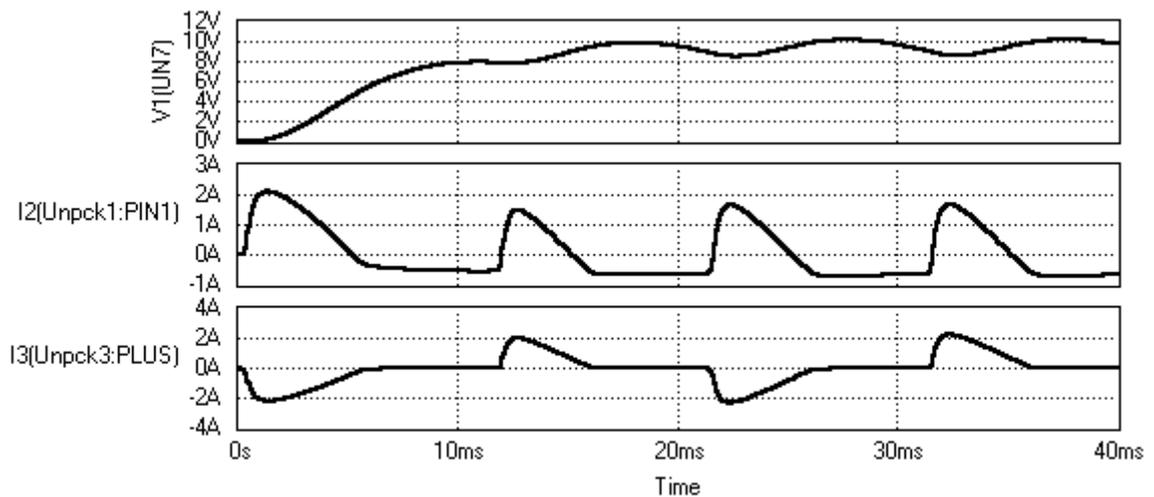
**Question :** vous pouvez constater que le condensateur est traversé par un courant tantôt positif tantôt négatif. Expliquez ce changement de signe. Considérons la surface comprise entre la courbe du courant dans le condensateur et l'axe des temps. Cette surface est elle-même positive puis négative. Expliquez pourquoi les aires de ces surfaces sont égales.

<sup>2</sup> sans tenir compte de la première pointe

## Incidence de la présence d'une inductance



L'inductance limite la variation du courant et donc de la tension aux bornes du récepteur.



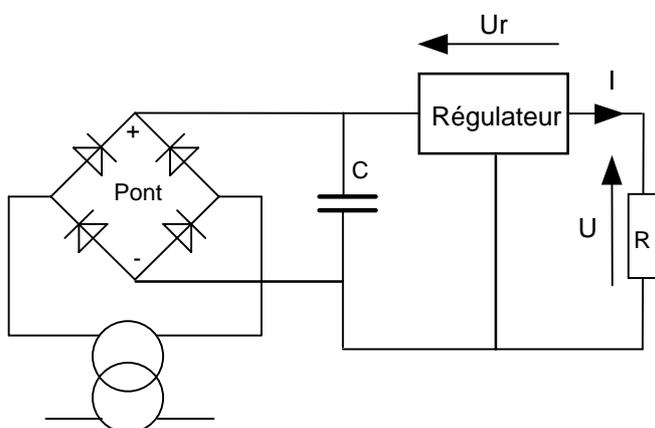
### Conclusions :

Le redressement par les diodes seules ne fournit pas un courant continu de qualité. L'utilisation d'un condensateur et d'une bobine d'inductance améliorent la qualité de la tension de sortie mais provoque des contraintes sévères sur les composants.

## 5. Le régulateur de tension

Le régulateur de tension est un montage électronique discret ou intégré qui permet d'obtenir une tension continue de qualité.

Le principe du régulateur de tension repose sur l'utilisation d'un transistor et d'une référence de tension, le montage est montré dans la figure ci-dessous.



On peut considérer que la tension  $U_r$  sert de réserve afin de combler les manques ou d'absorber les surplus, ainsi la tension  $U$  reste constante.

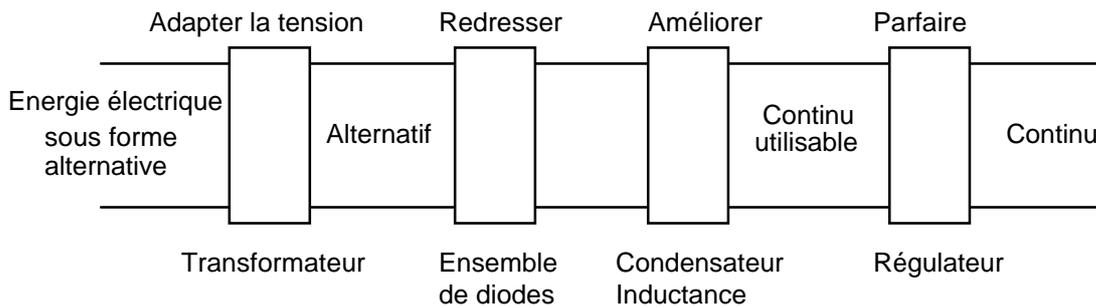
Le montage présente quand même des inconvénients :

Le régulateur provoque une chute de tension, nécessaire à son fonctionnement.

Il dissipe une puissance égale à :  
 $P_r = U_r \cdot I$

Pour maintenir la température du régulateur à une valeur acceptable il faut souvent avoir recours à un dissipateur de chaleur.

## 6. Organisation fonctionnelle d'un convertisseur alternatif continu



## 7. Étude quantitative

### 7.1. Les grandeurs sinusoïdales

Une grandeur sinusoïdale est définie par l'équation suivante :

$$u = U \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$u$  est la valeur instantanée

$U$  est l'amplitude

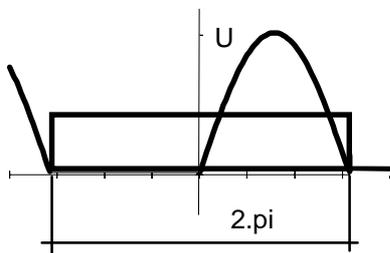
$\omega \cdot t$  la phase

$\omega$  la pulsation

### 7.2. La valeur moyenne

Considérons les tensions définies dans les § 3.1 ou 3.2, elles sont variables et périodiques c'est-à-dire qu'elles se reproduisent identiques à elles-mêmes. Calculons la valeur moyenne d'une de ces tensions par exemple la première.

La notion de valeur moyenne peut se comprendre de façon intuitive.



Sur  $2 \cdot \pi$ , l'aire de la surface sous l'arche de sinusoïde est égale à l'aire du rectangle. La hauteur du rectangle est la valeur moyenne cherchée.

Le calcul de l'aire du rectangle est à peu près connu, par contre le calcul de l'aire sous la sinusoïde n'est abordable qu'en fin de terminale. Heureusement, il existe la calculatrice graphique.

L'aire cherchée est égale à  $2 \cdot U$  soit une valeur moyenne de

$$V_{\text{moy}} = \frac{U}{\pi}$$

Si on réalise un chargeur de batterie, la valeur moyenne de l'intensité permet de calculer la quantité d'électricité transportée lors de la charge.

### 7.3. La valeur efficace

Considérons deux fers à souder identiques, le premier est alimenté par un courant continu, le second par un courant alternatif. Si les deux fers chauffent de la même manière, on dira que la valeur efficace du courant alternatif est égale à l'intensité du courant continu.

Autrement dit, la puissance fournie par le courant continu est égale à la puissance fournie par le courant alternatif. Si,  $i = I \cdot \sin(\omega \cdot t)$ , la valeur instantanée de la puissance produite par ce courant sera égale à :  $p = R \cdot (I \cdot \sin(\omega \cdot t))^2$  soit  $p = R \cdot I^2 \cdot (\sin(\omega \cdot t))^2$  où  $R$  est la résistance du fer. Comparer cette puissance "alternative" à la puissance continue revient à calculer sa valeur moyenne. Étant donné que l'on a pris l'hypothèse de l'égalité, on pourra écrire :  $P = R \cdot I_c^2 = R \cdot I_{\text{eff}}^2$

Là encore, la calculatrice graphique va nous sauver la mise en calculant l'aire de la surface sous la courbe d'équation  $y = (\sin(x))^2$

On trouve  $I_{\text{eff}} = \frac{I}{\sqrt{2}}$  ce résultat est extrêmement important, il n'est valable qu'en alternatif sinusoïdal.

C'est en fonction de la valeur efficace d'un courant que se produit un échauffement dans une résistance.

**En électricité industrielle, les grandeurs sinusoïdales sont pratiquement toujours données en valeur efficace, même dans l'équation fondamentale que l'on écrit  $u = U \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t)$  avec U valeur efficace.**

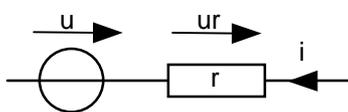
## 8. Contraintes sur les composants

Le calcul des contraintes sur les composants n'est facile que dans le cas du redressement avec les diodes seules (voir le § 3.2)

Les contraintes dont il est question sont la tension à laquelle le composant est soumis, l'intensité du courant qui le traverse et la puissance qu'il doit dissiper.

### 8.1. Les diodes

Rappelons que le modèle équivalent d'une diode est le suivant :



la puissance que doit dissiper la diode est donnée par  $P_d = u \cdot I_{\text{moy}} + r \cdot I_{\text{eff}}^2$  en vertu de ce qui a été dit plus haut.

Chaque paire de diodes est soumise à une tension inverse égale, en valeur absolue, à la tension aux bornes du récepteur.

Le courant qui traverse une paire diode traverse également la résistance. Une seule diode n'est donc traversée par le courant en question qu'une alternance sur deux seulement.

#### Questions :

Connaissant U, l'amplitude de la tension délivrée par le transformateur et R la résistance du récepteur, calculez, pour le redressement double alternance de la figure du § 3.2 :

La valeur moyenne et la valeur efficace de la tension aux bornes de R

La valeur moyenne et la valeur efficace de l'intensité du courant traversant R

La valeur moyenne et la valeur efficace de l'intensité du courant traversant une diode

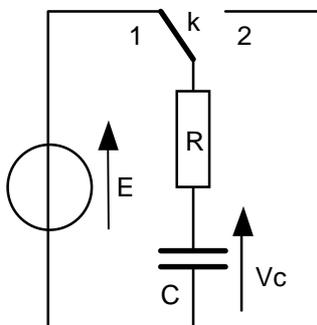
La puissance que doit dissiper une diode, on suppose connues u et r de la diode.

## 9. Détermination de la capacité du condensateur de filtrage

La détermination exacte de la capacité du condensateur de filtrage est délicate. Par contre, une détermination approximative est abordable de manière graphique.

### 9.1. Allure de la tension de décharge d'un condensateur

Considérons le montage représenté par le schéma ci-contre.

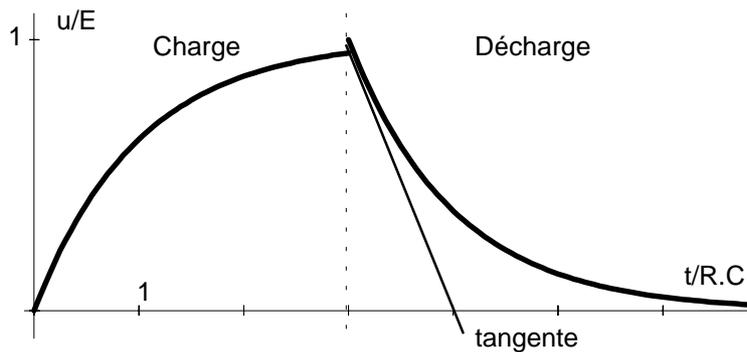


Ce montage permet l'étude de la charge et de la décharge d'un condensateur. La tension de charge est constante. Je rappelle que le condensateur peut être vu comme un réservoir d'électrons. Dans le cas de la figure, il se comporte comme une chasse d'eau qui se remplit vite lorsqu'elle est vide et de plus en plus lentement à mesure qu'elle se remplit. La décharge se fait de la même manière<sup>3</sup>.

Bien sûr, la durée de charge et de décharge dépend des valeurs E, R et C.

Les courbes représentatives sont données ci-dessous.

<sup>3</sup> contrairement à la vraie chasse d'eau



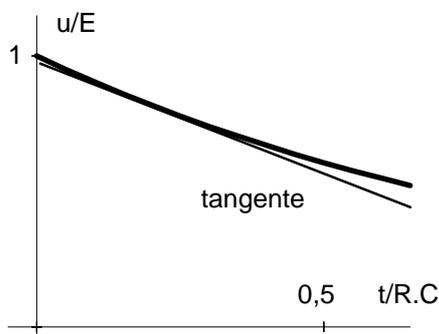
on peut remarquer que les axes portent des graduations réduites.

Tout se passe comme si le générateur de tension était de 1V, ce qui fait qu'il suffit de multiplier les ordonnées par la tension d'alimentation réelle pour adapter ce graphique à chaque cas particulier. Même chose pour les abscisses.

On voit que la tangente au départ de la courbe passe par  $t/(R.C) = 1$

### 9.2. Application du paragraphe précédent au filtrage

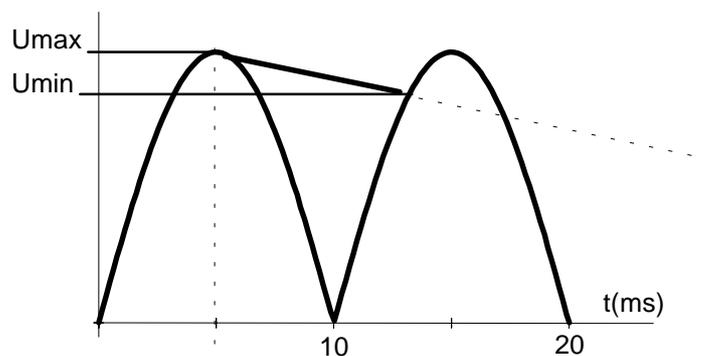
Pour que le filtrage soit efficace, il faut que le condensateur se décharge peu. Voyons l'allure que prend la tension aux bornes du condensateur dans ce cas.

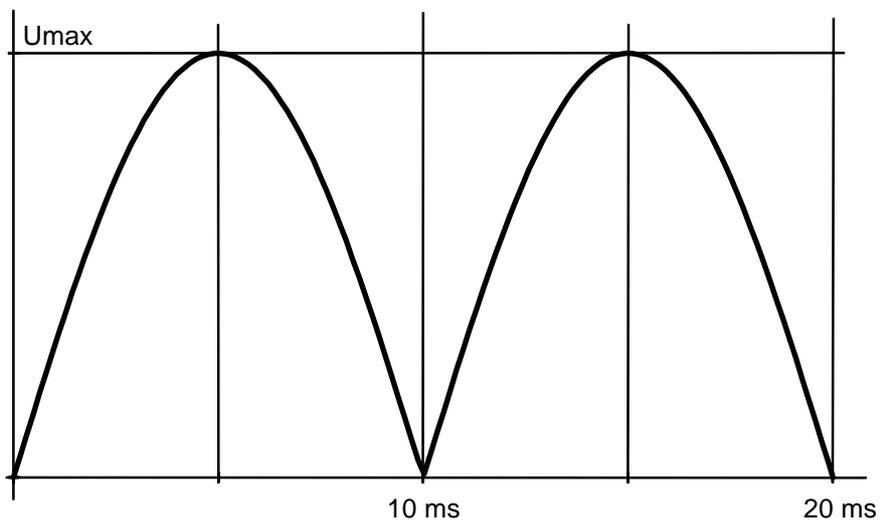


On se rend compte que la courbe se confond avec sa tangente pour  $t/(R.C) < 0,5$

Vous reconnaissez, ci-dessous, la tension redressée double alternance et l'action du condensateur.

Si le problème consiste à trouver la capacité du condensateur qui fasse évoluer la tension entre  $U_{max}$  et  $U_{min}$ , il suffit de tracer le trait fort et de le prolonger. Vous obtenez ainsi la tangente de la figure ci-contre. En terminant le triangle en pointillé, vous arrivez à connaître la valeur du produit R.C. R étant la résistance de charge du pont redresseur, vous pouvez calculer C.





Voici un graphe qui vous permet la résolution graphique présentée ci-dessus.