

GUIDE MÉTHODOLOGIQUE DES SCIENCES DE LA NATURE



TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
LÉGENDE	2
SECTION 1 GUIDE DE RÉOLUTION DE PROBLÈMES	3
1.1 SE METTRE EN SITUATION	3
1.2 SE METTRE EN SITUATION	3
1.3 RÉALISER LES ÉTAPES DU PLAN	4
1.4 REVENIR SUR LA SOLUTION ET LA RÉPONSE	4
1.5 EXEMPLE DE PROBLÈME RÉSOLU EN BIOLOGIE	5
1.6 EXEMPLE DE PROBLÈME RÉSOLU EN CHIMIE	7
1.7 EXEMPLE DE PROBLÈME RÉSOLU EN PHYSIQUE	8
SECTION 2 LE RAPPORT DE LABORATOIRE	12
2.1 PAGE DE TITRE	13
2.2 INTRODUCTION	13
2.3 MATÉRIEL ET SCHÉMA DE MONTAGE	13
2.4 DÉROULEMENT DE L'EXPÉRIENCE	13
2.5 DONNÉES	13
2.6 TRAITEMENT DES DONNÉES	13
2.7 ANALYSE OU DISCUSSION	14
2.8 CONCLUSION	14
2.9 BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES	15
SECTION 3 LES GRAPHIQUES, LES TABLEAUX ET LES DESSINS	16
SECTION 4 L'INCERTITUDE D'UNE MESURE	25
4.1 L'INCERTITUDE	25
4.2 LES CHIFFRES SIGNIFICATIFS	27

Introduction

Ce guide méthodologique s'adresse à l'ensemble des étudiantes et des étudiants du programme des Sciences de la nature.

L'idée de produire un tel guide a germé lors d'une journée pédagogique tenue en janvier 1991. Nous avons alors profité de cet événement pour nous mettre d'accord sur la teneur des apprentissages qu'il te fallait réaliser, afin de passer plus facilement à l'université ou sur le marché du travail. De ces discussions, deux contenus majeurs ont émergé. Le premier consiste en une technique efficace de résolution de problèmes, tandis que le second vise une amélioration de ta méthode de travail.

Afin de rendre non équivoque la démarche vers la réalisation de ces apprentissages, nous avons dû consentir à uniformiser nos pratiques. Ce guide méthodologique en témoigne, puisqu'il est le fruit d'une concertation interdisciplinaire (biologie, chimie, physique).

Tu trouveras dans ce document quatre sections: un *guide de résolution de problèmes* pour te dépanner si tu as des difficultés à structurer une solution, une aide à la rédaction d'un *rapport de laboratoire*, un ensemble de recommandations à suivre pour construire adéquatement des *graphiques et des tableaux* et finalement, un aide-mémoire portant sur *les erreurs et l'incertitude* liées à la mesure.

Nous tenons à remercier Louise Bibeau, Robert Bradley, Sophie Dorais, Renée Lamy et Pierre Lussier, du cegep André-Laurendeau, qui nous ont autorisé à utiliser leur «*Complément au guide méthodologique*» afin de l'adapter à nos besoins.

Nous te souhaitons de découvrir dans ce guide les outils nécessaires à la résolution de plusieurs de tes problèmes.

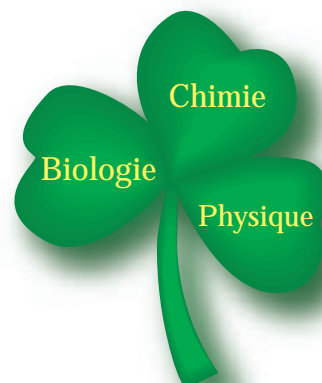
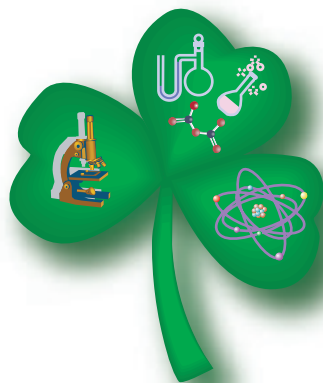
Bon succès au terme de ce trimestre!

Les enseignantes et les enseignants
du département des
Sciences de la nature.

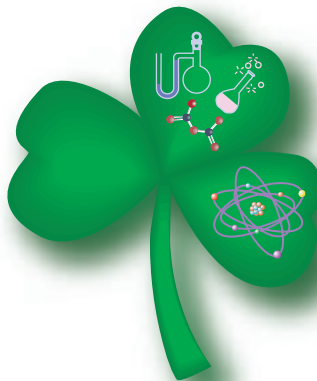
Légende

Comme ce Guide méthodologique s'adresse à des élèves suivant des cours de concentration dans trois disciplines distinctes et que certains éléments du présent texte sont plus particulièrement appropriés à l'une ou l'autre de ces disciplines, chaque partie du Guide méthodologique sera identifiée par un sigle devant indiquer quelles disciplines sont plus spécifiquement concernées.

Par exemple, le sigle suivant indiquera que toutes les disciplines sont concernées:



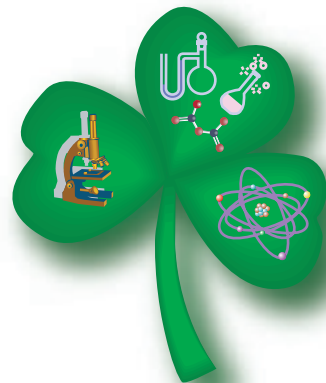
De façon analogue, le sigle suivant indiquera que seules les disciplines chimie et physique sont concernées:



Tu pourras, nous l'espérons, aller ainsi directement vers l'information la plus pertinente.

Section 1 Guide de résolution de problèmes

En sciences, les exercices et les examens ne sont généralement pas de type objectif, la majorité des questions sont des questions à développement. Nous avons choisi cette forme de questions parce que nous croyons celle-ci nécessaire à l'amélioration de tes habiletés d'écriture et de raisonnement scientifique. Ne sois donc pas surpris si ce n'est pas seulement la réponse qui est évaluée mais bien l'ensemble de ton raisonnement. En ce sens, nous insistons sur le fait que tu devrais toujours écrire des solutions claires et détaillées.



Il y a quatre étapes principales dans la résolution d'un problème: il faut (1) se mettre en situation, (2) organiser ses idées, (3) réaliser les étapes du plan et (4) revenir sur la solution et la réponse.

1.1 Se mettre en situation

À cette étape,

- d'abord reste calme, si on te donne un problème à résoudre, c'est justement parce qu'on sait que tu peux le résoudre;
- lis attentivement le problème;
- identifie les différents éléments du problème: repère les mots-clés, distingue les données pertinentes et les données non pertinentes, détermine ce que tu cherches;
- dans certains cas, il serait opportun de faire un dessin, diagramme ou schéma où seront représentés les différents éléments du problème identifié en c);
- identifie à quelle loi, à quel concept se réfère le problème, et lis les sections du volume de base qui se réfèrent à cette loi, à ce concept;
- pose-toi certaines questions comme: «Ai-je déjà résolu un problème semblable?», «Puis-je utiliser sa solution ou une partie de celle-ci pour résoudre le problème?».

1.2 Se mettre en situation

Pour résoudre un problème, établis un lien entre les données et l'inconnue. Si le problème est complexe, de sorte que le lien n'est pas évident, conçois un plan, par exemple en te posant des questions comme: «Puis-je morceler le problème?», «Puis-je le séparer en plusieurs parties plus faciles à résoudre?», «Qu'est-ce que je peux déjà déduire des données identifiées à l'étape précédente?». Un plan c'est simplement une démarche à suivre pour trouver ce lien. Il est important de voir qu'à ce stade les étapes du plan n'ont pas encore été réalisées. Contente-toi de planifier l'ensemble des opérations à effectuer.

1.3 Réaliser les étapes du plan

Au moment de la réalisation, il peut arriver que des étapes prévues dans le plan pour la résolution du problème ne produisent pas les résultats escomptés, qu'elles n'apparaissent pas dans le bon ordre, ou encore qu'elles soient trop longues ou complexes. Le moment de la réalisation est donc aussi celui de l'adaptation du plan, le moment où tu replaces les étapes dans un ordre plus logique ou fonctionnel, où tu sépare en nouvelles étapes les étapes trop longues ou trop complexes, etc.

Les problèmes comportant deux parties suscitent tout particulièrement ton attention.

Lors d'un examen, as-tu déjà été pénalisé deux fois pour une seule erreur dans le même problème? Cette possibilité survient dans tout problème où le résultat de la première partie est utilisé dans la deuxième. Si tu constates que tu ne peux pas compléter la deuxième partie d'un problème parce que tu es incapable de terminer la première partie, tu peux écrire cette note:

« Je ne peux compléter la première partie du problème.
Je suppose une réponse plausible pour la première
partie de telle sorte que je puisse faire la deuxième
partie en utilisant cette donnée.»

Le professeur pourra alors juger si tu sais comment faire la deuxième partie et ainsi, t'octroyer une fraction des points.

1.4 Revenir sur la solution et la réponse

Après avoir complété la solution d'un problème, tu dois toujours revenir sur la solution et la réponse afin de juger si la solution est correcte et si la réponse est plausible ou vraisemblable et aussi pour savoir si elle pourrait servir pour un autre problème.

En sciences, plusieurs problèmes font référence à des situations réelles où les réponses doivent être « plausibles » ou « vraisemblables ». Par exemple, une mesure de longueur, de temps ou de pH ne peut être négative, ou encore un nombre d'objets ne peut être fractionnaire. Dans ce sens, vérifie avant toute chose si ta réponse est plausible ou vraisemblable.

Si elle ne l'est pas, tu devrais procéder comme suit:

- ⇒ Si la réponse est beaucoup trop grande ou beaucoup trop petite, vérifie la position de la virgule dans les différents nombres décimaux employés.
- ⇒ Si la réponse est négative alors qu'elle devrait être positive, vérifie toutes les étapes de la solution où des nombres positifs et des nombres négatifs sont combinés au moyen des opérations arithmétiques d'addition, de soustraction, de division ou de multiplication.
- ⇒ finalement, vérifie dans les formules si les différentes variables ont été remplacées par les bonnes valeurs.

1.5 Exemple de problème résolu en biologie

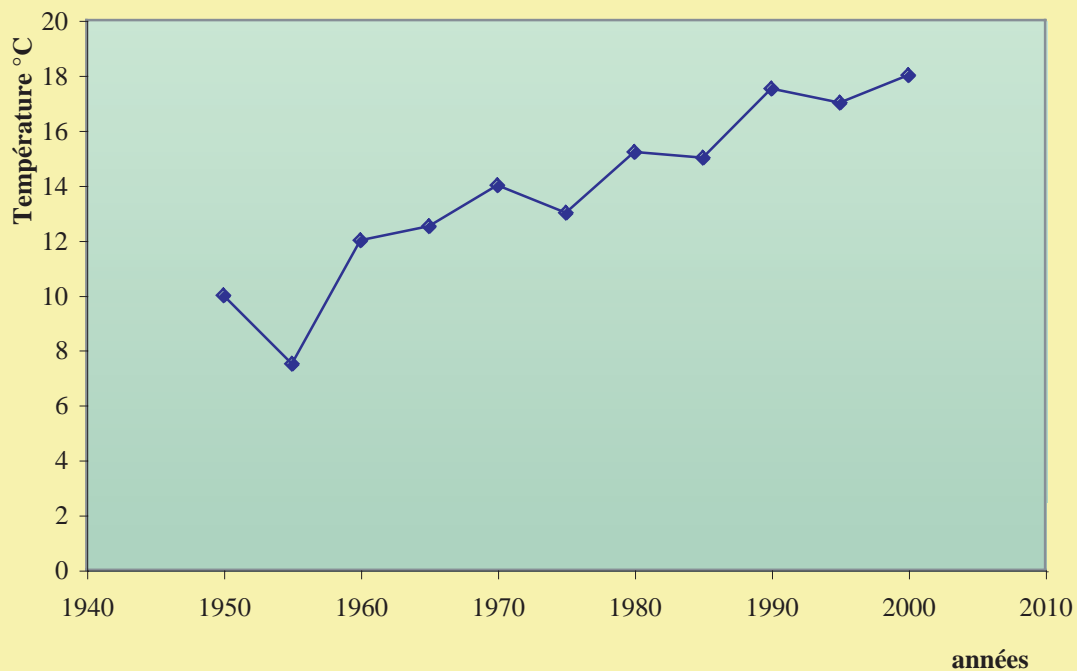
Depuis le début du siècle, les forêts ont reculé de façon très importante sur tous les continents. De plus, le processus de déforestation s'accélère encore avec la destruction de la forêt tropicale et la coupe à blanc des grandes forêts boréales.

Pendant cette période, on a de plus en plus utilisé les combustibles fossiles à des fins industrielles et de transport.

Récemment, les scientifiques ont noté une augmentation significative de la température terrestre et on s'attend à une poursuite de ce phénomène dans les années à venir.



**Évolution de la température terrestre moyenne depuis 50 ans
(ces valeurs sont fictives)**



Comment expliques-tu ce phénomène ?

Solution

1° Se mettre en situation

- ◇ Les mots clés: déforestation, augmentation de la combustion, augmentation de la température terrestre.
- ◇ Ce que tu cherches: le lien entre la déforestation et l'augmentation de la température terrestre.

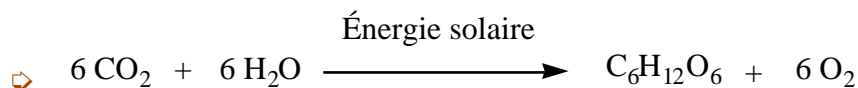
2° Organiser ses idées

- Qu'est-ce que je sais sur le rôle de la forêt et des arbres?
- Quel est le résultat de la combustion?
- Quels liens y a-t-il entre les combustibles fossiles et la forêt?

3° Réaliser les étapes du plan

a) Le rôle de la forêt et des arbres

- ◇ Grande capacité de photosynthèse à cause d'une grande surface foliaire.



- ◇ Donc les feuilles de la forêt utilisent du CO_2 et produisent de l' O_2 .
- ◇ Rôle important dans le cycle de l'eau: les feuilles font de l'évapotranspiration.
- ◇ Protège le sol contre l'assèchement.
- ◇ Retient le sol, empêche l'érosion.

b) Combustion

- ◇ Les combustibles fossiles sont d'anciens vivants partiellement décomposés (ex.: forêt qui s'est transformée en pétrole).
- ◇ La combustion libère du CO_2 et nécessite de l' O_2 ;
combustible + $\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{énergie}$.

c) Liens entre les combustibles fossiles et la forêt

- ◇ Plus on brûle des combustibles fossiles, plus on libère du CO_2 .
- ◇ L'accumulation du CO_2 dans l'atmosphère empêche les rayons solaires de retourner dans l'atmosphère. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre. Il y a alors une augmentation de la température terrestre.
- ◇ Si on enlève la forêt, il y a moins de photosynthèse et moins d'utilisation du CO_2 .

Revenir sur la solution et la réponse

- Le CO_2 augmente dans l'atmosphère parce que:
 - ◇ Il y a une plus grande consommation de combustibles fossiles;

⇒ il y a moins de forêt; donc, il y a diminution de la photosynthèse et moins *d'utilisation* et de transformation du CO₂ par la végétation.

b) La conséquence de cette accumulation de CO₂ est l'effet de serre qui provoque une augmentation de la température terrestre.

1.6 Exemple de problème résolu en chimie

On mélange 3,50 litres de solution de NaCl 0,100 mol/L et 6,50 litres de solution de NaCl 0,200 mol/L. Calcule la concentration molaire volumique de la solution résultante.

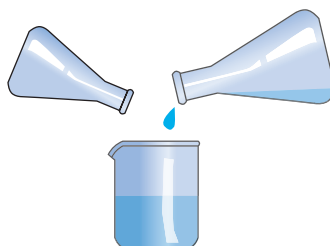
Solution

1° Se mettre en situation

Soluté = NaCl

Solvant = H₂O

Solution = NaCl dans H₂O



Solution ① 3,50 litres à 0,100 mol/L

Solution ② 6,50 litres à 0,200 mol/L

Solution résultante = Solution ① + Solution ②

$$\text{Concentration molaire volumique} = \frac{\text{nombre de mole(s)}}{\text{volume de la solution en litre(s)}}$$

2° Organiser ses idées

J'ai donc besoin du nombre total de mole(s) et du volume total dans la solution finale.

3° Réaliser les étapes du plan

⇒ Calcul du nombre de mole(s) dans chacune des solutions initiales:

$$\text{Solution } \textcircled{1} \quad \frac{0,100 \text{ mole}}{1 \text{ litre}} = \frac{n_1}{3,50 \text{ litres}} \quad n_1 = 0,350 \text{ mole}$$

Solution ② $\frac{0,200 \text{ mole}}{1 \text{ litre}} = \frac{n_2}{6,50 \text{ litres}} \quad n_2 = 1,30 \text{ mole}$

- ◇ Calcul du nombre total de mole:
 $n_{\text{NaCl}} = 0,350 + 1,30 = 1,65 \text{ mole}$
- ◇ Calcul du volume total:
 $3,50 \text{ L} + 6,50 \text{ L} = 10,00 \text{ L}$
- ◇ Calcul de la concentration molaire volumique:

4° Revenir sur la solution et la réponse

Est-ce que c'est plausible? Oui. Donc la concentration de la solution résultante est de 0,165 mol/litre.

1.7 Exemple de problème résolu en physique

Un ouvrier travaillant seul sur un échafaudage désire acheminer un chargement de 55 kg jusqu'en haut de l'échafaudage. À cette fin, il peut utiliser une poulie



légère fixée au toit et un câble à l'extrémité duquel la charge est attachée. Son stratagème consiste à se jeter dans le vide en tenant l'autre extrémité du câble. Compte tenu qu'il pèse 65 kg, quelles seront la tension dans le câble et l'accélération de l'ouvrier?

Solution

1° Se mettre en situation

Nous cherchons l'accélération de l'ouvrier et la tension dans le câble. Et nous connaissons la masse des deux objets qui vont se retrouver suspendus au câble. Nous serions portés à penser que la tension dans le câble sera égale au poids de la charge. Mais à bien y penser, nous pourrions aussi supposer qu'elle sera égale au poids de l'ouvrier. Devons-nous faire la moyenne? Sûrement pas! Dans un problème où les forces provoquent une accélération, il faut se servir de la deuxième loi de Newton.

2° Organiser ses idées

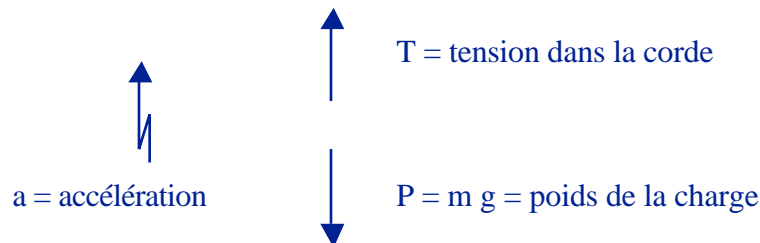
Cette loi requiert une approche détaillée. Après avoir isolé chacun des corps sur lesquels nous allons l'appliquer (la charge et l'ouvrier), nous tracerons un *diagramme des forces* pour chaque cas. Ensuite, nous pourrons utiliser la formule bien connue:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

...où «F» représente la force agissant sur un corps, «m» sa masse et «a» son accélération. Après cela, nous poserons pour chacun des corps, la somme de ces forces égale à «m a». À l'aide de ces deux équations nous pourrons alors trouver la valeur de nos deux inconnues.

3° Réaliser les étapes du plan

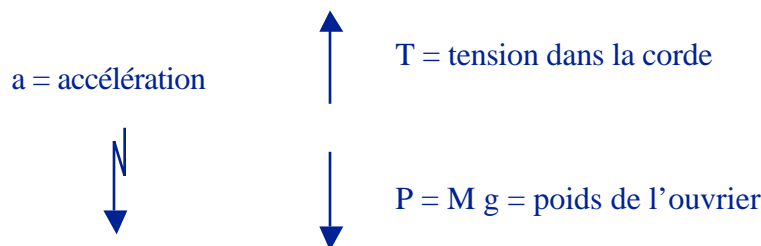
Isolons le premier corps, c'est-à-dire la charge.



L'accélération de la charge est vers le haut, et celle-ci ne peut monter que si les forces sont *inéga*les au départ. La somme des forces n'est donc pas zéro. Appelons «m» la charge de 55 kg; en considérant que le sens de l'accélération nous donne la direction positive des forces, nous obtenons notre première équation.

$$(1) \quad T - mg = ma$$

Regardons maintenant ce qui se passe du côté de l'ouvrier.



Son accélération sera évidemment vers le bas, et il faut donc que son poids (Mg où M vaut 65 kg) soit plus grand que la tension. Nous pouvons poser:

$$(2) \quad Mg - T = Ma$$

Et voici notre deuxième équation!

Tout à coup, un doute nous assaille: sommes-nous bien sûrs que la tension est la même pour les deux situations? La corde n'exerce-t-elle pas une tension T_1 sur la charge et T_2 sur l'ouvrier? Hum!... Toute la solution peut s'avérer fautive à cause de cette décision! Qu'arriverait-il du point de vue de nos équations si c'était le cas?

Eh bien, on aurait une inconnue de trop (T_1, T_2 et a) ou encore il manquerait une équation. Comme il n'y a qu'une seule corde, il se peut fort bien qu'il n'y ait qu'une seule tension: $T_1 = T_2$. En plus, le prof a dit qu'une poulie ne modifiait pas la tension dans une corde, sauf s'il y avait de la friction ou si sa masse n'était pas négligeable. Donc, tout va bien: continuons!}

Il faut maintenant résoudre deux équations comportant deux inconnues. Isolons d'abord la valeur de T dans l'équation (1). Nous obtiendrons:

$$(3) \quad T = mg + ma$$

Substituons cette expression pour T dans l'équation (2):

$$Mg - \{mg + ma\} = Ma$$

En regroupant les termes, on obtient:

$$g(M - m) = a(M + m)$$

$$(4) \quad a = g \frac{(M - m)}{(M + m)}$$

$$a = (9,8 \text{ m/s}^2) \frac{(65 \text{ kg} - 55 \text{ kg})}{(65 \text{ kg} + 55 \text{ kg})}$$

$$a = 0,82 \text{ m/s}^2$$

Arrivés ici, il nous reste à remplacer « a » par sa valeur dans l'équation (3) pour trouver la tension:

$$T = 584 \text{ N}$$

4• Revenir sur la solution et la réponse

À cette étape, nous pouvons nous demander s'il est plausible que l'accélération soit de $0,82 \text{ m/s}^2$. Compte tenu que l'ouvrier est plus lourd que la charge et qu'il s'accroche au câble, nous devrions nous attendre à ce qu'il accélère vers le bas, mais pas aussi vite qu'en chute libre. Donc, nous nous attendons à $0 < a < 9,8 \text{ m/s}^2$.

Maintenant, regardons l'équation (4) qui nous a permis de calculer la valeur de l'accélération et vérifions si elle nous fournit des valeurs plausibles. Qu'arriverait-il par exemple si la charge était nulle ($m = 0$)? En remplaçant dans (4), on trouve $a = g$. Est-ce logique? Bien sûr, puisque si la charge est nulle, cela signifie que l'ouvrier s'élance dans le vide en se raccrochant à un câble qui n'est relié à *rien*.

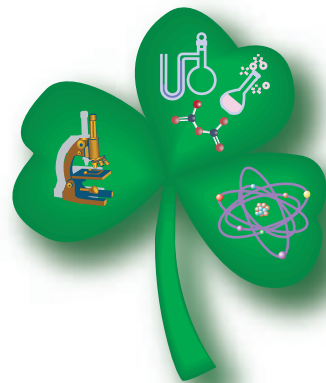
De la même manière, on peut vérifier dans l'équation (4) que lorsque les deux masses sont égales, l'accélération s'annule (car la vitesse de descente est alors constante). Enfin, lorsque la masse de la charge est très grande par rapport à celle de l'ouvrier ($m \rightarrow \infty$), alors la charge tombe en chute libre et l'ouvrier remonte. En effet, en remplaçant dans (4), on trouve:

On voit donc que notre équation prédit les bonnes quantités dans des cas extrêmes. Quant à la tension dans le câble, elle est intermédiaire entre les 539 N de la charge et les 637 N de l'ouvrier, *mais elle n'est pas égale à la moyenne*. Tout cela nous donne une bonne dose d'assurance quant à la validité de notre solution.

En résumé: l'accélération de l'ouvrier est de $0,82 \text{ m/s}^2$ vers le bas, et la tension dans la corde est égale à 584N.

Section 2 Le rapport de laboratoire

Un rapport de laboratoire complet comprend les parties ci-dessous. Sous réserve de modification particulière à une discipline, ce qui est exigé dans un sommaire est indiqué par un astérisque* dans la liste. Le compte rendu suit approximativement l'ordre chronologique du déroulement de l'expérience.



1. Page de titre* Titre de l'expérience ou numéro du laboratoire
(s'il y a lieu)
Date de remise
Numéro du cours
Nom des étudiants(es)
Nom du professeur
2. Introduction But*
Contexte théorique
Hypothèse
3. Matériel et schéma de montage Principaux appareils*
 Matériel utilisé
 Schéma du montage (lorsque requis)
4. Déroulement ou protocole expérimentale
5. Données* Observations qualitatives
 Données quantitatives (brutes)
 Dessins en biologie
6. Traitement des données* Tableaux des données
 Calculs
 Tableaux des résultats
 Graphiques
7. Discussion Interprétation des résultats*
 Analyse de la précision
 Critique du protocole
 Comparaison*
8. Conclusion*
9. Bibliographie et références (s'il y a lieu)

2.1 Page de titre

On y retrouve le titre de l'expérience (ou le numéro du laboratoire s'il y a lieu), le numéro du cours, la date de remise du rapport, le nom des étudiantes et des étudiants ayant participé à l'expérience et à la rédaction du rapport et le nom du professeur.

2.2 Introduction

C'est dans cette partie que tu dois donner dans tes propres mots une brève explication du but de ton expérience. Tu dois ensuite donner un bref contexte théorique résumant les principales notions que tu utilises ou que tu vérifies dans ton hypothèse de travail.

2.3 Matériel et schéma de montage

Dresse la liste de tous les produits, du matériel et de tous les instruments de mesure utilisés lors de la réalisation de ton expérience. *En ce qui concerne les instruments de mesure, il est essentiel de donner la précision des instruments.*

Décris aussi brièvement les manipulations. S'il y avait un montage à faire, donnes-en un schéma simple, clair et complet.

2.4 Déroulement de l'expérience

Dans le déroulement de l'expérience, l'étudiant doit présenter, le plus clairement et le plus précisément possible, les principales étapes qu'il a suivies lors de son expérimentation. Il est important que le protocole soit le plus complet possible et qu'il présente les mesures, les contrôles, les concentrations, les délais, le nombre de sujets, etc.

2.5 Données

Tous les dessins, les observations et les mesures obtenus directement lors de l'expérimentation constituent des données brutes qui, dans certains cas, pourront être placées en annexe du rapport.

2.6 Traitement des données

Dans cette partie du rapport, l'étudiant doit présenter tous les traitements (exemples de calculs, descriptions de tests statistiques, exemple de calcul d'incertitude) qu'il a fait subir à ses données. C'est également dans cette partie que les données non significatives doivent être identifiées; l'expérimentateur doit expliquer l'exclusion de chacune d'entre elles des résultats présentés. Il est important de respecter le nombre de chiffres significatifs.

En chimie et particulièrement en physique, le calcul d'incertitude est très important. En effet, souvent, le but d'une expérience n'est pas d'obtenir des valeurs aussi précises que celles des tables, mais bien de comparer les résultats obtenus aux résultats théoriques et ainsi juger de la valeur du travail réalisé. Dans ce contexte, il est essentiel de trancher si l'expérience est concluante dans les limites de l'incertitude. La section 4 traitera plus spécifiquement des erreurs et de l'incertitude.

C'est aussi dans cette partie du rapport que l'étudiant présente ses résultats, c'est-à-dire les moyennes, les graphiques, les tableaux, les schémas qu'il a obtenus en traitant ses données. Une brève description de chacun des résultats fournis doit être donnée. La section 3 traitera plus spécifiquement de la construction des graphiques et des tableaux.

2.7 Analyse ou discussion

Dans cette partie du rapport, l'étudiant doit faire l'analyse de ses résultats. Celle-ci comporte en général trois volets: l'interprétation, la comparaison et la critique.

Interprétation

L'expérimentateur doit, dans un premier temps, porter un jugement subjectif sur ses résultats en regard de son hypothèse de départ. Il doit séparer les résultats pouvant être considérés comme significatifs de ceux qui ne le sont pas (ex.: «est-ce que la différence observée entre le groupe témoin et le groupe expérimental est assez grande pour ne pas être imputable uniquement au hasard?»). Il doit évaluer si les résultats jugés significatifs viennent infirmer (contredire) ou confirmer (appuyer) son hypothèse de départ.

Comparaison

Il doit ensuite comparer les résultats qu'il a obtenus avec ceux présentés dans la littérature, ou avec ceux qui étaient attendus (ex.: valeurs obtenues à partir de calculs théoriques). Il doit alors juger de la valeur de ces différences ou de ces ressemblances.

En physique, cette discussion se fait en considérant les incertitudes et les écarts. L'étudiant peut alors évaluer si les mesures ont été faites correctement et si les incertitudes ont été estimées avec justesse ou encore si des sources d'erreurs systématiques ont pu influencer les résultats.

Critique

À la lumière de l'interprétation et de la comparaison qu'il vient d'effectuer, l'expérimentateur doit ensuite faire une critique de son expérience. C'est ici que l'étudiant met en relief les points faibles de la méthode qu'il a utilisée et des résultats obtenus, et propose des solutions pour les atténuer. Les points forts de la méthode et des résultats obtenus doivent aussi être mentionnés et expliqués, de même que les causes d'éventuelles erreurs.

2.8 Conclusion

La conclusion constitue le point final du rapport de laboratoire. On y fait ressortir les points importants en faisant clairement le lien entre la théorie et les différentes étapes de la manipulation. On y énonce aussi les principaux résultats obtenus. La conclusion se termine généralement par une phrase soutenant que l'hypothèse de départ a été confirmée ou infirmée et peut déboucher sur la formulation de questions nouvelles.

Pour faire une bonne conclusion, tu dois t'imaginer que tu t'adresses à quelqu'un qui ne connaît pas l'expérience. Tu ne doit pas te borner à dire si l'expérience a été réussie ou non. Relis d'abord le but, et demande-toi pourquoi tu as fait cette expérience; pourquoi de cette manière? En répondant à ces questions avant d'entreprendre ta rédaction, tu t'orienteras sûrement vers une meilleure conclusion.

Il est utile d'indiquer les causes d'erreur et les points faibles d'une manipulation, *surtout lorsque tes résultats ne concordent pas avec la théorie*. *ssi*, à cette étape, proposer une méthode expérimentale différente qui, pense-t-on, permettrait d'obtenir de meilleurs résultats.

2.9 Bibliographie et références

La *bibliographie* dresse l'inventaire de tous les livres, articles de périodiques, encyclopédie, etc qui ont servi directement à la réalisation et à la rédaction du compte-rendu ou du rapport. On y retrouve toutes les informations pertinentes décrivant chaque document. Voici un exemple de bibliographie où l'on retrouve, dans l'ordre, un livre, un article de périodique, un document audio-visuel et un article provenant d'une encyclopédie.

DIONNE, Bernard. Réussir au cégep, Guide méthodologique. Montréal, Les éditions HRW, 1986. 180 p.

ANGELERGUES, Jacques, et Yves MANELA. "Le jeu, le plaisir et l'apprentissage", Science et vie. Hors série, No 164, septembre 1988, p 18-31.

La bioéthique: une question de choix. (Videocassette). Montréal, O.N.F., 1987. 169 min couleur, 1/2 po . (VHS).

JAUZAIN, André. "Sulfates naturels". Encyclopaedia Universalis. Paris, Encyclopaedia Universalis, 1985. Tome XVII, p. 385-388.

La **référence** est l'indication de la source d'où est tiré un texte, qu'il s'agisse d'une citation ou d'une paraphrase. C'est donc dire que toute idée empruntée à un autre nécessite une référence. Par exemple, les conseils méthodologiques du présent paragraphe proviennent de l'ouvrage de Bernard Dionne cité plus haut. Le présent paragraphe aurait donc dû être construit de la façon suivante:

La référence est l'indication de la source d'où est tiré un texte, qu'il s'agisse d'une citation ou d'une paraphrase. C'est donc dire que toute idée empruntée à un autre nécessite une référence (Dionne, 1986).

Section 3 Les graphiques, les tableaux et les dessins

Souvent, il est très utile de présenter des résultats expérimentaux, des données brutes ou des données obtenues par calcul à l'aide de graphiques, de tableaux ou de dessins.

Un tableau, comme un graphique ou un dessin, doit être facilement interprétable. En fait, le tableau, le graphique et le dessin sont trois moyens de «faire parler» tes résultats ou tes données. Tu dois donc, dans chacun des cas, privilégier la *clarté*.

Un *tableau* permet, entre autres,

- ◇ de regrouper, de façon structurée, des données multiples dont il serait difficile autrement d'avoir une vue d'ensemble,
- ◇ de présenter, d'une manière non équivoque, des informations à interpréter,
- ◇ de classer des données afin de pouvoir les interpréter clairement, et donc être en mesure de les traiter correctement.

Un tableau doit comporter:

- ◇ un titre décrivant le phénomène étudié,
- ◇ des rubriques clairement définies (accompagnées du nom de la variable au besoin),
- ◇ les unités et l'incertitude,
- ◇ des données écrites sous une forme standardisée de façon à faciliter l'interprétation (ex.: des fréquences relatives à deux décimales ou en fractions à dénominateur commun).

Pour plus de clarté:

- ◇ Il faut éviter de répéter une donnée un grand nombre de fois,
- ◇ s'ils sont nombreux, on doit numéroter les tableaux.

Un *graphique* permet, entre autres,

- ◇ d'illustrer clairement une tendance qui ne serait pas évidente dans un tableau (et ce, même si tous les points ne sont pas sur la courbe),
- ◇ de vérifier une relation entre les deux variables d'une expérience (proportionnelle, inversement proportionnelle, logarithmique, exponentielle...),
- ◇ d'interpoler un résultat compris entre deux mesures,
- ◇ d'extrapoler pour prédire un résultat au-delà du domaine mesuré,
- ◇ de vérifier la linéarité d'une relation,
- ◇ de déterminer la forme d'une distribution de données, regroupées ou non.

Un graphique doit comporter:

- ◇ un titre décrivant le phénomène étudié (dans lequel on ne répète pas inutilement les axes),

- deux axes avec une échelle régulière et facile à lire, dont on précise les variables et les unités,
- des points clairement identifiés,
- une courbe régulière,
- l'équation de la droite, s'il y a lieu.

Pour plus de clarté:

- le graphique doit être fait avec un ordinateur,
- le graphique occupera une pleine page,
- on doit numéroter les graphiques.

Un *dessin* en microscopie permet, entre autres,

- de reproduire le champ observé au microscope,
- de faire ressortir la structure générale de la préparation de façon à en permettre une identification rapide (lors de l'examen d'un spécimen au grossissement de 40X ou 100X),
- de révéler la structure fine du spécimen étudié (lors de l'examen d'un spécimen au grossissement 400X ou 1000X).

Un dessin doit comporter:

- une reproduction fidèle du spécimen observé:
 - a) comme les observations porteront en général sur des cellules, il va sans dire que le dessin sera suffisamment grand,
 - b) chaque cellule reproduite devra inclure tous les éléments décelés au microscope à ce grossissement,
 - c) lorsqu'il y a plusieurs cellules semblables, il suffit d'en reproduire seulement quelques-unes en choisissant les plus caractéristiques du spécimen étudié.
- une légende (selon les indications suivantes):
 - a) le titre de la préparation, en lettres majuscules, en caractère d'imprimerie d'environ 7 mm, en haut et à gauche du cercle,
 - b) le nom du fabricant et le numéro de la lame histologique inscrits sous le titre,
 - b) le nom des structures observées, de chaque côté du dessin, inscrits en lettres minuscules, en caractère d'imprimerie d'environ 4 mm,
 - c) le grossissement obtenu et la marque de fabrication du microscope utilisé, sous le cercle, en bas, à droite.

Pour plus de clarté:

- avant de commencer ton dessin, repère les structures pertinentes dans le champ d'observation du microscope.
- fais un cercle de 10 cm de diamètre au centre de ta feuille blanche pour y reproduire ce que tu observes.
- reproduis scrupuleusement les composants du spécimen dans les bonnes proportions.
- utilise toujours des crayons bien aiguisés.
- fais ressortir les détails d'une structure fine au crayon à mine noire, puis termine à l'aide de crayons de couleurs: tu dois choisir des couleurs qui correspondent à celles que tu observes sur le spécimen.

Un dessin sera évalué sur:

- sa vraisemblance par rapport aux structures originales, selon le grossissement demandé,
- sa précision (légende et mesures appropriées, couleurs correspondantes),
- sa présentation générale, conformément aux consignes précisées plus haut.

Inspire-toi des exemples de tableaux, de graphiques et de dessins qui suivent:

Numérotation Titre



Tableau 1: Calibration du pycnomètre

Description	Lecture
Masse du pycnomètre vide (g)	25,534
Masse du pycnomètre + eau (g)	35,528
Masse d'eau (g)	9,994
Température de l'eau (°C)	21,0
Masse volumique de l'eau (g/mL)	0,9984
Volume du pycnomètre (mL)	10,01

Unités



Tableau 2 : Courant dans trois résistances

Tension (volts) ± 0,02	Courant (mA) ± 0,01		
	R ₁	R ₂	R ₃
0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	0,60	0,80	0,39
1,00	1,20	1,52	0,75
1,50	1,81	2,30	1,17
2,00	2,38	3,10	1,55
2,50	3,06	3,84	1,97
3,00	3,58	4,60	2,32
3,50	4,19	5,44	2,55
4,00	4,80	6,25	3,00
4,50	5,41	6,85	3,46
5,00	6,02	7,60	3,75

Les tableaux précédents ont été fabriqués avec le logiciel Word. La figure suivante vous donne un aperçu de la façon de procéder.

Se servir de la commande « Bordures » pour faire apparaître le type de bordure approprié aux cellules sélectionnées.

On peut centrer le texte dans les cellules.

Commande servant à insérer un tableau avec le nombre de colonnes et de lignes désirées.

Tension (volts) ± 0,02	Courant (mA) ± 0,01		
	R ₁	R ₂	R ₃
0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	0,60	0,80	0,39
1,00	1,20	1,52	0,75
1,50	1,81	2,30	1,17
2,00	2,38	3,10	1,55
2,50	3,06	3,84	1,97
3,00	3,58	4,60	2,32
3,50	4,19	5,44	2,55
4,00	4,80	6,25	3,00
4,50	5,41	6,85	3,46
5,00	6,02	7,60	3,75

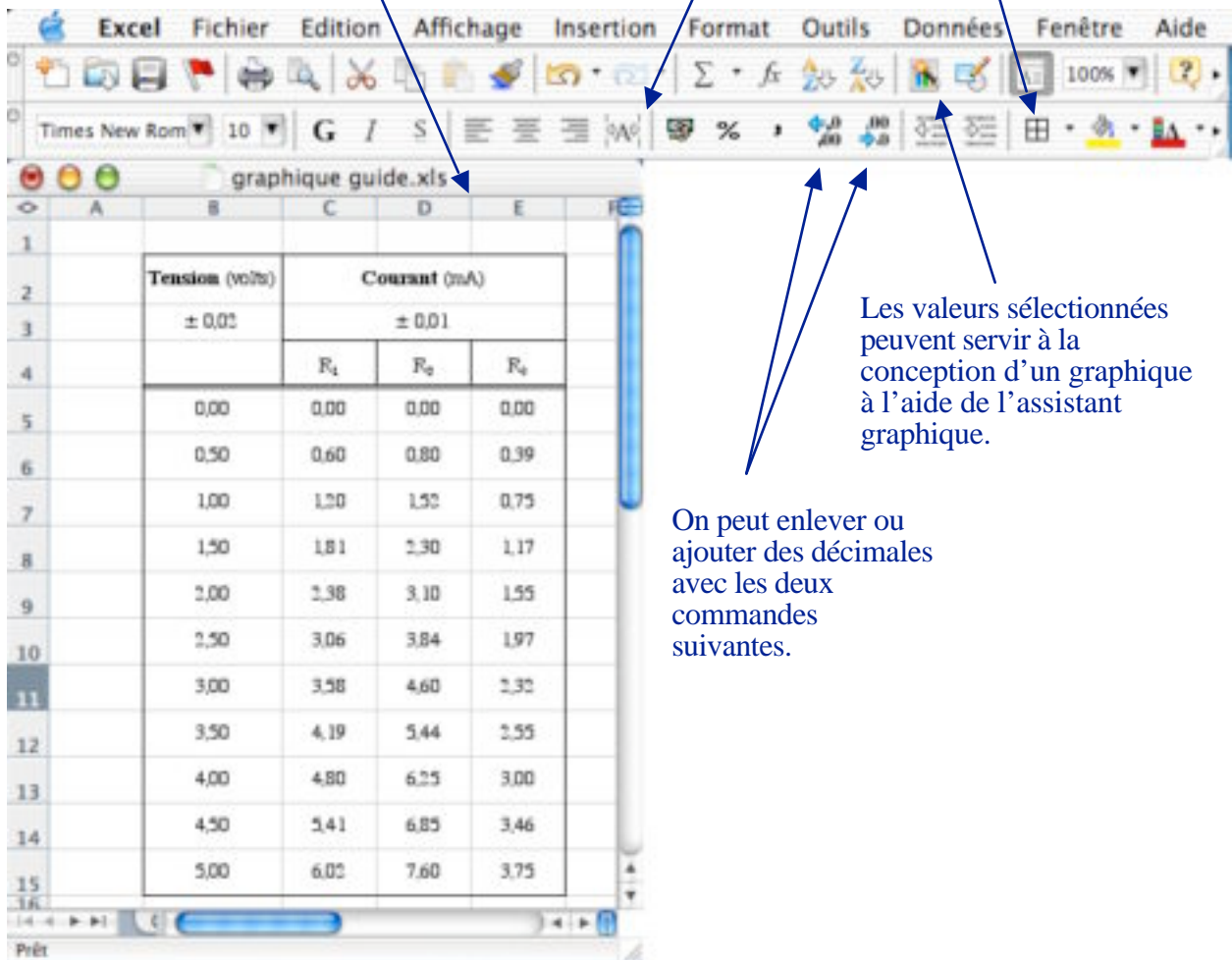
Le pointeur de la souris se transforme en flèche à deux points permettant d'ajuster la largeur d'une colonne ou la hauteur d'une ligne.

On peut faire des tableaux avec le logiciel Excel. On a alors l'avantage de pouvoir faire des graphiques à partir des données du tableau. Les tableaux et les graphiques peuvent aussi être exportés vers le logiciel Word.

Le pointeur de la souris se transforme en flèche à deux pointes permettant d'ajuster la largeur d'une colonne ou la hauteur d'une ligne.

Le texte inscrit dans une cellule peut être centré sur plusieurs cellules avec cette commande.

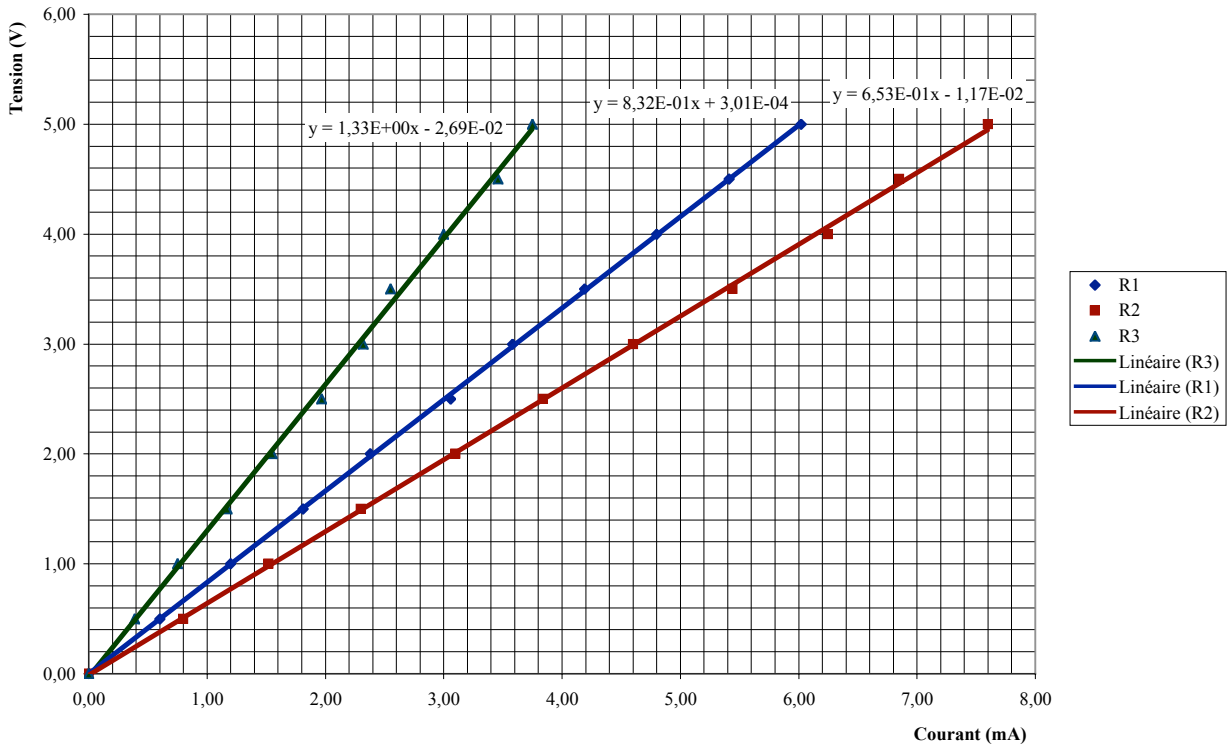
Se servir de la commande « Bordures » pour faire apparaître le type de bordure approprié aux cellules sélectionnées.



Les valeurs sélectionnées peuvent servir à la conception d'un graphique à l'aide de l'assistant graphique.

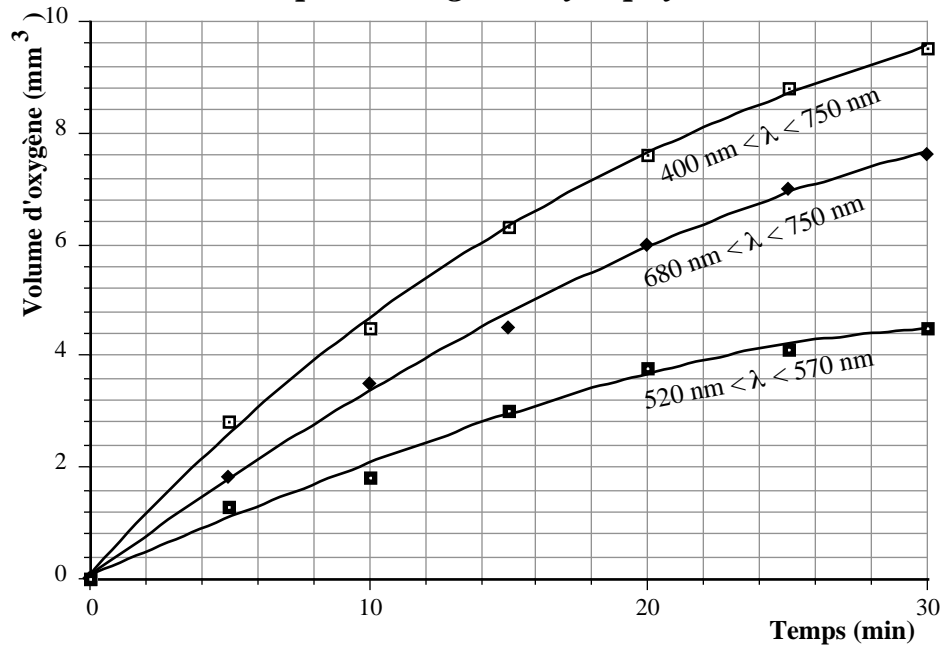
On peut enlever ou ajouter des décimales avec les deux commandes suivantes.

Graphique 4: Tensions dans trois résistances

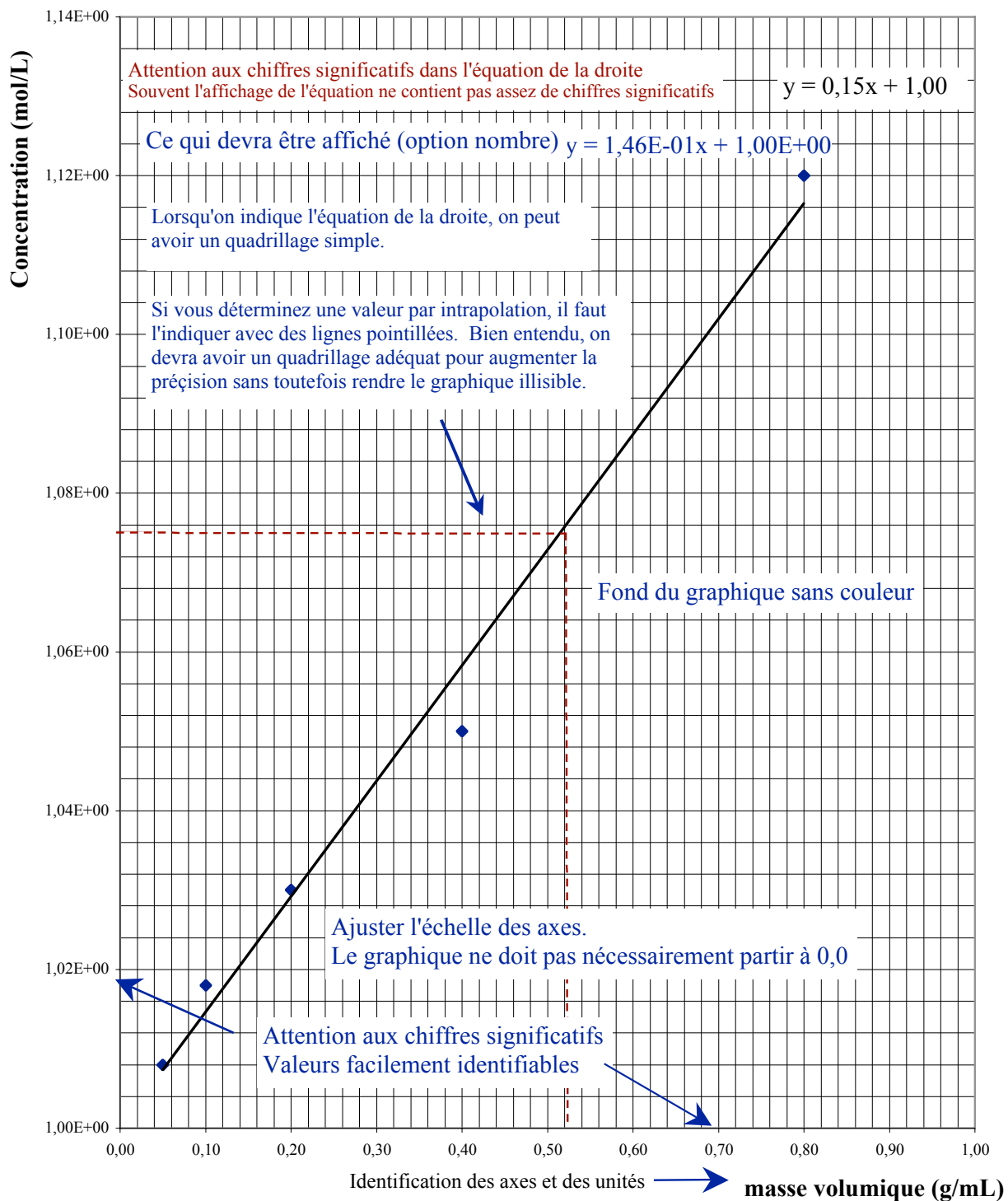


Graphique 1

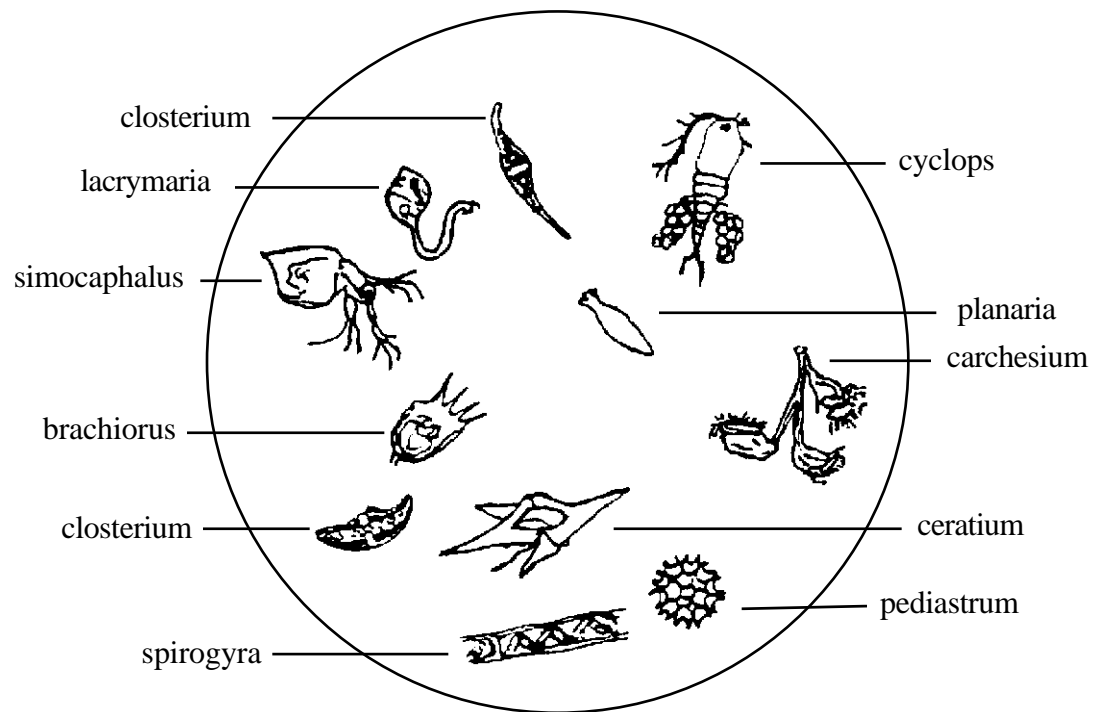
*Production d'oxygène
par une tige de myriophyllum*



Graphique 1: Courbe de standards de solutions de CuSO_4 à 21°C



PLANCTON
Échantillon No.2
Bord de la rivière Nicolet



Section 4 L'incertitude d'une mesure

Une mesure consiste à associer un nombre à une quantité, par comparaison avec un étalon de mesure. L'étalon, aussi bien que la quantité ou la personne qui fait la mesure peuvent entraîner des erreurs. La valeur numérique issue d'une mesure ou d'une observation est donc toujours une approximation. Lors d'une mesure, il importe de tenir compte de la précision des instruments utilisés et de l'influence de cette précision sur les résultats calculés.

4.1 L'incertitude

Lorsqu'on fait la mesure d'une grandeur (volume, masse, durée, etc.), il est impossible d'obtenir une valeur parfaitement exacte; il y aura toujours une certaine incertitude associée à la mesure.

a) Incertitude absolue

L'incertitude absolue d'une mesure représente l'écart maximum possible entre la valeur exacte d'une quantité et la mesure qu'on en a faite.

L'incertitude absolue n'a généralement qu'un seul chiffre significatif (voir 4.2). Lorsqu'on utilise un instrument gradué, l'incertitude absolue due à l'appareil est souvent égale à la moitié de la plus petite division.

(50 ± 0,05) mL
↑
incertitude absolue

b) Incertitude relative

L'incertitude relative d'une mesure est le rapport de son incertitude absolue sur la quantité mesurée. Elle correspond donc à l'écart maximum possible exprimé comme une fraction (ou un pourcentage) de la valeur mesurée. L'incertitude relative peut comprendre un ou deux chiffres significatifs.

50 mL ± 0,1%
↑
incertitude relative

On peut transformer facilement une incertitude absolue en incertitude relative ou vice-versa.

$$0,1\% \times 50,00 \text{ mL} = 0,05 \text{ mL}$$

donc

$$50,00 \text{ mL} \pm 0,1\% = (50,00 \pm 0,05) \text{ mL}$$

c) Calcul d'incertitude

Pour déterminer l'incertitude sur une valeur qui résulte d'un calcul, il est nécessaire de faire un autre calcul. Dans le cas d'une addition ou d'une soustraction, il suffit d'additionner les

incertitudes absolues. Par exemple, si la façade d'une bâtisse comporte deux pans, sa longueur totale est la somme de deux longueurs...

$$\begin{array}{l}
 C_1 = (4,76 \pm 0,02) \text{ m} \\
 C_2 = (20,0 \pm 0,1) \text{ m}
 \end{array}
 \Rightarrow
 \begin{array}{l}
 L = C_1 + C_2 \\
 L = 4,76 \text{ m} + 20,0 \text{ m} = 24,76 \text{ m} \\
 \Delta L = \Delta C_1 + \Delta C_2 \\
 \Delta L = 0,1 \text{ m} + 0,02 \text{ m} = 0,12 \text{ m}
 \end{array}$$

Donc $L = 24,8 \pm 0,1 \text{ m}$

Dans le cas d'une multiplication ou d'une division, l'incertitude relative du résultat est l'addition des incertitudes relatives. Par exemple, si l'on veut évaluer la surface d'un terrain rectangulaire...

$$\begin{array}{l}
 L_1 = (10,27 \pm 0,01) \text{ m} \\
 L_2 = (33,30 \pm 0,01) \text{ m}
 \end{array}
 \Rightarrow
 \begin{array}{l}
 A = L_1 \times L_2 \\
 A = 10,27 \text{ m} \times 33,0 \text{ m} = 341,991 \text{ m}^2 \\
 \frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta L_1}{L_1} + \frac{\Delta L_2}{L_2} \\
 \frac{\Delta A}{A} = \frac{0,01}{10,27} + \frac{0,01}{33,30} = 0,0013 \\
 \Delta A = 341,991 \text{ m}^2 \times 0,0013 \text{ m} = 0,4 \text{ m}^2
 \end{array}$$

Donc $A = (342,0 \pm 0,4) \text{ m}^2$

Dans le cas d'une fonction $y = f(x)$ où "x" est une mesure et "y", une quantité calculée à partir de cette mesure, l'incertitude absolue sur "y" se calcule à l'aide de la différentielle:

$$\Delta y = \frac{df}{dx} \Delta x$$

Supposons par exemple que nous ayons mesuré un angle au degré près et que nous voulions trouver le sinus de cet angle avec son incertitude...

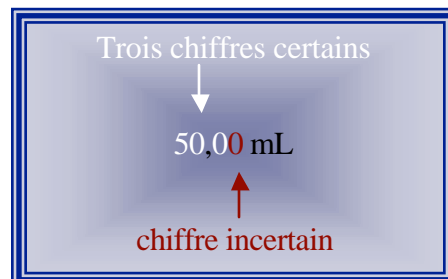
$$\begin{array}{l}
 \text{Soit } y = \sin(x) \\
 \text{et} \\
 x = 30^\circ \pm 1^\circ \\
 \text{alors}
 \end{array}
 \Rightarrow
 \begin{array}{l}
 \Delta y = \frac{d(\sin(x))}{dx} \Delta x_{\text{rad}} \\
 \Delta y = \cos(x) \Delta x_{\text{rad}} \\
 \Delta y = (0,86603 \times (0,01745)) \\
 \Delta y = 0,01511 \\
 y = 0,50 \pm 0,02
 \end{array}$$

4.2 Les chiffres significatifs

Toutes les mesures expérimentales sont entachées d'erreur. L'incertitude qui en découle nous permet de déterminer le nombre de chiffres significatifs. Plus la précision d'une mesure est grande, plus le nombre de chiffres significatifs peut être élevé; le nombre de chiffres significatifs est donc un bon indice de la précision d'une mesure.

Les chiffres significatifs comprennent tous les chiffres connus avec certitude plus un chiffre incertain. Par exemple, si on dit qu'on a mesuré un volume de 50,00 mL, on aura quatre chiffres significatifs comprenant trois chiffres connus avec certitude et un chiffre incertain.

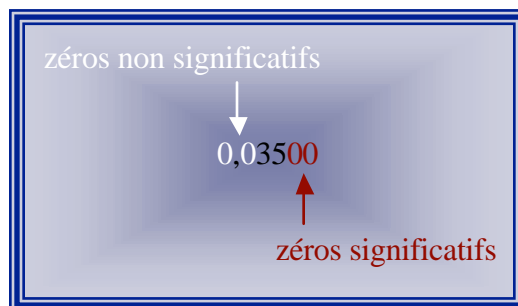
Le chiffre incertain est déterminé à l'aide de l'incertitude absolue. Il occupe le même rang décimal que l'incertitude absolue.



Un mètre mesuré au centimètre
près s'écrit $(1,00 \pm 0,01)$ m

Les zéros à droite du nombre sont significatifs¹. Les zéros à gauche du nombre sont non-significatifs.

Lors de la présentation des résultats des calculs, il convient de tenir compte des chiffres significatifs en arrondissant à la décimale appropriée. Lors d'une addition ou d'une soustraction, on doit arrondir le résultat au rang décimal qui comporte une incertitude de manière à ne garder qu'un seul chiffre incertain. Par exemple:



50,0	(incertitude au rang des dixièmes)
+ 0,04	(incertitude au rang des centièmes)
+ 0,03	(incertitude au rang des centièmes)
50,77	⇒ 50,8

¹ L'exception à cette règle est causée par le non-emploi de la notation scientifique. Par exemple lorsqu'on annonce un investissement de \$ 32 000 000, les zéros à droite ne sont pas tous significatifs. L'ambiguïté serait levée par l'emploi de la notation scientifique. Ainsi, $\$3,20 \times 10^7$ a *trois* chiffres significatifs.

Lors d'une multiplication ou d'une division, il convient de garder le même nombre de chiffres significatifs que *le plus imprécis* des nombres rencontrés dans l'opération.

En utilisant adéquatement le calcul d'incertitude et en respectant les chiffres significatifs, on transmet une idée juste de la précision d'une mesure; on donne de

l'information à propos d'une quantité et en même temps à propos du *degré de confiance* de la mesure.

$$\frac{20545,5 \times 9,11}{3,8 \times 10^3} = 6,1$$

Diagram illustrating significant figures in a calculation:

- 20545,5: cinq chiffres significatifs
- 9,11: trois chiffres significatifs
- 3,8 × 10³: deux chiffres significatifs
- Result: 6,1