



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

**Ce document a été numérisé par le Canopé de l'académie de Bordeaux
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 SUPÉRIEUR

Industries
Papetières

ÉPREUVE E3

Mathématiques - Sciences Physiques

UNITÉ U32

SCIENCES PHYSIQUES

À l'exclusion de tout autre matériel, l'usage de la calculatrice est autorisé conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

Documents à rendre avec la copie :

- Document réponse n°1 page 10/12.
- Document réponse n°2 page 11/12.
- Document réponse n°3 page 12/12.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet et comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

BTS IP Unité U32 : Sciences Physiques	Durée : 3 h	Session 2014
CODE SUJET : 14-ITSPHY-1	Coefficient : 3	Page 1 sur 12

AUTOUR DE L'INDUSTRIE PAPETIÈRE

INTRODUCTION :

Le sujet est composé de 3 parties indépendantes :

- Partie A : étude d'un compresseur à vis sans huile (6 points).
- Partie B : étude du moteur (7 points).
- Partie C : dosage d'une solution de permanganate de potassium (7 points).

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

BTS IP Unité U32 : Sciences Physiques	Durée : 3 h	Session 2014
CODE SUJET : 14-ITSPHY-1	Coefficient : 3	Page 2 sur 12

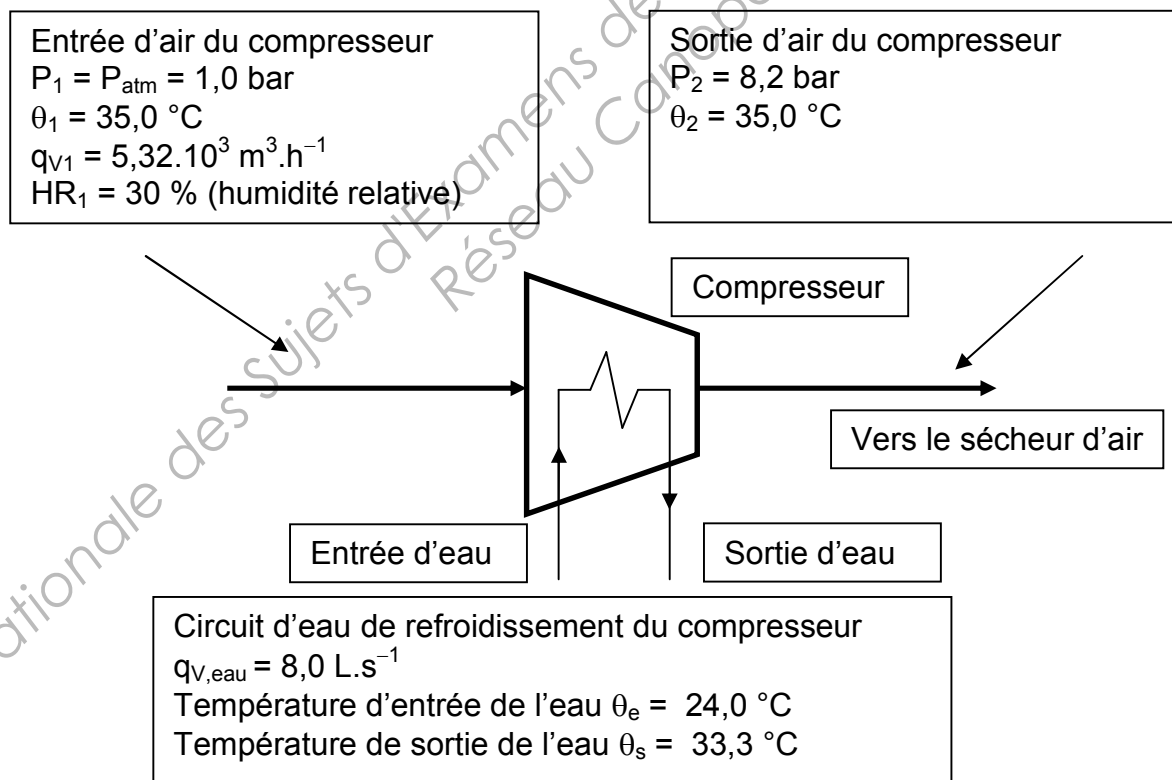
- Partie A : étude d'un compresseur à vis sans huile (6 points).

Introduction : l'industrie papetière a souvent recours aux compresseurs à vis sans huile pour le fonctionnement d'équipements. Ils permettent alors de produire un air comprimé totalement exempt d'huile qui peut ainsi être mis en contact avec le papier sans risquer de le souiller. L'équipement qui sera étudié utilise cette technologie. Il est associé à un dispositif sécheur d'air qui ne fait pas l'objet de cette étude.

L'air comprimé est utilisé, soit pour le nettoyage à sec des machines ou des rouleaux, soit dans les contrôles qualité, pour tester l'étanchéité du papier par exemple.

Le compresseur est refroidi par circulation forcée d'eau. On admettra alors que le fonctionnement du compresseur est **isotherme**. Par ailleurs, dans une première approche, on considérera que le fonctionnement du compresseur est réversible.

Les principales caractéristiques du compresseur et de son échangeur figurent sur le schéma ci-dessous :



BTS IP Unité U32 : Sciences Physiques	Durée : 3 h	Session 2014
CODE SUJET : 14-ITSPHY-1	Coefficient : 3	Page 3 sur 12

Autres données :

- **L'air sera assimilé à un gaz parfait.**
- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{\text{eau}} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.
- Énergie échangée par un gaz parfait sous forme de travail au cours d'une transformation **isotherme réversible** : $W = n \times R \times T \times \ln\left(\frac{P_f}{P_i}\right)$; P_i : pression initiale ; P_f : pression finale.
- Constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Masse volumique de l'eau $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- Première loi de Joule pour un gaz parfait : la variation de l'énergie interne ne dépend que de la variation de la température.

A.1 Étude du compresseur.

A.1.1 Convertir le débit volumique d'air entrant dans le compresseur en utilisant les unités du système international.

A.1.2 Calculer, à l'aide de la loi des gaz parfaits, le débit molaire q_{mol} de l'air traité par le compresseur avec le nombre de chiffres significatifs compatibles avec les données de l'énoncé.

A.1.3 Déterminer l'énergie échangée par l'air sous forme de travail W_{air} au niveau du compresseur en une seconde.

A.1.4 Dédire de ce qui précède l'énergie échangée sous forme de chaleur Q_{air} en une seconde par l'air au niveau du compresseur. Commenter le signe de Q_{air} .

A.2 Étude du système de refroidissement du compresseur.

A.2.1 Calculer la puissance (ou flux) thermique P_{eau} reçue par l'eau de refroidissement lors de son passage dans le compresseur.

A.2.2 Justifier, en comparant les résultats des questions A.1.4 et A.2.1 que l'énergie thermique cédée par l'air est intégralement reçue par l'eau.

A.3 Justification du séchage de l'air.

En sortie du compresseur, l'air contient des microgouttelettes d'eau qui sont apparues du fait de l'augmentation de la pression de l'air et donc de ses constituants (diazote, dioxygène, vapeur d'eau). En effet, lorsqu'un gaz composé de plusieurs constituants est comprimé, **chaque constituant est comprimé dans les mêmes proportions**. Ainsi, si la pression totale de l'air est multipliée par trois, la pression partielle de chacun des constituants l'est également.

BTS IP Unité U32 : Sciences Physiques	Durée : 3 h	Session 2014
CODE SUJET : 14-ITSPHY-1	Coefficient : 3	Page 4 sur 12

- A.3.1 Compléter, en utilisant les données de l'énoncé, les cases grisées du tableau du DOCUMENT RÉPONSE N°1.
- A.3.2 Calculer par interpolation linéaire, à l'aide de la table des caractéristiques de l'eau à l'équilibre liquide/vapeur fournie en annexe, la pression de vapeur saturante de l'eau, notée P_{S1} à la température de fonctionnement du compresseur.
- A.3.3 Calculer la pression partielle de la vapeur d'eau $p_{\text{eau},1}$, contenue dans l'air entrant dans le compresseur.
- A.3.4 Prévoir, à l'aide d'un calcul, l'état physique de l'eau contenue dans l'air en sortie du compresseur.
- A.3.5 Compléter la case non grisée du tableau du DOCUMENT RÉPONSE N°1 en indiquant le taux d'humidité relative de l'air en sortie du compresseur.
- A.3.6 Justifier l'utilisation d'un sécheur d'air.

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

BTS IP Unité U32 : Sciences Physiques	Durée : 3 h	Session 2014
CODE SUJET : 14-ITSPHY-1	Coefficient : 3	Page 5 sur 12

- Partie B : Étude du moteur (7 points).

La vis du compresseur précédemment étudiée est entraînée par un moteur asynchrone alimenté par un variateur de vitesse.

Sur la plaque signalétique du moteur, on peut lire :

400 V / 690 V – 50 Hz ; $\cos(\varphi) = 0,85$; $I = 540$ A ; $n_n = 2920$ tr.min⁻¹.

Par ailleurs, le variateur de vitesse délivre une tension proportionnelle à la fréquence qui peut varier de 42 Hz à 115 Hz.

Les pertes, autres que par effet Joule, seront négligées.

B.1 Étude du moteur à son point de fonctionnement nominal.

B.1.1 Indiquer, sachant que le moteur est alimenté par un réseau triphasé dont une tension composée U vaut 690 V, le couplage des enroulements statoriques. Compléter le DOCUMENT RÉPONSE N°1 en y ajoutant les barrettes de couplage et les fils qui relient le variateur et le moteur.

B.1.2 Déterminer la vitesse de synchronisme n_s ainsi que le nombre de paires de pôles du stator.

B.1.3 Déduire de ce qui précède le glissement g_n .

B.1.4 Valider, par un calcul, le choix du moteur sachant que le rendement doit être supérieur à 85 %. Les pertes par effet Joule P_{JS} et P_{JR} valent respectivement 35 kW au stator et 14 kW au rotor.

B.2 Détermination du point de fonctionnement à 50 Hz.

Déterminer graphiquement sur le DOCUMENT RÉPONSE N°2, le point de fonctionnement pour un couple résistant dont le moment vaut 1630 N.m et qui est indépendant de la vitesse. La puissance utile nominale vaut 500 kW. Pour répondre à la question vous tracerez la partie linéaire de la caractéristique mécanique.

B.3 Détermination des caractéristiques du variateur.

Le couple résistant n'a pas changé. La nouvelle vitesse vaut 2500 tr.min⁻¹.

B.3.1 Proposer et exploiter une méthode pour déterminer théoriquement les caractéristiques de la tension de sortie du variateur.

B.3.2 Déterminer si la nouvelle fréquence est compatible avec les caractéristiques du variateur.

BTS IP Unité U32 : Sciences Physiques	Durée : 3 h	Session 2014
CODE SUJET : 14-ITSPHY-1	Coefficient : 3	Page 6 sur 12

- Partie C : Titration d'une solution de permanganate de potassium (7 points).

La délignification consiste à éliminer la lignine qui unit entre elles les fibres et les diverses cellules des végétaux. À chaque étape du processus papetier, on obtient le degré de délignification en déterminant l'indice kappa. Celui-ci, noté X, est le volume exprimé en mL d'une solution de permanganate de potassium à la concentration $c = 20 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ consommé, dans les conditions de la norme, par 1g de pâte sèche.

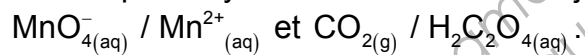
On dispose d'une solution violette de permanganate de potassium de concentration C_s dans le laboratoire d'une usine papetière. On désire s'en servir pour déterminer l'indice kappa mais sa concentration est inconnue.

Nous cherchons à titrer la solution S de permanganate de potassium ($\text{K}^+_{(aq)} + \text{MnO}_4^-_{(aq)}$) de concentration inconnue C_s par une solution d'acide oxalique ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_{4(aq)}$) de concentration C_A . La concentration de l'acide oxalique sera elle-même déterminée de façon précise par titrage à l'aide d'une solution étalonnée d'hydroxyde de calcium ($\text{Ca}^{2+}_{(aq)} + 2 \text{OH}^-_{(aq)}$) de concentration : $C_0 = 0,0100 \text{ mol.L}^{-1}$.

Données :

Le produit de solubilité de l'hydroxyde de calcium noté K_S vaut $8,0 \cdot 10^{-6}$.

Les couples oxydant / réducteur mis en jeu sont les suivants :



C.1 Détermination du seuil de précipitation de la solution d'hydroxyde de calcium.

La solution d'hydroxyde de calcium n'est utilisable pour ce dosage que si elle n'est pas saturée.

C.1.1 Écrire l'équation de dissolution de l'hydroxyde de calcium solide dans l'eau.

C.1.2 Déterminer, à partir de la valeur de K_S , la solubilité s (en mol.L^{-1}) de l'hydroxyde de calcium.

C.1.3 Dédurre ce qui précède et des données de l'énoncé que la solution est utilisable pour le titrage de la solution d'acide oxalique.

C.2 Détermination par titrage de la concentration de la solution d'acide oxalique.

L'acide oxalique est un diacide dont la première acidité peut être considérée comme forte et la deuxième faible de $\text{p}K_A = 4,3$.

Un échantillon de $V_A = 20,0 \text{ mL}$ de solution d'acide oxalique est titré par la solution d'hydroxyde de calcium de concentration $C_0 = 0,0100 \text{ mol.L}^{-1}$.

BTS IP Unité U32 : Sciences Physiques	Durée : 3 h	Session 2014
CODE SUJET : 14-ITSPHY-1	Coefficient : 3	Page 7 sur 12

La courbe du titrage se trouve sur le DOCUMENT RÉPONSE N°3.

Au cours du titrage, l'action de l'hydroxyde de calcium sur l'acide oxalique est la réaction prépondérante.

C.2.1 Écrire les deux équations bilans des réactions se produisant au cours du titrage sachant que l'acide oxalique est un diacide.

C.2.2 Analyse de la courbe de titrage.

C.2.2.1 Montrer que le premier point d'équivalence n'est pas exploitable.

C.2.2.2 Déterminer les coordonnées (V_2 ; pH_2) du point correspondant à la seconde équivalence E_2 .

C.2.3 Déduire de ce qui précède la concentration C_A de la solution d'acide oxalique.

C.3 Titrage de la solution de permanganate de potassium par la solution d'acide oxalique.

Pour réaliser le titrage de la solution S de permanganate de potassium par la solution d'acide oxalique, le milieu sera acidifié par une solution d'acide sulfurique ($2 \text{H}^+_{(\text{aq})} + \text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$). Les mesures seront réalisées à une température telle que la réaction soit rapide.

C.3.1 Écrire les demi-équations électroniques des couples $\text{MnO}_4^-_{(\text{aq})} / \text{Mn}^{2+}_{(\text{aq})}$ et $\text{CO}_2_{(\text{g})} / \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4_{(\text{aq})}$.

C.3.2 Déduire des demi-équations, l'équation bilan de la réaction entre les ions permanganate et l'acide oxalique.

On considère que la concentration C_A de la solution d'acide oxalique vaut $0,011 \text{ mol.L}^{-1}$. On titre ainsi un volume $V_S = 25,0 \text{ mL}$ de solution de permanganate de potassium par la solution d'acide oxalique. On observe la disparition de la coloration violette pour un volume V_{AC} de $23,7 \text{ mL}$ de solution d'acide oxalique.

C.3.3 Déduire, à l'aide d'un calcul, la concentration de la solution de permanganate de potassium.

C.3.4 Déterminer si la solution de permanganate de potassium convient pour déterminer l'indice kappa.

BTS IP Unité U32 : Sciences Physiques	Durée : 3 h	Session 2014
CODE SUJET : 14-ITSPHY-1	Coefficient : 3	Page 8 sur 12

Annexe

Caractéristiques de l'eau à l'équilibre liquide/vapeur

Pression de vapeur saturante P_s (en bar)	Température θ (°C)	Enthalpie liquide H_{liq} (kJ.kg ⁻¹)	Enthalpie vapeur sèche H_{vap} (kJ.kg ⁻¹)	Chaleur latente de vaporisation L (kJ.kg ⁻¹)
0,010	6,98	29,34	2514	2485
0,020	17,51	73,48	2533	2460
0,030	24,09	100,97	2546	2445
0,040	28,97	121,4	2554	2433
0,050	32,89	137,7	2561	2424
0,060	36,18	151,5	2567	2416
0,070	39,02	163,3	2573	2409
0,080	41,54	173,8	2577	2403
0,090	43,79	183,3	2581	2398
0,100	45,84	191,8	2585	2393
0,200	60,09	251,45	2610	3258
0,300	69,12	289,3	2625	2336
0,400	75,88	317,6	2637	2319
0,500	81,34	340,6	2646	2305
0,600	85,95	359,9	2654	2294
0,700	89,96	376,8	2660	2283
0,800	93,51	391,7	2666	2274
0,900	96,71	405,2	2671	2266
1,000	99,6	417,53	2675	2258

BTS IP Unité U32 : Sciences Physiques	Durée : 3 h	Session 2014
CODE SUJET : 14-ITSPHY-1	Coefficient : 3	Page 9 sur 12

**DOCUMENT RÉPONSE N°1
À RENDRE AVEC VOTRE COPIE**

	Température	Pression	Taux d'humidité relative
Entrée du compresseur			
Sortie du compresseur			

Fils de ligne
Issus du variateur



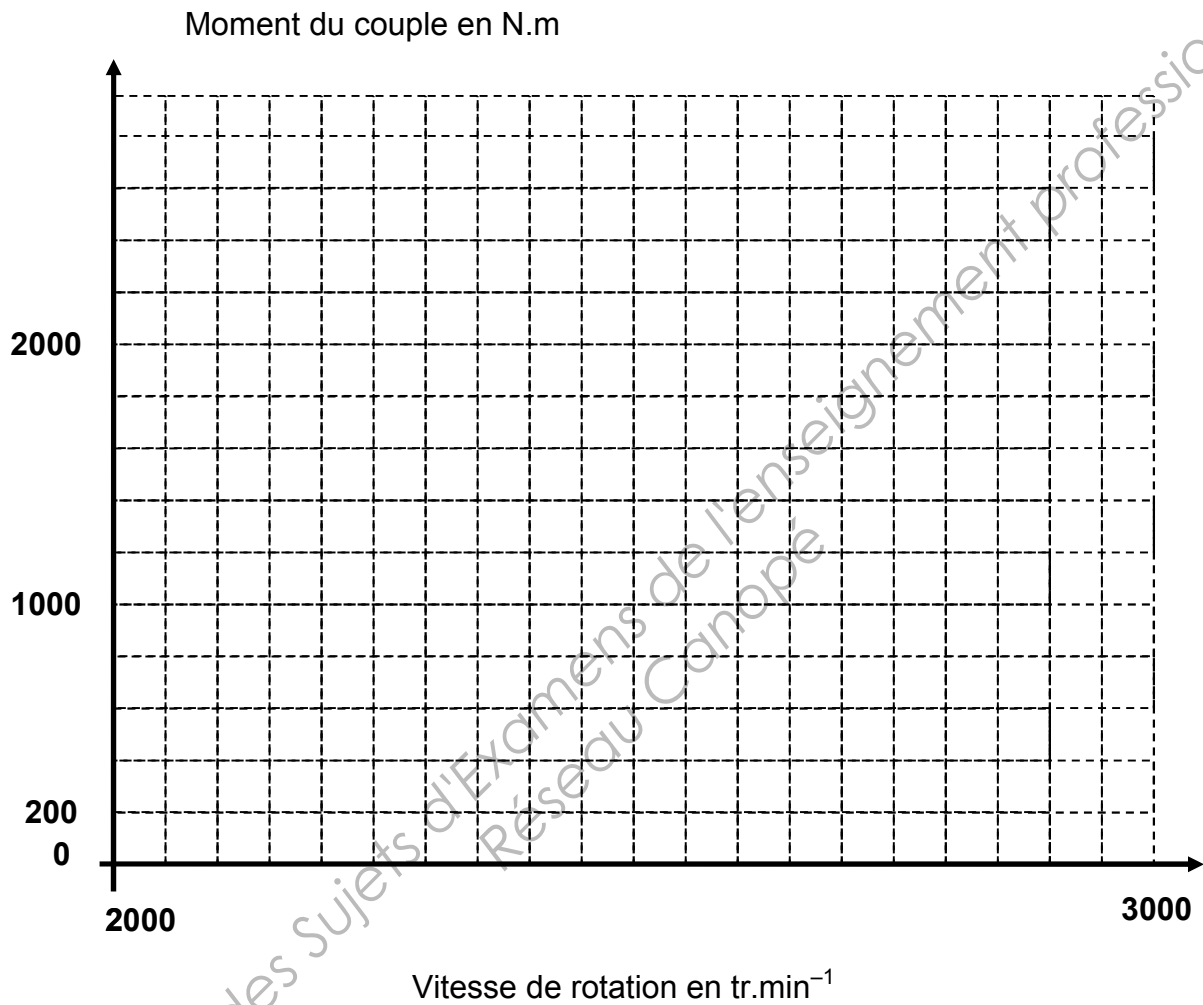
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
U1	V1	W1
W2	U2	V2
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Plaque à bornes

U1 et U2 : points d'accès de l'enroulement n°1
 V1 et V2 : points d'accès de l'enroulement n°2
 W1 et W2 : points d'accès de l'enroulement n°3

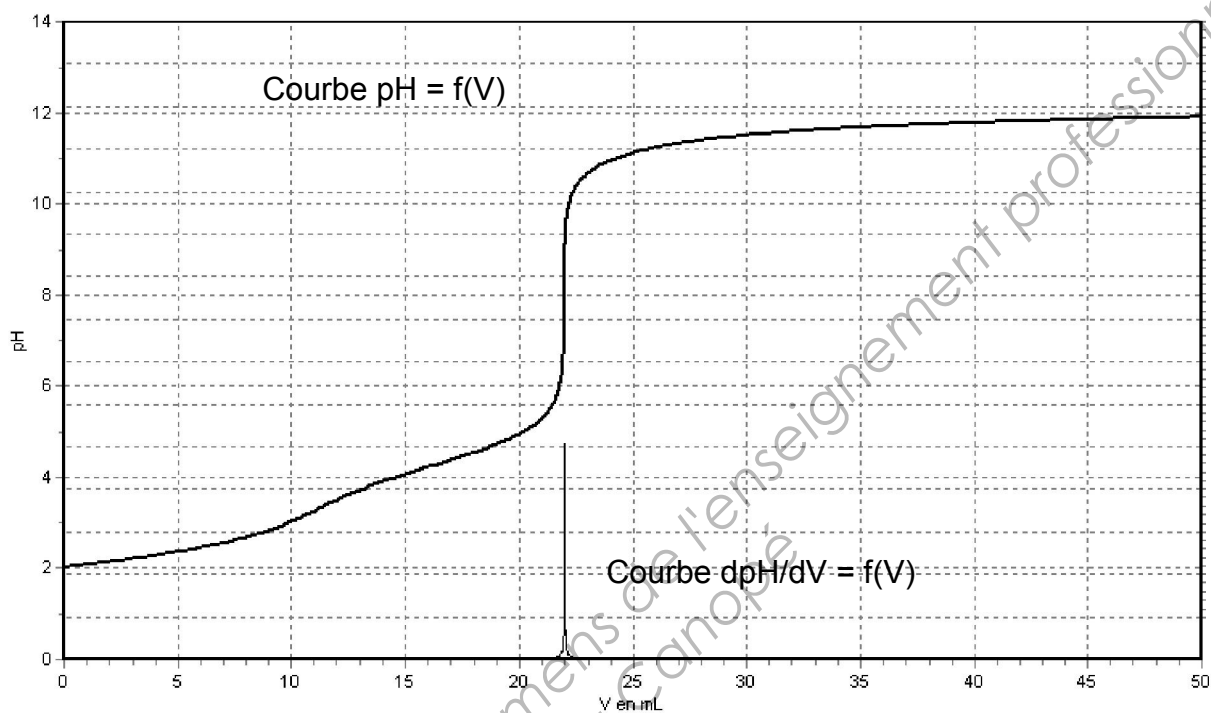
BTS IP Unité U32 : Sciences Physiques	Durée : 3 h	Session 2014
CODE SUJET : 14-ITSPHY-1	Coefficient : 3	Page 10 sur 12

**DOCUMENT RÉPONSE N°2
À RENDRE AVEC VOTRE COPIE**



BTS IP Unité U32 : Sciences Physiques	Durée : 3 h	Session 2014
CODE SUJET : 14-ITSPHY-1	Coefficient : 3	Page 11 sur 12

**DOCUMENT RÉPONSE N°3
À RENDRE AVEC VOTRE COPIE**



BTS IP Unité U32 : Sciences Physiques

Durée : 3 h

Session 2014

CODE SUJET : 14-ITSPHY-1

Coefficient : 3

Page 12 sur 12