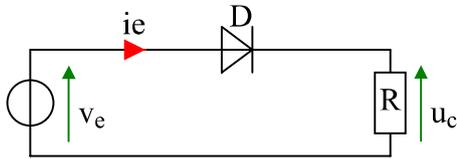


## Exercice 1 : Comparaison de deux redresseurs à diodes sur charge « R »

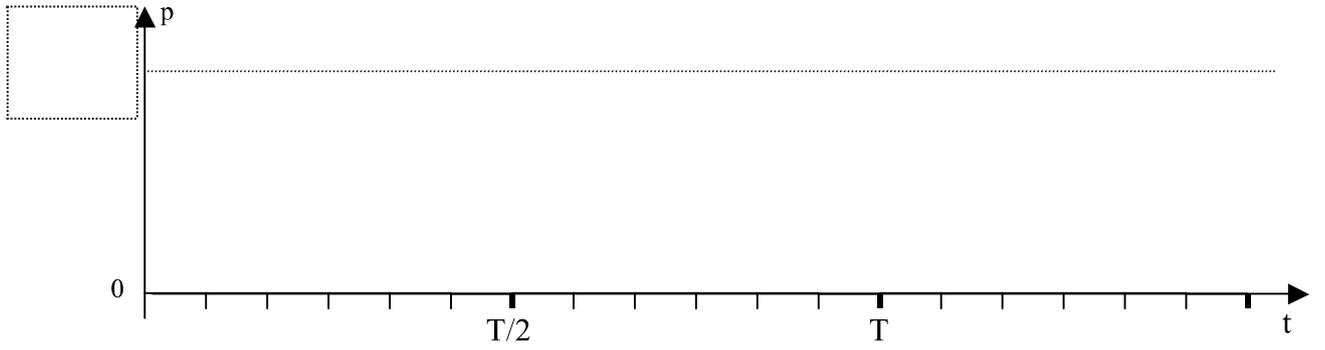
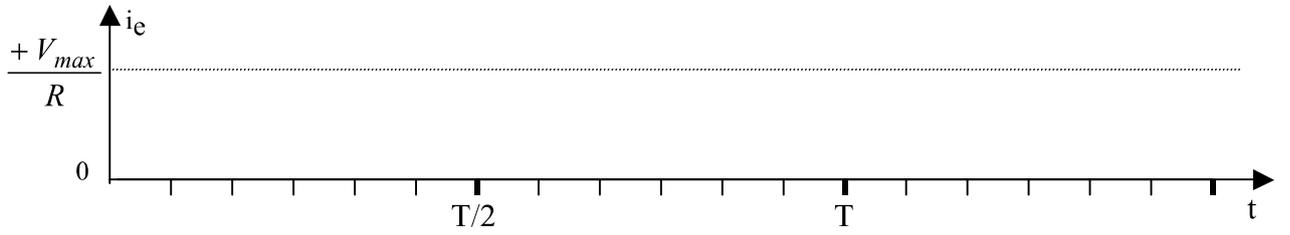
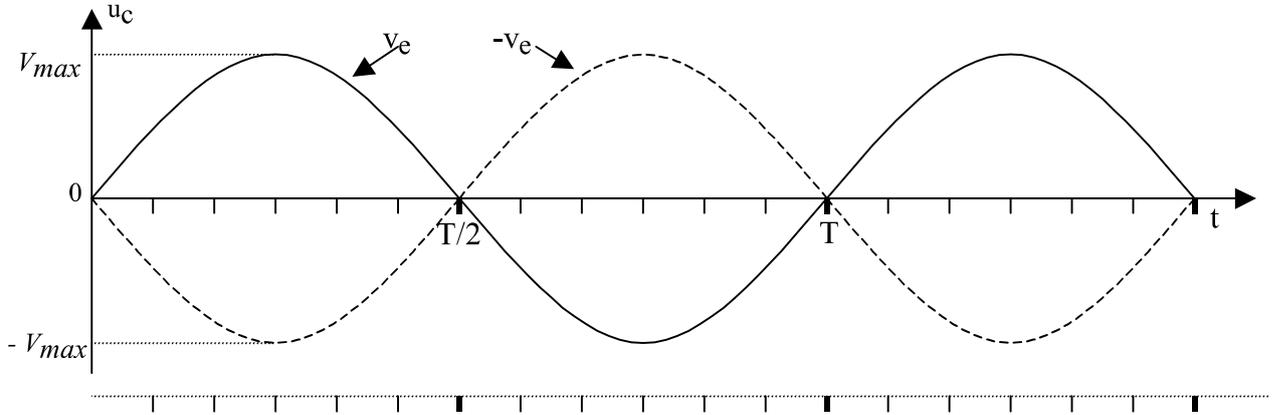
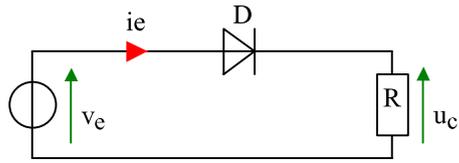
### I - Redresseur monophasé à une seule diode



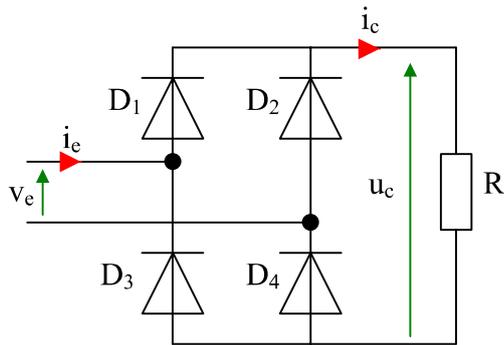
Le redresseur monophasé à diode ci-contre est alimenté par une tension alternative sinusoïdale  $v_e(t) = V_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$ .

« D » est supposée idéale.

- a) Montrer que la diode est toujours bloquée lorsque la tension  $v_e$  est négative. (Commencer le raisonnement par « supposons la diode « D » passante lorsque la tension  $v_e$  est négative »).
- b) Montrer que la diode est toujours passante lorsque la tension  $v_e$  est positive. (Commencer le raisonnement par « supposons la diode « D » bloquée lorsque  $v_e$  est positive »).
- c)
- ① Représenter les **intervalles de conduction de la diode « D »**. (sur la première ligne (en pointillé) sous le graphe de  $v_e(t)$  ci-après.
  - ② Connaissant les intervalles de conduction de la diode, en déduire  $u_c(t)$  (à représenter sur le graphe de  $v_e(t)$ ).
  - ③ En déduire le graphe du courant  $i_e(t)$  (à représenter sur le graphe ci-après).
- d) Représenter le graphe de la puissance instantanée  $p(t)$  consommée par le montage.
- e) Déterminer la puissance active et la valeur efficace du courant  $i_e$  en fonction de  $V_{max}$  et de la valeur de la résistance R.



## II - Redresseur PD2 à diodes avec une charge R.



Le pont monophasé à diodes ci-contre est alimenté par une tension alternative sinusoïdale  $v_e(t) = V_{max} \cdot \sin(\omega.t)$ .

**Hypothèse :** la conduction est continue dans la charge R. Autrement dit,  $i_c(t) > 0$  (Ce qui sera vérifié à posteriori). Les diodes sont supposées idéales.

f)

① Représenter les **intervalles de conduction des diodes** (sur les deux lignes (en pointillé) sous le graphe de  $v_e(t)$  ci-après).

② Connaissant les intervalles de conduction des diodes, en déduire  $u_c(t)$  (à représenter sur le graphe de  $v_e(t)$ ).

③ Connaissant la nature de la charge (la charge est uniquement résistive). En déduire le courant  $i_c(t)$  (à représenter ci-après). (L'hypothèse de la conduction continue dans la charge est-elle vérifiée ?).

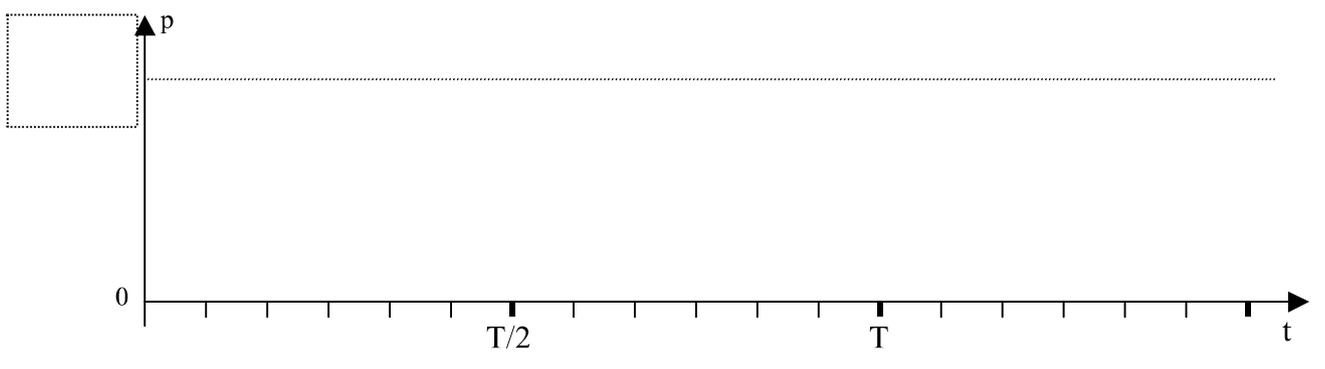
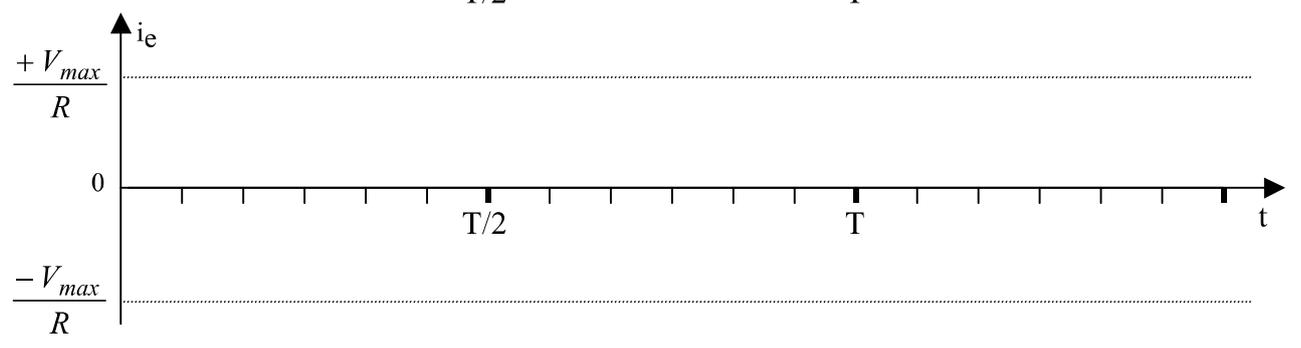
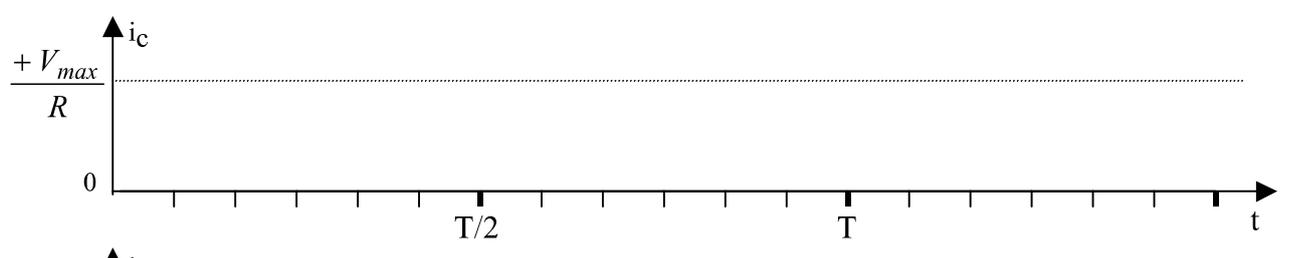
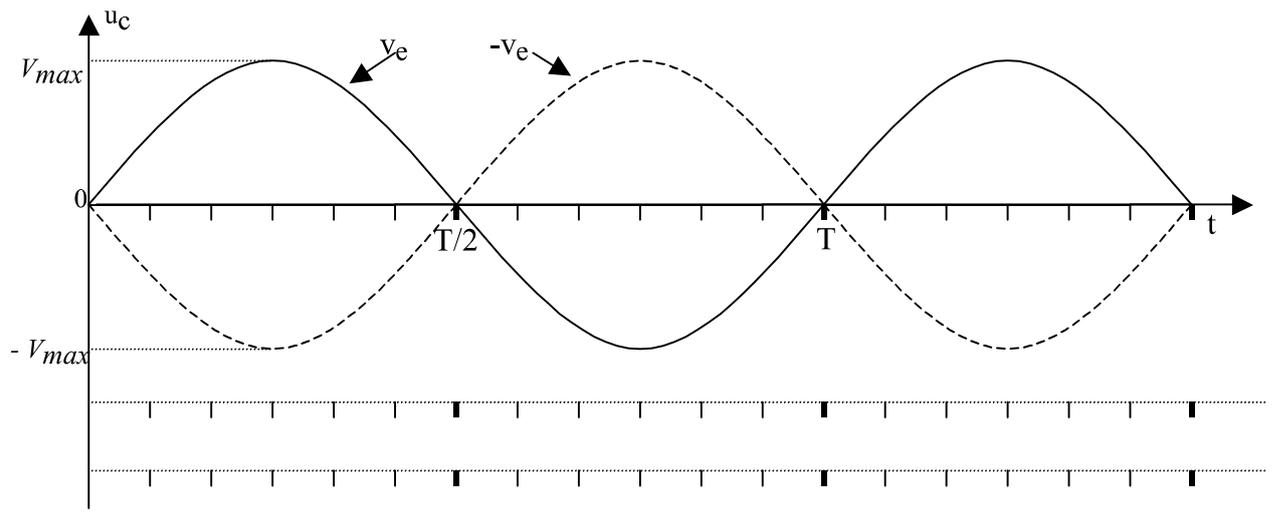
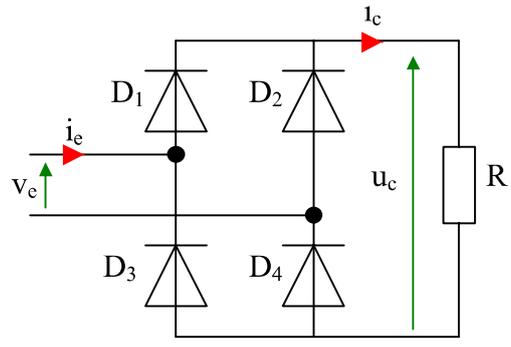
④ En déduire le graphe de  $i_e(t)$  en considérant les intervalles de conduction des diodes (à représenter ci-après). Puis vérifier le résultat en utilisant la conservation de la puissance instantanée dans un convertisseur à liaison directe.

g) Représenter le graphe de la puissance instantanée  $p(t)$  consommée par le montage. En déduire la puissance active et la valeur efficace du courant  $i_e$  en fonction de  $V_{max}$  et de la valeur de la résistance R.

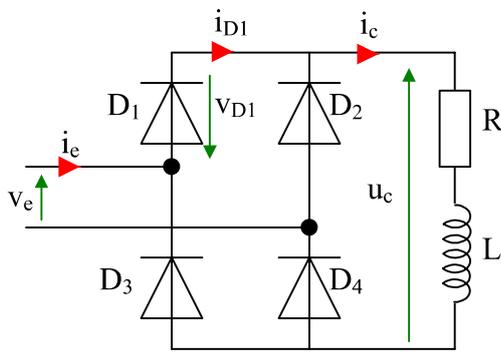
h) Déterminer le facteur de puissance de la ligne monophasée en entrée du montage.

i) En comparant les graphes de la puissance instantanée de ce second montage avec celui du premier montage à une seule diode, retrouver la puissance active obtenue dans la première partie de cet exercice [question e)].

j) En comparant les graphes du courant  $i_e$  de ce second montage avec celui du premier montage à une seule diode, retrouver la valeur efficace du courant obtenue dans la première partie de cet exercice [question e)].



## Exercice 2 : Redresseur PD2 à diodes avec une charge RL en régime periodique.



Le pont monophasé à diodes ci-contre est alimenté par une tension alternative sinusoïdale  $v_e(t) = V_{max} \cdot \sin(\omega.t)$ .

**Hypothèse :** la conduction est continue dans la charge « R.L ». Autrement dit,  $i_c(t) > 0$  (Ce qui sera vérifié à posteriori).

Les diodes sont supposées idéales.

Le dipôle « R.L » modélise un inducteur de machine à courant continu alimenté via le pont de diodes par le réseau 230 V / 50 Hz :

$$V_{max} = 230 \cdot \sqrt{2} \text{ V} ; \quad \omega = 100 \cdot \pi \text{ rad/s} ; \quad R = 150 \Omega \quad \text{et} \\ L = 1 \text{ H}$$

a)

① Représenter les intervalles de conduction des diodes (sur les deux lignes (en pointillé) sous le graphe de  $v_e(t)$  ci-après).

② Connaissant les intervalles de conduction des diodes, en déduire  $u_c(t)$  (à représenter sur le graphe de  $v_e(t)$ ). En déduire  $U_{c_{moy}}$  en fonction de  $V_{max}$ .

③ La tension  $u_c(t)$  peut être approximée par l'expression  $u_c(t) \approx 0,637 \cdot V_{max} - 0,424 \cdot V_{max} \cdot \cos(2\omega.t) - 0,085 \cdot V_{max} \cdot \cos(4\omega.t)$ .

En utilisant le théorème de superposition, en déduire une approximation numérique du courant  $i_c(t)$  sous la forme  $i_c(t) \approx I_{c_{moy}} - I_{c2_{max}} \cdot \cos(2\omega.t - \varphi_2) - I_{c4_{max}} \cdot \cos(4\omega.t - \varphi_4)$ .

En déduire qu'on peut négliger le terme  $I_{c4_{max}} \cdot \cos(4\omega.t - \varphi_4)$  dans l'expression de  $i_c(t)$ .

L'hypothèse de la conduction continue dans la charge est-elle vérifiée ?

Représenter le graphe de  $i_c(t)$ .

④ En déduire le graphe de  $i_e(t)$  en considérant les intervalles de conduction des diodes. Puis vérifier le résultat en utilisant la conservation de la puissance instantanée dans un convertisseur à liaison directe.

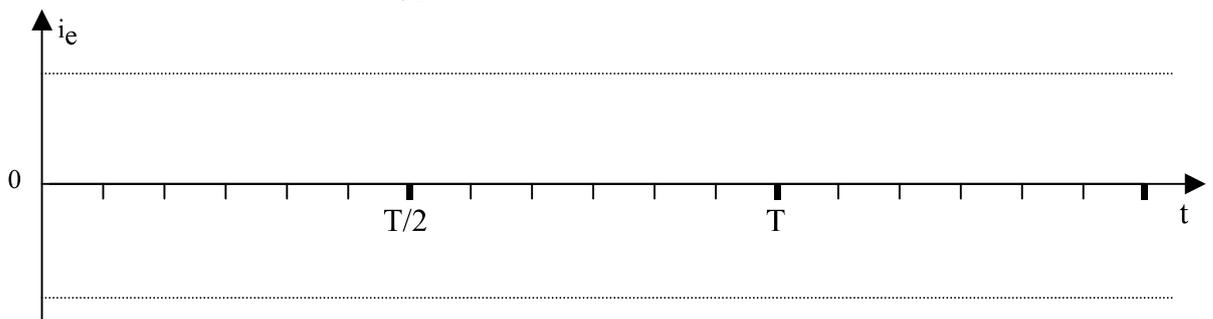
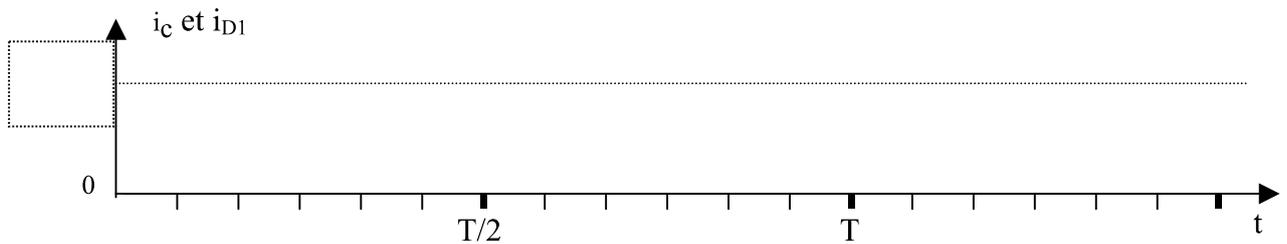
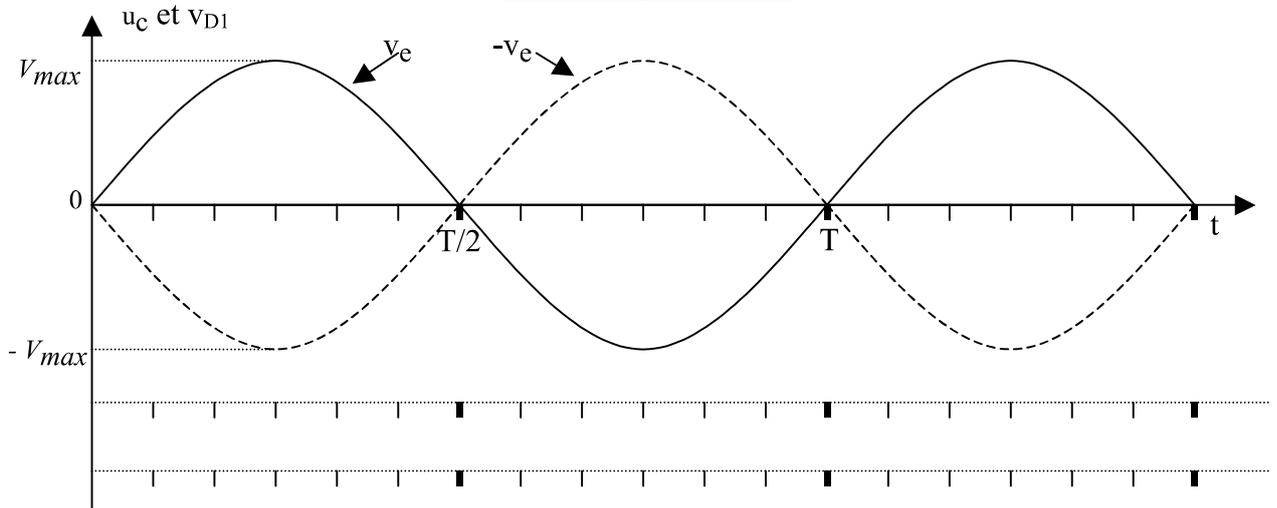
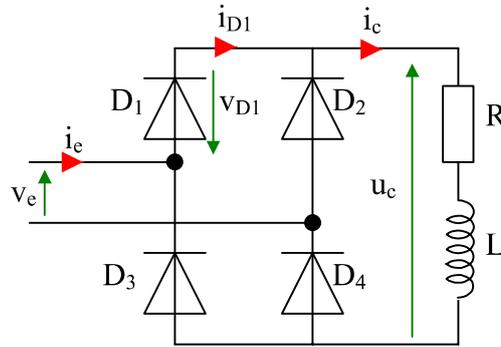
b) On considèrera désormais que  $i_c(t) = 1,38 - 0,214 \cdot \cos(200 \cdot \pi \cdot t - 1,34)$ . Calculer la valeur efficace des courants  $i_c$  et  $i_e$  ainsi que la puissance active consommée par le montage.

c) En déduire le facteur de puissance de la ligne monophasée en entrée du montage.

Comparer à la valeur du facteur de puissance qu'on obtiendrait avec un courant dans la charge RL parfaitement lissé (si l'inductance était très grande).

d) De façon à dimensionner les diodes, représenter avec une couleur différente la tension  $v_{D1}(t)$  et le courant  $i_{D1}(t)$ .

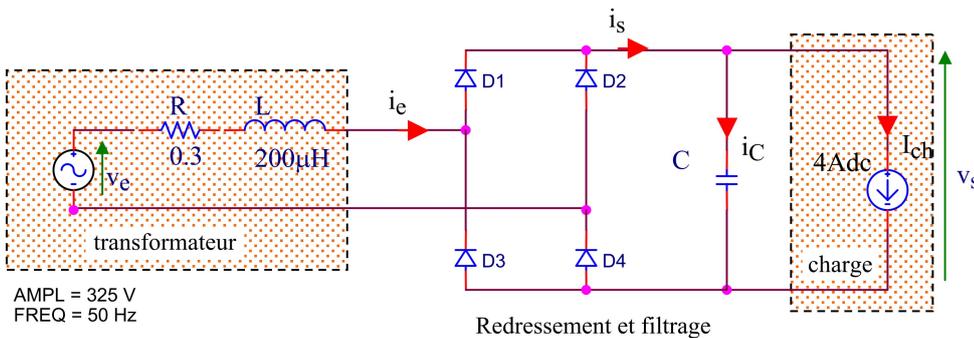
Déterminer la valeur maximum de la tension inverse aux bornes de  $D_1$  ainsi que  $I_{D1_{moy}}$  et  $I_{D1_{eff}}$



### Exercice 3 : Redressement et filtrage capacitif

Les questions a) à e) sont indépendantes

On souhaite alimenter une charge qui consommera un courant constant  $I_{ch} = 4 \text{ A}$  sous une tension plus ou moins continue. L'énergie électrique provient du secondaire d'un transformateur monophasé qui délivre une tension alternative sinusoïdale de fréquence de 50 Hz et d'amplitude 325 V à vide. L'inductance de fuite ramenée au secondaire du transformateur est de  $200 \mu\text{H}$  et la résistance ramenée au secondaire est de  $0,3 \Omega$

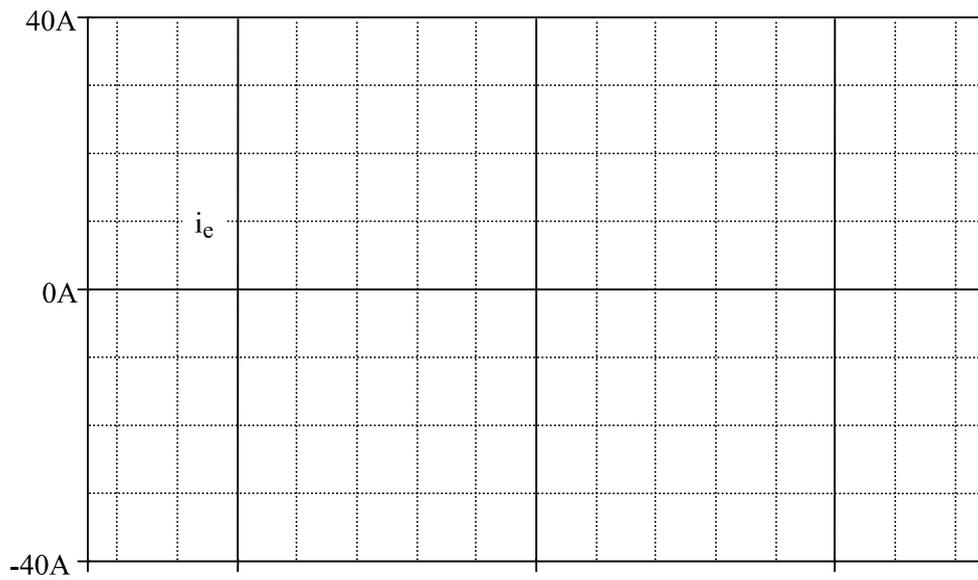
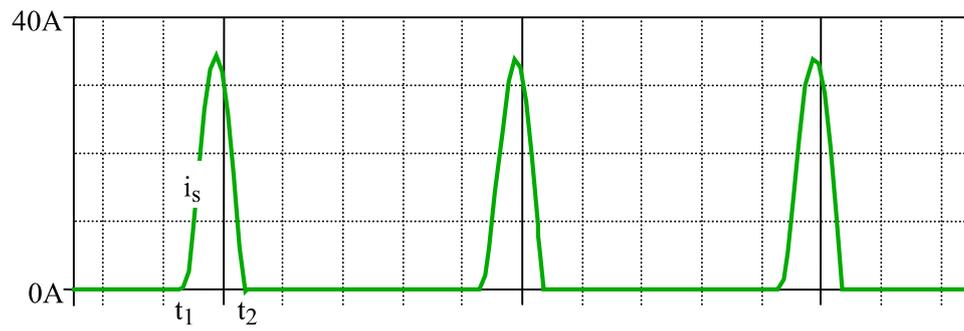
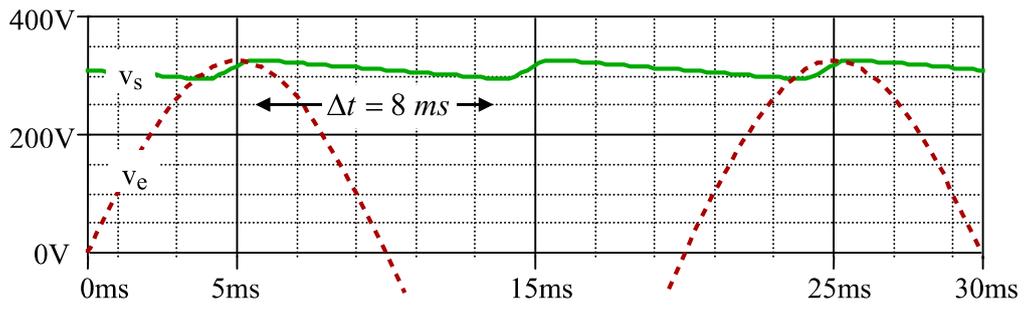


Une simulation a permis d'établir les signaux ( en régime permanent périodique) (voir page suivante)

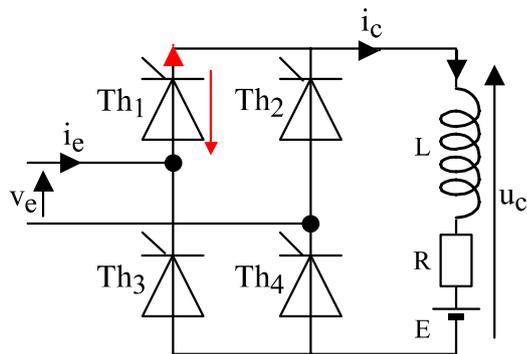
ainsi que la valeur efficace :

$$I_{s\text{eff}} = 10,2 \text{ A}$$

- Connaissant les intervalles où le courant  $i_s(t)$  n'est pas nul et sachant que  $v_e(t) = 325 \cdot \sin(100 \cdot \pi \cdot t)$ , indiquer les intervalles de conduction des différentes diodes (a représenter sous le graphe de  $v_s(t)$ ).
- Sachant que  $V_{s\text{max}} - V_{s\text{min}} = 327 - 295 = \Delta v = 32 \text{ V}$  et que l'intervalle  $\Delta t = 8 \text{ ms}$  (voir le graphe ci-après), en déduire la valeur de la capacité « C » du condensateur de filtrage.
- A partir du graphe de  $v_s(t)$ , estimer  $V_{s\text{moy}}$ . (Justifier en hachurant les aires appropriées)
- Le courant  $i_s(t)$  peut être modélisé par des triangles d'amplitude 40 A et de largeur de base  $[t_2 - t_1] = 2 \text{ ms}$ . En déduire  $I_{s\text{moy}}$  (calcul simple, pas d'intégrale).
- En partant de la loi des nœuds, établir la relation entre  $I_{s\text{moy}}$  et  $I_{ch}$  (Justifier en quelques mots).
- représenter le graphe de  $i_e(t)$  sous le graphe de  $i_s(t)$ .
- Estimer la puissance active reçue par la charge  $I_{ch}$ .
- Estimer la puissance active fournie par le transformateur. (On supposera les diodes idéales). (Expliquer la démarche en quelques mots).
- Déterminer  $I_{e\text{eff}}$  (Justifier en quelques mots) (Pas d'intégrale).



**Exercice 4 : PD2 à 4 thyristors avec une charge R.L.E, en régime permanent.**



Dans cette étude on ne s'intéressera pas à l'évolution des signaux lors de la mise sous tension. On se limitera au **régime permanent** (donc au régime périodique).

Le pont monophasé à quatre thyristors ci-contre est alimenté par une tension alternative sinusoïdale  $v_e(t) = 220\sqrt{2} \cdot \sin(\omega t)$ .

**Hypothèse :** la conduction est continue dans la charge

R.L.E. Autrement dit,  $i_c(t) > 0$ .

Nous allons comparer deux cas :  $\psi = \frac{\pi}{4}$  et  $\psi = \frac{3\pi}{4}$ .

**Premier cas :**  $\psi = \frac{\pi}{4}$

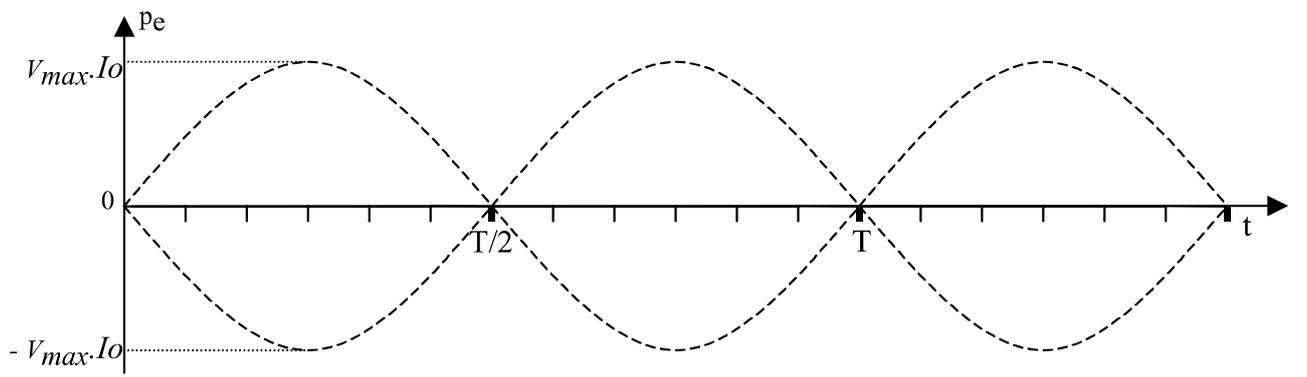
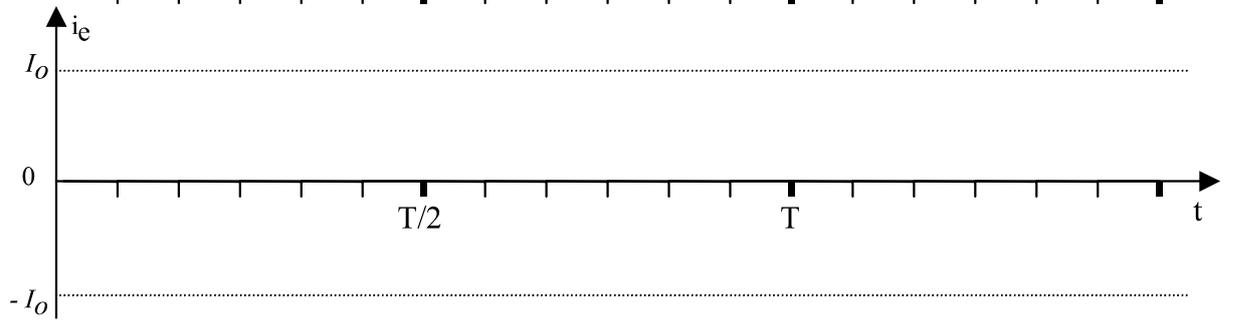
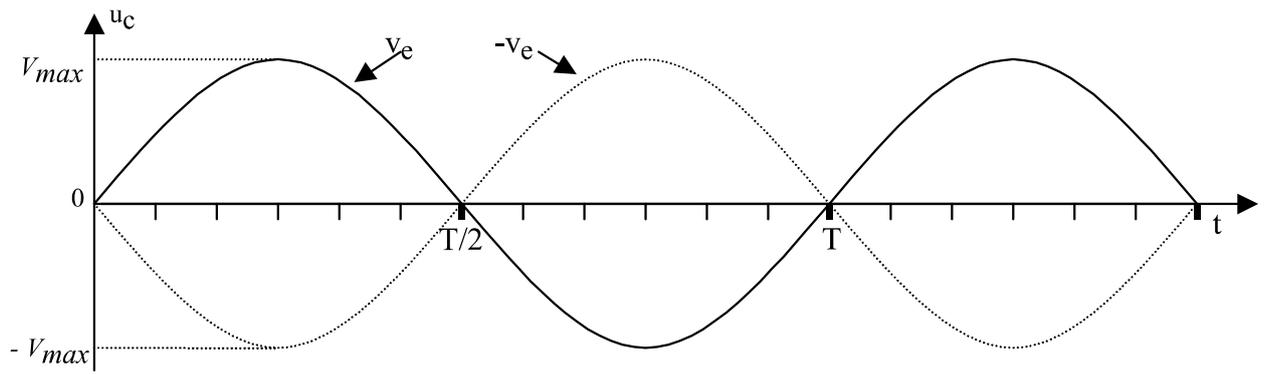
① Déterminer les intervalles de conduction des thyristors pour un angle de retard à l'amorçage  $\psi = \frac{\pi}{4}$ . (Les représenter ci-après)

② Connaissant les intervalles de conduction des thyristors pour cette valeur de  $\psi$ , représenter  $u_c(t)$  sur le même graphique que  $v_e(t)$ .

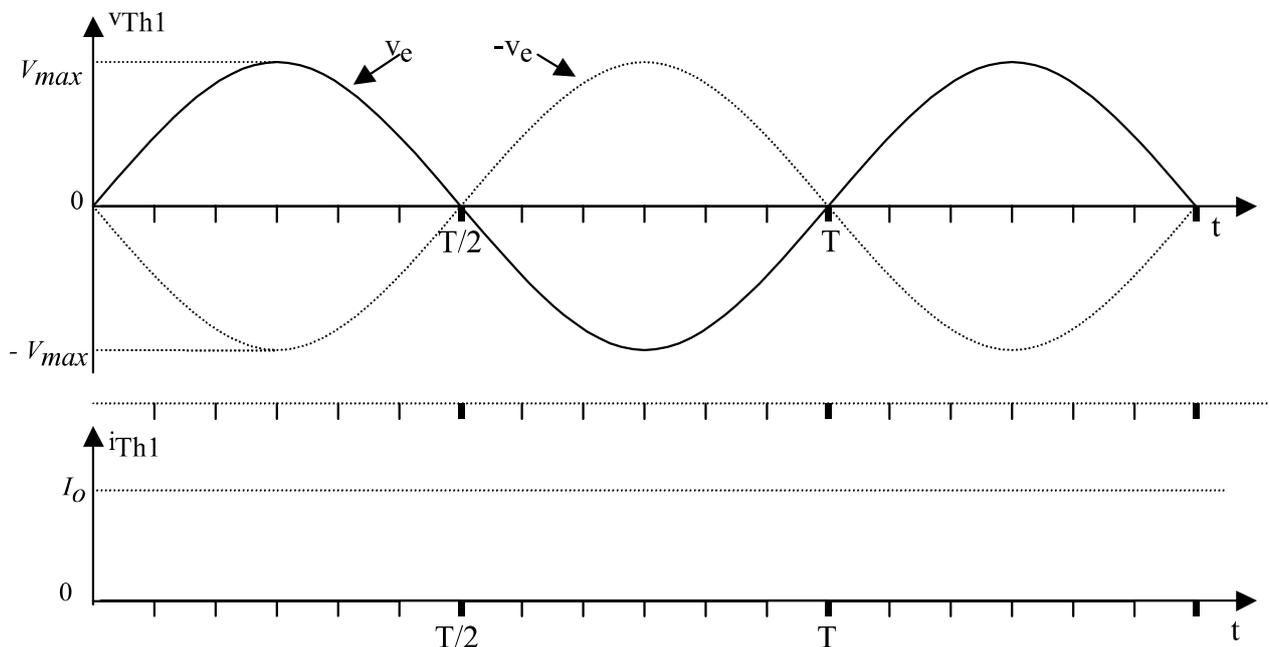
Pour  $0 < \psi < \pi$ , calculer  $U_{c_{moy}}$  en fonction de  $\psi$  et de  $V_{max}$  si la conduction est continue.

③ La charge est constituée d'une résistance  $R = 1 \Omega$  en série avec une l'inductance L et une f.e.m. E. Pour  $\psi = \frac{\pi}{4}$ , le comportement de la charge est tel que  $i_c(t) \approx I_o = 10 A$ . En déduire la valeur de E dans ce cas.

④ Représenter  $i_e(t)$  et la fonction puissance instantanée  $p_e(t)$  en entrée du montage (au niveau de  $v_e(t)$ ) pour  $\psi = \frac{\pi}{4}$  et  $i_c(t) \approx I_o = 10 A$ . Calculer la valeur de la puissance active échangée. Préciser si cette puissance va de la source alternative  $v_e(t)$  vers le dipôle R.L.E. ou l'inverse.

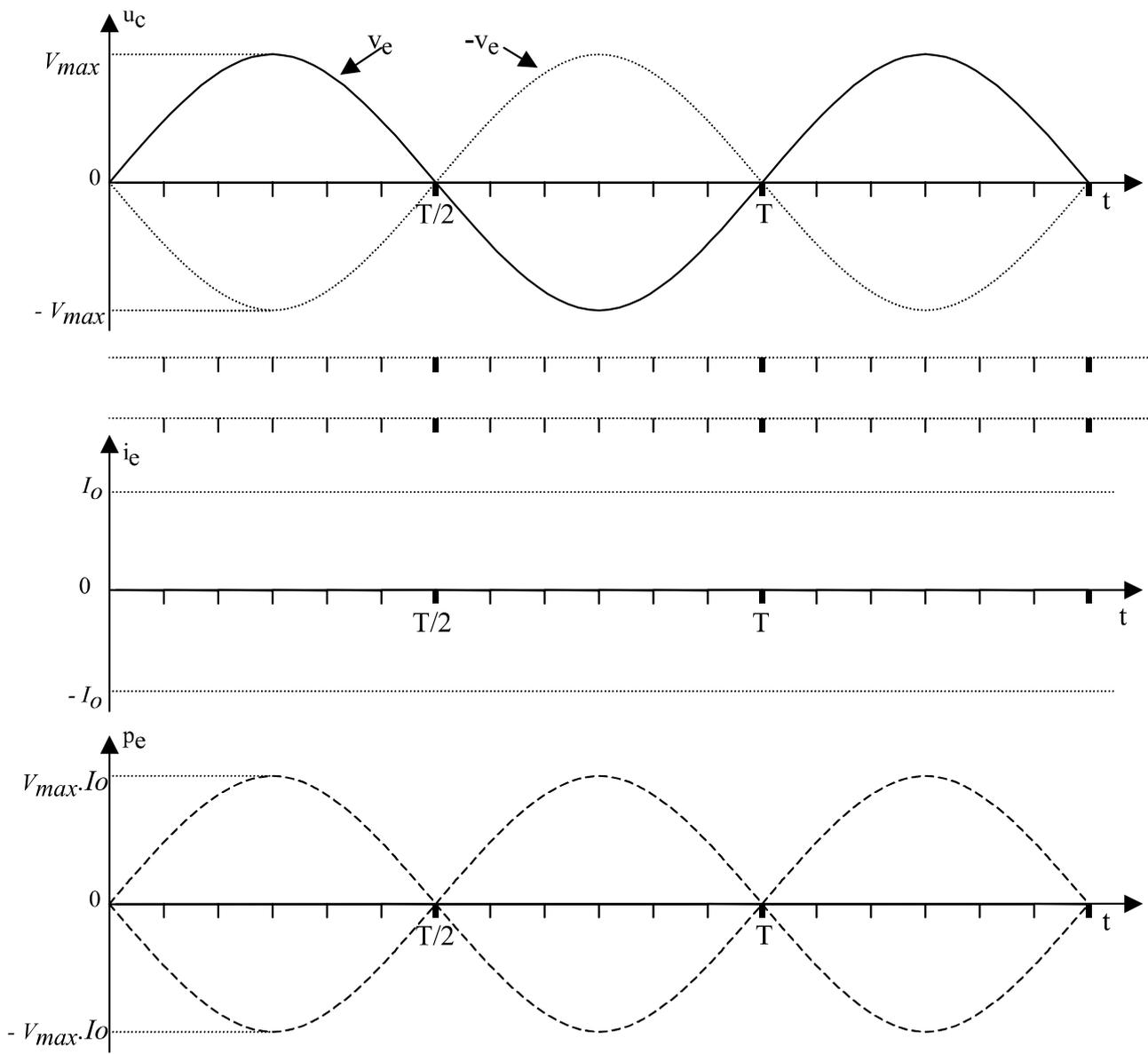


- ⑤ De façon à évaluer les contraintes sur  $Th_1$ , représenter ci dessous  $v_{Th_1}(t)$  et  $i_{Th_1}(t)$  pour  $\psi = \frac{\pi}{4}$  et  $i_c(t) \approx I_o = cte$ .



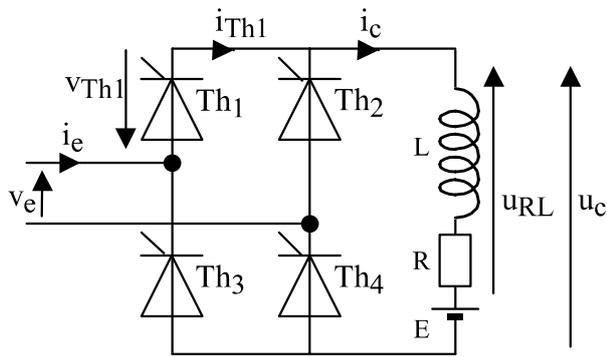
**Deuxième cas :**  $\psi = \frac{3\pi}{4}$

- ① Déterminer les intervalles de conduction des thyristors pour un angle de retard à l'amorçage  $\psi = \frac{3\pi}{4}$ . (Les représenter ci-après)
- ② Connaissant les intervalles de conduction des thyristors pour cette valeur de  $\psi$ , représenter  $u_c(t)$  sur le même graphe que  $v_e(t)$ .
- ③ La charge est constituée d'une résistance  $R = 1 \Omega$  en série avec une l'inductance  $L$  et une f.e.m.  $E$ . Pour  $\psi = \frac{3\pi}{4}$ , le comportement de la charge est tel que  $i_c(t) \approx I_o = 10 A$ . En déduire la valeur de  $E$  dans ce cas.
- ④ Représenter  $i_e(t)$  et la fonction puissance instantanée  $p_e(t)$  en entrée du montage (au niveau de  $v_e(t)$ ) pour  $\psi = \frac{3\pi}{4}$  et  $i_c(t) \approx I_o = 10 A$ . Calculer la valeur de la puissance active échangée. Préciser si cette puissance va de la source alternative  $v_e(t)$  vers le dipôle R.L.E. ou l'inverse.



Dans l'hypothèse où la f.e.m.  $E$  est telle que la conduction demeure toujours continue dans la charge, préciser le mode de fonctionnement du pont (redresseur ou onduleur assisté <sup>(8)</sup>) en fonction de l'angle de retard à l'amorçage  $\psi$ .

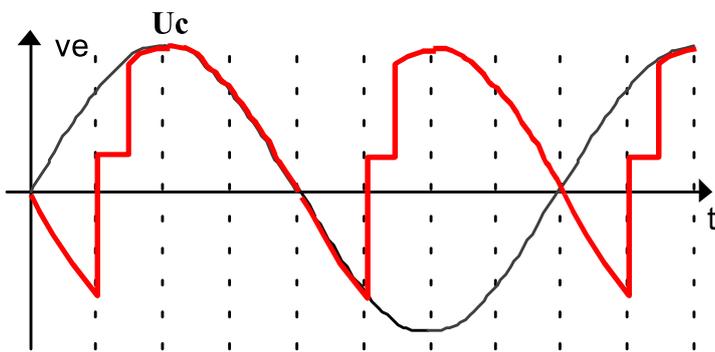
### Exercice 5 : Redressement monophasé commandé en conduction discontinue.



Le pont PD2 à 4 thyristors ci-contre est commandé avec un angle de retard à l'amorçage de  $60^\circ$ .

Compte tenu de sa charge, il fonctionne dans ce cas en conduction **discontinue**.

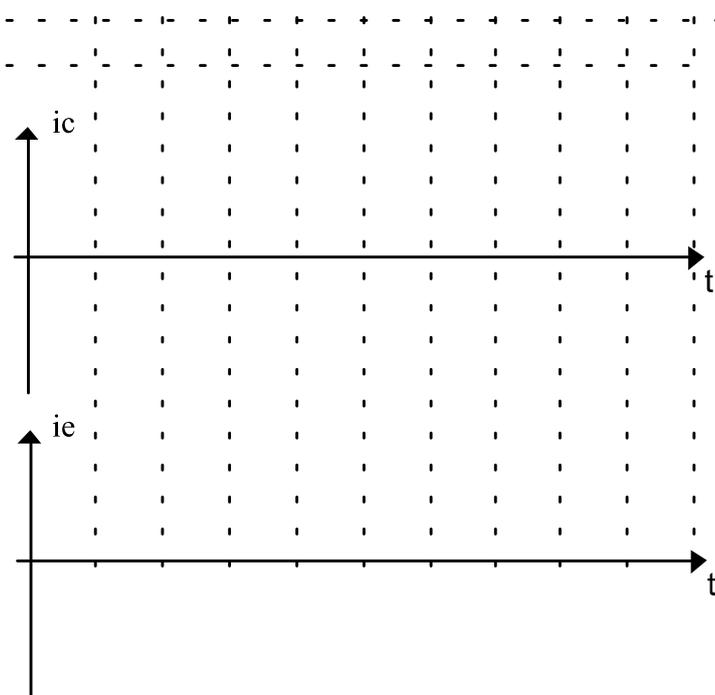
Sa tension sinusoïdale d'entrée  $v_e(t)$  et sa tension de sortie  $u_c(t)$  sont représentées ci-dessous.



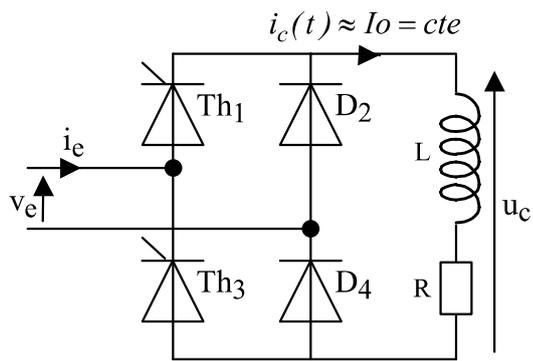
Indiquer les intervalles de conduction des composants (sur les pointillés prévus à cet effet sous  $v_e(t)$ ).

Représenter  $u_{RL}(t)$  (sur le même repère que  $v_e(t)$ ).

Représenter l'allure approximative de  $i_c(t)$  et de  $i_e(t)$  (sur les repères prévus à cet effet). Justifier ci-dessous ces allures en quelques mots

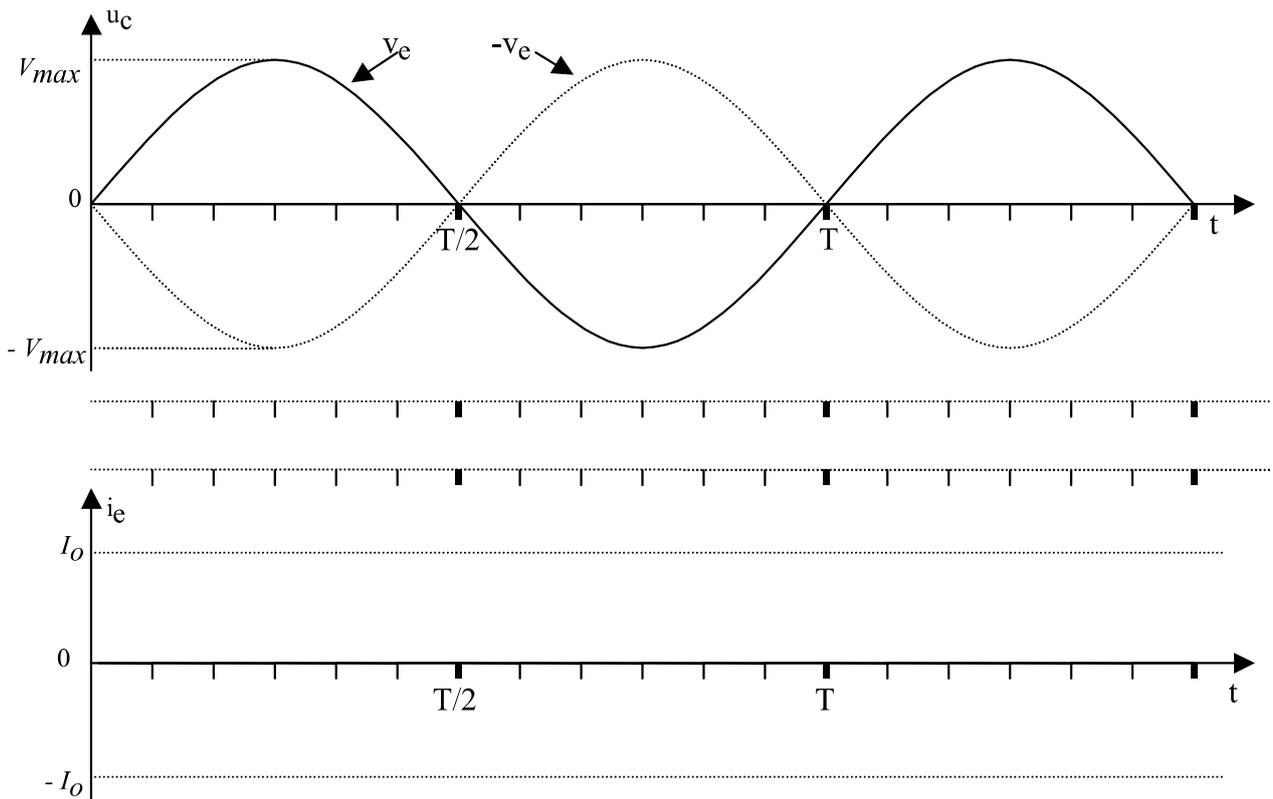


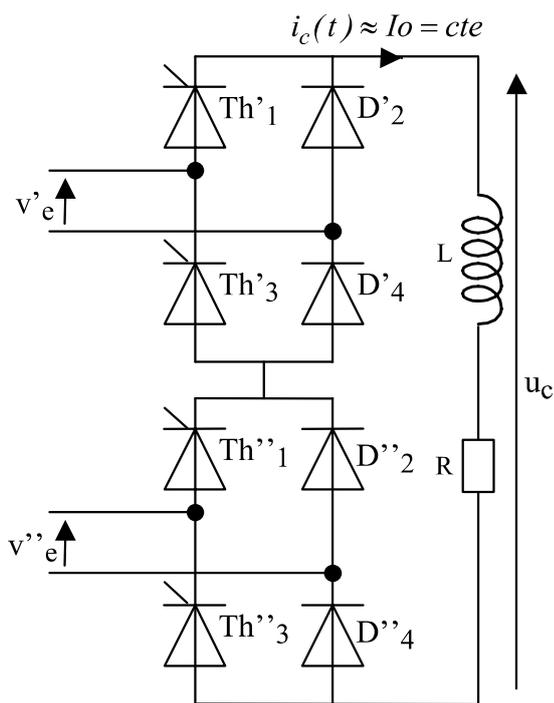
### Exercice 6 : PD2 mixte asymétrique



Pour un angle de retard à l'amorçage  $\psi$  donné, représenter ci-dessous les intervalles de conduction des différents interrupteurs ainsi que  $u_c(t)$  et  $i_e(t)$ .

Calculer  $U_{c\text{moy}}$ ,  $I_{e\text{eff}}$  et le facteur de puissance en entrée du montage en fonction de  $\psi$ .



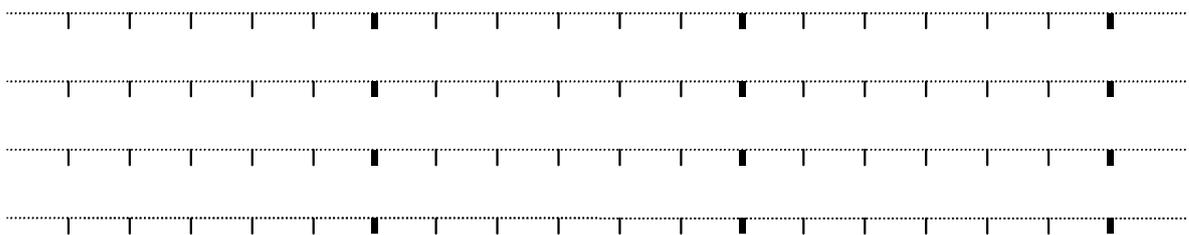
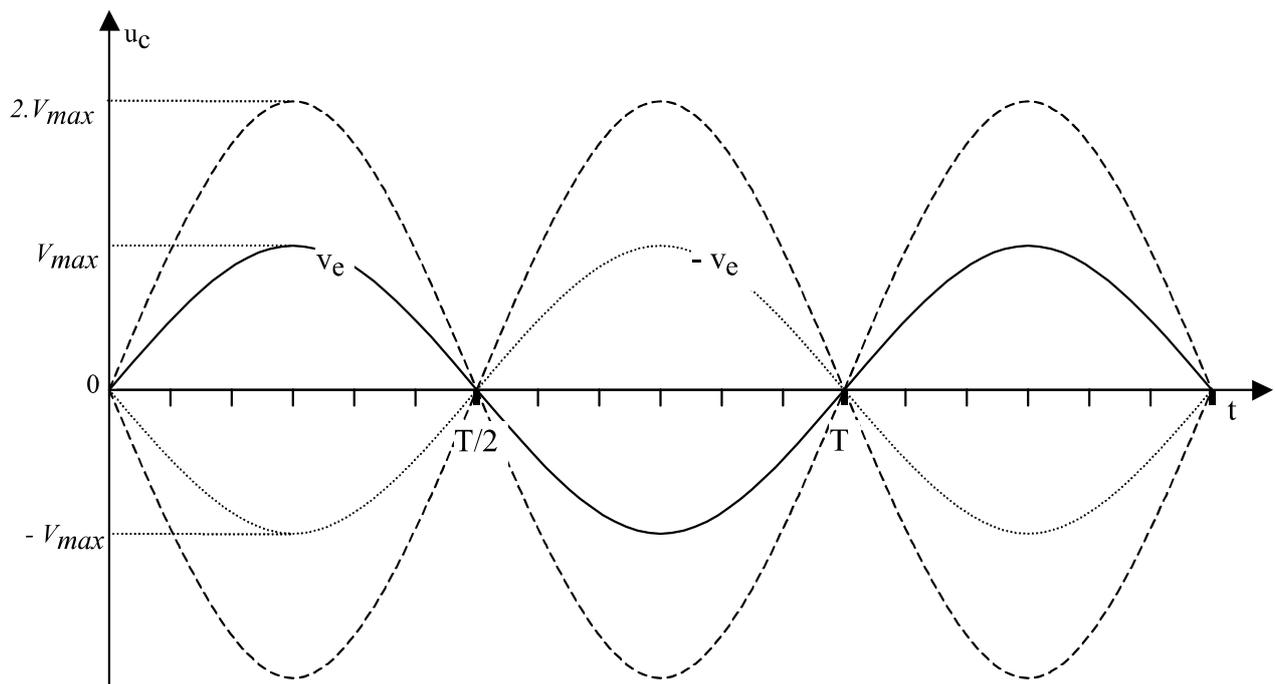


On considère maintenant deux ponts mixtes asymétriques montés en série, et alimentés par les deux secondaires d'un même transformateur monophasé de sorte que  $v'_e(t) = v''_e(t) = v_e(t)$ .

Représenter ci-dessous les intervalles de conduction des différents interrupteurs si les angles de retard à l'amorçage des deux ponts sont respectivement  $\psi' = \frac{\pi}{3}$

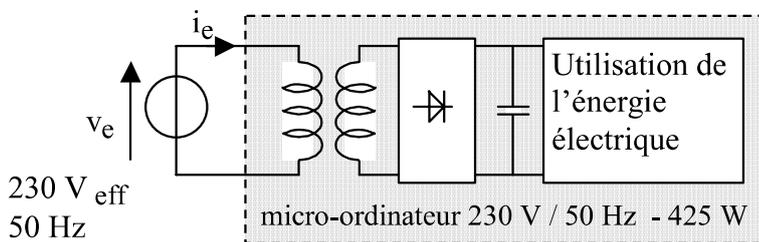
et  $\psi'' = \frac{2\pi}{3}$ .

En déduire  $u_c(t)$ .



## Exercice 7 : Neutre fumant

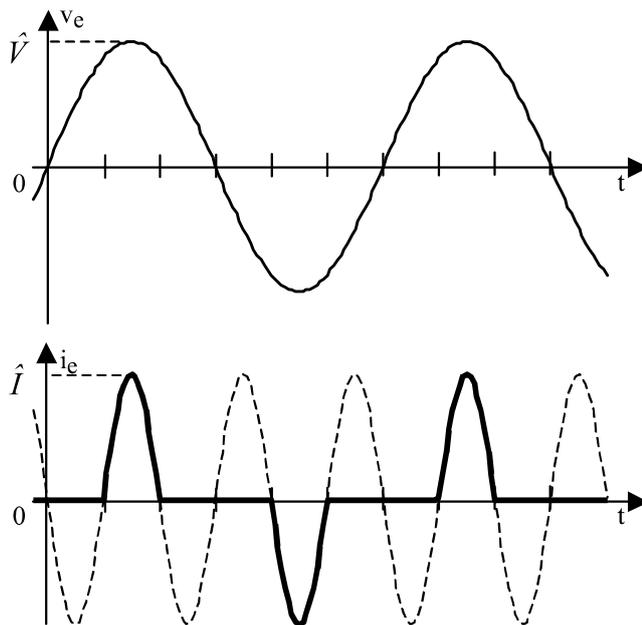
**A** - Une ligne monophasée 230 V / 50 Hz alimente un micro-ordinateur 230 V / 425 W.



A l'intérieur de ce dernier, la tension alternative sinusoïdale d'entrée  $v_e(t)$  (représentée ci-contre) est réduite par un transformateur puis redressée et filtrée.

Le courant consommé :  $i_e(t)$  (représentée en gras ci-contre) peut être approximé par des alternances d'une sinusoïde (représentée en pointillé).

*(Attention ces sinusoïdes ne sont pas de même fréquence...)*



**a1)** Représenter le graphe de la puissance instantanée consommée par le micro-ordinateur.

**a2)** Exprimer la puissance active consommée par le micro-ordinateur en fonction de  $\hat{V}$  et de  $\hat{I}$  (<sup>9</sup>).

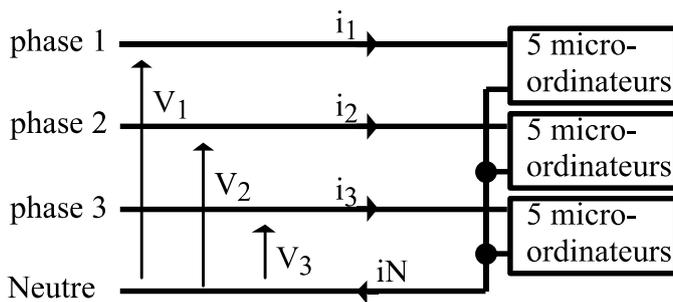
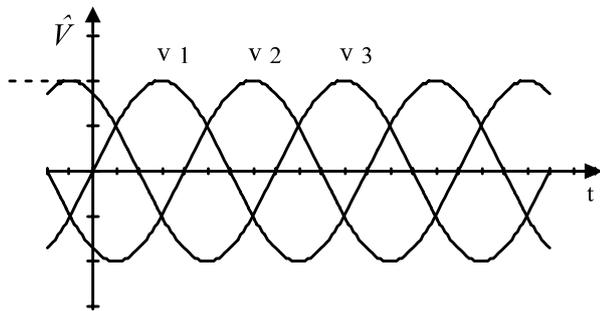
En déduire la valeur numérique de  $\hat{I}$ .

**a3)** Par comparaison entre la courbe de  $i_e(t)$  (en gras) avec la courbe en pointillé, déterminer la valeur efficace de  $i_e(t)$  en fonction de  $\hat{I}$ .

**a4)** Calculer le facteur de puissance en entrée du micro-ordinateur.

**B** - Les conducteurs d'une ligne monophasée 230 V / 50 Hz peuvent accepter sans échauffement excessif un courant efficace de 15 A. Calculer le nombre maximum de micro-ordinateurs du type précédent qui peuvent être alimentés en parallèle par cette ligne.

C - Un bureau est équipé de 15 micro-ordinateurs du type précédent.



Il est alimenté par une ligne triphasée constituée de quatre conducteurs : trois conducteurs appelés "phase 1", "phase 2" et "phase 3", et un quatrième conducteur appelé "neutre".

Le graphe des tensions  $v_1(t)$ ,  $v_2(t)$  et  $v_3(t)$  entre le neutre et les différentes phases est donné ci-contre. Les tensions  $v_1$ ,  $v_2$  et  $v_3$  ont une même valeur efficace de 230 V.

De façon à équilibrer la charge de la ligne triphasée, les 15 micro-ordinateurs sont répartis par groupe de 5 en parallèle sur chaque phase conformément au schéma ci-contre.

Représenter les courants dans les phases  $i_1(t)$ ,  $i_2(t)$  et  $i_3(t)$ , ainsi que le courant dans le neutre  $i_N(t)$ . Calculer la valeur efficace de  $i_N(t)$ .

c1) Représenter les courants dans les phases  $i_1(t)$ ,  $i_2(t)$  et  $i_3(t)$ , ainsi que le courant dans le

c2) Les quatre conducteurs de la ligne étant dimensionnés pour un courant de valeur efficace 15 A, expliquer pourquoi les Anglo-saxons appellent ce type de fonctionnement "le neutre fumant".

## 6 CE QUE J'AI RETENU DE CE CHAPITRE.

La réponse aux questions suivantes permet de vérifier si certaines connaissances sont acquises, mais elle ne permet pas de vérifier l'aptitude à les utiliser dans une situation inédite.

- Quelle est la règle de fonctionnement des diodes d'une « association à cathode commune » ?
- Quelle est la règle de fonctionnement des diodes d'une « association à anode commune » ?
- L'étude des ponts redresseurs peut être largement facilitée si on respecte un ordre précis. Indiquer la signification des étapes ①, ②, ③ et ④ de cet ordre.
- Les ponts redresseurs (à diodes ou à thyristors) ne consomment ni ne produisent aucune énergie électrique (si les composants sont supposés idéaux) Que peut-on en conclure pour ce qui concerne la puissance instantanée ?
- Qu'est-ce que la « conduction continue » dans une branche d'un montage ?
- Dans un pont à thyristor, on parle de « retard à l'amorçage », de quoi s'agit-il ?
- Exprimer le facteur de puissance d'une ligne monophasée en fonction de la puissance active et de la puissance apparente.