

TB 1	Chapitre M/C	Mécanique + Chimie
DS 4		

Banque « Agro-Veto »
A TB – 0426

PHYSIQUE-CHIMIE
RÉSOLUTION DE PROBLÈME
Durée : 3 heures

L'usage d'une calculatrice est autorisé pour cette épreuve.

Chaque candidat est responsable de la vérification de son sujet d'épreuve : pagination et impression de chaque page. Ce contrôle doit être fait en début d'épreuve. En cas de doute, il doit alerter au plus tôt le surveillant qui vérifiera et, éventuellement, remplacera son sujet.

Ce sujet comporte 9 pages numérotées de 1 à 9.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

La randonnée est une activité de plus en plus populaire dans tous les cercles sociaux, ce sujet traite de plusieurs aspect de la randonnée comme activité de plein air.

Ce problème est constitué de quatre trois indépendantes :

- Partie A : La marche à pied
- Partie B : Rendre l'eau potable
- Partie C : Cinétique d'oxydation

PARTIE A : La marche à pieds

Tout le monde en a fait l'expérience : marcher en montée est plus fatigant que marcher à plat. Le randonneur est un système articulé complexe dont l'étude dépasse le cadre de ce sujet. Nous nous contenterons ici de réfléchir aux différentes contributions énergétiques mises en jeu lorsqu'il se déplace.

On considère un randonneur de masse m , de centre d'inertie I , en mouvement dans le référentiel terrestre supposé galiléen muni d'un repère cartésien $(O, \vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$. L'accélération de la pesanteur, notée $\vec{g} = -g \cdot \vec{e}_z$ est supposée uniforme, avec $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

Le randonneur se déplace d'un point A situé en bas d'une colline à un point B situé en haut de la colline comme indiqué sur la **figure 1**. On note h le dénivelé parcouru par le randonneur $h = z_B - z_A$ où z_A est la coordonnée du point A selon l'axe (O, \vec{e}_x) et z_B celle du point B.

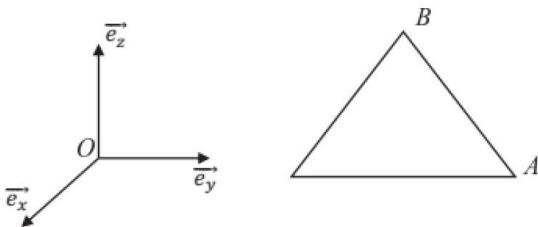


Figure 1 : Colline et base cartésienne

Les frottements de l'air sur le randonneur seront négligés.

A1: Lorsqu'il marche, le randonneur est soumis à la réaction \vec{R} du sol sur ses pieds. La réaction du sol s'applique à chaque instant en un point de vitesse nulle (le point d'appui du pied). On assimile le pied à un point matériel. Que vaut la puissance de la réaction du sol sur le pied ? Justifier.

On cherche la variation d'énergie mécanique du randonneur. Pour cela, on assimile le randonneur à un point matériel placé en I de coordonnées (x_I, y_I, z_I) .

A2: Le randonneur est soumis à son poids. Établir l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur E_p du randonneur en fonction de m , g , z_I (on considère pour $z_I = 0$ que $E_p = 0$). Cette énergie potentielle est la seule prise en compte dans notre étude.

A3: À l'instant initial, le randonneur est en A et a une vitesse nulle. Il s'arrête à l'arrivée en B pour contempler le paysage. Que vaut la variation de son énergie cinétique entre A et B ?

A4: Rappeler la définition de l'énergie mécanique. Déterminer la variation d'énergie mécanique ΔE_m du randonneur entre A et B en fonction de m , g et h .

A5: Lors d'une randonnée, un individu de 60,0 kg parcourt une distance de 7,00 km avec un dénivelé de 1,00 km. Calculer la variation de son énergie mécanique.

A6: Calculer à nouveau la variation d'énergie mécanique pour une distance parcourue de 10,0 km sans dénivelé. Comparer les deux résultats précédents en s'appuyant sur le début de l'introduction de la partie.

L'énergie nécessaire à l'ascension du randonneur est apportée par les muscles (assimiler le randonneur à un point matériel n'est ici plus possible : on doit tenir compte des actions intérieures et du travail associé). Lors d'une journée « normale », sans randonnée, un individu consomme $E_n = 12,0 \text{ MJ}$ en moyenne (pour maintenir sa température à 37°C , respirer, bouger, réfléchir ...).

A7: Quel est le pourcentage d'énergie dépensée en plus par l'individu lors de l'ascension décrite à la question **A5** par rapport à une journée « normale » ? Commenter sachant qu'une randonnée avec un dénivelé de 1 km dure en moyenne trois heures.

Cette énergie lui est apportée par ce qu'il mange : un joule ingurgité est supposé apporter un joule d'énergie pour le métabolisme de l'individu.

A8: Combien de joules le randonneur doit-il ingurgiter le jour de son ascension pour compenser les dépenses totales de son organisme ? On attend une valeur numérique.

On souhaite dans la suite de cette partie discuter l'hypothèse d'indépendance de l'accélération de la pesanteur avec l'altitude. L'accélération de la pesanteur est due à deux phénomènes : l'attraction gravitationnelle et le mouvement de la Terre autour de l'axe des pôles, dont l'effet est très faible devant celui de l'attraction gravitationnelle. Ainsi on relie l'accélération de la pesanteur \vec{g} au champ d'attraction gravitationnelle créé en un point M par la planète Terre.

La planète Terre est modélisée par une sphère pleine de centre T , de masse M_T et de rayon R_T . La masse M_T est supposée uniformément répartie dans la boule terrestre. On prendra l'origine du repère au centre de la Terre

Données 1

Masse de la Terre : $M_T = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

Rayon de la Terre : $R_T = 6371 \text{ km}$

Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$

A9: Rappeler l'expression de la force gravitationnelle \vec{F}_g qu'exerce la Terre sur le randonneur de masse m . On notera r la distance entre le centre de la Terre et l'objet de masse m .

A10: En déduire par une analyse dimensionnelle, l'unité de G dans le système international.

A11: Le champ gravitationnel est défini par la relation $\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m}$, donner alors l'expression de \vec{g} .

A12: Au niveau de la mer (pour une altitude de zéro mètre), vérifier que l'on retrouve la valeur connue pour le champ d'attraction gravitationnelle créé en un point M par la planète Terre.

A13: Montrer que la variation de la norme g de \vec{g} entre un point situé à une altitude a , faible devant R_T , et un point situé à la surface de la mer (altitude nulle), à l'ordre 1 en $\frac{a}{R_T}$ s'écrit :

$$\Delta g = g_{(R_T+a)} - g_{(R_T)} = -2 \cdot \frac{G \cdot M_T \cdot a}{R_T^3}$$

Rappel mathématique : le développement limité à l'ordre 1 pour $\varepsilon \ll 1$ donne $(1+\varepsilon)^\alpha \approx 1 + \alpha \cdot \varepsilon$

A14: Calculer numériquement Δg lors d'une randonnée dont le dénivelé est égal à 1 km. A quelle valeur de g faut-il le comparer pour savoir si Δg est négligeable ? Y-a-t-il lieu de tenir compte des variations de la norme de g lors de l'étude énergétique menée dans la première partie ?

Lors de la descente, sur son chemin le randonneur se retrouve face à une crevasse qu'il décide de sauter. Il s'élance depuis l'origine du repère xOz , avec une vitesse \vec{v}_0 et faisant un angle $\alpha = 30^\circ$ avec l'horizontale. Nous cherchons la valeur de v_0 telle que le randonneur atteigne l'autre côté situé au point P de coordonnées $x_P = 4,0 \text{ m}$ et $z_P = -1,0 \text{ m}$. Le randonneur est assimilé à un point I et on néglige les frottements de l'air sur lui. On donne $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

A15: Établir les équations horaires $x(t)$ et $z(t)$ du mouvement du randonneur, en fonction des données de l'énoncé, on attend des expressions littérales dans cette partie.

A16: En déduire l'expression de la trajectoire $z = f(x)$ du randonneur. Quelle est l'allure de la trajectoire ?

A17: Calculer la vitesse v_0 que doit avoir le randonneur au moment du saut, pour le réussir.

Partie B - Rendre l'eau potable

Plusieurs possibilités s'offrent au randonneur pour purifier l'eau de source trouvée en chemin, afin de pouvoir la consommer sans danger pour la santé. Il opte pour la solution d'alcool iodé.

Document 1 : L'eau en voyage, comment rendre l'eau potable (d'après le site routard.com)

Quels sont les différents moyens dont un voyageur dispose pour traiter son eau ?

✗ Ébullition

Selon les différents avis, il faut faire bouillir l'eau d'une à dix minutes. L'ébullition permet de désinfecter l'eau avant de la boire mais pas de la stériliser. En altitude, n'oubliez pas que l'eau bout à une température plus basse et que les germes ont donc plus de chance de résister. Il est donc vivement conseillé de traiter votre eau ou de la filtrer.

✗ Désinfection chimique

Les désinfectants chimiques du voyageur sont efficaces sur les bactéries. Parmi eux, certains éliminent également les virus et les parasites. Ils doivent toujours être utilisés avec une eau bien claire. Il est essentiel d'attendre un délai suffisant avant de la boire, de 15 minutes à 2 heures selon le produit utilisé.

Les différents désinfectants:

Le plus efficace est l'iode, disponible en France en pharmacie sous forme d'alcool iodé à 2 %. On l'utilise à dose de 5 à 10 gouttes par litre d'eau selon la turbidité (aspect trouble de l'eau) et avec un temps de contact de 30 minutes. Son utilisation doit pourtant rester ponctuelle, l'utilisation prolongée présentant un risque pour la thyroïde. Il existe aussi des résines iodées qui équipent certains systèmes pour le voyageur.

Les autres désinfectants de l'eau disponibles sont des agents dérivés du chlore. Le problème avec les agents chlorés, c'est que leur efficacité dépend beaucoup du pH de l'eau, ce que le voyageur ne peut contrôler.

Par ailleurs, tous ces désinfectants chimiques, alcool iodé et agents chlorés, ont une efficacité qui diminue lorsque l'eau est froide (<10 °C). Il faut alors doubler le temps de contact.

3) Filtrage

Une micro-filtration de porosité absolue entre 0.2 et 0,4 µm arrêtera efficacement les bactéries et les parasites, mais pas les virus, qui sont trop petits. Un avantage de ce procédé, c'est que l'eau peut être consommée immédiatement.

Document 2 - D'après le guide « Antiseptiques et désinfectants » du centre de Coordination de la Lutte contre les Infections Nosocomiales de l'Inter-région Paris - Nord

Les produits iodes sont bactéricides, virucides, fongicides et sporicides.

L'iode sous forme moléculaire (le diiode, I₂) est capable de traverser rapidement la membrane cellulaire. Son action est due à son pouvoir oxydant, comme les autres halogénés, sur les protéines enzymatiques et membranaires.

Les produits iodes sont stables entre pH = 1 et pH = 6

Les matières organiques (protéines, sérum, sang...) diminuent l'activité des dérives iodes.

Document 3 : Alcool iodé 1 % (d'après la fiche de l'Agence Nationale de Sécurité du médicament). Premier extrait.

La préparation satisfait à la monographie Préparations liquides pour applications cutanées (0927).

Définitions :

a) Formule :

Composant	Quantité (g)	Fonction	Référentiel
Diiode	1,00	Substance active	Ph. Eur.
Potassium (iodure de)	0,60	Solvant	Ph. Eur.
Ethanol a 96 % (en vol)	54,7	Excipient	Ph. Eur.
Eau purifiée q.s.p	100,0	Excipient	Ph. Eur.

« q.s.p » signifie que l'on ajoute la quantité d'eau purifiée nécessaire pour obtenir 100,0 g d'alcool iodé.

Dans le cas d'utilisation d'éthanol a 90 % en volume, il convient de se référer au texte général Alcoometrie de la Pharmacopée française.

b) Teneur

Diode libre (I) : de 0,95 % en masse à 1,05 % en masse.

Iodure de potassium (K*, I) : de 0,57 % en masse à 0,63 % en masse.

Production (quantités du tableau)

Précaution : utilisez des récipients de verre pour la préparation.

Dissolvez l'iodure de potassium puis le diode dans 5 mL d'eau purifiée; agitez et ajoutez la quantité d'alcool indiquée.

Complétez avec de l'eau purifiée.

Caractères

Aspect : liquide limpide brun foncé.

Odeur d'éthanol et d'iode.

B1 : On souhaite préparer la solution d'alcool iodé en suivant le descriptif du **document 3**. Préciser le matériel le plus adapté à utiliser pour :

- obtenir les 5 mL d'eau purifiée,
- préparer les quantités adéquates de diiode solide et d'iodure de potassium solide.

B2 : Le processus de désinfection de l'eau repose sur des réactions chimiques. Quelle est la nature de ces réactions chimiques d'après les **documents 1 et 2** ? On ne demande pas d'équation bilan de réaction.

B3 : Expliquer pourquoi il y a un délai entre l'utilisation du désinfectant et le moment où l'on peut consommer l'eau. Ce délai s'allonge lorsque la température diminue. Sur quel paramètre la température joue-t-elle ?

**Document 4 - Alcool iodé à 1 % (d'après la fiche de l'Agence Nationale de Sécurité du médicament).
Deuxième extrait.**

Dans une fiole conique, introduisez 10,00 g d'alcool iodé. Ajoutez. 20 mL. d'eau et 1 mL d'acide sulfurique dilue. Titrez par le thiosulfate de sodium 0,1 mol.L⁻¹ en présence de solution d'amidon.

1 mL de thiosulfate de sodium 0,1 mol.L⁻¹ correspond à 12,69 mg de diiode.

Teneur (en g pour 100 g) en diiode :

$$\frac{V \times C \times 12,69}{m}$$

V = volume versé en mL de thiosulfate de sodium 0,1 mol.L⁻¹

C = titre exact du thiosulfate de sodium 0,1 mol.L⁻¹

m = prise d'essai d'alcool iodé en grammes.

Données 3 :

Formules chimiques:

- Diode : I₂ solide ou en solution aqueuse
- Iodure de potassium : KI solide ou (K⁺, I⁻) en solution aqueuse
- Thiosulfate de sodium : Na₂S₂O₃ solide ou (2 Na⁺, S₂O₃²⁻) en solution aqueuse
- Solution d'acide sulfurique : H₂SO₄

Masse molaire de l'iode : M(I) = 126,9 g.mol⁻¹

Masse volumique de l'eau liquide : ρ_{ea} = 1 kg.L⁻¹

La solution d'amidon est bleue en présence de diode et incolore sinon.

Potentiels standard d'oxydo-reduction à 25 °C:

- E° (I₂/I⁻) = 0,62 V
- E° (S₄O₆²⁻ / S₂O₃²⁻) = 0,08 V

Volume moyenne d'une goutte de solution aqueuse : V_g = 0,05 mL.

B4 : Faire un schéma annoté du dosage avec la verrerie utilisée. Où met-on la solution d'alcool iodé ? Où met-on la solution de thiosulfate de sodium ?

B5 : Dans l'alcool iodé, la substance qui réagit lors du dosage est le diiode. Écrire la réaction de dosage. On supposera que cette réaction est totale.

B6 : Comment l'équivalence du dosage est repérée ? Décrire ce que l'on voit.

B7 : Établir le lien entre la quantité de matière *n*_I de diiode présent dans la masse *m* d'alcool iodé dosé, le volume *V'* (en litres) de solution de thiosulfate de sodium versée à l'équivalence du dosage et la concentration *C* de la solution de thiosulfate de sodium.

B8 : Montrer avec soin que l'on retrouve l'expression de la teneur en diiode annoncée dans le document 4. On rappelle que la teneur correspond à un pourcentage.

Lors du dosage d'une solution d'alcool iodé utilisée pour la désinfection, selon le protocole du document 4, on obtient un volume équivalent de thiosulfate de sodium de 10,1 mL.

B9 : Quelle est la masse de diiode contenue dans la prise d'essai ?

B10 : Quelle masse approximative de diiode ingurgite-t-on lorsqu'on boit un litre d'eau dans laquelle on a mis une dizaine de gouttes de cet alcool iodé ?

Dans la suite de cette partie nous nous intéresserons à l'élément iode

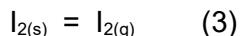
B11 : L'élément iodé a pour numéro atomique $Z = 53$. Donner sa configuration électronique. En déduire (en justifiant) le numéro de la période et de la colonne dans le tableau périodique. A quelle famille l'iodé appartient-il ? Citer 3 autres éléments de cette famille.

A température et pression ambiante, le diiode est un solide noir et brillant.

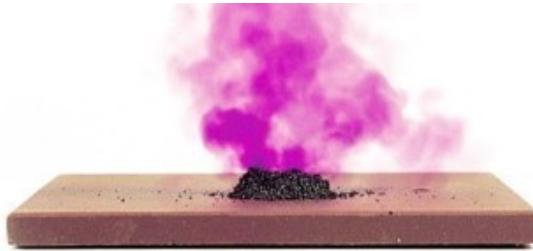


B12 : Sur un flacon de diiode, on peut voir les deux pictogrammes ci-dessus. Expliquer très succinctement leur signification.

Si on chauffe légèrement des cristaux de diiode, on observe la formation de vapeurs violettes de diiode selon la réaction chimique :



Données : le diiode gazeux est assimilé à un gaz parfait. A 373 K la constante d'équilibre associée à cette équation vaut : $K^{\circ} = 6,30 \cdot 10^{-2}$. La constante des gaz parfaits vaut $R = 8,314\text{ J}\text{K}^{-1}\text{mol}^{-1}$



B13 : Comment se nomme une telle transformation d'un solide en un gaz ?

Dans un réacteur fermé de volume $V_1 = 5,0\text{ L}$ préalablement vidé d'air, on introduit n moles de diiode solide. La température du récipient est maintenue constante et égale à $T = 373\text{ K}$ et le volume du réacteur ne change pas.

B14 : Si l'on introduit $n = 3,00 \cdot 10^{-2}$ mol de diiode solide, calculer les quantités de matière en diiode solide et en diode gazeux dans l'état final. L'état final est-il un état d'équilibre ? Expliquer.

B15 : Si l'on introduit $n = 5,00 \cdot 10^{-3}$ mol de diiode solide, calculer les quantités de matière en diiode solide et en diode gazeux dans l'état final.

On reprend le cas de figure où initialement on introduit $n = 3,00 \cdot 10^{-2}$ mol de diiode solide. Une fois l'équilibre établi (pour le volume V_1), on augmente progressivement le volume V du réacteur en maintenant toujours la température constante égale à 373 K .

B16 : Quel est l'influence de l'augmentation du volume du réacteur sur l'avancement de la transformation ? Justifier clairement.

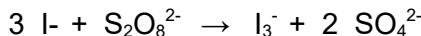
B17 : Calculer le volume V_2 du réacteur lorsque le diiode solide disparaît.

B18 : Calculer la pression finale régnant dans le récipient lorsque le volume du réacteur atteint la valeur $V_3 = 20,0\text{ L}$

B19 : Tracer l'allure de la courbe $P = f(V)$ pour V variant de $5,0\text{ L}$ à $20,0\text{ L}$, avec P , la pression finale dans l'enceinte (qui contenait initialement $n = 3,00 \cdot 10^{-2}$ mol de diiode solide). Préciser l'expression de la fonction f pour chaque domaine de la courbe.

Partie C : Cinétique d'oxydation des ions iodure (I^-) par les ions peroxodisulfate ($S_2O_8^{2-}$)

Dans un bécher thermostaté à une température de $28,8^\circ\text{C}$, un expérimentateur mélange une solution de peroxodisulfate de sodium avec une solution d'iodure de potassium tout en déclenchant le chronomètre. Il se produit une réaction d'oxydation totale conduisant à la formation de I^- dont l'équation bilan est donnée ci-dessous.



Pour une première expérience, la concentration initiale en iodure est $[I^-]_0 = 200 \text{ mmol.L}^{-1}$ et la concentration initiale en peroxodisulfate $C_0 = 2,24 \text{ mmol.L}^{-1}$. L'expérimentateur effectue des prélèvements afin de suivre la concentration $x = [I^-]$, exprimée en mmol.L^{-1} , au cours du temps. Les résultats sont représentés par les figures 1, 2 et 3.

C1 : En appelant α l'ordre partiel par rapport à l'iodure, β l'ordre partiel par rapport au peroxodisulfate et k la constante de vitesse, donner l'expression de la vitesse v de la réaction (qui admet un ordre).

C2 : Compte tenu des conditions initiales, donner une expression simplifiée de cette vitesse de réaction. On notera K_1 la constante de vitesse apparente de cette première expérience.

C3 : Déduire de l'équation précédente l'équation différentielle à laquelle satisfait la fonction $x = f(t)$.

C4 : En utilisant les figures 1, 2 et 3 proposer l'ordre partiel β et le vérifier théoriquement (nombre entier pouvant être égal soit à 0, soit à 1 soit à 2). Déterminer ensuite la valeur numérique de la constante de vitesse K_1 en précisant son unité.

L'expérimentateur effectue 2 autres manipulations (avec une concentration initiale en peroxodisulfate toujours égale à $2,24 \text{ mmol.L}^{-1}$). Ses résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Essai n°	$\theta (\text{ }^\circ\text{C})$	$[I^-]_0 (\text{mmol.L}^{-1})$	$K_i (\text{min}^{-1})$
2	28,8	400	0,249
3	37,1	200	0,180

C5 : Déterminer la valeur numérique de l'ordre partiel α (on prendra l'entier le plus proche).

C6 : En déduire la valeur numérique de la constante de vitesse k pour les essais n°2 et n°3.

C7 : Déterminer à partir des résultats de la question précédente, la valeur de l'énergie d'activation de la réaction.

Figure 1

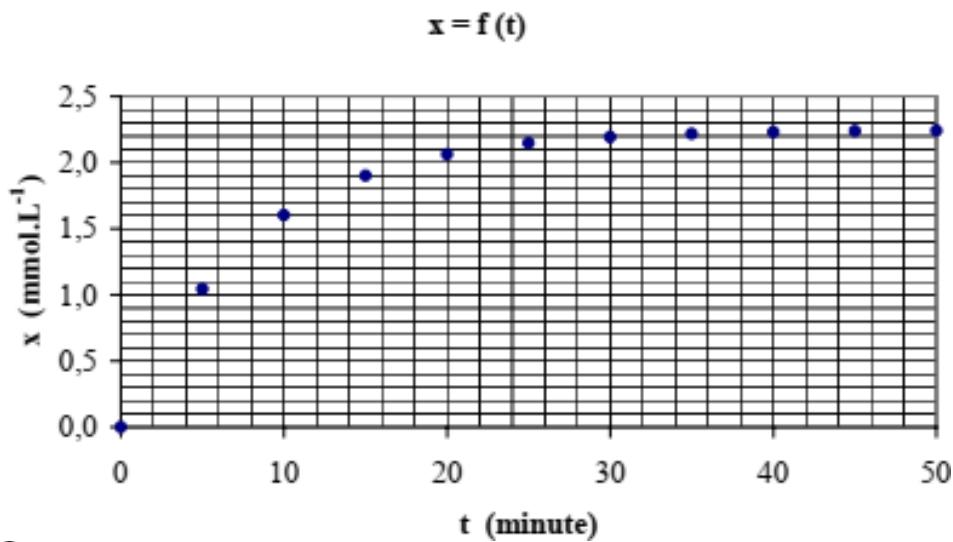


Figure 2

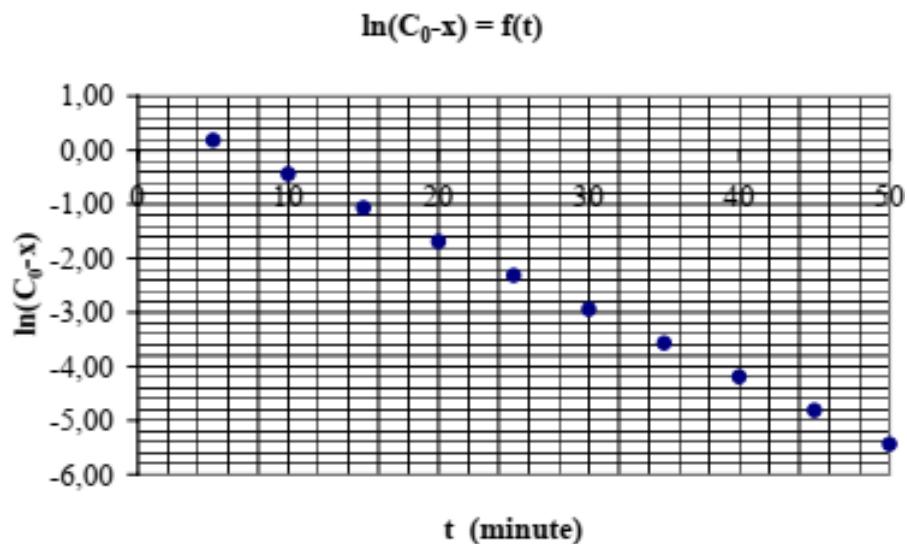


Figure 3

