

Fraicheur du lait

- **Niveau** : première STL-SPC ou autres.
- **Durée indicative** : trois séquences. Les deux premières de trois heures chacune, la dernière de 1 heure en alternant classes virtuelles et travail individuel de l'élève.
- **Extrait du programme de** : spécialité PC de la première STL-SPCL

THEME : analyses physico-chimiques.

Notions et contenus	Capacités exigibles
<p>Dosages directs par titrage (l'équation de la réaction support étant donnée et supposée totale).</p>	<p>Définir l'équivalence lors d'un dosage.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Déterminer les concentrations des espèces présentes dans le milieu réactionnel au cours du dosage en utilisant éventuellement un tableau d'avancement. - Déterminer la valeur de la concentration d'une solution inconnue. - Déterminer le volume à l'équivalence en exploitant une courbe de dosage pH-métrique. - Estimer une valeur approchée de pK_a par analyse d'une courbe de dosage pH-métrique. <p>Capacités expérimentales :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estimer la valeur du volume à l'équivalence. • Réaliser un dosage pH-métrique. • Exploiter les incertitudes-types, obtenues par une évaluation de type A, pour comparer un dosage pH-métrique et un dosage avec indicateur coloré. • Capacités numériques : tracer une courbe de dosage pH-métrique et déterminer le volume à l'équivalence à l'aide d'un logiciel

▪ **Matériel**

- Un terminal avec une suite bureautique
- Une liaison internet
- Une plate-forme d'échanges à définir par le professeur dans le cadre du respect du règlement général sur la protection des données (RGPD).

▪ **Avertissement**

Chacune des trois séquences est reliée à la résolution d'une tâche. Chaque tâche a pour support **une situation expérimentale authentique** correspondant à un lait différent à chaque fois.

▪ **Proposition de déroulement des séquences 1 et 2 suivant le même scénario.**

> **Avant la séance** : le professeur communique le document élève (tout ou partie de ce document) et d'une répartition par ateliers de trois/ quatre élèves.

> **Pendant la première classe virtuelle**

- **Contextualisation** : déterminer la fraîcheur d'un lait
- **Situation déclenchante** : observer une courte vidéo de 10 minutes
- **Mise en activité des élèves** : la première CV, de 30 minutes, consiste pour le professeur à expliciter la tâche 1. Les élèves sont alors invités à consulter individuellement les documents proposés, à rechercher des informations nécessaires (Par exemple sur l'acide lactique) pour construire un brouillon (Une carte mentale ou une feuille de route par exemples) présentant leur stratégie de résolution, puis de l'échanger via leur messagerie avec les autres élèves de leur atelier.

> **Pendant la deuxième classe virtuelle**

- **Mise en activité des élèves** : les élèves sont répartis en atelier et le professeur "se déplace d'atelier en atelier" durant une heure.
- **Interactions enseignants / élèves** : dans les ateliers. La classe virtuelle peut se terminer par une synthèse présentée à tous.

> **Après la deuxième classe virtuelle** : les élèves sont invités à finaliser individuellement leur compte-rendu et à le présenter à la date indiquée au professeur.

▪ **Proposition de déroulement de la séquence 3**

Celle-ci faisant suite aux deux précédentes, la principale difficulté réside à nouveau dans le calcul d'incertitude, néanmoins nécessaire dans toute activité impliquant une mesure.

Une séance en classe virtuelle de 20 minutes, pour les élèves qui le souhaitent, peut être proposée.

Éléments de correction de la tâche 1

Fraicheur d'un lait

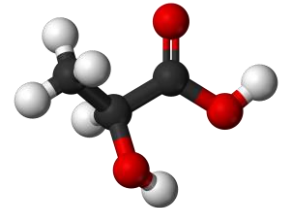
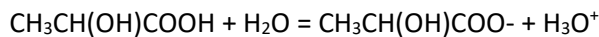
Problématique possible :

« Comment le degré Dornic permet-il d'évaluer la fraicheur d'un lait ? »

Introduction sur l'acide lactique :

La structure de l'acide lactique a été établie par Johannes Wislicenus en 1873. C'est un acide carboxylique hydroxylé, de formule brute $C_3H_6O_3$.

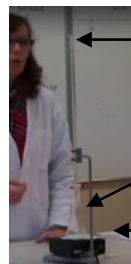
L'acide lactique est soluble dans l'eau et considéré comme un acide faible de $pK_a = 3,90$. C'est-à-dire que la réaction de dissociation dans l'eau conduisant à l'anion lactate n'est pas totale :



<http://www.societechimiquedefrance.fr/Acide-lactique.htm>

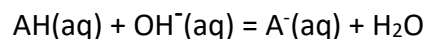
La masse molaire de l'acide lactique a pour valeur $90,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

1. Montage mis en œuvre.



- ← Burette contenant la solution titrante d'hydroxyde de sodium de concentration molaire C_b de valeur égale à $\frac{1}{9} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
- ← Erlenmeyer contenant 10,0 mL de lait avec quelques gouttes de phénolphaléine + un barreau aimanté
- ← Agitateur magnétique

2. Equation support du dosage :



A l'équivalence, $n_{AH} = n_{OH^-(versé)} = V_{Eq} \cdot C_b$ pour 10,00 mL de lait

3. Détermination du degré Dornic de ce lait

Première proposition de résolution	Deuxième proposition de résolution
<p>À l'équivalence, $n_{AH} = n_{OH^-(versé)} = V_{Eq} \cdot C_b$ pour 10,00 mL de lait</p> <p>Donc : $m_{AH} = n_{AH} \cdot M_{AH} = V_{Eq} \cdot C_b \cdot M_{AH}$ (2) pour 10,00 mL de lait</p> <p>Donc d'après et la définition du degré Dornic : Pour 1L de lait : $m = 100 \times m_{AH} = 100 \times n_{AH} \cdot M_{AH}$ $m = 100 \times V_{Eq} \cdot C_b \cdot M_{AH}$ $m = 100 \times 1,70 \cdot 10^{-3} \times \frac{1}{9} \times 90,00 = 1,70 \text{ g pour 1 L de lait}$ Donc $D = 17,0 \text{ }^\circ\text{D}$</p>	<p>À l'équivalence, comme $n_{AH} = n_{OH^-(versé)}$ $C_{AH} \cdot V_{lait} = C_b \cdot V_{Eq}$</p> <p>La concentration en masse en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ de l'acide lactique est donc :</p> $\rho_{AH} = C_{AH} \cdot M_{AH} = C_b \cdot \frac{V_{eq}}{V_{lait}} \cdot M_{AH} = \frac{1}{9} \times \frac{1,70}{10,0} \times 90,0 = 1,7 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ <p>Or, 1 degré Dornic correspond à $0,1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ d'acide lactique, donc pour le lait étudié on a : $D = 17,0 \text{ }^\circ\text{D}$</p>

Nous discuterons plus loin de la signification à donner à la valeur de la concentration molaire de la base Dornic à $\frac{1}{9} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

4. Travail sur les incertitudes.

Comme le degré Dornic s'exprime comme :

$$D = 10 \cdot \rho_A = 10 \cdot C_b \cdot \frac{V_{eq}}{V_{lait}} \cdot M_{AH}$$

$$u_D = D \sqrt{\left(\frac{u_{Cb}}{Cb}\right)^2 + \left(\frac{u_{Veq}}{Veq}\right)^2 + \left(\frac{u_{lait}}{V_{lait}}\right)^2 + \left(\frac{u_M}{M}\right)^2}$$

Quelques hypothèses raisonnables sont données ci-après.

- **L'incertitude-type u_{Cb}** sera estimée lors des informations données lors de la première classe virtuelle. Le professeur peut alors annoncer que la technicité des agents permet de prévoir que la valeur de u_{Cb} sera de l'ordre de $0,0005 \text{ mol.L}^{-1}$ pour une valeur de C_b (laconiquement indiquée dans la vidéo comme égale à $1/9 \text{ mol.L}^{-1}$) de $0,1111 \text{ mol.L}^{-1}$. Ces indications sont en cohérence avec celles données par le document du GRIESP : une valeur d'incertitude de $0,0003 \text{ mol.L}^{-1}$ pour une valeur de concentration de $0,1000 \text{ mol.L}^{-1}$.
- **L'incertitude-type u_{Veq}** sera estimée avec les indications notées sur une burette standard de 25 mL. Dans le cadre de ce document, il ne sera pas abordé la double lecture qu'impose l'utilisation de la burette : ajustement initial et lecture du volume équivalent. On retient donc une valeur de u_{Veq} égale à 0,05 mL, valeur de la tolérance affichée sur la burette.
- **L'incertitude-type u_{Vlait}** intervient dans le protocole de la prise d'essai. Donc les indications d'une pipette standard de 10 mL sera prise en compte, soit $u_{vp} = 0,02 \text{ mL}$.
- **L'incertitude-type u_M** sera considérée comme négligeable devant les autres valeurs.

$$u_D = D \sqrt{\left(\frac{0,0005}{0,1111}\right)^2 + \left(\frac{0,05}{1,70}\right)^2 + \left(\frac{0,02}{10}\right)^2}$$

Une procédure possible pour faire traiter simplement la propagation des incertitudes aux élèves dans un souci de présenter des apprentissages régulés : reconnaître « le terme prépondérant » sur une notion de facteur 10 par rapport aux autres et alors de négliger les autres. Ainsi, dans ce cadre, on arrive à identifier le terme central comme prépondérant et à simplifier l'expression. On arrive donc à écrire que nous pouvons avoir une estimation de la valeur de u_D par l'expression suivante :

$$u_D = D \sqrt{\left(\frac{0,05}{1,70}\right)^2}$$

$$u_D = D \times \frac{0,05}{1,70} = 17,0 \times \frac{0,05}{1,70} = 0,5 \text{ } ^\circ D$$

$$\text{Donc } D = (17,0 \pm 0,5) \text{ } ^\circ D$$

Pour aller + loin pour les professeurs :

<http://culturesciences.chimie.ens.fr/content/les-incertitudes-de-type-et-b-en-chimie-application-%C3%A0-un-dosage-par-la-m%C3%A9thode-de-mohr>

5. Conclusion

Donc nous pouvons énoncer que D a une grande probabilité d'avoir une valeur comprise entre 16,5°D et 17,5°D. **Donc, nous pouvons énoncer que ce lait peut être considéré comme frais avec un degré Dornic inférieur à 18°D.**

Réponse à la problématique. Le degré Dornic d'un lait permet d'estimer sa fraîcheur. Par ailleurs, la valeur de la concentration de la base Dornic à 1/9 mol.L⁻¹ permet un calcul simplifié pour les techniciens. En effet la masse molaire de l'acide lactique étant de 90 g.mol.L⁻¹ et la prise d'essai normalisé de 10 mL, l'expression $D = 10 \cdot \rho_A = 10 \cdot C_b \cdot \frac{V_{eq}}{V_{lait}} \cdot M_{AH}$ peut se simplifier numériquement :

$$D = 10 \cdot \rho_A = 10 \cdot \frac{1}{9} \cdot \frac{V_{eq \text{ en mL}}}{10} \cdot 90$$

$$D = 10 \cdot V_{eq \text{ en mL}}$$

Analyse critique

1. L'utilisation d'une burette de 25,00 mL pour mesurer une valeur de volume équivalent V_{eq} de 1,7 mL pourrait être substituée par une utilisation d'une « micro burette » de 5 mL.



Pour une telle burette, la tolérance serait de 0,015 mL au lieu des valeurs comprises entre 0,030 mL et 0,050 mL admises pour une burette de 25 mL.

<https://www4.ac-nancy-metz.fr/genie-biologique/Docs/Premi%E8re%20STL-BGB/Fiches%20M%20-%20Verrerie%20et%20mat%E9riel.pdf>

2. Le choix de l'indicateur coloré doit être revisité et ce 'produit' doit donc être substitué.



Remarque : le terme « produit » est polysémique.

3. Par contre, l'utilisation « d'une soude Dornic » ne présente pas de prise de précautions particulières. En effet, cette solution est une solution à 4% en masse. **La fiche de sécurité d'un fournisseur (extrait ci-dessous) indique que les seuils de danger se situent au-delà :**

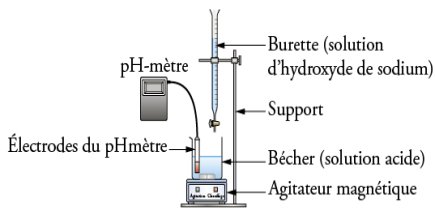
Composant	Classification	Concentration
Sodium hydroxide	Met. Corr. 1; Skin Corr. 1A; Eye Irrit. 2; H290, H314, H319 Limites de concentration: >= 5 %: Skin Corr. 1A, H314; 2 - < 5 %: Skin Corr. 1B, H314; 0,5 - < 2 %: Skin Irrit. 2, H315; 0,5 - < 2 %: Eye Irrit. 2, H319; >= 1 %: Met. Corr. 1, H290;	<= 100 %

Eléments de correction de la tâche 2

Fraicheur d'un lait

Problématique possible : « Peut-on avoir une bonne estimation du degré Dornic d'un lait par un titrage suivi par pH-métrie ? »

1. Montage.



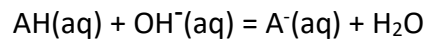
La burette contient la solution titrante d'hydroxyde de sodium de concentration molaire C_b de valeur égale à $0,050 \text{ mol.L}^{-1}$

Le bécher contient 20,0 mL de lait avec 100 mL d'eau distillée

Le pH-mètre est associée à deux électrodes ou à une électrode combinée

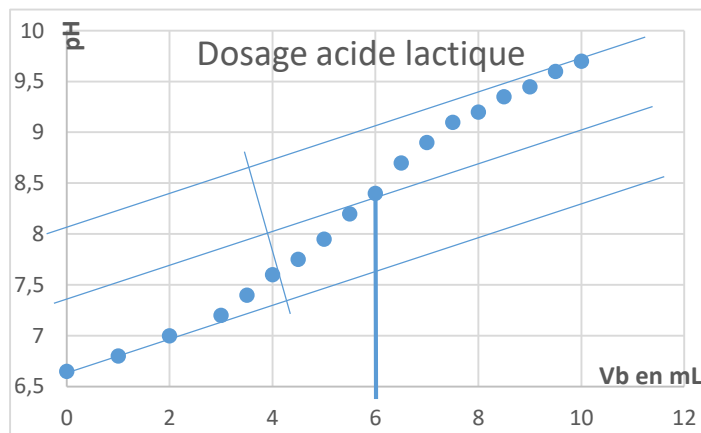
L'agitateur magnétique met en mouvement le barreau aimanté

2. Equation support du dosage :



A l'équivalence, $n_{\text{AH}} = n_{\text{OH}^-(\text{versé})} = V_{\text{Eq}} \cdot C_b$ pour 20 mL de lait. L'ajout d'eau peut se justifier par la nécessité de bien immerger les deux électrodes.

3. Tracé de $\text{pH} = f(V_b)$



On peut donc estimer la valeur de V_{Eq} égale à 6,0 mL.

Nous ne discuterons pas ici de la pertinence d'utiliser la méthode des tangentes dans le cas travaillé.

4. Détermination du degré Dornic de ce lait

Première proposition de résolution

$m_{\text{AH}} = n_{\text{AH}} \cdot M_{\text{AH}} = V_{\text{Eq}} \cdot C_b$ pour 20,0 mL de lait
Donc d'après la définition du degré Dornic :

Pour 1L de lait : $m_{\text{AH}} = 50 \times m_{\text{AH}} = 50 \times n_{\text{AH}} \cdot M_{\text{AH}}$

$$m_{\text{AH}} = 50 \times V_{\text{Eq}} \cdot C_b \cdot M_{\text{AH}}$$

$$D = 10 \times m_{\text{AH}} = 10 \times 50 \times 6,00 \cdot 10^{-3} \times 0,050 \times 90,0$$

$$\text{Donc } D = 13,5 \text{ } ^\circ\text{D}$$

Deuxième proposition de résolution

À l'équivalence, comme $n_{\text{AH}} = n_{\text{OH}^-(\text{versé})}$ on a $C_{\text{AH}} \cdot V_{\text{lait}} = C_b \cdot V_{\text{Eq}}$
La concentration en masse en g.L^{-1} de l'acide lactique est :

$$\rho_A = C_b \cdot \frac{V_{\text{Eq}}}{V_{\text{lait}}} \cdot M_{\text{AH}}$$

$$\rho_A = 0,050 \cdot \frac{6}{20} \cdot 90 = 1,35 \text{ g.L}^{-1}$$

Or, 1 degré Dornic correspond à $0,1 \text{ g.L}^{-1}$ d'acide lactique, donc pour le lait étudié on a : $D = 13,5 \text{ } ^\circ\text{D}$

5. Travail sur les incertitudes.

Comme le degré Dornic s'exprime comme :

$$D = 10 \cdot \rho_A = 10 \cdot C_b \cdot \frac{V_{eq}}{V_{lait}} \cdot M_{AH}$$

$$u_D = D \sqrt{\left(\frac{u_{Cb}}{Cb}\right)^2 + \left(\frac{u_{Veq}}{Veq}\right)^2 + \left(\frac{u_{lait}}{V_{lait}}\right)^2 + \left(\frac{u_M}{M}\right)^2}$$

- **L'incertitude-type u_{Cb}** sera estimée du même ordre de grandeur en % que pour « la base Dornic », la solution étant préparée par les mêmes techniciens. Dans ce cadre, le professeur peut alors annoncer que la technicité des agents permet de prévoir que la valeur de u_{Cb} sera de l'ordre de $0,00025 \text{ mol.L}^{-1}$ pour une valeur de C_b de $0,050 \text{ mol.L}^{-1}$.
- **L'incertitude-type u_{Veq}** sera estimée avec les indications du document du GRIESP :

« Pour un titrage suivi par pH-métrie, $V_{E,\min}$ et $V_{E,\max}$ sont lues sur la courbe de titrage. La variabilité de V_E est essentiellement expliquée par le soin de tracé de la courbe de titrage (lecture des volumes sur la burette graduée au cours du relevé, incertitudes-type des mesures de pH, épaisseur du trait de tracé, choix des échelles). Nous prendrons pour la suite : $V_E = 10,7 \text{ mL}$ $u_{(VE)} = 0,2 \text{ mL}$ »

Nous retenons donc $V_{eq} = 6,0 \text{ mL}$ et $u_{Veq} = \pm 0,2 \text{ mL}$.

- **L'incertitude-type $u_{V_{lait}}$** intervient dans la précision de la mesure de la prise d'essai. Donc les indications d'une pipette standard de 20 mL sera prise en compte, soit $u_{Vp} = 0,02 \text{ mL}$.
- **L'incertitude-type u_M** sera considérée comme négligeable devant les autres valeurs.

$$u_D = D \sqrt{\left(\frac{0,00025}{0,050}\right)^2 + \left(\frac{0,02}{6,00}\right)^2 + \left(\frac{0,02}{20,00}\right)^2}$$

$$u_D = D \sqrt{(0,005)^2 + (0,0033)^2 + (0,001)^2}$$

En menant intégralement le calcul :

$$u_D = D \sqrt{(25 + 11 + 1) \cdot 10^{-6}} = D \sqrt{37 \cdot 10^{-6}} = 13,5 \times 6,1 \cdot 10^{-3} = 0,1^\circ D$$

$$\text{soit } D = (13,5 \pm 0,1)^\circ D$$

6. Conclusion

Donc nous pouvons énoncer que D a une grande probabilité d'avoir une valeur comprise entre $13,49^\circ D$ et $13,51^\circ D$. **Donc, nous pouvons énoncer que ce lait peut être considéré comme frais avec un degré Dornic inférieur à $18^\circ D$.**

Réponse à la problématique. Non seulement, il est possible de déterminer le degré Dornic d'un lait par dosage pH-métrique, mais on peut aussi – dans les conditions retenues à chaque fois – obtenir cette détermination avec une incertitude plus petite que celle obtenue par la méthode dite « méthode Dornic ».

Eléments de correction de la tâche 3

Fraicheur d'un lait

Problématique : " Un lait maintenu hors du frigo pendant une semaine peut-il être consommé ?"

Correction : L'idée est ici d'utiliser les incertitudes de type A, liées à un traitement statistique de résultats de l'ensemble des groupes.

Ce traitement doit être réalisé très simplement en calculant la moyenne, l'écart-type, puis l'incertitude-type, qui permettra d'exprimer correctement le résultat.

Les élèves peuvent être amenés à faire ce type de calcul soit avec leur calculatrice, soit avec un tableur.

Chaque groupe doit calculer la valeur de la concentration qu'il obtient en utilisant l'expression établie lors de la **tâche 2** : $D = 10 \times \rho_A = 10 \times C_b \cdot \frac{V_{eq}}{V_{lait}} \cdot M_{AH} = 10 \times 0,05 \cdot \frac{V_{eq}}{20} \cdot 90$

Résultats :

Groupe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ve _q / mL	11,0	11,0	9,0	9,0	10,2	9,7	9,5	9,4	10,5	11,2
D / °D	24,75	24,75	20,25	20,25	22,95	21,83	21,38	21,15	23,63	25,20

La moyenne calculée est $\bar{D} = 22,614 \text{ °D}$

L'écart-type expérimental est $s_D = 1,898 \text{ °D}$

On rappelle que, sur la calculatrice, il s'agit de l'écart-type noté "s" ou " σ_{n-1} "

Il peut être intéressant à ce stade de rappeler ce que représente la moyenne, et insister sur le fait qu'il faut, en cas de besoin, éliminer les valeurs qui sont très clairement aberrantes. (Par exemple, un volume obtenu de 6,5 mL dans ce cas ci devrait être éliminé, car dû à une erreur de manipulation). La moyenne n'a de sens que pour des méthodes correctement réalisées.

L'écart-type est une mesure de la dispersion de ces valeurs (dûe à la fois à la méthode et aux opérateurs). Sur ce type de méthode, la variabilité due aux opérateurs est prépondérante.

L'incertitude-type se calcule ensuite comme ceci :

$$u(\bar{D}) = \frac{s_D}{\sqrt{n}} = \frac{1,898}{\sqrt{10}} = 0,60 \text{ °D}$$

Le résultat peut alors être exprimé par : $D = (22,6 \pm 0,6) \text{ °D}$

Le lait titré a une teneur vraisemblablement comprise entre 22,0 °D et 23,2 °D : il est donc frelaté.

Réponse à la problématique : un lait maintenu une semaine hors du frigo n'est plus consommable.

On remarque que l'incertitude-type est du même ordre de grandeur que celle calculée lors de la tâche 1. Cela s'explique par des résultats expérimentaux qui ne sont pas de grande qualité (écart de presque 2 mL entre les valeurs minimales et maximales obtenues).

Il peut être intéressant de :

- faire calculer ce même résultat pour d'autres séries de mesures expérimentales de meilleures qualité (et regarder l'effet sur l'incertitude-type)
- mettre en avant le fait que, plus le nombre de résultats est grand, plus faible sera l'incertitude (car augmentation de n).

Grille des compétences de la démarche scientifique

Niveau A : j'y suis parvenu(e) seul(e), sans aucune aide

Niveau B : j'y suis parvenu(e) après avoir obtenu une aide (de mon binôme, d'un autre groupe, de mon professeur)

Niveau C : j'y suis parvenu(e) après plusieurs « coups de pouce »

Niveau D : je n'y suis pas parvenu(e) malgré les différents « coups de pouce »

Compétences	Critères de réussite correspondant au niveau A	A	B	C	D
S'APPROPRIER	<ul style="list-style-type: none"> Énoncer une problématique. Rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée. Représenter la situation par un schéma. 				
ANALYSER RAISONNER	<ul style="list-style-type: none"> Formuler des hypothèses. Proposer une stratégie de résolution. Planifier des tâches. Évaluer des ordres de grandeur. Choisir un modèle ou des lois pertinentes. Choisir, élaborer, justifier un protocole. Faire des prévisions à l'aide d'un modèle. Procéder à des analogies. 				
REALISER	<ul style="list-style-type: none"> Mettre en œuvre les étapes d'une démarche. Utiliser un modèle. Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données etc.). Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité. 				
VALIDER	<ul style="list-style-type: none"> Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance. Identifier des sources d'erreur, estimer une incertitude, comparer à une valeur de référence. Confronter un modèle à des résultats expérimentaux. Proposer d'éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle. 				
COMMUNIQUER	<p>À l'écrit comme à l'oral :</p> <ul style="list-style-type: none"> présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente ; utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés ; échanger entre pairs. 				