

# BTS INDUSTRIES CÉRÉALIÈRES

## SCIENCES PHYSIQUES – U. 32

SESSION 2007

---

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

---

**Matériel autorisé :**

- Calculatrice conformément à la circulaire N°99-186 du 16/11/1999

**Document à rendre avec la copie :**

- Document – réponse n°1.....page 6/8

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Le sujet comporte 8 pages, numérotées de 1/8 à 8/8.

BTS INDUSTRIES CÉRÉALIÈRES		Session 2007
Sciences physiques – U. 32	ICPHY	Page : 1/8

## Introduction

L'ensemble des connaissances acquises au cours des deux années de formation de BTS Industries Céréalières peut être mis à profit dans l'analyse d'un problème industriel complexe et dans la proposition de solutions adaptées.

Ce sujet s'appuie sur un article paru dans la revue Industries des Céréales n°149 (Août/Sept./Oct. 2006, p36) portant sur le recyclage de fragments de barres céréalières brisées lors de leur moulage. L'article original est fourni en **annexe 1, page 7/8**, (reproduit avec l'aimable autorisation de J. POTUS et F. LAPLUME, rédacteurs de la revue).

Le sujet abordera le fonctionnement d'un four à micro-ondes, le transfert de chaleur du micro-ondes vers les fragments de barres et l'utilisation d'un moteur à courant continu pour entraîner à vitesse variable le tapis convoyeur.

## 1<sup>ère</sup> partie : Etude du four à micro-ondes

Un four à micro-ondes est constitué :

- d'un transformateur ;
- d'un montage redresseur monoalternance constitué d'une diode haute-tension HT ;
- d'un circuit émetteur de micro-ondes appelé magnétron formé d'une cathode chauffée et d'une anode.

On se propose d'étudier successivement ces différentes parties du four à micro-ondes (schéma présenté en **annexe 2 (page 8/8)**).

### I – Transformation

Le transformateur est alimenté par le réseau électrique EDF monophasé  $U = 230 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ . Il fournit une tension sinusoïdale  $U_2 = 2400 \text{ V}$  au secondaire.

1/ Donner la fréquence de la tension obtenue au secondaire.

2/ Indiquer le rapport de transformation  $m$  de ce transformateur. Connaissant le nombre de spires au primaire  $N_1 = 280$  spires, en déduire le nombre de spires au secondaire  $N_2$ .

3/ Un essai à vide et un essai en court-circuit ont fourni les valeurs suivantes :

$P_{1,\text{vide}} = 12 \text{ W}$  (sous tension nominale  $U_1 = 230 \text{ V}$ )

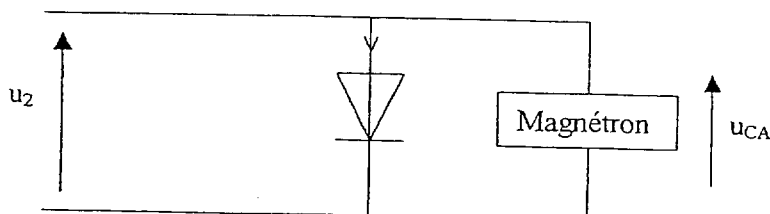
$P_{1,\text{cc}} = 18 \text{ W}$  (sous tension réduite de façon à avoir  $I_{2,N}$ )

Indiquer les deux types de pertes observées pour un transformateur. Indiquer la valeur des pertes de chaque type.

4/ Le chauffage de la cathode est réalisé en l'alimentant par une tension sinusoïdale de  $3,3 \text{ V}$ , obtenue à partir du circuit primaire du transformateur précédent ( $N_1 = 280$  spires) et d'un circuit secondaire ( $N_3$  spires). L'intensité qui traverse la cathode est alors de  $I_3 = 10 \text{ A}$ . Calculer le nombre de spires  $N_3$ , au secondaire de ce transformateur, et la résistance  $R_3$  de la cathode. Calculer la puissance dissipée par la cathode  $P_3$ .

## II – Redressement

Le montage redresseur utilisé est constitué d'une diode en parallèle avec le magnétron. Le schéma simplifié du montage est le suivant :



- 1/ Quelle est la condition sur la tension  $u_2$  pour que la diode soit passante ? En supposant la diode parfaite, quelle est dans ce cas la tension à ses bornes ? Quelle est alors la valeur de la tension aux bornes du magnétron  $u_{CA}$  ?
- 2/ Indiquer sur le document réponse n°1 les valeurs de la tension maximale délivrée par le secondaire du transformateur  $u_{2,max}$  et de la période de la tension  $T$ .
- 3/ Indiquer l'état de conduction passant P ou bloqué B de la diode sur le document réponse n°1.
- 4/ Quel est le comportement électrique d'une diode bloquée ? Quelle est alors la relation entre  $u_{CA}$  et  $u_2$  ? Représenter la tension aux bornes du magnétron  $u_{CA}$ , en fonction du temps, sur le document-réponse n°1 (page 6/8).

*Remarque : le schéma réel fait intervenir un condensateur entre le secondaire et l'ensemble (diode/magnétron) pour éviter de mettre le secondaire du transformateur en court-circuit lorsque la diode est passante.*

## III – Obtention d'ondes radiofréquence

Le magnétron, constitué d'une cathode centrale entourée d'une anode cylindrique massive creusée de cavités et dans lequel règne un vide poussé est un générateur de micro-ondes à la fréquence  $f = 2,45 \text{ GHz}$ . Les cavités peuvent se comprendre comme l'équivalent d'un circuit électrique résonnant LC.

- 1/ Représenter dans un diagramme d'impédances les impédances vectorielles  $\bar{Z}_L$  et  $\bar{Z}_C$ .
- 2/ Donner les valeurs de ces impédances en fonction de  $L$ ,  $C$  et  $\omega$  où  $\omega$  est la pulsation du courant. Calculer  $\omega$  dans le cas d'une fréquence  $f = 2,45 \cdot 10^6 \text{ Hz}$ .
- 3/ Le circuit est en résonance lorsque l'impédance totale s'annule. Donner alors la relation entre  $\omega_{res}$ ,  $L$  et  $C$ . Calculer la capacité équivalente de la cavité  $C$  si on estime que son inductance équivalente  $L$  vaut  $L = 0,1 \text{ mH}$  et que  $\omega_{res}$  a pour valeur la valeur de  $\omega$  calculée à la question III-2/.

4/ Sachant que le magnétron un rendement de 70 %, quelle est la puissance électrique consommée par l'ensemble (magnétron + cathode) lorsque le four fournit une puissance de chauffage  $P = 400 \text{ W}$  ?

Sachant que le transformateur a un rendement de 95 %, quelle est dans ce cas la puissance électrique consommée par le four ?

Calculer le rendement global du four à micro-ondes.

Calculer l'intensité appelée en supposant que le facteur de puissance est égal à 0,85.

## 2<sup>ème</sup> partie : Chimie

### I – Transfert de chaleur

Les micro-ondes fournies par le magnétron sont extraites à l'aide d'une boucle de couplage et amenées à l'intérieur du tube PTFE par lequel transitent les fragments de barres de céréales. Les barres absorbent alors ces micro-ondes et l'énergie absorbée est transformée en chaleur.

1/ Lors du réchauffage des barres de  $25 \text{ °C}$  à  $50 \text{ °C}$ , on observe les deux étapes suivantes :

- réchauffement de  $T_{\text{amb}} = 25 \text{ °C}$  à  $T_f = 50 \text{ °C}$  sans changement d'état
- changement d'état (fusion) des lipides contenus dans la barre à  $T_f = 50 \text{ °C}$  et obtention d'un mélange pâteux.

En notant  $D_{\text{barre}}$  la masse de barres traitées en une heure et  $x_{\text{lipide}}$  la fraction de lipides dans la barre, exprimer la masse  $D_{\text{lipides}}$  de lipides subissant un changement d'état en une heure. Donner sa valeur pour une masse traitée égale à  $D_{\text{barre}} = 30 \text{ kg.h}^{-1}$ .

2/ Donner l'expression des quantités de chaleur  $Q_1$  et  $Q_2$  absorbées en une heure lors des deux étapes décrites précédemment et les calculer. En déduire la puissance thermique à apporter pour réaliser ces transformations. Ceci est-il cohérent avec la valeur indiquée dans l'article pour la puissance micro-ondes :  $P = 400 \text{ W}$  ?

Données :

Capacité calorifique massique moyenne des barres de céréales :

$$c_{\text{barre}} = 1,6 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$$

Chaleur latente de fusion moyenne des lipides contenus dans les barres de céréales :

$$L_{\text{fusion}} = 200 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

Composition de la barre (en pourcentage) :

Protéines	Glucides	Lipides	Fibres	Eau, sel, ...
5,8 %	69 %	7,2 %	2 %	6 %

## II – Stéréochimie

Le cholestérol, dont la formule est donnée en **annexe 3 (page 8/8)**, est un composé soluble dans les graisses de l'organisme et abondant dans notre alimentation.

1/ Indiquer le numéro des atomes de carbone asymétriques. Quel est leur nombre total  $n$  ? Donner la relation entre le nombre  $N$  de stéréoisomères du cholestérol et son nombre  $n$  de carbones asymétriques et calculer  $N$ .

2/ Donner en la justifiant à l'aide des règles de priorité (Cahn-Ingold-Prelog) la configuration de la double liaison entre les atomes de carbone 5 et 6.

## 3<sup>ème</sup> partie : Moteur à courant continu

On peut utiliser un moteur à courant continu pour entraîner le convoyeur à tapis à vitesse variable, le réglage de la vitesse étant très simple avec ce type de moteurs.

1/ Donner le schéma électrique équivalent d'un moteur à courant continu à excitation indépendante. En déduire la relation entre la tension d'alimentation de l'induit  $U$ , la force électromotrice (fém)  $E$ , la résistance de l'induit  $R$  et l'intensité le traversant  $I$ .

2/ L'induit de ce moteur est alimenté sous tension variable  $U$ .

Les valeurs nominales indiquées par le constructeur sont :  $U = 120 \text{ V}$ ,  $I = 1 \text{ A}$ ,  $n' = 1000 \text{ tr.min}^{-1}$  et  $R = 5 \Omega$ .

Calculer pour le fonctionnement nominal la valeur de la fém  $E$ , la puissance électromagnétique  $P_{em}$  et le couple électromagnétique  $T_{em}$ .

3/ Calculer les pertes par effet joule dans l'induit  $P_J$ .

4/ Sachant que le circuit inducteur absorbe une puissance de  $20 \text{ W}$  et que les pertes collectives valent  $6 \text{ W}$ , calculer la puissance utile  $P_u$ , la puissance absorbée  $P_{abs}$  et le rendement  $\eta$  du moteur.

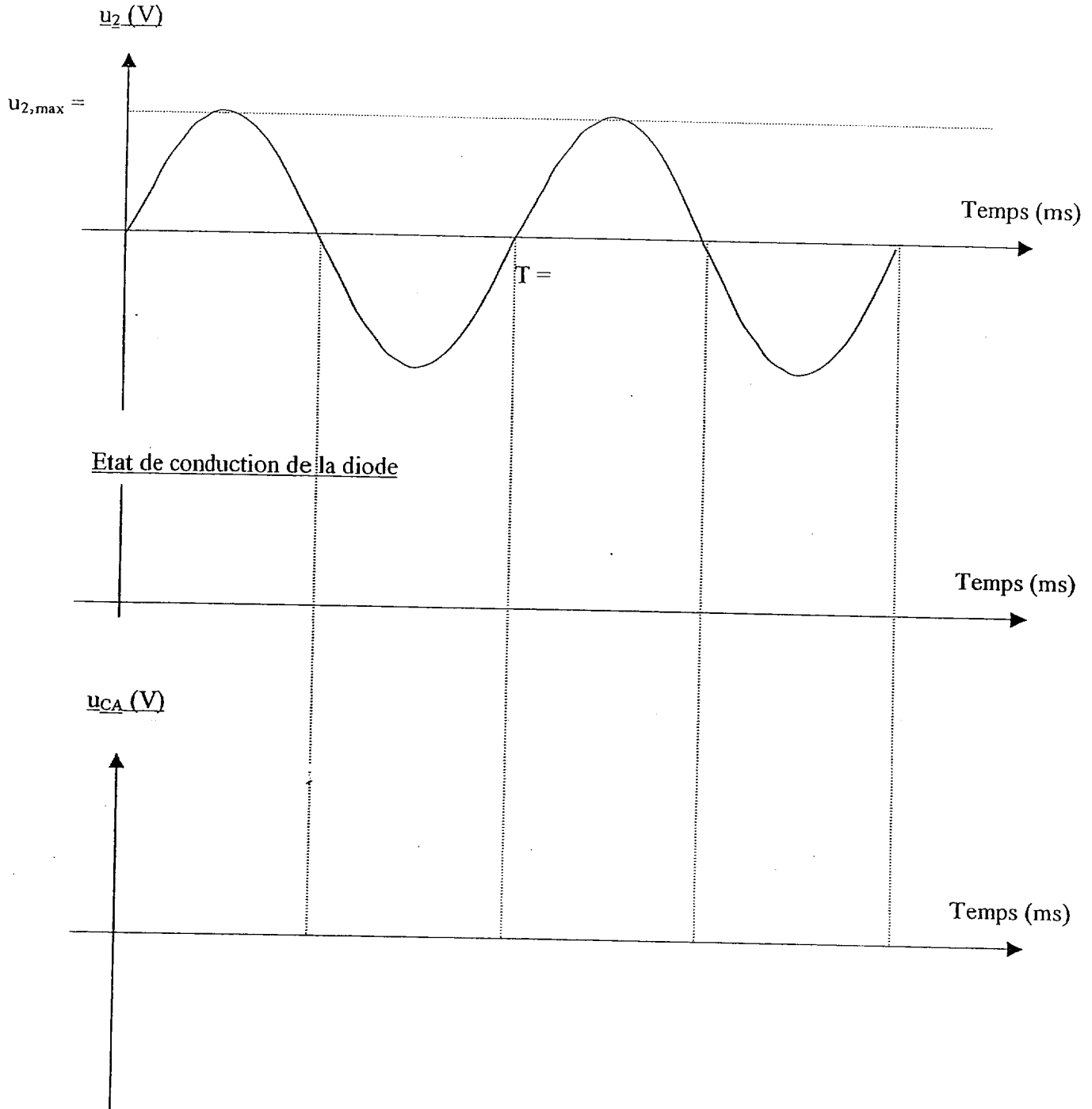
5/ Dans cette partie, on négligera les pertes collectives. Le couple électromagnétique sera alors identique au couple utile.

Pour retraiter une quantité ponctuellement importante de fragments de barres, on veut augmenter la vitesse à  $n'_2 = 1500 \text{ tr.min}^{-1}$ . Calculer la nouvelle valeur de la fém  $E_2$ . Le couple résistant n'ayant pas changé, indiquer la valeur de l'intensité  $I_2$  qui traverse l'induit. En déduire la nouvelle valeur de tension d'alimentation  $U_2$  à appliquer à l'induit du moteur.

6/ L'intensité maximale traversant l'induit ne doit pas dépasser 1,5 fois l'intensité nominale. Quelle tension doit-on appliquer à l'induit au démarrage pour respecter cette consigne ?

**DOCUMENT – RÉPONSE N°1**

**À RENDRE AVEC LA COPIE**



NE RIEN ÉCRIRE

## Le micro-ondes pour réduire les pertes de matière\*

CETIAT\*\*

La société LU fabrique des barres céréalières. Ces produits sont obtenus par moulage d'une pâte élaborée préalablement à chaud et maintenue en température jusqu'à son injection dans les moules. Cette opération nécessite une très bonne maîtrise de la température de la pâte : trop basse, le transport et le moulage deviennent impossibles ; trop haute, ce sont les composants de la pâte qui subissent des évolutions irréversibles dénaturant les qualités organoleptiques du produit.

Malgré ce contrôle, 5 à 10 % des barres fabriquées sont fragmentées ou présentent des défauts d'aspect à l'issue de l'opération de moulage et démoulage. Ces fragments, qui ont été refroidis lors du passage dans les moules, sont de masse et forme très différentes, thermosensibles au même titre que leurs constituants les plus fragiles et très peu conducteurs de la chaleur. L'ensemble de ces caractéristiques rend le recyclage de ces rebuts très difficile. Il impose de réchauffer les fragments, afin qu'ils retrouvent un état pâteux, pour être facilement réincorporés à la formule de base.

Pour étudier ce recyclage, la société LU a consulté le CETIAT qui, compte tenu de la difficulté de ce réchauffage, a proposé d'étudier la faisabilité d'utilisation d'une technologie micro-ondes. L'installation expérimentale (Figure 1), spécialement conçue

pour traiter ce type de produits, comportait :

- une cavité accueillant un tube PTFE (matière transparente aux ondes et compatible avec un contact alimentaire) dans lequel transitent les fragments de barres ;
- un convoyeur à tapis en fibre de verre téflonné à vitesse variable permettant de régler le débit de la matière en sortie du processus ;
- des guides d'ondes reliant la cavité aux générateurs micro-ondes.
- deux sources micro-ondes émettant à une fréquence de 2450 MHz et de puissance unitaire variable jusqu'à 1200 W.

L'étude réalisée sur cet équipement a permis de démontrer la faisabilité du traitement, puis de déterminer les paramètres optimaux de fonctionnement de l'installation :

- mode d'application de l'énergie lié à la géométrie de l'ensemble cavité et guides ondes ;

- niveau de puissance à utiliser. Une puissance micro-ondes de 400 W a ainsi permis de traiter 30 kg/h de fragments de barres, en obtenant une température moyenne de 50 °C conduisant à une pâte homogène et facile à réincorporer dans le circuit principal de production.

À partir de cette étude, le cahier des charges d'un équipement industriel a été établi en prenant en compte les conditions thermiques définies par le CETIAT et les contraintes d'hygiène et de production de cette branche industrielle. LU a acquis un équipement réalisé par la société SAIREM (Figure 2). Cet équipement a été implanté sur une ligne de production d'une capacité de 500 kg/h. Il permet de recycler 40 kg/h de fragments de barres sans perturber le fonctionnement de la ligne, ni altérer la qualité des barres céréalières produites.



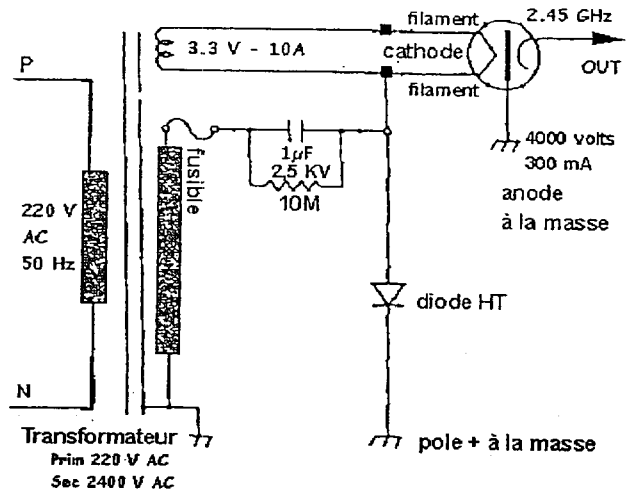
Figure 1 : Installation de laboratoire  
(Photo : source CETIAT).



Figure 2 : Installation industrielle  
(Photo : source SAIREM).

\* Article paru en mars 2006 dans la lettre d'information du CETIAT, *À l'affiche*, 30, 3.  
\*\* Centre technique des industries aéronautiques et thermiques - Site : [www.cetiat.fr](http://www.cetiat.fr)

**ANNEXE n°2 : Schéma d'un  
four à micro-ondes**



**ANNEXE n°3 : Formule du  
cholestérol**

