

# Application de l'oxydoréduction

## Détermination de la pollution organique des eaux, mesure de la demande chimique en oxygène

Karine Loubière, Hassen Benbelkacem, Jean-Noël Foussard et Stéphane Mathé

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>Résumé</b>    | Le but de ce travail est d'illustrer les réactions d'oxydoréduction à travers la détermination de la pollution organique des eaux. Après avoir défini la demande chimique en oxygène (DCO) et avoir rappelé le principe d'un dosage spectrophotométrique, une eau contenant du saccharose est analysée. Un dosage en retour du dichromate par le fer (II) et un dosage spectrophotométrique du chrome (III) sont réalisés. Les résultats obtenus sont exprimés en terme de DCO.   |
| <b>Mots-clés</b> | <b>Demande chimique en oxygène, DCO, oxydoréduction, dosage spectrophotométrique.</b>   |
| <b>Abstract</b>  | <b>Determination of water organic pollution and measure of the chemical oxygen demand (COD) for oxidoreduction application</b><br>The aim of this study is to illustrate the oxidoreduction reactions for the determination of the organic pollution in water. Firstly, the chemical oxygen demand (COD) is defined and the principle of the spectrophotometric dosage is remained. Then, a saccharose solution is analysed. A titration of the excess dichromate by the iron (II) and a spectrophotometric dosage of chrome (III) are performed. The results obtained are expressed in terms of COD. |
| <b>Keywords</b>  | <b>Chemical oxygen demand, COD, oxidoreduction, spectrophotometric dosage.</b>  |

Cette manipulation, proposée aux étudiants de première année de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, illustre la partie oxydoréduction du cours *Chimie des solutions aqueuses*. L'objectif est de déterminer la pollution organique d'une eau en mettant en œuvre une réaction d'oxydation totale des polluants. Les résultats sont exprimés en terme de demande chimique en oxygène (DCO), paramètre très utilisé dans le domaine du traitement des eaux. Une solution aqueuse de saccharose joue le rôle de l'eau polluée [1] et le dichromate est l'oxydant. La quantité de polluant « saccharose » est déterminée de deux manières :

- par un dosage en retour du dichromate à l'aide d'une solution de sel de Mohr en utilisant la ferroïne comme indicateur coloré,
- par un dosage spectrophotométrique des ions  $\text{Cr}^{3+}$ .

Les quatre premiers paragraphes correspondent aux documents fournis aux étudiants. Les résultats expérimentaux sont présentés dans le 5<sup>e</sup> paragraphe et les réponses aux diverses questions sont données dans le dernier paragraphe.

### 1) Principe

#### La demande chimique en oxygène (DCO)

Les rejets liquides aqueux, urbains ou industriels, sont des mélanges très complexes et il est généralement impossible d'analyser l'ensemble des composés qu'ils contiennent. C'est pourquoi des méthodes globales d'évaluation ont été mises au point afin de quantifier des catégories de produits (matières oxydables, matières biodégradables, composés azotés...).

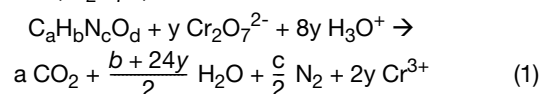
La demande chimique en oxygène (DCO) d'un effluent liquide est la quantité de dioxygène exprimée en mg qui est

consommée par les matières oxydables dans les conditions de l'essai ; le résultat étant ramené à l'unité de volume d'effluent analysé, il s'exprime en  $\text{mgO}_2/\text{L}$ . Dans les conditions standardisées de la norme AFNOR NFT 90-101 (octobre 1988), la DCO se mesure en réalisant une oxydation à partir de dichromate de potassium. Dans les conditions de ce test, cette consommation est essentiellement liée à l'oxydation chimique des matières organiques de l'échantillon. Il faut savoir cependant que l'oxydation n'est pas toujours totale : certains composés organiques s'oxydent difficilement selon ce protocole (ex. les nitroalcanes, la pyridine, l'urée...). De plus, tous les éléments minéraux qui sont oxydables par le dichromate de potassium peuvent réagir et constituer ainsi des interférences (ex. les chlorures, iodures, sulfures...).

Dans le domaine de l'épuration des eaux, le paramètre DCO est très utilisé pour quantifier les pollutions organiques des eaux usées (ex. par les acides humiques, graisses, hydrocarbures, savons...). Cette quantification sous forme de demande en oxygène est particulièrement intéressante pour réaliser des bilans matières ou des bilans d'oxydoréduction sur des procédés. L'analyse de la demande biologique en oxygène (DBO) est généralement associée car elle constitue une mesure complémentaire permettant d'estimer la biodégradabilité de ces matières organiques.

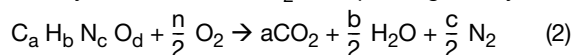
#### Les réactions d'oxydation

Dans le cas général, l'équation théorique d'oxydation totale de la matière organique par un agent oxydant tel que le dichromate ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) s'écrit :



L'agent oxydant est mis en excès et en quantité connue. L'oxydation se fait en milieu acide en présence de sulfate d'argent comme catalyseur. La solution doit être portée à 150 °C [2].

Compte tenu de l'unité choisie pour exprimer la DCO (mgO<sub>2</sub>/L), le résultat n'est pas donné en moles (ou mg) de dichromate consommées selon la réaction (1) mais en mg de dioxygène consommés pour effectuer la même oxydation selon la réaction (2). Cette réaction (2) correspond à une réaction d'oxydation fictive car O<sub>2</sub> n'est pas l'agent oxydant.



La quantité de dichromate nécessaire (y dans la réaction (1)) est déterminée expérimentalement. En connaissant la quantité fictive de dioxygène produite à partir d'une mole de dichromate, la quantité de dioxygène nécessaire ( $\frac{n}{2}$  dans la réaction (2)) pour réaliser la même oxydation peut être calculée.

### Le dosage par réaction d'oxydoréduction

La quantité de polluant est déterminée à partir de l'excès de dichromate qui est dosé à l'aide d'une solution titrée de sel de Mohr (FeSO<sub>4</sub>.(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O), en présence de ferroïne comme indicateur de potentiel.

### Le dosage par spectrophotométrie

La quantité de polluant est déterminée à partir de la quantité de Cr<sup>3+</sup> formée qui est dosée par spectrophotométrie. Le principe du dosage spectrophotométrique repose sur les lois d'absorption des rayonnements non ionisants par les milieux matériels.

Considérons un faisceau homogène monochromatique de longueur d'onde λ et d'intensité I<sub>0</sub> qui aborde un milieu matériel constitué par une solution aqueuse de concentration C enfermée dans une cuve d'épaisseur ℓ (figure 1).

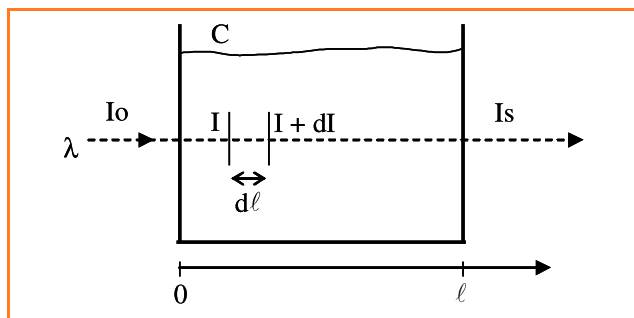


Figure 1 - Absorption d'un faisceau monochromatique par une solution.

Lors de la traversée d'une épaisseur élémentaire dl de solution par un faisceau d'intensité I, l'intensité absorbée dl est donnée par la relation : dl = -k.l.c.dℓ. Le signe « - » traduit la diminution de l'intensité (dl < 0). k est une constante qui dépend de la température, de la longueur d'onde λ du faisceau et de la nature du milieu traversé.

Par intégration, on obtient l'intensité du faisceau émergent I<sub>s</sub> :

$$\int_{I_0}^{I_s} \frac{dI}{I} = \int_0^{\ell} -k.c.d\ell$$

soit  $\ln \frac{I_s}{I_0} = -k.c.\ell$  ou  $I_s = I_0 e^{-k.c.\ell}$

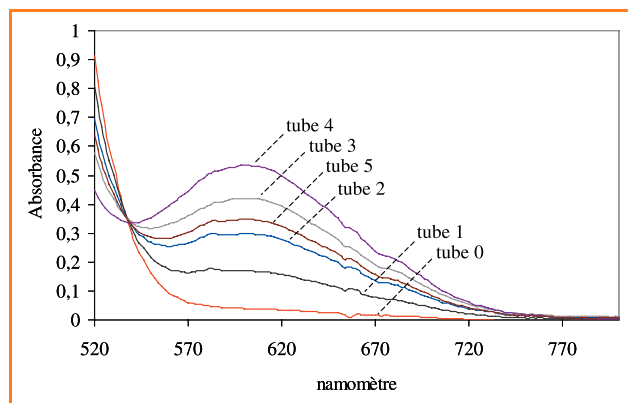


Figure 2 - Spectre d'absorption des tubes 0 à 5.

L'appareillage utilisé pour mettre en pratique cette méthode est appelé spectrophotomètre. Il donne par simple lecture la grandeur absorbance notée A dont l'expression littérale est donnée par la loi de Beer-Lambert :

$$A = \log \frac{I_0}{I_s} = \epsilon . \ell . c$$

Le terme  $\epsilon = k / \ln 10$  est appelé coefficient d'extinction moléculaire. Cette loi n'est vérifiée expérimentalement que pour des solutions diluées, ce qui est le cas des solutions que nous traiterons.

La méthode de dosage spectrophotométrique peut être appliquée ici en recherchant spécifiquement l'absorbance relative aux ions Cr<sup>3+</sup> présents en solution dans un tube après oxydation. Le maximum d'absorption des ions Cr<sup>3+</sup> est à 600 nm (figure 2) et à cette longueur d'onde, les ions Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup> n'absorbent pas (figure 3). On choisira donc 600 nm pour le dosage spectrophotométrique.

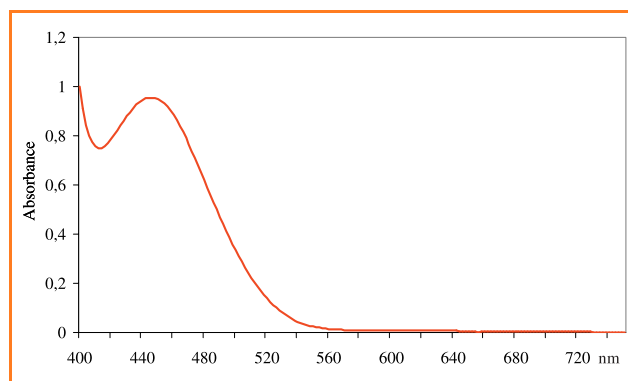


Figure 3 - Spectre d'absorption des ions Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup> en milieu sulfurique (tube 0 après dilution).

## 2) Partie expérimentale [3]

### a) Détermination du titre de la solution de sel de Mohr

- Effectuer ce dosage pendant la période de chauffage des tubes ; il permet également de bien identifier le virage de l'indicateur coloré.

- Introduire dans un erlenmeyer 1 mL de dichromate de potassium à 0,250 éq/L, 5 mL d'acide sulfurique 5 M et 3 gouttes de ferroïne. Verser la solution de sel de Mohr contenue dans la microburette de 5 mL jusqu'au virage de

l'indicateur à la coloration brune intense. Répéter ce dosage jusqu'à l'obtention d'au moins deux descentes de burette identiques.

### b) Préparation d'une eau polluée

Pour simuler une eau polluée, préparer 250 mL de solution aqueuse de saccharose (formule brute  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , pureté massique  $p = 0,995$ ). La concentration de cette solution mère doit être voisine de 1 248 mg/L. A partir de cette solution, les tubes indiqués dans le *tableau I* seront préparés.

| Tableau I - Mélanges utilisés pour la préparation des tubes.                  |                                  |   |     |   |     |   |                            |
|---|----------------------------------|---|-----|---|-----|---|----------------------------|
| Tube  |                                  | 0 | 1   | 2 | 3   | 4 | 5                          |
| Contenu de l'échantillon analysé  | Solution mère de saccharose (mL) | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | Échantillon inconnu (2 mL) |
|   | Eau permutée (mL)                | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 | 0 |                            |
| Mélange de solution de dichromate de potassium et d'acide sulfurique pur (mL) |                                  | 4 |     |   |     | 4 |                            |

### c) Préparation des tubes et oxydation

Les tubes commerciaux contiennent 4,00 mL d'un mélange de solution de dichromate de potassium et d'acide sulfurique pur, du sulfate d'argent et du sulfate mercurique. Dans chaque tube, introduire 2,00 mL d'échantillon d'eau polluée. Ces eaux seront préparées directement dans le tube à partir de la solution mère de saccharose et d'eau permutée (*tableau I*) et en utilisant l'ependrof muni du combitip de 5 mL [4]. Après avoir vissé le bouchon des tubes, il faut s'assurer de l'homogénéité de la solution en agitant le mélange. Mettre ensuite les tubes à chauffer à 150 °C pendant 20 minutes dans le bloc de réaction prévu à cet effet, puis les laisser refroidir jusqu'à la température ambiante.

### d) Dosages

Il faut commencer par la mesure de l'absorbance puisqu'elle est non destructive et finir par le dosage avec la solution de sel de Mohr.

- **Mesure de l'absorbance** de chaque tube revenu à température ambiante : faire le blanc avec le tube 0 puisqu'il ne contient pas de  $Cr^{3+}$  et lire l'absorbance de chaque tube en vérifiant le zéro d'absorbance avec le tube 0 avant chaque mesure.

- **Dosage avec la solution de sel de Mohr** : verser le contenu du tube dans un erlenmeyer (rincer le tube avec de l'eau permutée pour que la totalité de son contenu soit récupérée dans l'erlenmeyer). Dosier l'excès de dichromate de potassium par la solution de sel de Mohr en présence de l'indicateur coloré ferroïne qui vire à la coloration brune intense.

## 3) Exploitation des résultats expérimentaux

a) Écrire l'équation bilan traduisant la réaction de dosage du dichromate de potassium ( $Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$ ) par le sel de Mohr

( $Fe^{3+}/Fe^{2+}$ ). Calculer le titre (T) en normalité de la solution de sel de Mohr.

b) Écrire l'équation bilan traduisant la réaction d'oxydation totale du saccharose ( $C_{12}H_{22}O_{11}/CO_2$ ) par le dioxygène ( $O_2/H_2O$ ). Calculer la DCO théorique des eaux polluées contenues dans les tubes 0, 1, 2, 3 et 4.

c) Écrire l'équation bilan traduisant la réaction d'oxydation totale du saccharose ( $C_{12}H_{22}O_{11}/CO_2$ ) par le dichromate de potassium ( $Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$ ). Calculer la DCO expérimentale des eaux polluées contenues dans les tubes 0, 1, 2, 3 et 4 en utilisant, après l'avoir démontrée, la relation (1) :

$$DCO \text{ en } mgO_2/L = \frac{8000(V_0 - V_i)T}{V} \quad \text{relation (1)}$$

où  $V_0$  est le volume en mL de la solution de sel de Mohr utilisé pour l'essai à blanc (tube 0),  $V_i$ , le volume en mL de la solution de sel de Mohr pour la solution à analyser (tube i),  $V$ , le volume en mL de solution polluée utilisée et T, le titre en normalité de la solution de sel de Mohr.

Tracer la courbe DCO expérimentale en fonction de la DCO théorique et l'interpréter.

d) En utilisant la relation (1), calculer la DCO de la solution inconnue (tube 5).

e) En utilisant l'absorbance des tubes 0, 1, 2, 3 et 4, tracer la courbe d'étalonnage absorbance en fonction de la DCO théorique. En déduire la DCO théorique et la concentration en saccharose (exprimée en mg/L) de la solution inconnue (tube 5). Les résultats obtenus par les deux méthodes sont-ils cohérents ?

## 4) Questions de préparation [5]

2.a) Quelle masse de dichromate de potassium du commerce (pureté massique : 99,7 %) faut-il peser pour préparer 2 litres de solution 0,250 N ? Quelle masse de sel de Mohr (pureté massique : 98,5 %) faut-il utiliser pour préparer 1 litre de solution 0,100 N ?

2.b) Quelle masse de saccharose (pureté massique : 99,5 %) faut-il peser pour préparer 250 mL de solution aqueuse à 1 248 mg/L ?

3.a) Écrire l'équation bilan traduisant la réaction de dosage du dichromate de potassium par le sel de Mohr.

3.b) Écrire l'équation bilan traduisant la réaction d'oxydation totale du saccharose par le dioxygène.

3.c) Écrire l'équation bilan traduisant la réaction d'oxydation totale du saccharose par le dichromate de potassium. Écrire l'équation bilan traduisant la réaction de production du dioxygène à partir du couple  $Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}$  et du couple  $H_2O/O_2$ . En combinant ces deux équations bilans, écrire celle traduisant la réaction d'oxydation du saccharose par le dioxygène.

Démontrer la relation (1).

## 5) Résultats expérimentaux

Le matériel et les réactifs utilisés sont choisis de manière à minimiser les quantités de produit utilisées [6] ainsi que les volumes de déchet à traiter (330 étudiants font cette manipulation). Les résultats des mesures d'absorbance et des dosages par la solution de sel de Mohr des 6 tubes sont rassemblés dans le *tableau II*.

Les spectres d'absorption entre 520 et 800 nm des solutions contenues dans les tubes 0 à 5 sont donnés dans la *figure 2*.

Tableau II - Données et résultats pour les cinq solutions étalons (tubes 0 à 4) et la solution inconnue (tube 5).

\*Moyenne de plusieurs mesures après rotation du tube dans le porte échantillon (mesure à  $\pm 0,001$ ) en prenant soin de laisser le solide se déposer au fond du tube.

| Tube  | 0    | 1                   | 2                   | 3                     | 4                     | 5                   |
|---|------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Concentration de la solution de saccharose (mg/L) | 0    | 311,7               | 623,4               | 935,1                 | 1 246,7               | à déterminer        |
| DCO théorique (mgO <sub>2</sub> /L)               | 0    | 349,6               | 699,3               | 1048,9                | 1 398,5               | inconnue            |
| Absorbance à 600 nm*                              | 0    | 0,1665              | 0,3320              | 0,4960                | 0,6600                | 0,4050              |
| Volume équivalent de solution de sel de Mohr (mL) | 4,90 | 4,06                | 3,22                | 2,38                  | 1,50                  | 2,86                |
| DCO expérimentale (mgO <sub>2</sub> /L)           | 0,0  | 338,9<br>$\pm 10,1$ | 677,8<br>$\pm 12,2$ | 1 016,7<br>$\pm 14,2$ | 1 371,7<br>$\pm 16,4$ | 823,0<br>$\pm 13,0$ |

## 6) Exemples de calcul

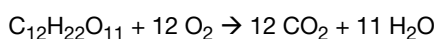
### Préparation d'une eau polluée

Pour obtenir 250 mL (V) de solution mère de saccharose à 1 248 mg/L (C<sub>m</sub>), il faut peser 313,6 mg de saccharose (C<sub>m</sub>·V/p). Compte tenu du matériel utilisé (fiolle jaugée de 250 mL ;  $\Delta V_{f,lec} = \pm 0,15$  mL ;  $\Delta V_{f,sys} = \pm 0,12$  mL et balance  $\Delta m = \pm 0,1$  mg), on obtient : C<sub>m</sub> = 1 248,0  $\pm$  1,8 mg/L.

Nous donnons les résultats d'une manipulation pour laquelle la masse de saccharose pesée est 311,7 mg, ce qui conduit à C<sub>m</sub> = 1 246,8  $\pm$  1,8 mg/L.

### Détermination de la DCO théorique

Équation bilan traduisant la réaction d'oxydation totale du saccharose (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>/CO<sub>2</sub>) par le dioxygène (O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O) :



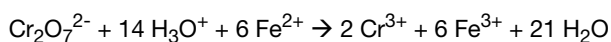
Pour oxyder une mole de saccharose, il faut 12 moles de dioxygène d'où :

$$DCO \text{ théorique} = \frac{12 M_{O_2}}{M_{sac}} C_{sac}$$

avec M<sub>O<sub>2</sub></sub>, la masse molaire du dioxygène (M<sub>O<sub>2</sub></sub> = 32,00 g/mol), M<sub>sac</sub>, la masse molaire du saccharose (M<sub>sac</sub> = 342,30 g/mol) et C<sub>sac</sub>, la concentration massique (mg/L) de la solution de saccharose. Les résultats sont indiqués dans le *tableau II*.

### Détermination du titre de la solution de sel de Mohr

Équation bilan traduisant la réaction de dosage du dichromate de potassium par le sel de Mohr :



La solution de sel de Mohr de titre T est étalonnée par dosage avec une solution de dichromate de potassium (N = 0,250 éq/L et  $\Delta N/N = 0,2$  %). La ferroïne est utilisée comme indicateur coloré. Le volume (V<sub>e</sub>) de solution de dichromate de potassium prélevé est 2,00 mL (ependorf avec combitip de 5 mL [4],  $\Delta V_{ep}/V_{ep} = 0,3$  %). Dans ces conditions, le volume équivalent (V<sub>F</sub>) est 4,96 mL (microburette de 5 mL,  $\Delta V_{b,lec} = \pm 0,01$  mL ;  $\Delta V_{b,sys} = \pm 0,01$  mL).

A l'équivalence,  $T = N V_e / V_F$

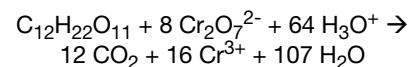
$$\text{avec [7]} : \frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta V_{ep}}{V_{ep}} + \frac{\Delta V_{b,lec}}{V_F} + \frac{\Delta V_{b,sys}}{V_F},$$

$$\text{soit } \frac{\Delta T}{T} = 0,91 \%$$

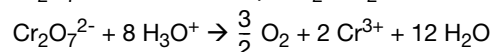
On obtient T = 0,101  $\pm$  0,001 éq/L.

### Détermination de la DCO expérimentale par dosage avec la solution de sel de Mohr

Équation bilan traduisant la réaction d'oxydation totale du saccharose par le dichromate de potassium :

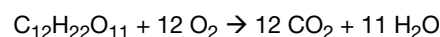


Équation bilan traduisant la réaction de production du dioxygène à partir du couple Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>/Cr<sup>3+</sup> et du couple H<sub>2</sub>O/O<sub>2</sub> :



Compte tenu des coefficients stœchiométriques, pour une mole de dichromate qui réagit réellement avec le saccharose, il faut considérer la réaction de  $\frac{3}{2}$  moles de dioxygène pour la réaction fictive d'oxydation.

En combinant ces deux équations bilans, on obtient celle traduisant la réaction d'oxydation du saccharose par le dioxygène :



Pour démontrer la relation (1), il faut se rappeler qu'une solution molaire en dichromate est 6 éq/L (Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup> + 14 H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> + 6 e<sup>-</sup>  $\rightleftharpoons$  2 Cr<sup>3+</sup> + 21 H<sub>2</sub>O).

V<sub>0</sub>T est le nombre d'équivalents dans la solution de dichromate initialement présente dans le tube. V<sub>i</sub>T est le nombre d'équivalents dans la solution de dichromate présente dans le tube i après réaction. Donc (V<sub>0</sub> - V<sub>i</sub>)T est le nombre d'équivalents qui a réagi avec le saccharose, ce qui représente (V<sub>0</sub> - V<sub>i</sub>)T  $\frac{1}{6}$  moles de dichromate soit  $\frac{3}{2}$  (V<sub>0</sub> - V<sub>i</sub>)T  $\frac{1}{6}$  moles de dioxygène consommées. La masse molaire du dioxygène M<sub>O<sub>2</sub></sub> est 32 000 mg/mol, donc la masse de dioxygène consommée est  $\frac{3}{2}$  (V<sub>0</sub> - V<sub>i</sub>)T  $\frac{1}{6}$  M<sub>O<sub>2</sub></sub>. Ainsi, la DCO est  $\frac{3}{2}$  (V<sub>0</sub> - V<sub>i</sub>)T  $\frac{1}{6}$  M<sub>O<sub>2</sub></sub>  $\frac{1}{V}$  si V est le volume de solution de saccharose analysé (V = 2.10<sup>-3</sup> L dans notre cas). En exprimant la DCO en mg O<sub>2</sub>/L, on retrouve la relation (1)  $\frac{8000(V_0 - V_i)T}{V}$ .

$$\text{avec } \frac{\Delta DCO}{DCO} = \frac{\Delta M_{O_2}}{M_{O_2}} + \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta V_{b,sys}}{V_F} + 2 \frac{\Delta V_{b,lec}}{V_0 - V_i} + \frac{\Delta V_{b,lec}}{V_F}$$

Les résultats sont indiqués dans le *tableau II*.

En traçant le graphe de la DCO expérimentale en fonction de la DCO théorique (*figure 4*), on obtient une droite d'équation DCO expérimentale = 0,9754 (DCO théorique) ; ce qui indique que dans les conditions de l'expérience, l'oxydation du saccharose est quasi totale. Le faible écart par rapport à la bissectrice est probablement dû à la présence d'une petite quantité d'eau dans le saccharose solide.

### Détermination de la DCO expérimentale par dosage spectrophotométrique

La droite d'étalonnage A = 4,72710<sup>-4</sup> (DCO théorique) est obtenue en utilisant l'absorbance des tubes 0, 1, 2, 3 et 4 (*figure 5*). L'absorbance du tube 5 contenant la solution inconnue est 0,405 ; la DCO théorique de cette solution inconnue est donc 856,8 mgO<sub>2</sub>/L, soit une concentration en saccharose de 763,8 mg/L.

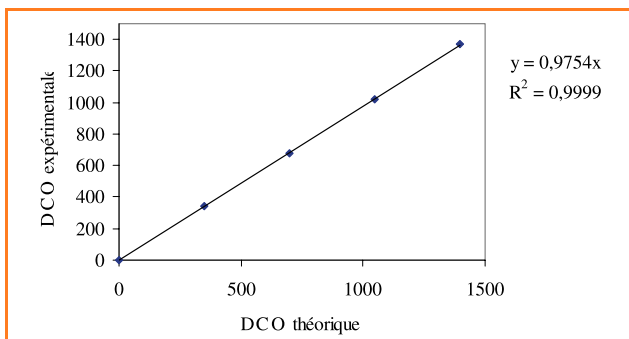


Figure 4 - DCO expérimentale = f (DCO théorique).

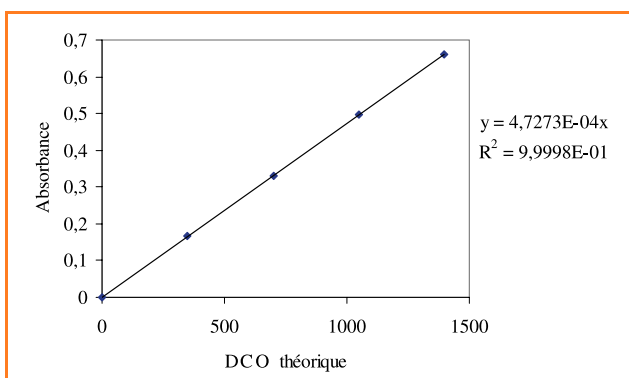


Figure 5 - Absorbance = f (DCO théorique).

### Comparaison des résultats

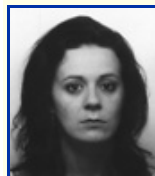
La concentration de la solution inconnue est  $753,0 \pm 1,3$  mg de saccharose/L, soit une DCO théorique de  $844,7 \pm 1,5$  mgO<sub>2</sub>/L.

Par dosage avec la solution de sel de Mohr, la DCO expérimentale obtenue est  $823,0 \pm 13,0$  mgO<sub>2</sub>/L, soit une DCO théorique de 843,8 mgO<sub>2</sub>/L. Ce résultat est en accord avec la valeur réelle.

Par dosage spectrophotométrique, la DCO théorique obtenue est 856,8 mgO<sub>2</sub>/L. Ce résultat [8] est en accord avec la valeur réelle, l'écart est inférieur à 1,5 %.

### Notes et références

- [1] Les eaux résiduaires pouvant poser des problèmes d'hygiène et de conservation, les étudiants utilisent une eau artificiellement polluée par du saccharose. Ce composé non toxique est facilement oxydable.
- [2] AFNOR NFT 90-101 (octobre 1988).
- [3] Le port des lunettes de protection est obligatoire, l'enseignant vérifie la fermeture des tubes avant le chauffage. Le tube commercial contenant les réactifs sert aussi de cuve pour les mesures d'absorbance.
- [4] Eppendorf et combitip : le combitip est une seringue en plastique fixée à un auxiliaire de pipetage appelé eppendorf (multipipette 4780 de marque eppendorf) qui déplace le piston d'un volume pré-réglé. Ce matériel permet de réaliser un prélèvement rapide et précis (absence d'erreur de lecture, l'erreur relative donnée par le fabricant est égale à 0,3 %).
- [5] Les étudiants doivent répondre à ces questions lorsqu'ils préparent le TP. Le numéro de la question correspond au numéro du paragraphe sur lequel elle porte.
- [6] Eaton A.D., Clesceri L.S., Greenberg A.E., *Standard methods for the examination of water and wastewater*, American Public Health Association, Washington, 1995.
- [7] Taylor J., *Incertitudes et analyse des erreurs dans les mesures physiques*, Dunod, Paris, 2000.
- [8] L'analyse des erreurs sur les mesures d'absorbance est plus délicate et n'est pas effectuée pendant le TP.



K. Loubière

**Karine Loubière** et **Hassen Benbelkacem** sont ATER, **Jean-Noël Foussard**<sup>1</sup> est maître de conférence et **Stéphane Mathé**<sup>2</sup> est professeur agrégé à l'INSA de Toulouse\*.



H. Benbelkacem



J.-N. Foussard

\* Laboratoire d'ingénierie des procédés de l'environnement, Département de génie des procédés industriels, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 135 avenue de Rangueil,



S. Mathé

31077 Toulouse Cedex 4.

<sup>1</sup> Tél. : 05 61 55 97 65

Courriel : jean-noel.foussard@insa-toulouse.fr

<sup>2</sup> Tél. : 05 61 55 97 69.

Courriel : stephane.mathe@insa-toulouse.fr

Novembre- décembre 2004 : numéro spécial

## Le chimiste et le profane

Partager,  
dialoguer,  
communiquer,

vulgariser,  
enseigner...

Retrouvez *L'Actualité Chimique* et la SFC en ligne : <http://www.sfc.fr>