

BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR**CONTRÔLE INDUSTRIEL et  
RÉGULATION AUTOMATIQUE**E3 Sciences Physiques**U-32 PHYSIQUE-APPLIQUÉE***Durée : 2 heures**Coefficient : 2,5*

=====

*Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet. Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.*

**ATTENTION :****LES DOCUMENTS RÉPONSES 1 (pages 8 et 11)****RÉPONSES 2 (pages 9 et 12)****RÉPONSES 3 (pages 10 et 13)**

**sont fournis en double exemplaire, un exemplaire étant à remettre avec la copie ; l'autre servant de brouillon éventuel.**

=====

***Aucun document autorisé.******Calculatrice non autorisée.******Tout autre matériel est interdit.***

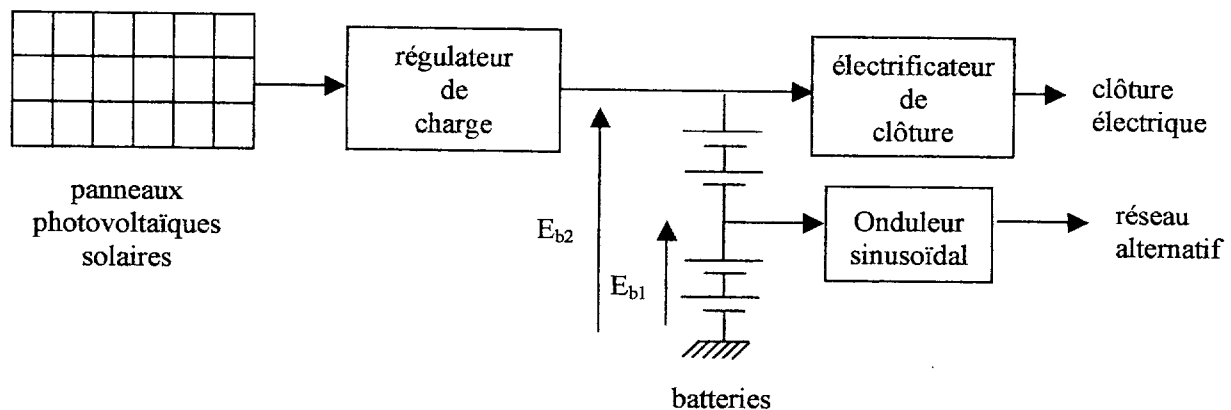
## ÉLECTRIFICATION D'UNE BERGERIE

Les quatre parties de ce problème sont indépendantes.

Pour des besoins en énergie électrique dans une bergerie isolée, l'agriculteur choisit l'installation de panneaux photovoltaïques pour produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire.

L'objectif de cette installation est de convertir le rayonnement solaire en électricité, de la stocker dans des batteries afin qu'elle soit disponible à la consommation et puisse alimenter la clôture électrique de la bergerie.

### Schéma de l'installation

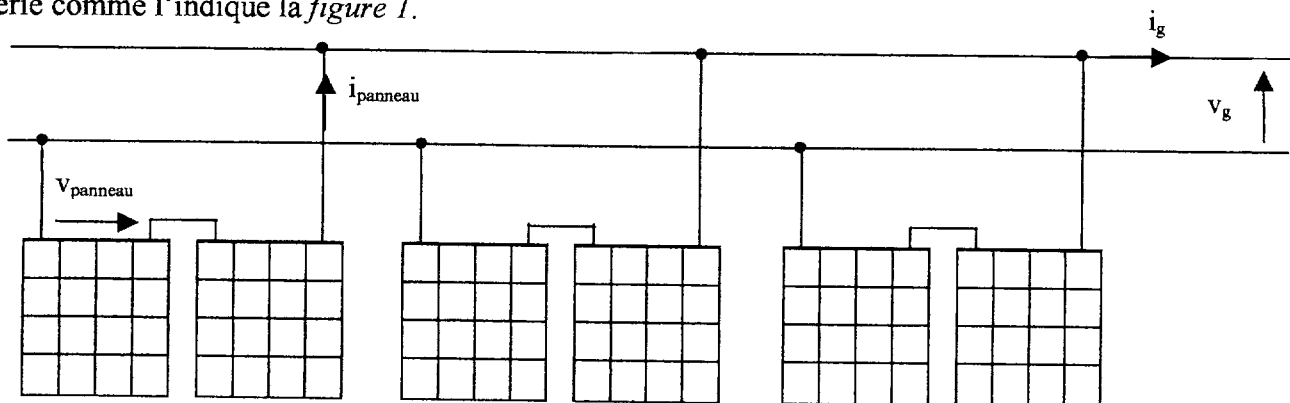


### 1) Étude des cellules solaires photovoltaïques

Ce sont des semi-conducteurs capables de convertir directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Une cellule photovoltaïque produit une tension quasi constante de  $E_{\text{cel}} = 0,5 \text{ V}$ . L'intensité du courant fourni par cette cellule dépend de la luminosité environnante, l'intensité maximale  $I_{\text{CCcel}}$  est de 1800 mA. La cellule fournit une puissance nominale de 900 mW.

Les cellules doivent être agencées en série puis en parallèle afin de fournir une grande puissance.

L'installation est constituée de 6 panneaux identiques répartis en 3 groupes de 2 panneaux en série comme l'indique la *figure 1*.



**Figure 1**

L'étude de ce générateur de tension, pour un éclairement particulier et constant, a permis d'obtenir les valeurs suivantes de la tension  $v_g$  et du courant  $i_g$  :

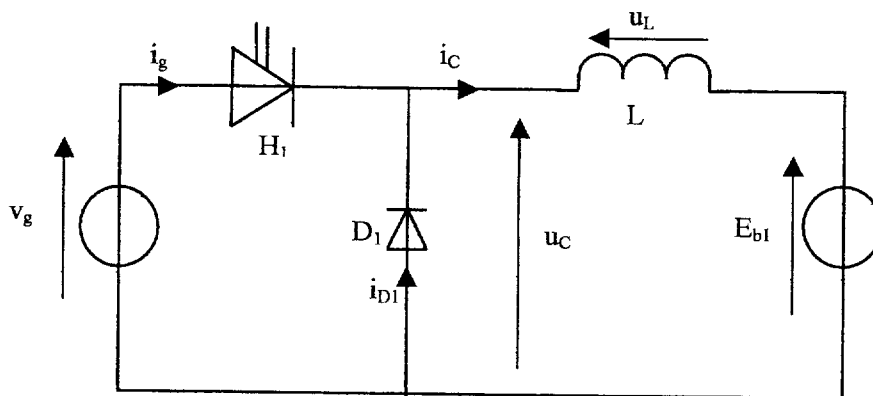
$v_g$ en V	23,8	23,5	22,8	22	20,5	19,1	17,2	14	9	3
$i_g$ en A	1	2	4	5,5	7	9	10,3	10,1	10,7	10,8

- 1.1) À partir de la courbe  $i_g = f(v_g)$  représentée pages 8 et 11, donner les valeurs de la fem  $E_g$  et de l'intensité du courant de court-circuit  $I_{CCg}$  de ce générateur.
- 1.2) Déterminer les valeurs de la fem  $E_{panneau}$  et de l'intensité du courant de court-circuit  $I_{CCpanneau}$  d'un panneau.
- 1.3) Combien faut-il utiliser de cellules photovoltaïques par panneau pour obtenir la tension  $E_{panneau}$  ? Comment sont-elles reliées ?

## 2) Étude du régulateur de charge

Ce dernier est constitué d'un hacheur dont la commande intègre le système MPPT (Maximum Power Point Tracker). Cette commande contrôle les variations de l'intensité du courant  $i_g$  et de la tension  $v_g$  en utilisant la pente de la caractéristique  $P_g = f(v_g)$ . Afin d'optimiser le transfert d'énergie électrique fournie par les panneaux, le système MPPT cherche à faire débiter ces panneaux à leur puissance maximale en agissant sur le rapport cyclique  $\alpha$ .

Le hacheur utilisé est représenté par le schéma suivant :



$H_1$  : interrupteur commandé parfait  
 $D_1$  : diode idéale

Les batteries sont supposées être parfaites, elles sont assimilables à un générateur de tension parfait de fem  $E_{bt}$ .

L'étude se fait en régime permanent.

- 2.1) La caractéristique  $P_g = f(v_g)$  est donnée pages 8 et 11 sur le document réponse n° 1. Donner les valeurs de la tension  $v_g$  et de l'intensité du courant  $i_g$  que le système MPPT va chercher à appliquer à l'entrée du hacheur.
- 2.2) L'évolution du courant  $i_c$  se résume à des croissances ou décroissances linéaires sur une période. En vous servant des séquences de conduction des composants, donner l'évolution du courant  $i_c$  sur le graphe n° 3 du document réponse n° 2 page 12.
- 2.3) Quelle est la valeur de la fréquence de hachage ?

- 2.4) Donner la valeur du rapport cyclique  $\alpha$  correspondant au rapport entre le temps de conduction de l'interrupteur H et la période T.
- 2.5) Démontrer que la valeur moyenne  $\bar{i}_c$  du courant  $i_c$  est égale à :  $\bar{i}_c = \frac{I_M + I_m}{2}$ .
- 2.6) Si  $\bar{i}_c = 14,3$  A et si l'ondulation du courant  $\Delta i_c = \frac{I_M - I_m}{2} = 1,5$ A, déterminer les valeurs extrêmes prises par le courant  $i_c$ .
- 2.7) Tracer l'évolution du courant  $i_g$  sur le **graphe n° 4 du document réponse n° 2 page 12**.
- 2.8) Démontrer que la valeur moyenne  $\bar{i}_g$  de  $i_g$  est égale à  $\alpha \bar{i}_c$ . Calculer cette intensité moyenne si  $\bar{i}_c = 14,3$  A et  $\alpha = 0,7$ .
- 2.9) **Étude de l'optimisation réalisée par le système MPPT**  
Placer sur la caractéristique  $P_g = f(v_g)$  sur le **graphe n° 2 du document réponse n° 1 page 11**, les points suivants :

	$P_g$ en W	$v_g$ en V
A	100	9,5
B	178	18
C	80	23

Remplir les différentes colonnes du **tableau n° 1** disponible sur le **document réponse n° 2 page 12** en répondant aux questions suivantes pour chacune des trois situations illustrées par les différents points.

- 2.9.1) Quel est le signe de la pente de la courbe  $P_g = f(V_g)$ , en déduire le signe de variation  $\frac{dP_g}{dv_g}$ .
- 2.9.2) Pour fonctionner à la puissance maximale, en utilisant la caractéristique  $i_g = f(v_g)$ , comment doit agir sur la consommation du courant  $i_g$  ? Comment la régulation du hacheur doit-elle agir sur le rapport cyclique  $\alpha$  ?

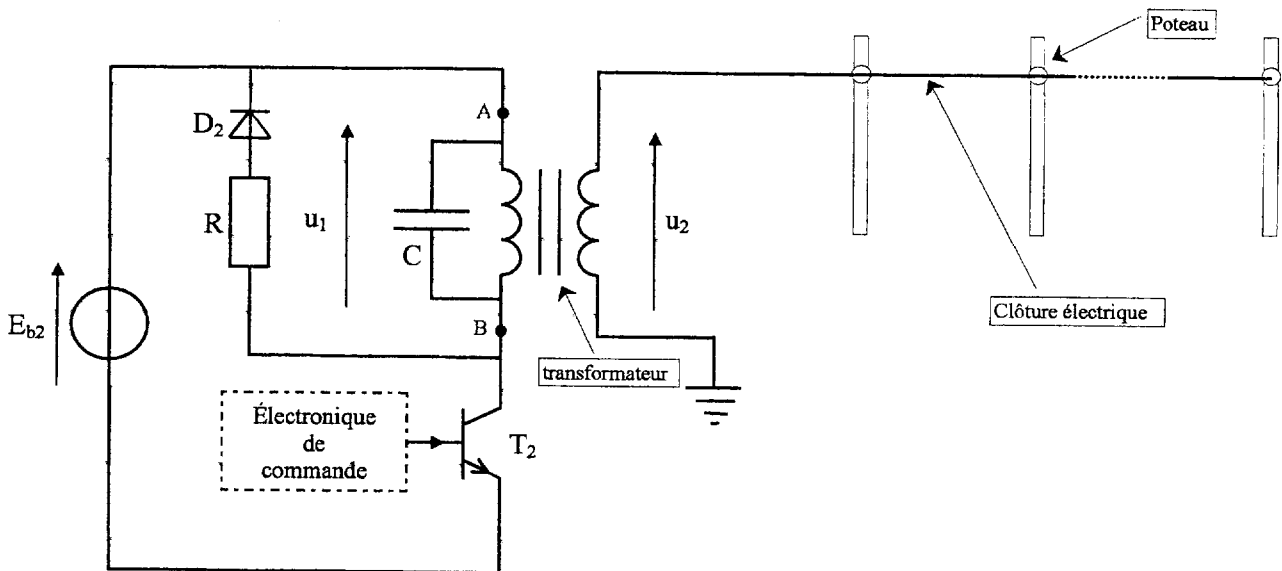
Vous avez trois possibilités d'actions :

- une augmentation se représente par une flèche ↗
- une diminution par une flèche descendante ↘
- pas d'action par une flèche horizontale →

### 3) Étude de l'électrificateur de clôture

Ce dispositif permet d'envoyer des impulsions électriques sur un ruban conducteur afin que les animaux domestiques ne puissent pas sortir de leur enclos.

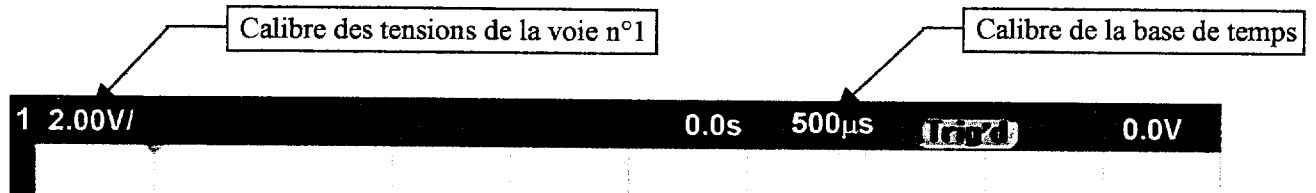
Cet électrificateur peut être représenté par le schéma suivant :



Un oscilloscope associé à une sonde différentielle a permis la visualisation de la tension  $u_1$ .

3.1) En vous reportant au **chronogramme n° 1 page 7**, déterminer la période des impulsions envoyées sur le ruban constituant la clôture.

Précision :



3.2) Le **chronogramme n° 2 page 7** représente l'évolution d'une impulsion de la tension  $u_1$ .

3.2.1) Déterminer la durée de conduction du transistor  $T_2$ .

3.2.2) La tension fournie à la sortie de la sonde différentielle est atténuée dans un rapport de  $\frac{1}{20}$ , déterminer l'amplitude positive de la tension  $u_1$ .

3.3) Le transformateur a été déconnecté du montage, une tension sinusoïdale appliquée sur son enroulement primaire (entre les points A et B) a été visualisée sur l'entrée n° 1 de l'oscilloscope utilisé sans la sonde, la tension  $u_2$  sur l'entrée n° 2. Ces visualisations sont disponibles sur le **chronogramme n° 3 page 7**. La déformation des signaux est due à la présence du condensateur C soudé sur l'enroulement primaire de ce transformateur.

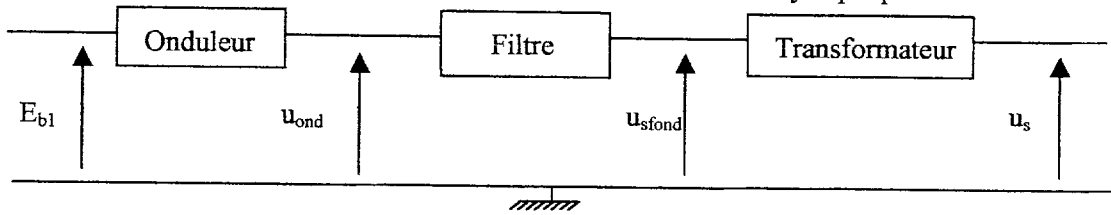
3.3.1) Calculer le rapport de transformation de ce transformateur.

3.3.2) Comment peut-on caractériser ce transformateur ?

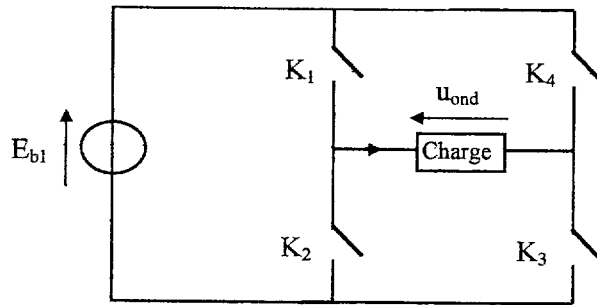
3.3.3) Sachant que la tension  $u_2$  disponible au secondaire du transformateur est l'image de la tension  $u_1$ , calculer l'amplitude positive d'une impulsion de la tension  $u_2$ .

4) Étude de l'onduleur sinusoïdal

Ce convertisseur permet l'obtention d'une tension alternative sinusoïdale de fréquence  $f = 50 \text{ Hz}$  et de valeur efficace  $U_s = 240 \text{ V}$ . Il est constitué d'un onduleur, d'un filtre et d'un transformateur (ce dernier ne sera pas étudié) comme le montre le synoptique suivant :

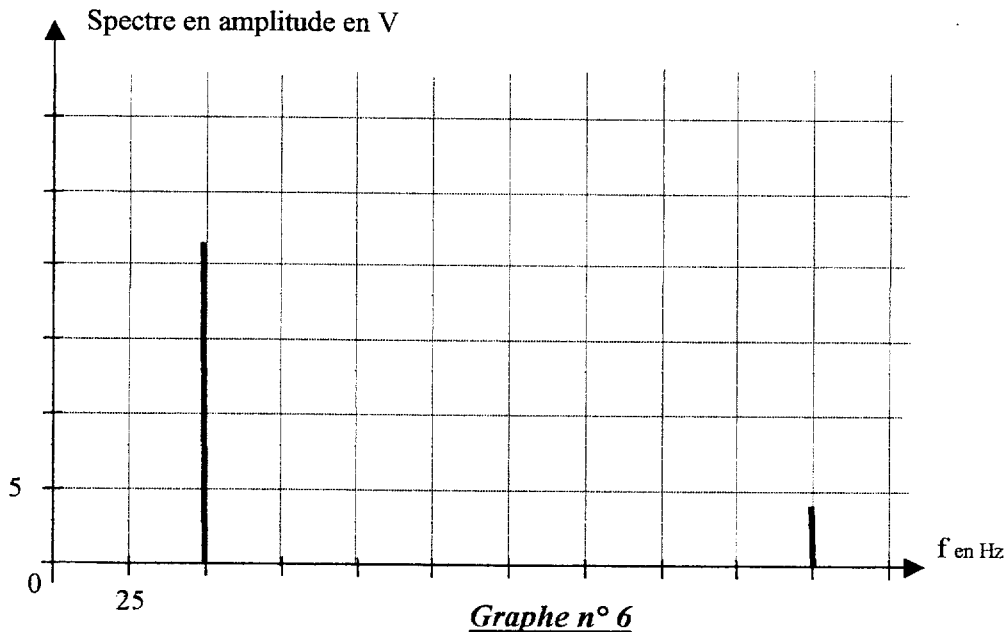


L'onduleur peut être représenté par le schéma suivant :

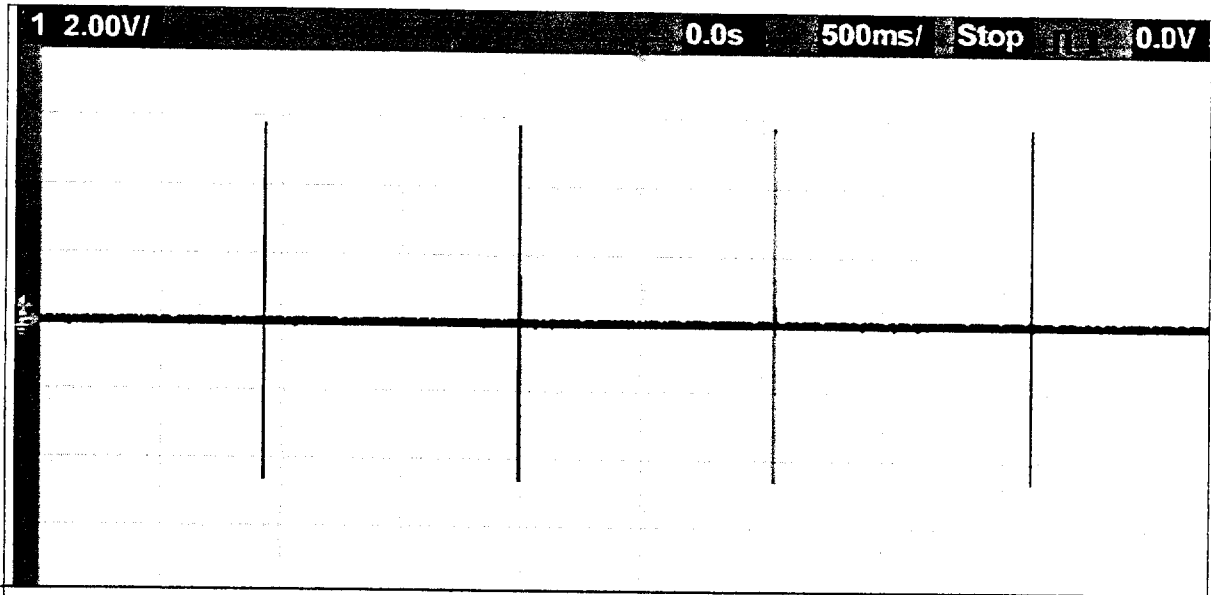


Les batteries délivrent une tension constante  $E_{b1}$  de 20 V.

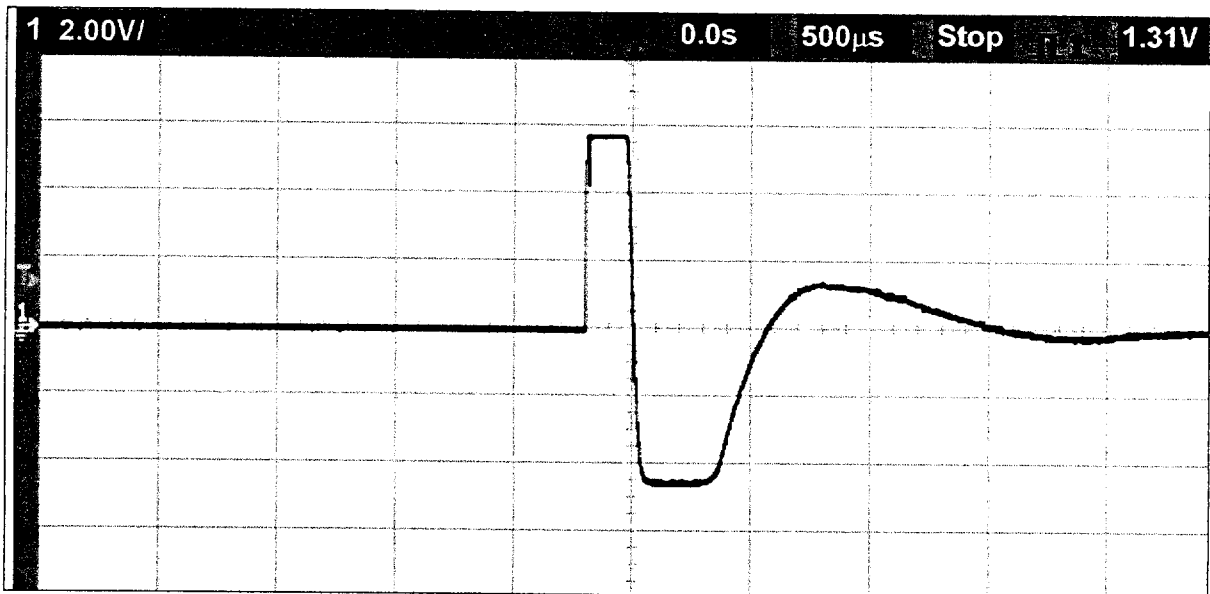
- 4.1) Représenter l'évolution de la tension  $u_{ond}$  sur le **graphe n° 5** du **document réponse n° 3 page 13**, en vous aidant des séquences de conduction des quatre interrupteurs.
- 4.2) La fréquence de  $u_s$  étant de 50 Hz, quelle doit être la valeur de la période  $T$  de commande de l'onduleur.
- 4.3) Le spectre en amplitude de la tension  $u_{ond}$  est représenté sur le **graphe n° 6**.



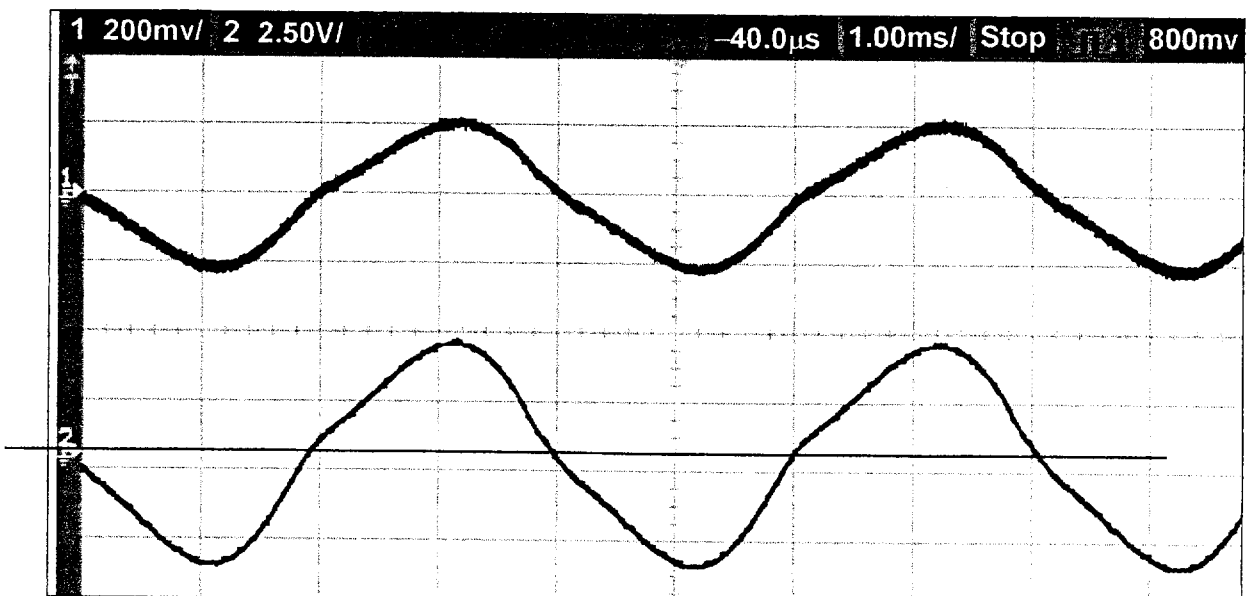
- 4.3.1) Donner l'allure du fondamental de la tension produite par l'onduleur sur le **graphe n° 5** du **document réponse n° 3 page 13**.
- 4.3.2) Quel est le rang de l'harmonique représenté par la deuxième raie sur le spectre ?



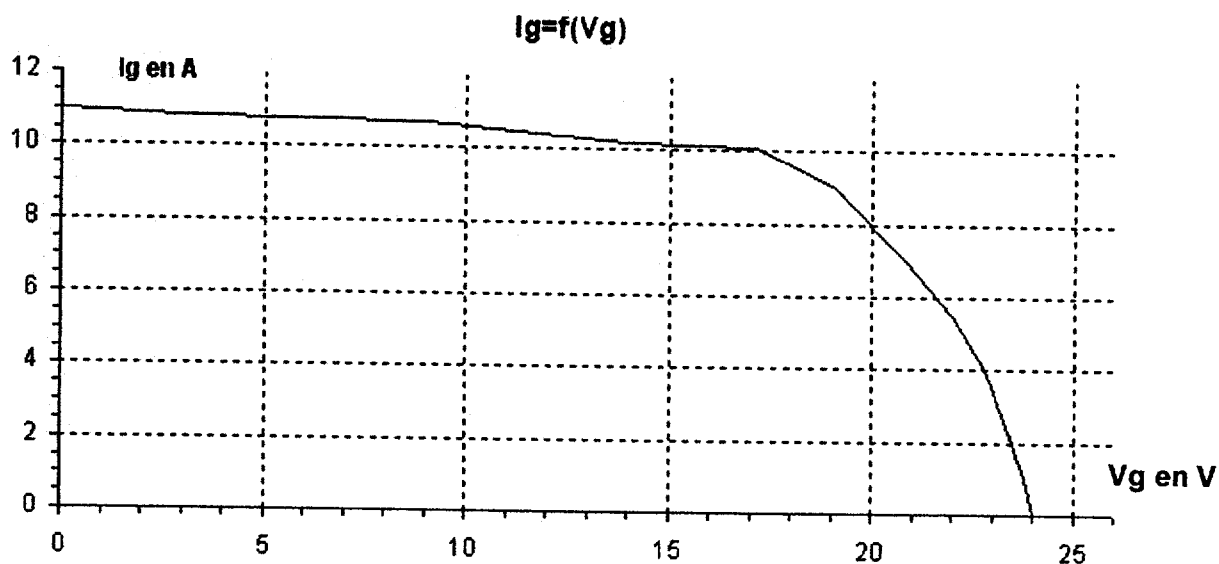
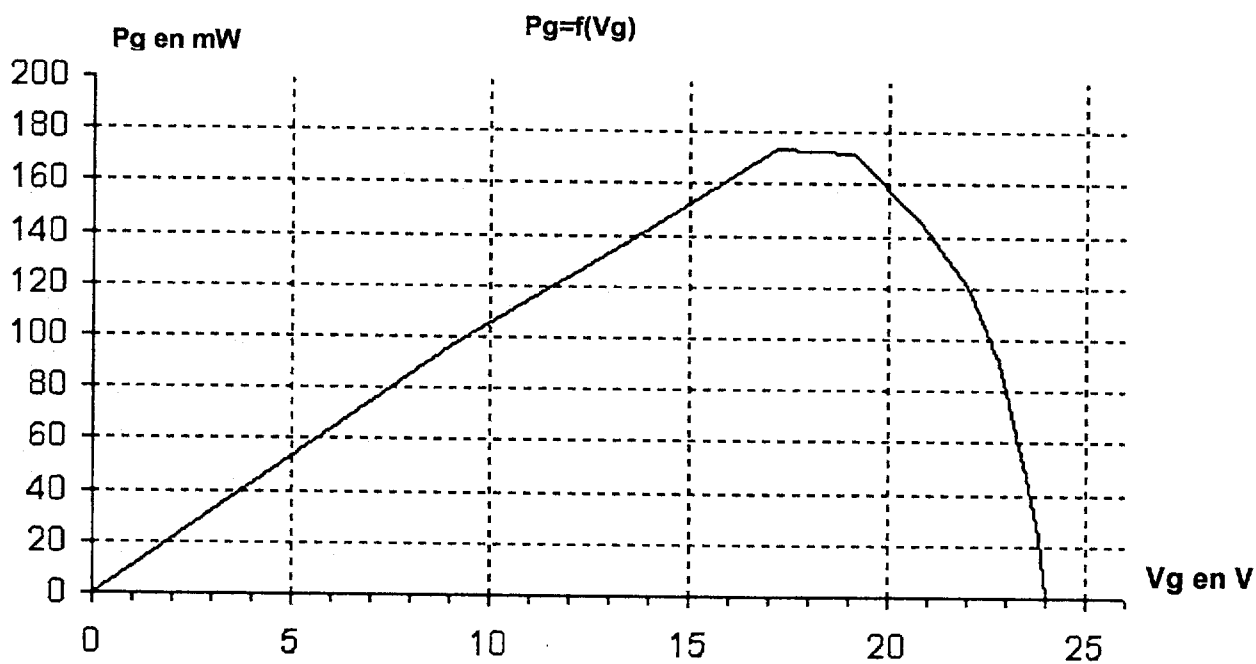
Chronogramme n° 1



Chronogramme n° 2



Chronogramme n° 3

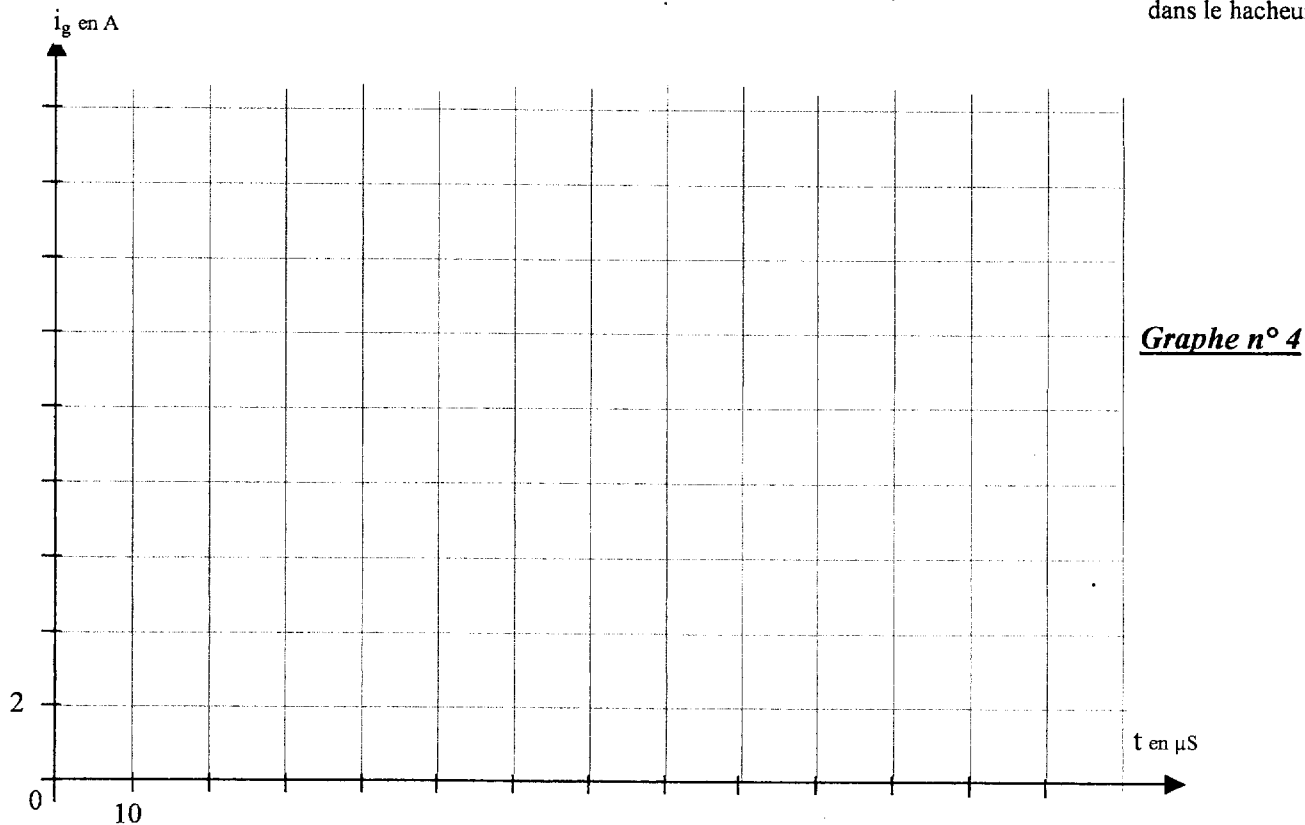
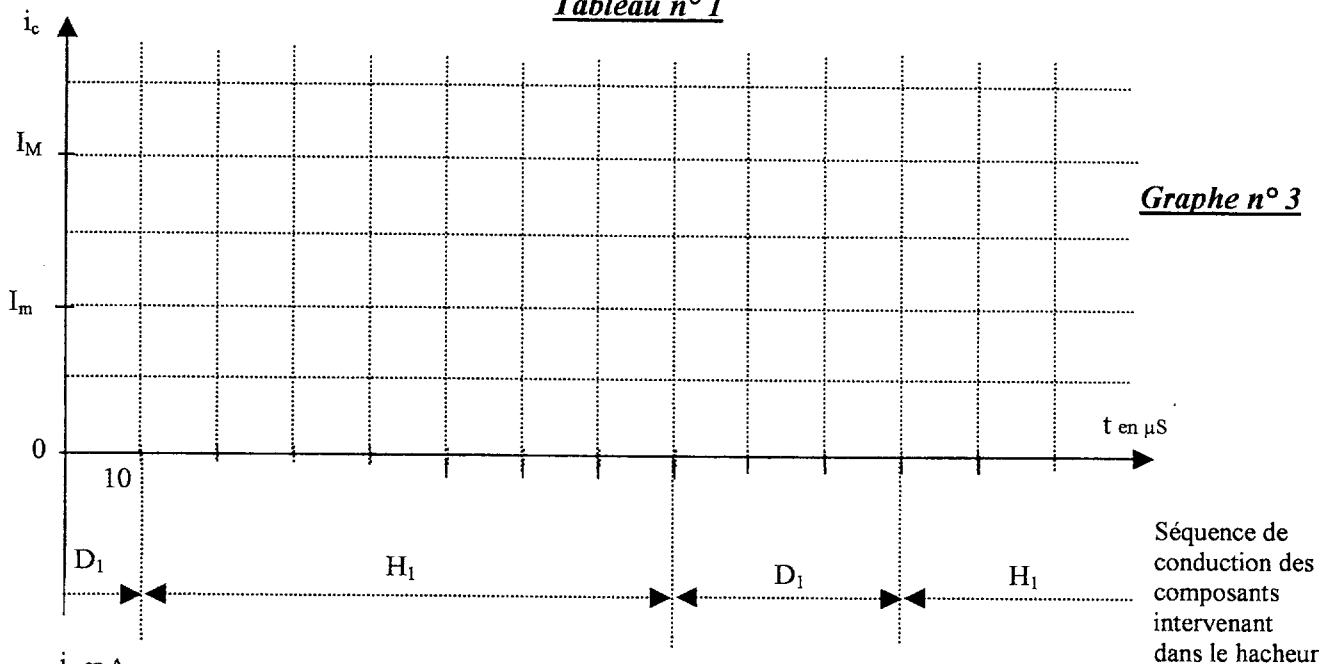
Document réponse n° 1Graphe n° 1Graphe n° 2



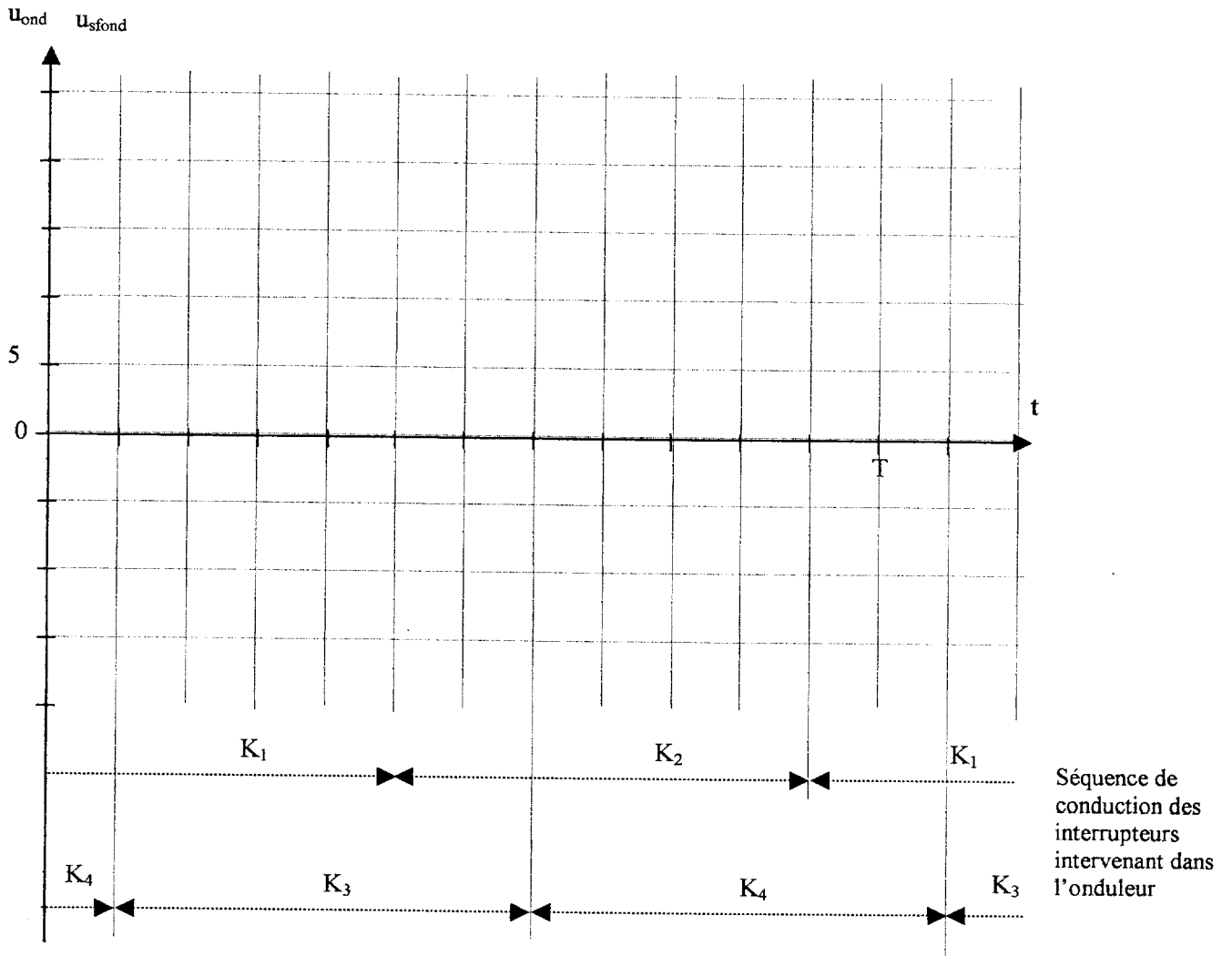
## Document réponse n° 2

	sens de variation de la courbe	sens de variation $\frac{dP_g}{dV_g}$	action sur le courant $i_g$	action sur le rapport cyclique $\alpha$
A				
B				
C				

Tableau n° 1



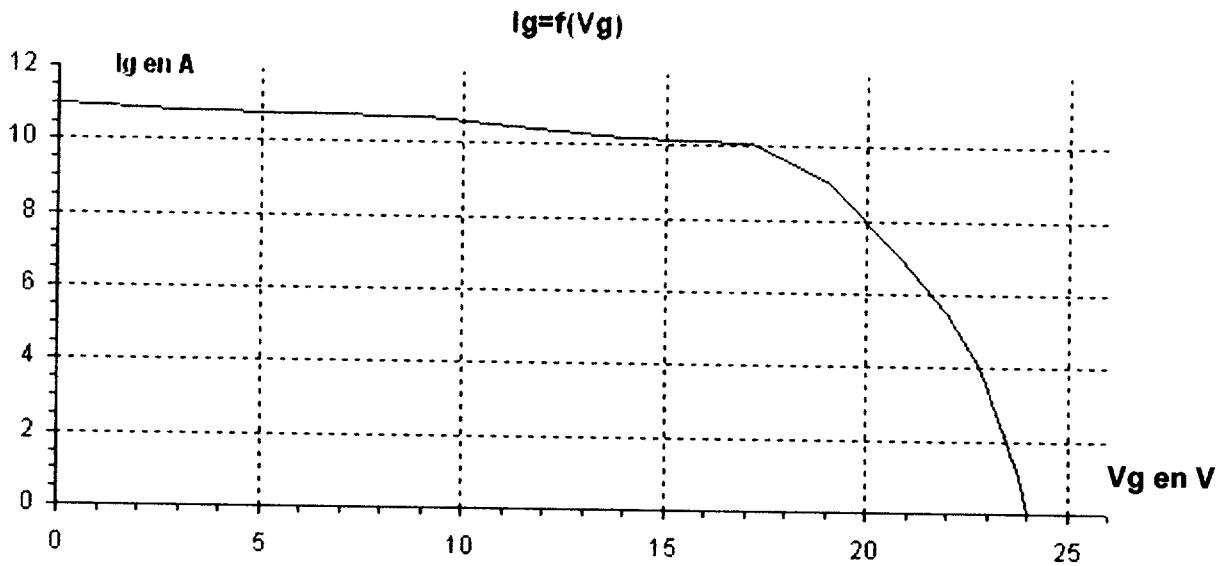
Document réponse n° 3



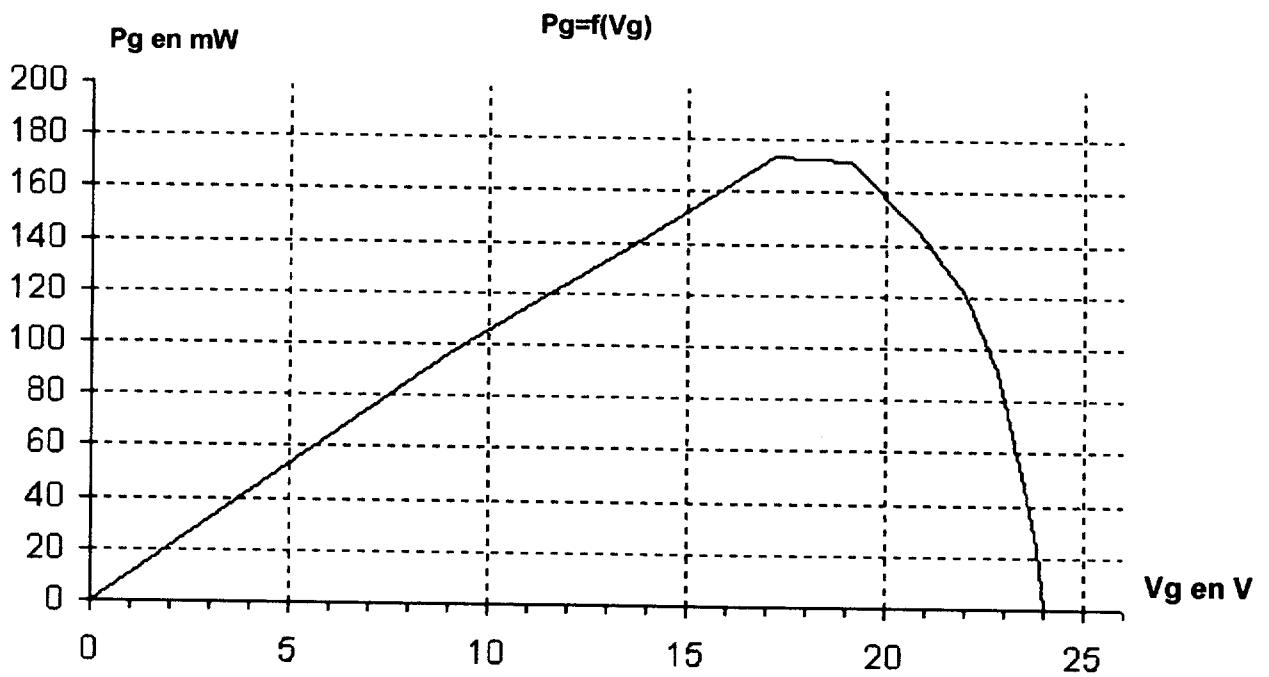
Graphe n° 5

À RENDRE AVEC LA COPIE

**Document réponse n° 1**



**Graphe n° 1**



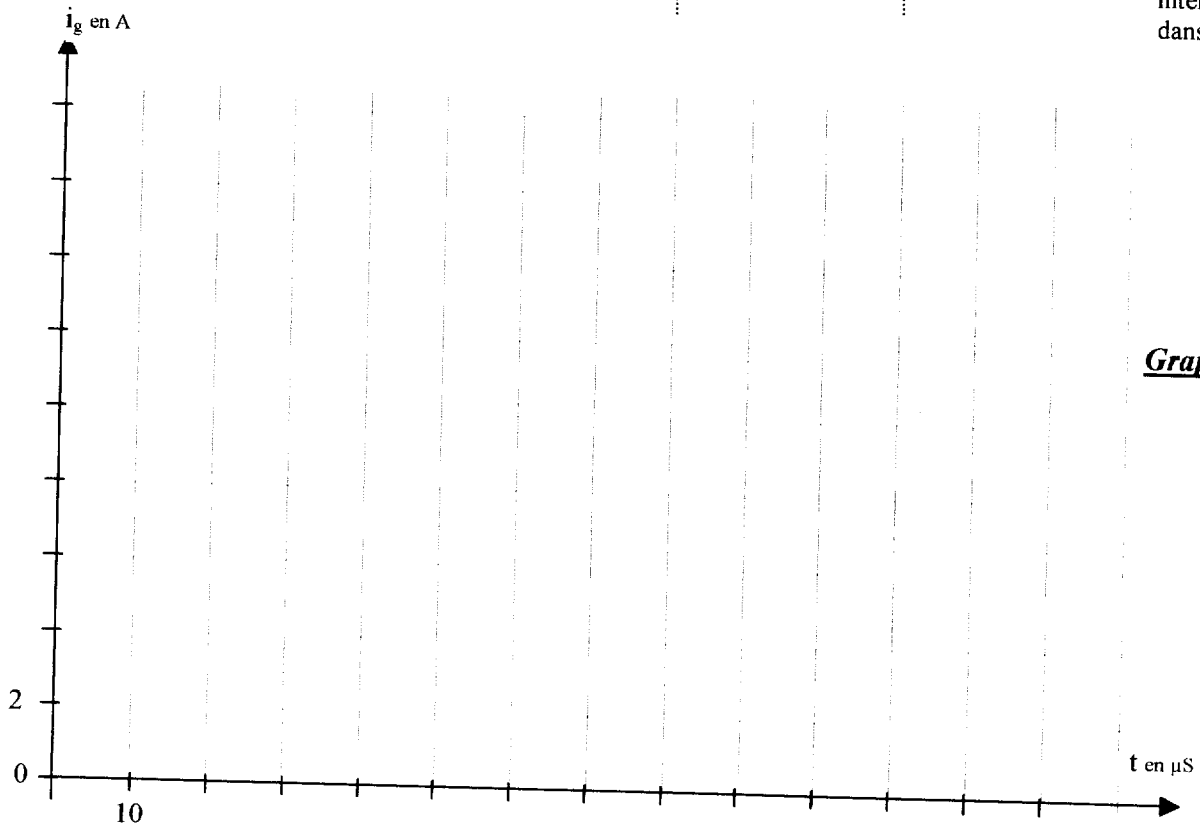
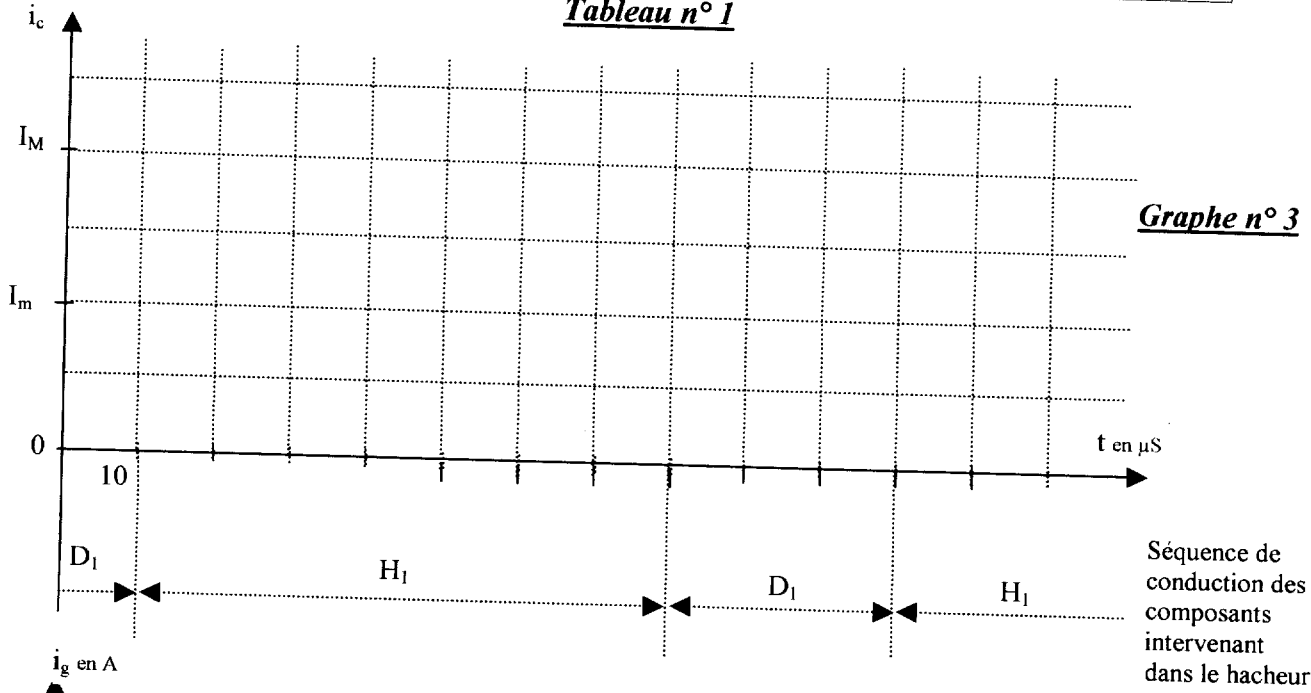
**Graphe n° 2**

À RENDRE AVEC LA COPIE

## Document réponse n° 2

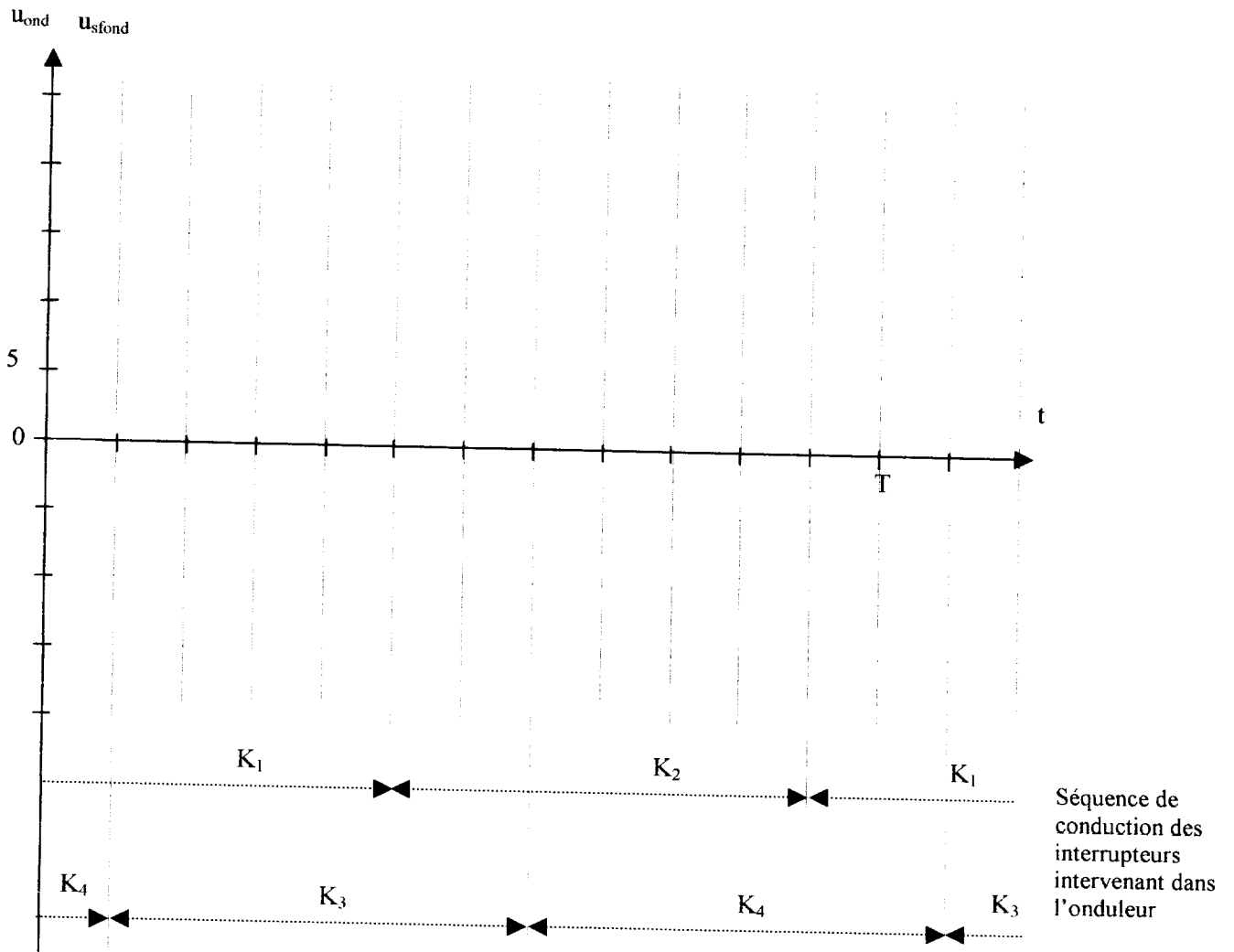
	sens de variation de la courbe	sens de variation $\frac{dP_g}{dV_g}$	action sur le courant $i_g$	action sur le rapport cyclique $\alpha$
A				
B				
C				

Tableau n° 1



À RENDRE AVEC LA COPIE

**Document réponse n° 3**



**Graphe n° 5**