



**LE RÉSEAU DE CRÉATION  
ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES**

**Ce document a été mis en ligne par le Réseau Canopé  
pour la Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

**Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.**

# BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR CHIMISTE

SESSION 2017

## SCIENCES PHYSIQUES

Durée : 2 heures  
Coefficient : 3

### Matériel autorisé :

Sont autorisées toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire n° 99-186 du 16/11/99).

Tout autre matériel est interdit.

Aucun document autorisé.

### Documents à rendre avec la copie :

- Annexe page 8
- Annexe page 9

**Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet**  
**Le sujet comporte 9 pages, numérotées de 1/9 à 9/9.**

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code sujet : 17-CHPHY-P	Session 2017
SCIENCES PHYSIQUES		Page 1 sur 9

## PROBLEME 1 – ETUDE D'UN CHAUFFE-EAU THERMODYNAMIQUE

### Document 1 : Norme RT 2012

La facture annuelle de chauffage représente 900 € en moyenne par ménage, avec de grandes disparités (de 250 € pour une maison « basse consommation » à plus de 1 800 € pour une maison mal isolée). Cette facture peut donc peser lourdement sur le pouvoir d'achat des ménages, particulièrement sur les plus modestes. De plus, ces dépenses tendent à augmenter avec la hausse du prix des énergies.



Pour réduire durablement les dépenses énergétiques, le Grenelle Environnement a défini un programme de réduction des consommations énergétiques des bâtiments. Une nouvelle réglementation thermique dite RT 2012 a été mise en place. Elle s'applique aux constructions neuves, aux extensions et aux surélévations de bâtiments existants.

Dans le futur, l'objectif sera de construire des bâtiments produisant plus d'énergie qu'ils n'en consomment.

*D'après <http://www.developpement-durable.gouv.fr>*

### Document 2 : Les CETI

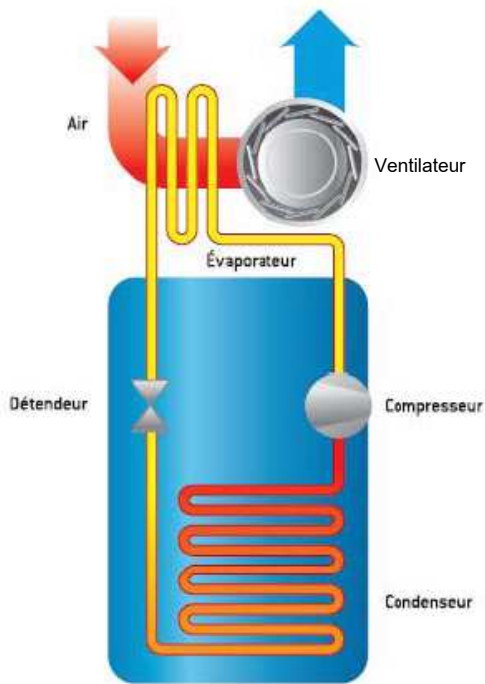
Dans le contexte actuel de la construction neuve et notamment de l'application de la RT 2012 sur les maisons individuelles, les besoins de chauffage vont être réduits de manière importante alors que les besoins d'eau chaude sanitaire (ECS) resteront, eux, quasiment constants. L'usage ECS (également réglementé) est par conséquent en passe de devenir, à court terme, le premier poste de consommation des logements neufs. Des solutions de production d'ECS de plus en plus performantes sont donc appelées à se développer sur le marché, et le chauffe-eau thermodynamique individuel (CETI) en fait partie.

Un chauffe-eau thermodynamique (CET) est une pompe à chaleur de petite puissance dédiée exclusivement à la production d'eau chaude sanitaire. Il se compose d'un volume de stockage (généralement 150 à 300 L d'eau) et d'une pompe à chaleur fonctionnant à l'électricité.

*D'après <http://www.ademe.fr>*

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code sujet : 17-CHPHY-P	Session 2017
SCIENCES PHYSIQUES		Page 2 sur 9

### Document 3 : Principe de fonctionnement du chauffe-eau thermodynamique (CET)



Le fonctionnement du CET se fait en 5 étapes :

**Étape 1** : l'air est aspiré grâce au ventilateur.

**Étape 2** : l'air aspiré réchauffe le fluide frigorigène. Le fluide frigorigène passe de l'état liquide à l'état gazeux dans l'évaporateur.

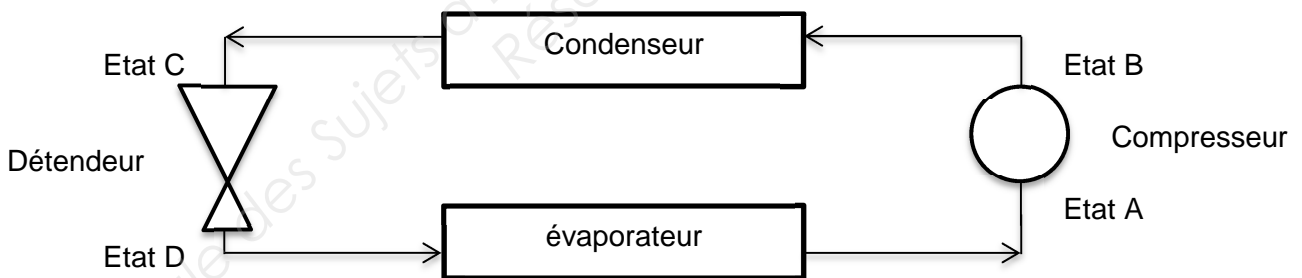
**Étape 3** : le fluide frigorigène est comprimé grâce au compresseur afin d'augmenter sa température et sa pression.

**Étape 4** : le fluide frigorigène, sous forme de vapeur haute pression, passe de l'état vapeur à l'état liquide dans le condenseur. En se condensant, il cède de la chaleur à l'eau du ballon via l'échangeur.

**Étape 5** : le fluide frigorigène est alors détendu et le cycle recommence.

[http://conseils.xpair.com/consulter\\_parole\\_expert/chauffe-eau-thermodynamique-guide.htm](http://conseils.xpair.com/consulter_parole_expert/chauffe-eau-thermodynamique-guide.htm)

### Document 4 : Schéma simplifié du chauffe-eau thermodynamique



On évalue les performances d'un système de chauffage grâce à son efficacité  $e$ . L'efficacité d'un chauffe-eau à effet Joule vaut 1,8.

Dans ce problème on se propose d'évaluer l'efficacité d'un chauffe-eau thermodynamique (CET) et de la comparer à celle d'un chauffe-eau à effet Joule.

## 1. Etude préliminaire

La pompe à chaleur du CET fonctionne avec le fluide frigorigène R134a qui est la symbolisation du 1,1,1,2-tétrafluoroéthane  $C_2H_2F_4$ . On considèrera qu'il se comporte comme un gaz parfait.

### Données :

- constante des gaz parfaits :  $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$
- débit massique du fluide :  $Q_m = 0,87 \text{ kg.min}^{-1}$

1.1. A l'aide des informations fournies, expliquer les enjeux de l'essor des chauffe-eau thermodynamiques (CET).

1.2. Rappeler la définition de l'efficacité  $e$  d'une machine thermique. Quelles sont les grandeurs physiques dont on a besoin pour la déterminer dans le cas du CET ?

1.3. Etude du diagramme de Mollier du R 134a

Le fluide décrit le cycle suivant :

- A l'état A le fluide est sous forme de vapeur sèche à la pression  $p_A = 3,0 \text{ bar}$  et à la température  $\theta_A = 10,0^\circ\text{C}$ .
- Il entre ensuite dans le compresseur où il y subit une compression isentropique qui l'amène à l'état B sous forme de vapeur sèche à la pression  $p_B = 10,0 \text{ bar}$ .
- Il entre ensuite dans le condenseur, où il subit un refroidissement puis une condensation isobare. A la sortie du condenseur, il est dans l'état C sous forme de liquide de saturation. C'est lors de cette étape qu'il cède de l'énergie sous forme de chaleur à l'eau sanitaire.
- Il pénètre dans le détendeur où il subit une détente isenthalpique. Il en ressort en équilibre liquide-vapeur à l'état D.
- Pour terminer, le liquide restant s'évapore grâce à l'énergie reçue sous forme de chaleur par l'air aspiré. Il revient enfin dans l'état A.

Toutes les transformations sont considérées comme réversibles.

1.3.1. A quelles étapes du cycle a-t-on échange d'énergie sous forme de chaleur et de travail ?

1.3.2. Sur le document en **ANNEXE 1 page 8 à rendre avec la copie**, tracer le cycle du fluide frigorigène.

1.3.3. Le cycle est-il moteur ou récepteur ? Justifier le raisonnement suivi.

## 2. Détermination du travail reçu

On rappelle que la puissance du compresseur  $P_{comp}$  est égale au produit du travail massique de l'appareil  $w_m$  par le débit massique  $Q_m$  du fluide.

2.1. On rappelle que le premier principe de la thermodynamique pour un fluide en écoulement permanent s'écrit  $\Delta h = h_{sortie} - h_{entrée} = w + q$  ( $h$ ,  $w$  et  $q$  étant des grandeurs massiques).

Appliquer le 1<sup>er</sup> principe à la transformation entre l'état A et l'état B.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code sujet : 17-CHPHY-P	Session 2017
SCIENCES PHYSIQUES		Page 4 sur 9

- 2.2. A l'aide du diagramme de Mollier et de la question précédente, montrer que le travail massique échangé vaut  $w_{AB} = 26 \text{ kJ.kg}^{-1}$ .
- 2.3. On rappelle que la puissance du compresseur est égale au produit du travail massique de l'appareil par le débit massique  $Q_m$  du fluide.  
Calculer la valeur de la puissance du compresseur.
- 2.4. On considère que le rendement du compresseur est  $\eta_{comp} = 0,80$ , en déduire la puissance électrique  $P_e$  nécessaire pour entraîner mécaniquement le compresseur.

### 3. Détermination de la quantité de chaleur produite

- 3.1. En suivant un raisonnement analogue à la question 2, déterminer la chaleur massique  $q_{BC}$  échangée lors de la transformation entre l'état B et l'état C du cycle.
- 3.2. Discuter le signe de cette grandeur.

### 4. Comparaison de l'efficacité d'un CET et d'un chauffe-eau à effet Joule

- 4.1. Vérifier, en justifiant votre raisonnement, que l'efficacité du CET vaut  $e_{calc} = 6,5$ .
- 4.2. Les fiches techniques des CET indiquent une efficacité de  $e_{tech} = 3,5$  environ, comment justifier la différence avec l'efficacité calculée ?
- 4.3. Justifier l'intérêt croissant des CET au détriment des chauffe-eau à effet Joule.

## PROBLEME 2 – ACCIDENT DE TCHERNOBYL, 30 ANS PLUS TARD

Lorsque le 26 avril 1986, le réacteur n°4 de la centrale de Tchernobyl en Ukraine explose, l'humanité connaît alors la plus grave catastrophe nucléaire civile jamais enregistrée dans le monde.

Une explosion et un incendie se produisent. Dans le cœur, les crayons de combustible se fragmentent. Surchauffés, ils explosent et provoquent une déflagration qui soulève la dalle supérieure du réacteur, d'une masse de 2000 tonnes. La partie supérieure du cœur du réacteur est à l'air libre. Une seconde explosion, due probablement à du dihydrogène, se produit alors : le graphite prend feu. Trente foyers s'allument. Il faudra trois heures aux pompiers pour les éteindre. En l'absence d'enceinte de confinement, les débris radioactifs du cœur du réacteur (iode 131, césium 134 et 137, ruthénium 103 et 106), dont certains sont très volatils, sont libérés dans l'environnement.

L'accident majeur de Tchernobyl vient d'avoir lieu : il est de niveau sept sur l'échelle INES (International Nuclear Event Scale) qui en compte... sept.

**Dans ce problème, on se propose d'analyser l'impact sur l'environnement 30 ans plus tard de deux « débris » radioactifs produits lors de la catastrophe de Tchernobyl.**

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code sujet : 17-CHPHY-P	Session 2017
SCIENCES PHYSIQUES		Page 5 sur 9

### Données

- unité de masse atomique :  $1 \text{ u} = 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- masse du proton :  $m_p = 1,00727 \text{ u}$
- masse du neutron :  $m_n = 1,00866 \text{ u}$
- $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$
- constante d'Avogadro :  $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- célérité de la lumière dans le vide :  $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- énergie libérée par 1 tonne de TNT:  $E_{TNT} = 4,6 \times 10^{12} \text{ J}$

Nucléide	Uranium 235	Uranium 238	Zirconium 95	Tellure 138	Iode 131	Xénon 130	Xénon 131	Xénon 132	Césium 137	Baryum 138
symbole	U	U	Zr	Te	I	Xe	Xe	Xe	Cs	Ba
Z	92	92	40		53	54	54	54	55	56
Masse en u	235,043	238,054	94,8860	137,901						
Masse molaire atomique (g.mol <sup>-1</sup> )					127				137	

### Document : Hiroshima

Le 6 août 1945 à 8h15 (heure locale), le bombardier B-29 piloté par Paul Tibbets décolle de la base de Tinian, avec à son bord une bombe atomique à l'uranium 235 surnommée Little boy.

A 8 h 16 min 2 s (heure locale), après 43 secondes de chute libre, la bombe explose à 587 mètres du sol.

L'explosion, équivalente à celle de 15 000 tonnes de TNT, rase instantanément la ville ; 75 000 personnes sont tuées sur le coup.



### 1. Au cœur du réacteur

Dans une centrale nucléaire à neutrons lents, le combustible est l'uranium enrichi ; il contient 3% d'uranium 235 fissile et 97% d'uranium 238 non fissile.

- 1.1. Donner la composition des noyaux  ${}_{92}^{235}\text{U}$  et  ${}_{92}^{238}\text{U}$ .
- 1.2. Quelle relation lie ces noyaux ? Justifier.

## 2. Impact de l'iode 131

Lors de l'impact d'un neutron sur un noyau d'uranium 235, plusieurs réactions de fission sont possibles. La plus fréquente conduit à des noyaux de zirconium 95 et de tellure 138 ainsi qu'à un nombre  $k$  de neutrons.

- 2.1. Ecrire l'équation de la réaction de fission. Déterminer la valeur de  $k$  et le numéro atomique du tellure. Justifier.
- 2.2. Expliquer pourquoi la réaction de fission peut « s'emballer ».
- 2.3. Calculer, en MeV, l'énergie  $E_1$  libérée par cette réaction nucléaire.
- 2.4. Calculer, en joules, l'énergie  $E_2$  libérée par la fission de 1,000 g d'uranium 235 puis par l'accident de Tchernobyl en considérant que la masse d'uranium 235 présente dans le réacteur était de 200 kg.
- 2.5. En s'appuyant sur les données et les informations fournies, comparer cette énergie à celle qui a été libérée lors de la catastrophe d'Hiroshima.

L'iode 131 est un des déchets radioactifs rejetés lors de l'accident nucléaire.

- 2.6. Ecrire l'équation de la désintégration  $\beta^-$  d'un noyau d'iode 131.
- 2.7. Au cours du temps, on a déterminé le nombre moyen  $N$  de noyaux d'iode 131. On note  $N_0$  le nombre moyen de noyaux présents à l'état initial. Ecrire la loi de décroissance radioactive en précisant la signification des différents termes.
- 2.8. A l'aide du graphe représenté en **ANNEXE 2 page 9 à rendre avec la copie** et de la loi de décroissance radioactive, montrer que la constante radioactive de l'iode 131 vaut  $\lambda = 1,0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ . Expliquer la démarche suivie.
- 2.9. Après avoir défini le temps de demi-vie  $t_{1/2}$  de l'iode 131, déterminer sa valeur.

Lors de l'accident de Tchernobyl, une grande quantité de noyaux radioactifs sont rejetés dans l'atmosphère ; parmi eux on trouve l'iode 131. Un nuage radioactif se forme. Il fera le tour de la Terre.

- 2.10. Lors de l'explosion, on estime que le nombre de noyaux émis est  $N = 4,1 \times 10^{26}$  noyaux. Calculer l'activité  $A$  lors de l'explosion.
- 2.11. Calculer l'activité  $A$  de l'iode dans l'atmosphère 30 ans plus tard.
- 2.12. Commenter cette valeur.
- 2.13. Les sols de Tchernobyl sont-ils, de nos jours, contaminés par l'iode 131. Justifier la réponse.

## 3. Impact du césium 137

Le césium 137 est également un émetteur  $\beta^-$  de demi-vie  $t_{1/2} = 30,1$  ans. La contamination des sols à la suite de l'explosion est principalement due à ce radionucléide. Selon le comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements atomiques (UNSCEAR), une surface d'aire  $S = 10\,000 \text{ km}^2$  de territoire de l'Ex-Union Soviétique a été contaminée en 1986 avec du césium 137 produisant une radioactivité surfacique de  $555 \text{ kBq.m}^{-2}$ . Ces territoires sont appelés zones de contrôle spécial.

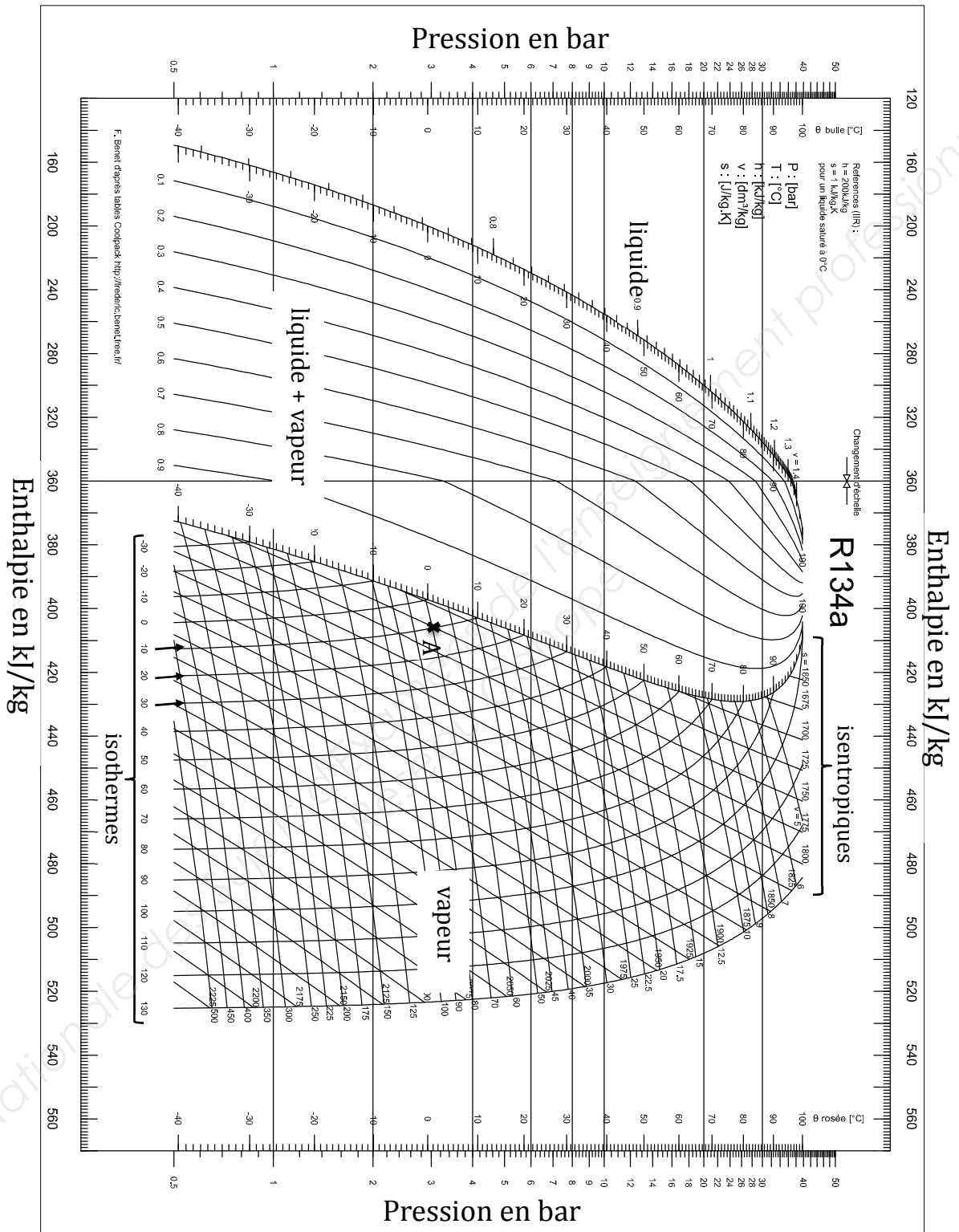
- 3.1. Calculer le nombre de noyaux de césium 137 correspondant à une activité de  $555 \text{ kBq}$ .
- 3.2. Si on suppose que la décroissance radioactive est la seule cause de décontamination et qu'il n'y a pas de nouvel apport de césium 137, déterminer la date à laquelle la radioactivité surfacique des territoires contaminés atteindra  $37 \text{ kBq.m}^{-2}$ , limite inférieure de contamination selon l'UNSCEAR ?

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code sujet : 17-CHPHY-P	Session 2017
SCIENCES PHYSIQUES		Page 7 sur 9



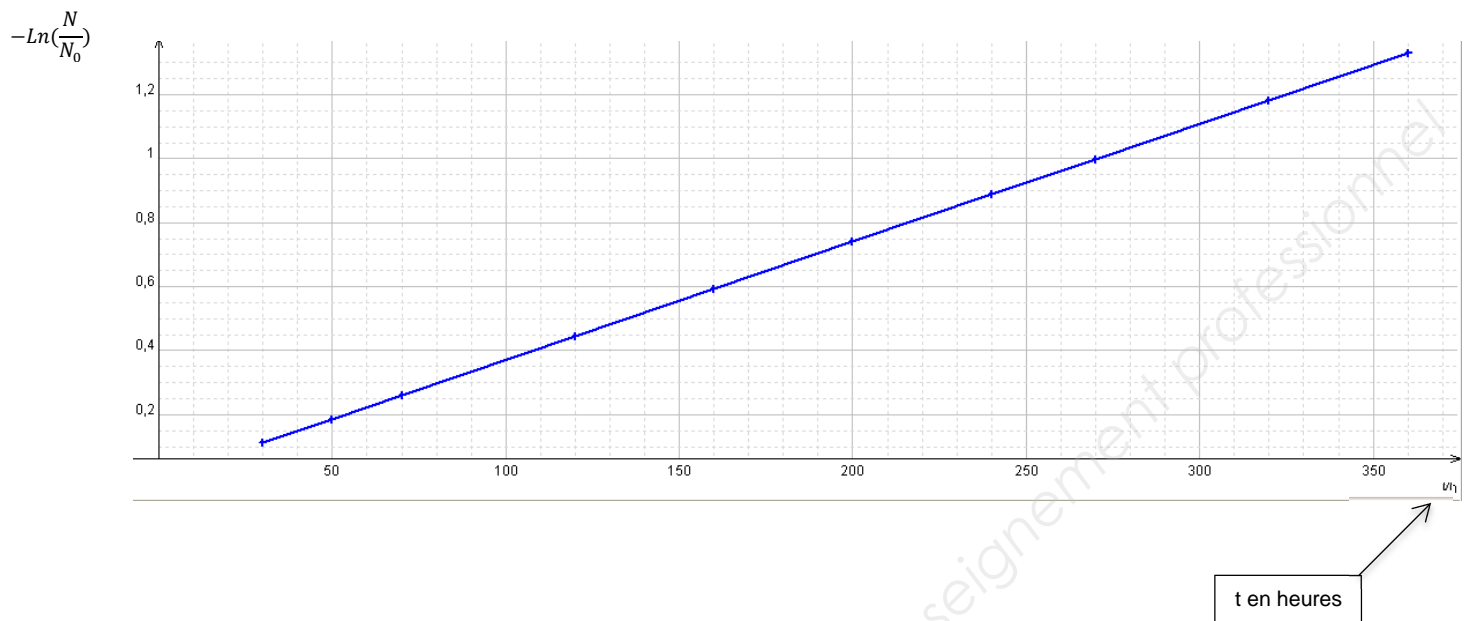
# ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE

## Problème 1



## ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE

### Problème 2



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel  
Réseau Canopé