# Module 1 : Le rapport d'expérimentation en sciences

|  |
| --- |
| 1. Introduction p. 102 2. Les étapes de la démarche expérimentale p. 104 3. La rédaction du rapport de laboratoire p. 108   3.1 Les parties du rapport p. 108  3.2 Les conventions d'écriture p. 110   1. Le contenu p. 112   4.0.A La page de présentation p. 112 4.0.B La table des matières p. 113 4.1 L'introduction et le but p. 114 4.2 Le cadre théorique, la méthodologie et l'hypothèse p. 118 4.3 Le protocole expérimental p. 120 4.4 Les mesures expérimentales p. 124 4.5 Le traitement des mesures p. 128  4.6 L'analyse et l'interprétation des résultats p. 132 4.7 La conclusion p. 140 4.8 Les annexes p. 142   1. Informations supplémentaires p. 144   5.1 La construction d'un organigramme p. 144  5.2 Exemples supplémentaires de tableaux de mesures p. 146  5.3 Comparaison de résultats : égalité physique p. 148  5.4 La médiagraphie p. 150 |

### 1. Introduction

Les personnes travaillant dans les différents domaines scientifiques n'effectuent pas uniquement des expériences ou des travaux de recherche dans leurs journées de travail. Elles ne restent pas continuellement dans leur laboratoire à faire des expériences ou assises à leur bureau à essayer de résoudre de nouveaux problèmes.

**Figure 1 : Une vision stéréotypée du travail des scientifiques**

Une bonne partie des activités des scientifiques consiste à communiquer avec le monde qui les entoure. Les scientifiques ont à communiquer avec d'autres scientifiques, des administrateurs, des éditeurs, des journalistes, etc. En fait, c'est avec toute la population que les scientifiques sont appelés à communiquer !

Les différents outils utilisés par les scientifiques pour communiquer sont :

* les articles scientifiques dans les revues ;
* les demandes de projets ;
* les conférences ;
* les rapports de laboratoire ;
* etc.

De tous ces outils, le rapport de laboratoire est le meilleur moyen de communication entre expérimentateurs et scientifiques. En fait, le rapport de laboratoire illustre le mieux ce que sont la science, la démarche scientifique et le travail des scientifiques. C'est ainsi que la rédaction d'un rapport de laboratoire est sûrement l'étape la plus importante de la recherche expérimentale.

Le rapport de laboratoire permet à l'expérimentateur de :

* communiquer sa démarche et les résultats de ses travaux à ses pairs, à ses supérieurs ou au public en général.
* s'assurer de tenir des notes personnelles pour lui-même.

La rédaction d'un rapport de laboratoire mérite donc une attention très particulière. Il faut être conscient du fait qu'un bon rapport de laboratoire va mettre en valeur la démarche expérimentale et les résultats des expérimentateurs. Au contraire, un mauvais rapport peut complètement anéantir la valeur des résultats et tous les efforts déployés lors de l'expérimentation.

Pour produire un bon rapport de laboratoire, il faut bien comprendre que la rédaction du rapport est une étape de la démarche scientifique. Ainsi, pour réussir son rapport, il faut tout d'abord se préparer adéquatement avant l'expérimentation et être vigilant lors de celle-ci.

Ces deux aspects et les différentes étapes de la démarche expérimentale seront traités à la section 2 de ce module. Les conventions de rédaction du rapport seront présentées à la section 3. Les sections 4 et 5 expliqueront en détail les différentes parties d'un rapport de laboratoire.



**Figure 2 : Les sections du module 1**

### 2. Les étapes de la démarche expérimentale

Le rapport de laboratoire doit refléter la démarche expérimentale suivie par l'expérimentateur. Même si la démarche expérimentale n'est pas une démarche linéaire et immuable, on doit en connaître les différentes étapes. Cette connaissance est essentielle pour que l'expérimentateur puisse se préparer adéquatement avant l'expérimentation et pour qu'il puisse bien effectuer l'expérimentation.

L'exercice suivant présente les étapes de la démarche expérimentale. Il faut cependant encore insister sur le fait que les étapes ci-dessous peuvent être modifiées, permutées ou répétées selon les expérimentations et les expérimentateurs.

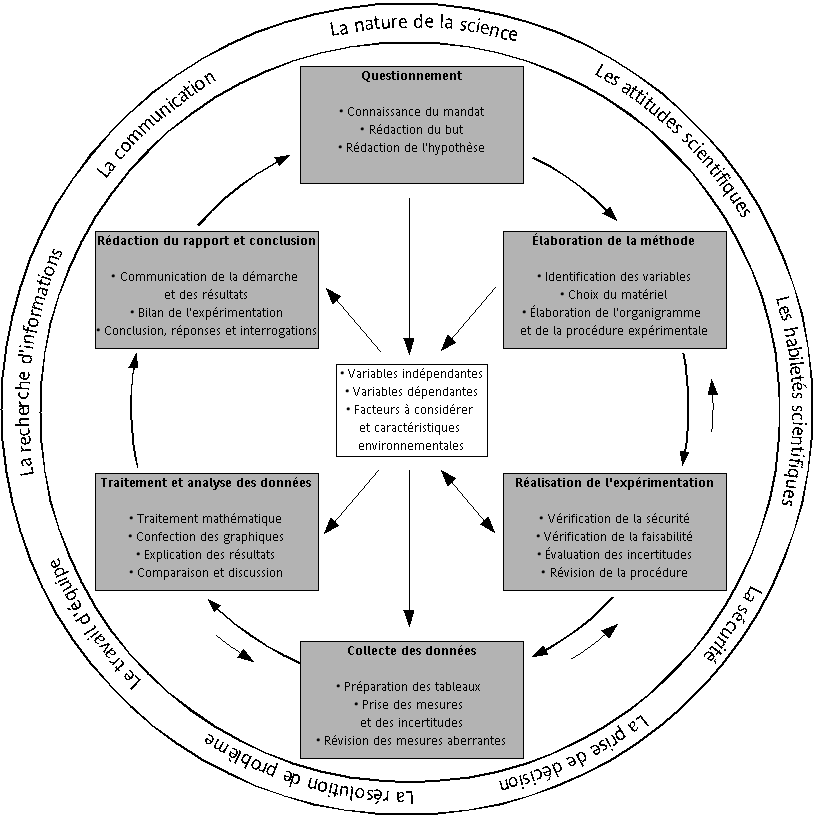
**Exercice 1 : Les étapes de la démarche expérimentale**

Complétez la deuxième colonne du tableau suivant à l'aide du choix de réponses ci-dessous.

Ajuster la procédure expérimentale - Élaborer l'organigramme - Établir la méthode de mesure de chaque grandeur - Évaluer les incertitudes - Faire quelques mesures préliminaires - Faire un bilan de l'expérimentation -   
Noter les caractéristiques environnementales - Prendre connaissance du mandat -   
Préparer les tableaux de mesures - Procéder à la prise des mesures - Procéder aux calculs et tracer les graphiques - Rédiger le but et l'hypothèse - Rédiger le rapport - Reprendre les mesures aberrantes

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Prendre connaissance du mandat | La lecture du texte présentant l'expérience ou l'écoute de la mise en situation donnée de vive voix permet de prendre connaissance de ce qui est demandé.  Après cette étape, on doit savoir ce qui est attendu, mais pas nécessairement comment on fera pour arriver à ce qui est demandé. |
| 2. Rédiger le but et l'hypothèse | Si le but n'est pas énoncé, il faut le rédiger immédiatement. L'énoncé du but doit découler de la compréhension du mandat qui a été confié. Si l'énoncé du but n'est pas conforme au mandat, tout le travail qui suivra sera sans valeur.  L'hypothèse doit répondre au but et s'appuyer, si possible, sur certains faits ou certaines connaissances. Tout comme le but, elle doit être rédigée avant l'expérimentation. |
| 3. Élaborer l'organigramme  Facultatif | Il donne une vision d'ensemble des diverses opérations à effectuer dans le reste de la démarche expérimentale. (Voir la page 144)  Il permettra la rédaction ultérieure de la procédure expérimentale. |
| 4. Établir la méthode de mesure de chaque grandeur | Il faut établir en détail la procédure expérimentale nécessaire pour effectuer les mesures directes des différentes grandeurs.  Il faut prévoir et noter les précautions nécessaires vis-à-vis chaque mesure à prendre. |
| 5. Faire quelques mesures préliminaires | Ces manipulations préalables permettent entre autres :   * de vérifier la faisabilité de la méthode ; * de vérifier les instruments de mesure ; * de développer un peu d'habileté à prendre les mesures. |
| 6. Évaluer les incertitudes | Cette évaluation initiale permet de valider le choix des méthodes de mesure.  Si les incertitudes sont beaucoup trop grandes, il est alors possible de modifier les méthodes de mesure. |
| 7. Ajuster la procédure expérimentale | Les résultats des mesures préliminaires et de l'évaluation des incertitudes peuvent nécessiter une modification de la procédure expérimentale.  Il est préférable de recommencer à ce stade plutôt qu'à la fin de l'expérimentation ! |
| 8. Préparer les tableaux de mesures | Ceux-ci doivent préférablement être préparés avant l'expérimentation. Ils doivent recevoir toutes les mesures directes (même les valeurs uniques). Normalement, ils ne doivent pas contenir de résultats calculés. |
| 9. Procéder à la prise des mesures | En suivant l'organigramme et la procédure expérimentale, il est facile à ce stade de recueillir et de noter toutes les mesures nécessaires pour répondre au but de l'expérimentation. |
| 10. Procéder aux calculs et tracer les graphiques  Si on a le temps… | À partir des tableaux de mesures, il faut effectuer quelques calculs et faire une ébauche des graphiques. S'il y a des résultats qui semblent anormaux, il sera facile de les repérer. |
| 11. Reprendre les mesures aberrantes | Lorsque des résultats paraissent anormaux, il est alors possible de vérifier ou de reprendre les mesures qui sont problématiques, car le montage est en place.  Note : Il faut conserver sur papier toutes les mesures effectuées. Il ne faut pas détruire ses mesures. Il faut les conserver, les placer en annexe et les expliquer. |
| 12. Noter les caractéristiques environnementales | Selon l'expérience, il peut être essentiel de noter, entre autres :   * le numéro des appareils utilisés ; * les conditions climatiques (température, humidité, pression, etc.) ; * l'heure et la date. |
| 13. Faire un bilan de l'expérimentation | Ce bilan sera utile pour la rédaction du rapport de laboratoire. Effectué à ce moment de l'expérimentation, il permet d'éviter des oublis. Voici ce qui devrait être fait à ce stade :   * Vérifier si les données nécessaires pour continuer le travail ont été recueillies. * Visualiser et noter les sources d'erreurs qui ont pu affecter certaines mesures. * Penser à des modifications qui pourraient améliorer l'expérimentation. |
| 14. Rédiger le rapport | À partir des informations accumulées au cours des étapes précédentes, il ne reste qu'à rédiger le rapport de laboratoire. |

Pour faciliter la compréhension de la démarche expérimentale, la figure 1 présente les étapes de la démarche.

****

**Figure 3 : Les étapes de la démarche expérimentale**

Sur le schéma précédent, on peut voir que la démarche n'est pas linéaire. Elle exige souvent des retours en arrière et elle peut aussi devoir être répétée si l'expérimentation choisie n'a pas permis de répondre adéquatement au mandat initial. C'est d'ailleurs toute la science qui répond à cette caractéristique comme le dit si bien cette citation du défunt paléontologue américain Stephen Jay Gould (1941-2002) :

*« La science n'est pas une marche en avant vers la vérité, mais une progression tortueuse, se lançant parfois sur de fausses pistes, et faisant des détours arbitraires, tous les un ou deux kilomètres. Notre carte routière ne correspond pas à la réalité objective, mais traduit les grandes orientations de la pensée humaine. »*

  
**Figure 4 : Stephen Jay Gould**

Cette vision de la science est bien loin de celle de René Descartes (1596-1650). Ce dernier affirmait qu'il existait une MÉTHODE pour construire la science. Dans son ouvrage *Discours sur la méthode*, il présentait cette méthode infaillible et universelle qui menait d'une façon certaine à de nouvelles connaissances dans tous les domaines du savoir. Voici une citation de Descartes qui expose bien sa vision :

*« Par méthode j’entends des règles certaines et faciles dont la rigoureuse observation empêchera qu’on ne suppose jamais pour vrai ce qui est faux, et fera que, sans se consumer en effort inutile, mais au contraire en augmentant graduellement sa science, l’esprit parvienne à la véritable connaissance de toutes les choses qu’il peut atteindre. »*

  
**Figure 5 : René Descartes**

Bien sûr, aujourd'hui, on ne croit plus à l'existence d'une méthode infaillible qu'il suffit de suivre pour produire de nouvelles connaissances. La science est plus complexe, et c'est beaucoup mieux ainsi !

### 3. La rédaction du rapport de laboratoire

#### 3.1 Les parties du rapport de laboratoire

Pour qu'un rapport présente la cohérence nécessaire à la compréhension, il doit respecter un certain ordre logique. Cet ordre guide le lecteur dans sa lecture et facilite sa compréhension de l'expérimentation.

**Figure 6 : Un ordre logique pour faciliter la compréhension**

Le tableau de la page suivante présente, dans l'ordre, les différentes parties d'un rapport de laboratoire. Il faut noter que cet ordre et que les parties du rapport peuvent être adaptés à la nature de l'expérimentation. (Note : Les différentes parties ci-dessous seront expliquées plus en détail à la section 4.)

**Tableau 1 : Les parties du rapport de laboratoire**

|  |  |
| --- | --- |
| La page de présentation (p. 112) | 1 page |
| La table des matières (p. 113) | 1 page |
| 1. L'introduction et le but (p. 114) | ½ page à 1 page |
| 2. Le cadre théorique, la méthodologie et l'hypothèse (p. 118) | ½ page à 1½ page |
| 3. Le protocole expérimental (p. 120)   * Le matériel et les instruments * Les variables mesurées * Les manipulations * Le montage expérimental | 2 pages et plus |
| 4. Les mesures expérimentales (p. 124)   * Les mesures * Les incertitudes sur les mesures directes * Les données pertinentes | 1 page et plus |
| 5. Le traitement des données (p. 128)   * Les calculs et leurs explications * Les graphiques et leur analyse * Les résultats du traitement des données | 1 page et plus |
| 6. L'analyse et l'interprétation des résultats (p. 132)   * L'explication et la signification des résultats * La comparaison des résultats avec des valeurs théoriques, des valeurs de référence ou des valeurs d'expériences semblables * Les sources d’erreur possibles * Critique de la stratégie expérimentale * Les modifications à l'expérimentation | 1 page et plus |
| 7. La conclusion (p. 140)   * Bilan des résultats et de l'expérience * Ouverture | ½ page à 1 page |
| Les annexes (p. 142) et la bibliographie (150) | Selon les besoins |

Note : Pour faciliter la lecture et la réalisation du rapport, chacune des parties du rapport doit commencer sur une nouvelle page. Ainsi, dans le cas où une introduction ne prend qu’une demi-page, il faut commencer le cadre théorique sur une nouvelle page et non au bas de l’introduction.

#### 3.2 Les conventions d'écriture

Pour publier un document quelconque, il faut presque toujours se plier à certaines contraintes imposées par le domaine spécialisé dans lequel on travaille et par l’éditeur de la publication.

Tout comme les autres documents, la rédaction d'un rapport de laboratoire doit aussi suivre certaines normes internationales établies. Ces conventions sont présentes pour guider le rédacteur dans son travail et pour faciliter la lecture du rapport par les différentes personnes qui le consulteront.

Les principales règles et conventions sont présentées dans les deux tableaux suivants.

**Tableau 2 : Les règles de rédaction et de présentation du rapport de laboratoire**

|  |  |
| --- | --- |
| 1. | Le rapport de laboratoire doit être rédigé à l'aide d'un traitement de texte. |
| 2. | Certains graphiques, schémas et calculs peuvent cependant être faits à la main. Ces éléments devront toutefois être faits sur des feuilles séparées. Selon la taille de ces éléments, les feuilles pourront être placées directement dans le rapport ou elles pourront être découpées et collées dans le rapport à l'endroit désiré. |
| 3. | Le rapport de laboratoire est imprimé à simple interligne sur des feuilles blanches (8,5 x 11 po). |
| 4. | L'impression se fait au recto des feuilles seulement (à moins d'un avis contraire). |
| 5. | Le texte est imprimé à l’encre noire.  Les couleurs doivent être utilisées presque exclusivement pour les graphiques et les schémas. |
| 6. | Un rapport ayant plus de 5 pages doit être paginé et être accompagné d'une table des matières. |
| 7. | Il faut numéroter et nommer les schémas, les tableaux, les graphiques, etc.  Exemple : « Schéma 2 : Montage expérimental » |
| 8. | Les graphiques imprimés peuvent être colorés afin de différencier les détails présents.  Il est aussi possible d'ajouter à la main des éléments à ces graphiques (courbe de tendance, calculs, axe, etc.). |
| 9. | Les graphiques faits à la main doivent être tracés sur des feuilles quadrillées millimétriques. |
| 10. | Selon les besoins, des images, des photos ou des diagrammes peuvent être incorporés dans le rapport.  En plus d'ajouter une référence dans la médiagraphie, il faut alors préciser la source directement sous l'élément inséré.  Exemple : « Source : http://www.hydroquebec.com » |
| 11. | Le rapport doit être propre, bien présenté, et agrafé au coin supérieur gauche. Une feuille blanche doit être placée à la fin du rapport. |
| 12. | La qualité du français doit être très bonne du début à la fin du rapport. Le lecteur (le correcteur) sera déconcentré par les fautes d'orthographe et les erreurs syntaxiques. Il ne pourra pas se concentrer sur le contenu. |

**Tableau 3 : Principes de rédaction**

|  |  |
| --- | --- |
| 1. | Le rapport doit détailler le déroulement de l'expérience, à partir de sa conception jusqu'à l'analyse des données recueillies.  Le rapport est rédigé afin que tout lecteur puisse en comprendre les détails sans même avoir assisté à l'expérience. |
| 2. | Le rapport doit commencer avec le niveau de connaissance initial du chercheur et non pas avec son niveau de connaissance après l'expérimentation.  Ainsi, malgré le fait que le rapport soit rédigé après l'expérimentation, il faut se reporter à son niveau de connaissance avant l'expérimentation lorsqu'on commence la rédaction. Au fur et à mesure que la rédaction du rapport progresse, il suffit d'inclure les éléments découverts lors de l'expérimentation. |
| 3. | On écrit un rapport pour communiquer. Il faut toujours rédiger un rapport de laboratoire en ayant en tête qu’il s’adresse à des scientifiques non spécifiquement spécialisés dans ce domaine.  Dans votre cas, le rapport de laboratoire doit pouvoir être compris par un pair même s'il ne suit pas votre cours. Assurez-vous de décrire et d'expliquer suffisamment pour qu'un élève de 5e secondaire puisse reproduire l'expérience et suivre votre argumentation. |

### 4. Le contenu

#### 4.0.1 La page de présentation

Pour la page de présentation du rapport, il suffit de suivre le modèle de votre agenda.

Les noms des auteurs doivent être inscrits dans l’ordre alphabétique.

Le titre du rapport doit spécifier clairement le contenu de l’expérience.

COLLÈGE SAINTE-ANNE

TITRE

SOUS-TITRE

TRAVAIL PRÉSENTÉ À

MONSIEUR DANIEL NADEAU

DANS LE CADRE DU COURS

PHYSIQUE 584

PAR

XXXXXX YYYYYY

FOYER NNN

ET

XXXXXX YYYYYY

FOYER NNN

11 SEPTEMBRE 2004

**Figure 7 : Modèle de page de présentation**

Notes supplémentaires :

* Le titre doit spécifier clairement l'expérience qui a été réalisée.  
     
  Exemples : « La loi des gaz parfaits », « La réflexion de la lumière dans un miroir plan », etc.   
  Contre-exemples : « Expérience sur la lumière », «Laboratoire de l'étape 2 », etc.
* Le titre peut être accompagné d'un sous-titre donnant des détails supplémentaires sur l'expérience.  
    
  Exemples : le poste expérimental, le numéro d'une pièce, la masse utilisée, le miroir utilisé, etc.
* Les noms des auteurs doivent être inscrits dans l'ordre alphabétique.

#### 4.0.2 La table des matières

La table des matières est obligatoire pour les rapports de laboratoire ayant plusieurs pages. Elle doit être placée immédiatement après la page titre et elle doit suivre l'exemple ci-dessous.

Chaque section est suivie de points de suite et de la première page de la section.

TABLE DES MATIÈRES

L'introduction et le but p. 3

Le cadre théorique, la méthodologie et l'hypothèse p. 4

Le protocole expérimental p. 5

Matériel et instruments p. 5

Variables p. 5

Montage expérimental p. 5

Manipulations p. 5

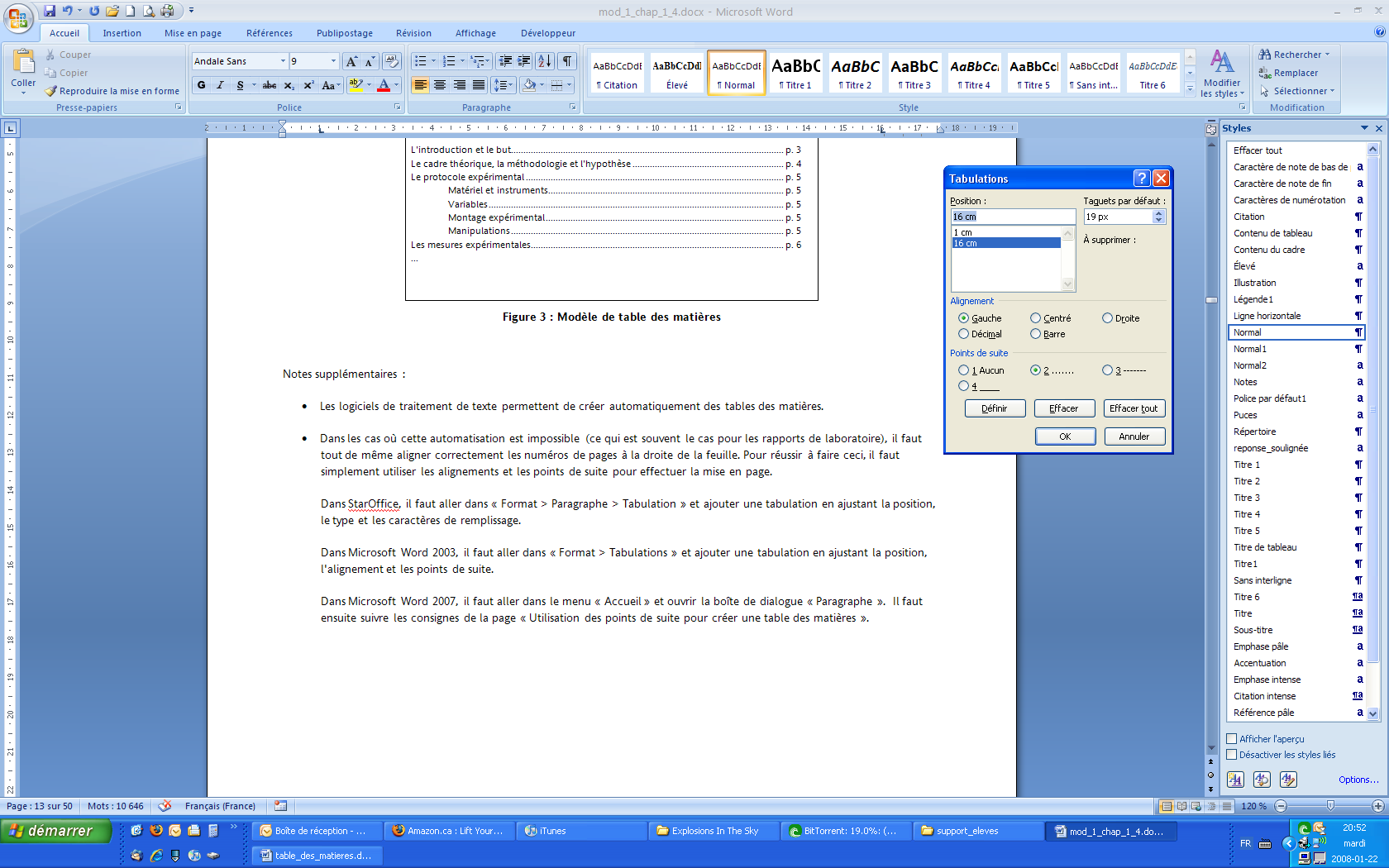
Les mesures expérimentales p. 6

...

**Figure 8 : Modèle de table des matières**

Notes supplémentaires :

* Les logiciels de traitement de texte permettent de créer automatiquement des tables des matières.
* Dans les cas où cette automatisation est impossible puisque des pages sont intercalées dans le travail (ex. : pages manuscrites et graphiques), il faut tout de même paginer correctement le travail et respecter les règles de présentation des tables des matières.   
    
  Pour faire des points de suite dans Word 2003, il faut aller dans « Format > Tabulations » tandis que dans Word 2007, il faut aller dans le menu « Accueil », ouvrir la boîte de dialogue « Paragraphe » et cliquer sur le bouton « Tabulations… ». Dans la boîte de dialogue « Tabulations », il faut ajouter une tabulation en ajustant la position, l'alignement et les points de suite. La figure ci-dessous présente un exemple d’une tabulation gauche à 16 cm ayant des points de suite.

  
**Figure 9 : Fenêtre de dialogue Tabulations sous Microsoft Word 2007**

Pour ajouter des points de suite dans StarOffice, il faut aller dans « Format > Paragraphe > Tabulation » et ajouter une tabulation en ajustant la position, le type et les caractères de remplissage.

#### 4.1 L'introduction et le but

L'introduction est un texte qui sert à informer le lecteur du sujet du rapport de laboratoire. L'introduction est généralement divisée en trois parties.

1. La première partie de l'introduction sert à présenter le sujet. Elle est équivalente à la partie « **Sujet amené**» de vos rédactions. Dans cette partie, on présente le sujet, on le situe dans son contexte et on donne un aperçu de l'intérêt qu'il présente. On peut alors parler du contexte historique de l'expérience, de la place de l'expérience par rapport à vos derniers apprentissages, du problème qui vous a été soumis, etc.
2. La seconde partie sert à définir le sujet. Elle est équivalente à la partie «**Sujet posé** » de vos rédactions. On énonce alors clairement le but de l'expérience. Il faut vraiment le mettre en évidence dans le texte. Il ne faut pas avoir peur d'utiliser des formules du genre :  
     
    - « Le but de l'expérience est ... »   
     
    - « But de l'expérience : ... »   
     
   Les tableaux 4, 5, 6 et 7 ci-dessous présentent les consignes supplémentaires pour la rédaction du but.
3. La troisième partie de l'introduction sert à diviser le sujet. Elle est équivalente à la partie «**Sujet divisé** » de vos rédactions. On annonce ici comment le sujet sera traité et comment le rapport est organisé : divisions, choix de mise en pages, annexes, etc.

Parties du rapport

But

Présentation du sujet

**L'INTRODUCTION**

Tout le monde a déjà remarqué qu’une bouteille d’eau laissée trop longtemps au congélateur se bombe lors de la congélation. Certaines personnes ont peut-être même eu à ramasser les dégâts causés par l’explosion d’une bouteille de verre laissée au congélateur. La cause de ceci est l’augmentation du volume lors de la solidification de l’eau. Cette expansion est presque exclusive à l’eau. Cette propriété particulière de l’eau nous amène à étudier la masse volumique de l’eau. Pour comprendre le phénomène d’expansion, il faudra étudier en détail les variations de la masse volumique de l'eau entre 0°C et 20°C.

But : Déterminer la relation entre la température de l'eau et la masse volumique de l'eau entre 0°C et 20°C afin de connaître la température pour laquelle la densité de l'eau est maximale.

Dans ce rapport, vous trouverez la démarche expérimentale qu'on a adoptée et nos différents résultats. Le graphique qu'on a réalisé grâce à notre expérience vous permettra de bien comprendre l'effet de la température sur la masse volumique de l'eau.

**Figure 10 : Modèle pour l'introduction et le but**

Notes supplémentaires :

* L'introduction et le but de l'expérimentation devraient normalement être rédigés avant l’expérimentation.
* L'introduction ne doit contenir aucune référence aux résultats obtenus et aux éléments de discussion.
* Dans l'introduction, il est important de susciter l'intérêt chez le lecteur du rapport. L'auteur doit faire en sorte que le lecteur soit intéressé à lire la suite du rapport et qu'il commence la lecture avec une opinion positive de ce rapport qu'il a à lire.
* L'introduction, tout comme la conclusion, est l'une des seules parties du rapport où l'auteur peut faire valoir ses qualités de rédacteur, démontrer son intelligence et sa perspicacité, s'exprimer plus librement, faire preuve d'originalité, etc. Dans le reste du rapport de laboratoire, l'auteur devra s'en tenir le plus possible aux faits et éviter tout écart inutile (blague, commentaire personnel, etc.).

**Consignes supplémentaires sur la rédaction du but :**

Le but a une importance cruciale, car le but est la clé de voûte de l'expérimentation et, par le fait même, du rapport de laboratoire. En effet, sans le but, il n'y aurait pas eu d'expérience et de rapport de laboratoire.

En lisant le but, le lecteur prendra connaissance de ce qu'il doit s'attendre en lisant le rapport de laboratoire. Le but sera ainsi le fil conducteur qui guidera le lecteur dans sa lecture du rapport. De la démarche expérimentale jusqu'à la conclusion où le rédacteur dira clairement si le but a été atteint, le lecteur basera sa compréhension et son évaluation sur le but énoncé par le lecteur.

Les deux paragraphes précédents montrent à quel point la rédaction du but est importante. Il ne faut pas la négliger. Il faut présenter clairement l'objet de l'expérience, s'assurer que le but sera atteignable, éviter toute ambiguïté, bien choisir chaque mot (surtout le verbe), etc.

**Tableau 4 : Les consignes pour la rédaction du but**

|  |  |
| --- | --- |
| **Objectifs du but** | * Présenter clairement le problème qu'on veut résoudre. * Présenter ce qu'on désire accomplir, trouver, atteindre ou prouver une fois l'expérience terminée (l'intention générale). * Préciser au lecteur ce qu'il doit attendre du rapport (l'intention générale poursuivie). |
| **Éléments à éviter** | * Le but ne doit pas décrire la méthode de mesure. * L'expérience n'est pas réalisée pour elle-même (ou pour l'enseignant). Elle est réalisée pour obtenir un résultat, pour atteindre un objectif particulier. * Donner un but qu'il sera impossible d'atteindre lors de l'expérimentation. |

**Tableau 5 : Exemples de verbes à utiliser**

|  |
| --- |
| **But** |
| **Établir** (**déterminer**)la relation entre « la variable x » et la « variable y ».  **Mesurer** la masse de sel dissous dans l'eau de mer.  **Identifier** un gaz inconnu dans une éprouvette.  **Vérifier** si la masse volumique de l'eau est constante entre 0°C et 100°C. |

**\*\*\* Note : Le choix du verbe est super important !!! Éviter « Trouver », « Chercher »**

**Tableau 6 : Exemples pour lesquels le verbe utilisé n’est pas adéquat**

|  |  |
| --- | --- |
| **But** | **Erreur ou ambiguïté** |
| **Mesurer** la masse volumique... | Il est impossible de mesurer la masse volumique d'une substance. Il faut mesurer la masse et le volume. Ensuite, on détermine la masse volumique en effectuant une division. |
| **Trouver** la force de friction... | Faut-il uniquement trouver la force de friction (son emplacement) S'il faut trouver sa grandeur, il faudrait plutôt écrire «**Déterminer** la grandeur de la force de friction ». |
| **Calculer** la résistance équivalente d'un circuit en parallèle... | Faut-il uniquement faire un calcul ? S'il faut faire des mesures et ensuite faire un calcul, il faudrait plutôt écrire «**Déterminer** expérimentalement la résistance équivalente d'un circuit en parallèle ». |

**Tableau 7 : Les deux types de buts et leurs règles de rédaction respectives**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Types de buts** | **Cas** | **Règles de rédaction** |
| **Buts de découverte** | Recherche d'une valeur unique inconnue  Il faut définir la grandeur recherchée et donner les conditions qui entourent l'expérience. | * Préciser s'il s'agit de la recherche d'une valeur numérique, d'une étude qualitative d'un comportement ou de la recherche d'une relation mathématique. * Préciser les variables et l'étendue de leur variation. * Ne proposer aucune comparaison avec une référence quelconque. |
| Recherche d'un comportement  Il faut déterminer la relation entre une grandeur et une variable. La réponse sera un graphique ou une fonction mathématique (si possible). |
| **Buts de vérification** | Vérification d'une propriété  La référence et la méthode de mesure sont jugées indiscutables. On cherche plutôt à vérifier la nature ou la qualité d'un produit. | * Identifier la source de la référence (son origine et sa nature). La référence peut être tirée d'un livre, d'une autre expérience ou d'un calcul fait à partir d'une théorie que l'on croit s'appliquer à la situation étudiée. * Préciser le sujet de la vérification selon les cas ci-contre. * Préciser les variables et l'étendue de leur variation (si on vérifie un comportement). * Identifier exceptionnellement la méthode dans le but s'il s'agit de la vérification d'une méthode. |
| Vérification d'une méthode  La référence et la nature de l'objet sont fiables. On veut vérifier la méthode de mesure ou les appareils de mesure. |
| Vérification d'une référence  L'objet et la méthode sont fiables. On veut améliorer ou contredire des résultats obtenus par d'autres moyens (théorie - méthode différente) ou d'autres personnes. |

La rédaction du but doit rendre évidente l'intention générale de l'expérience (but de découverte ou but de vérification). Tout en restant concis, le rédacteur doit, lors de la rédaction du but, réussir à bien communiquer son intention.

**Exercice 2 : Les types de but**

Pour chacun des buts suivants, identifiez le type de but et le cas.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Énoncés** | | **Types** | **Cas** |
| a) | Mesurer l'indice de réfraction afin de vérifier l'identification du type de verre livré. | vérification | propriété |
| b) | Déterminer la durée de fonctionnement d'une pile qui alimente en continu une ampoule de 5 watts. | découverte | valeur unique |
| c) | Vérifier si négliger le frottement est une approximation valable lors du calcul de l'accélération d'un chariot de Hall. | vérification | référence |
| d) | Mesurer la température de solidification d'un antigel afin de vérifier l'honnêteté de la publicité. | vérification | référence |
| e) | Établir la relation de décroissance de la tension aux bornes d'une pile de 9 volts en fonction de la durée d'alimentation d'une ampoule de 2 watts. | découverte | comportement |
| f) | Mesurer l'indice de réfraction de plusieurs substances connues afin de vérifier si notre méthode nous permet d'atteindre une précision de 1 %. | vérification | méthode |
| g) | Mesurer la température de solidification d'un antigel afin de vérifier notre méthode de mesure des températures de solidification. | vérification | méthode |
| h) | Mesurer la température de solidification d'un antigel afin de vérifier la qualité du produit. | vérification | propriété |
| i) | Déterminer la nature d'un gaz inconnu contenu dans une éprouvette. | découverte | valeur unique |
| j) | Établir la relation entre la masse d'un objet et la force de friction statique de l'objet. | découverte | comportement |

#### 4.2 Le cadre théorique, la méthodologie et l'hypothèse

Dans cette partie, on explique comment on se propose d'atteindre le but fixé précédemment.

Pour débuter, l'auteur doit présenter les **éléments théoriques** utilisés pour préparer l'expérience et ceux qui seront utilisés lors de l'expérience. L'auteur peut :

* faire référence aux notions étudiées en classe ;
* énoncer les lois physiques pertinentes ;
* expliquer le comportement à observer ;
* décrire les équations utilisées ;
* etc.

Ces éléments doivent être placés dans un ordre logique. Cette partie permet aux lecteurs d'avoir les éléments théoriques essentiels à la compréhension du rapport. (Note : L'auteur doit veiller à ne pas présenter des éléments abordés dans la discussion ou découverts lors de l'expérimentation.)

L'auteur doit aussi présenter la stratégie expérimentale (la **méthodologie**) qu'il compte utiliser pour répondre à son but. L'auteur peut énoncer les grandes lignes de sa démarche expérimentale, les paramètres mesurés, le choix des instruments, les modes d'interprétation des observations et les éléments de comparaison. Ici, l'auteur se limite à présenter et à justifier les parties de l'expérimentation. Il ne présente pas les étapes du protocole.

Ensuite, avec son **hypothèse**, l'auteur peut prédire les résultats qui devraient être obtenus. Il doit alors justifier ses prédictions à l'aide de la théorie exposée précédemment. Ici, il faut comprendre qu'il n'est pas toujours adéquat de formuler une hypothèse. Dans certaines situations, il est impossible de faire une hypothèse basée sur un raisonnement logique. Dans ces situations, il est important de ne pas présenter d'hypothèse. Il serait bête de présenter une hypothèse qui ne veut rien dire ou qui dit n'importe quoi !

Éléments théoriques

Hypothèse

Méthodologie

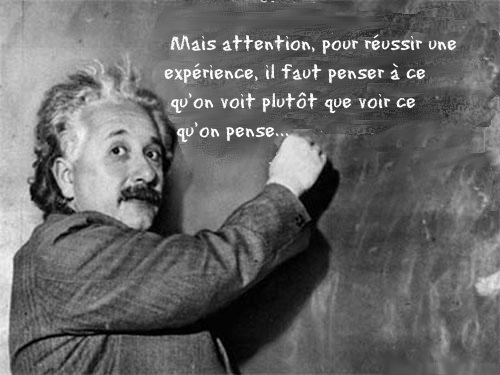
**LE CADRE THÉORIQUE, LA MÉTHODOLOGIE ET L'HYPOTHÈSE**

Depuis notre cours de 2e secondaire, on sait que la masse volumique est une grandeur caractéristique de la matière. En effet, une substance pure aura toujours la même masse volumique à une température donnée. Ici, on étudiera la masse volumique de l'eau pour des températures différentes. La variation de température fera donc varier légèrement la masse volumique.

Pour calculer la masse volumique, on prendra une masse d'eau et on mesurera son volume avec précision. Il ne nous restera qu'à diviser la masse par le volume pour obtenir la masse volumique de l'échantillon. Pour s'assurer d'avoir un bon niveau de précision, il faudra utiliser des instruments de précision pour effectuer la mesure de la masse et du volume.

En prenant des échantillons à différentes températures, on pourra tracer un graphique de la masse volumique en fonction de la température. Notre hypothèse est qu'on obtiendra probablement une relation directement proportionnelle entre la densité et la température. Il est probable que la densité de l'eau diminuera avec la température comme c'est le cas pour le gaz.

**Figure 11 : Modèle pour le cadre théorique, la méthodologie et l'hypothèse**



**Figure 12 : Albert Einstein (photographie truquée)**

**Exercice 3 : Conception initiale**

Sur la photographie truquée ci-dessus, Albert Einstein (1879-1955) nous donne un conseil très important par rapport aux activités de recherche en sciences. Explique ce conseil.

Explications : \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

#### 4.3 Le protocole expérimental

Dans cette partie du rapport, on doit retrouver toutes les informations nécessaires pour que quelqu'un puisse reproduire l'expérience dans des conditions semblables. Il faut penser ici aux principes de rédaction d'un rapport énoncés dans le tableau 3 de la page 111.

Dans le protocole expérimental, on doit retrouver :

* Le matériel et les instruments
* Les variables mesurées
* Les manipulations
* Le montage expérimental

**4.3.1 Le matériel et les instruments**

Il faut présenter le matériel utilisé sous la forme d'une liste à puces.

Selon la situation, il peut être suffisant de présenter uniquement le matériel particulier à l'expérience. Par exemple, si les expériences se font toujours dans un laboratoire de physique, il n'est peut-être pas nécessaire de toujours mentionner le support universel dans la liste du matériel.

Par contre, tous les instruments de mesure utilisés doivent être présentés. Ceux-ci doivent aussi être accompagnés de leur précision (incertitude) qu'on indique entre parenthèses.

Le matériel doit être présenté sous la forme d’une liste à puces.

Les instruments de mesure doivent être accompagnés de leur incertitude.

**LE PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL**

**Le matériel et les instruments :**

- Une règle graduée en millimètres (± 0,5 mm)

- Une balance à triple fléau (± 0,05 g)

- Bloc d'un métal inconnu

- Eau

[...]

[...]

**Figure 13 : Modèle pour le matériel et les instruments**

**4.3.2 Les variables mesurées et les variables utilisées dans le rapport de laboratoire**

Il faut déterminer les variables impliquées dans l'expérience et dans la résolution du problème qui suivra. Il faut identifier les variables indépendantes, les variables dépendantes et les constantes déterminantes qui influencent ou expliquent le problème.

Il faut faire attention ici à ne pas confondre les variables mesurées (le « x » est l'exemple classique d'une variable), les constantes et les unités de mesure. Pour bien saisir ce qu'est une variable, voici la définition du terme « variable » :

**Variable :** Symbole, terme, phénomène observable auquel on peut attribuer différentes valeurs prises dans un ensemble.

*Variable quantitative; variable qualitative; variable numérique; variables indépendantes; variable dépendante; correspondance entre deux variables; fonction de deux variables*.   
  
 Antonyme : constante.

Il faut présenter les variables sous la forme d'une liste à puces ou, préférablement, dans un tableau. Pour chaque variable, il faut normalement donner les informations suivantes :

* le nom de la variable
* le symbole de la variable
* les unités de mesure de la variable
* les informations supplémentaires (FACULTATIF)

Les constantes doivent être présentées sous le tableau des variables mesurées. On donne alors le nom de la constante, son symbole et sa valeur accompagnée des unités appropriées.

Les variables sont présentées dans un tableau.

Chaque variable est accompagnée de son symbole et de ses unités de mesure.

[...]

Tableau X : Les variables mesurées :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Variables** | **Symbole** | **Unités** | **Notes supplémentaires** |
| Masse | m | g | Il faudra convertir en kg. |
| Volume | V | mm³ | Il faudra convertir en m³. |
| Hauteur | h | mm |  |
| [...] | [...] | [...] | [...] |

P = 101,8 kPa

[...]

**Figure 14 : Modèle pour les variables**

**4.3.3 Les manipulations**

Dans l'ordre chronologique, il faut énumérer les manipulations à effectuer en laboratoire. Cette énumération doit expliquer en détail les étapes de l'expérience. En énumérant les manipulations, on se retrouve, sans le faire formellement, à donner les informations suivantes :

**Tableau 7 : Les deux types de buts et leurs règles de rédaction respectives**

|  |  |
| --- | --- |
| **Quoi** faire ? | Exemples : Qu'est-ce qui est mesuré ?  Quel montage doit être fait ? |
| **Comment** faire l’expérience ? | Exemples : Quel matériel doit être utilisé ?  Comment le matériel doit-il être placé ?  Quel moyen faut-il utiliser pour mesurer la variable « x » ?  Comment faut-il se placer pour mesurer la variable « x » ? |
| **Quelles conditions** doit-on respecter ou prévoir ? | Exemples : Dans quelles circonstances faut-il prendre en note la variable ?  Quelles précautions sont de mise ? |
| **Pourquoi ?**  (Souvent facultatif) | Exemples : À quoi cette étape servira-t-elle ? (Relation avec l’étape suivante)   Pourquoi faut-il procéder d’une façon particulière ? |

La liste des manipulations doit prendre la forme d'une liste numérotée.

Dans la liste des manipulations, il ne faut pas inclure des manipulations sans importance pour le déroulement de l’expérience. Par exemple, on n’écrira pas qu’il faut défaire le montage dans la liste des manipulations.

Dans les manipulations expérimentales, il faut éviter d'écrire les étapes liées au traitement des mesures expérimentales. Sauf certains cas particuliers, il ne faudrait jamais présenter une étape dans laquelle il est dit qu’un calcul doit être fait. Un calcul n’est pas une étape expérimentale. Les calculs seront présentés et expliqués dans le traitement des données et dans l'analyse.

Les manipulations sont concises et les verbes choisis sont adéquats.

Les étapes sont numérotées.

[...]

**Les manipulations :**

1. Avec la règle, mesurer la hauteur du bloc de métal.
2. [...]

[...]

**Figure 15 : Modèle pour les manipulations**

**4.3.4 Le montage expérimental**

Une description détaillée du montage doit également être donnée. Le schéma du montage doit faciliter la compréhension de la procédure expérimentale. Sur ce dessin, on doit retrouver :

* **Les appareils[[1]](#footnote-1) et les éléments du système**  
    
  Il faut identifier ces éléments par leur nom.
* **La position relative des éléments et la géométrie du système**  
    
  Sans être nécessairement à l'échelle, le schéma doit montrer clairement l'emplacement des éléments.
* **Les dimensions importantes**  
    
  Il faut indiquer les longueurs importantes, les angles importants, etc.
* **L’emplacement des variables mesurées**   
    
  On place simplement le symbole de la variable et des flèches pour montrer l'endroit où il faut effecteur la mesure.

**L**

**P**

**h**

**règle**

Bloc de

métal inconnu

Les emplacements des variables mesurées sont clairement illustrés. (Ex. : h)

Les appareils sont identifiés. (Ex. : la règle)

Les éléments sont identifiés. (Ex. : le bloc de métal)

[...]

**Le montage expérimental :**  
  
 Figure X : Montage expérimental

C:\Documents and Settings\2799\Local Settings\Temporary Internet Files\Content.IE5\85P6YITT\MCj02909240000[1].wmf

**Figure 16 : Modèle pour le montage expérimental**

#### 4.4 Les mesures expérimentales

Cette section du rapport constitue le recueil de la plupart des données et des observations qui sont prises lors de l'expérimentation (aucune valeur calculée). Principalement, on doit présenter ici les éléments suivants :

* Observations qualitatives
* Observations semi-quantitatives
* Observations quantitatives
* Dessins réalisés lors des observations
* Graphiques et tracés d'un appareil enregistreur
* La justification des incertitudes sur les mesures directes
* Toutes autres données pertinentes

Note : Puisque ces éléments sont souvent légèrement « abîmés » lors de l'expérimentation, il est souvent préférable de placer les originaux en annexe. Par exemple, un tableau utilisé pour noter la température d'un liquide lors de l'expérimentation risque d'être sur une feuille plutôt froissée. (En plus, il risque de ne pas respecter toutes les règles de présentation des tableaux.) Il est alors préférable de placer la version originale en annexe. Dans la section Mesures expérimentales, il suffit de placer une version au propre du tableau de mesures.  
  
Dans la plupart des cas, les documents produits au moyen d'un système d'acquisition quelconque (exemples : un ruban produit avec un chronomètre à rubans, un graphique produit par une machine, etc.) doivent aussi être placés en annexe. Les données essentielles seront reproduites dans des tableaux placés dans la section Mesures expérimentales.

Les données et les observations doivent souvent être rassemblées et organisées sous forme de tableaux. Ceux-ci permettent de regrouper les informations et de les rendre facilement accessibles. Lors de la réalisation d'un tableau, il faut faire très attention à respecter les règles de présentation des tableaux. Le tableau 8 présente les différentes règles de présentation des tableaux.

**Tableau 8 : Règles de présentation des tableaux**

|  |  |
| --- | --- |
| 1. | Chaque tableau doit être **numéroté**.  Exemple : Tableau 10 : Mesure… |
| 2. | Chaque tableau doit avoir un **titre** décrivant clairement le contenu ou l'utilité du tableau.  Exemple : Tableau 10 : Mesure du volume de 100 grammes d’eau selon la température |
| 3. | Le tableau doit être constitué de **cases tracées avec des lignes** et un encadré approprié (bordures extérieures et divisions). |
| 4. | Les séries de données (données se répétant) doivent être dans l'encadré et respecter les règles suivantes :  4.1 La **première colonne** doit contenir la **variable indépendante** (la variable placée en abscisse sur le graphique). À l'occasion, cette colonne peut être précédée d'une colonne indiquant le numéro de la mesure. Cette numérotation des différentes mesures est souvent intéressante, car il sera ensuite plus facile de commenter les différentes mesures dans la suite du rapport de laboratoire.  4.2 La **première ligne** du tableau doit contenir le nom des grandeurs (ou le symbole) que l'on retrouve dans la colonne.  4.3 La **deuxième ligne** du tableau doit indiquer les **unités** de chaque grandeur.  4.4 La **troisième ligne** du tableau doit indiquer l'incertitude des données de la colonne si celle-ci est identique pour toutes les mesures. L'incertitude doit respecter les règles sur les chiffres significatifs. Elle doit avoir un seul chiffre significatif et avoir la même précision (le même nombre de décimales) que les données de la colonne. (Voir la figure 19 de la page 126 et le module 3 de TMS.)  4.5 Les lignes suivantes doivent contenir les valeurs. Il faut veiller à respecter les règles sur les chiffres significatifs. Les valeurs doivent avoir la même précision (le même nombre de décimales) que l'incertitude. (Voir la figure 19 de la page 126 et le module 3 de TMS.) |
| 5. | La **légende** doit être placée sous l'encadré du tableau. Elle doit définir les symboles reliés aux variables et aux unités (sauf pour les unités SI). |
| 6. | Les valeurs uniques (constantes utiles, mesures uniques, valeurs théoriques, etc.) doivent être présentées sous l'encadré principal. Ces données doivent être disposées en lignes comprenant, dans l'ordre, la variable, le symbole, la valeur et les unités de cette valeur. |
| 7. | Sous le tableau, les incertitudes sur les mesures directes doivent être brièvement justifiées. |

Les incertitudes des mesures directes sont justifiées.

Les valeurs uniques sont placées sous le tableau.

Le tableau est numéroté et a un titre décrivant clairement son contenu (colonnes).

Les valeurs ont la même précision que les incertitudes.

L’incertitude a un seul chiffre significatif.

**LES MESURES EXPÉRIMENTALES**

Tableau 2 : Mesure du volume de 1000 grammes d'eau selon la température

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Mesure | Température  °C  ± 0,5°C | Volume  mL  ± 0,2 mL |
| 1 | 0,0 | 999,8 |
| 2 | 4,0 | 1000,0 |
| 3 | 8,0 | 999,8 |
| [...] | [...] | [...] |

Pression atmosphérique : P = ( 101,2 ± 0,4 ) kPa

Masse d'eau : m = ( 1000,0 ± 0,2 ) g

L'incertitude sur la température est de ± 0,5°C. Cette incertitude correspond à la moitié de la plus division du thermomètre que nous avons utilisé.

L’incertitude sur la pression atmosphérique tient compte de la moitié de la plus petite division (± 0,2) et de la variation de la pression atmosphérique durant le déroulement de l’expérience.

[,,,]

**Figure 17 : Modèle pour les mesures expérimentales (incertitudes constantes)**

Note : Pour les exemples, les données sont fictives et ne représentent pas la réalité.

**LES MESURES EXPÉRIMENTALES**

Tableau 3 : Mesure du volume de 100 grammes d'eau selon la température

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Mesure | T  °C | V  mL |
| 1 | 0,0 ± 0,2 | 998,6 ± 0,1 |
| 2 | 4,0 ± 0,4 | 1000,0 ± 0,2 |
| 3 | 8,0 ± 0,4 | 998,6 ± 0,2 |
| 4 | 12,0 ± 0,4 | 996,5 ± 0,3 |
| [...] | [...] | [...] |

T = température de l'eau

V = volume de l'eau

Pression atmosphérique : P = ( 101,2 ± 0,4 ) kPa

Masse d'eau : m = ( 1000,0 ± 0,5 ) g

[…]

**Figure 18 : Modèle pour les mesures expérimentales (incertitudes variables)**

ΔG est-il plus grand que 9 ?

Oui

Non

G doit être exprimé en notation scientifique.

(1 seul chiffre avant la virgule)

ΔG doit avoir un seul chiffre significatif.

(Arrondir à la hausse)

G doit avoir la même précision que l’incertitude. (Mêmes décimales)

(1 seul chiffre avant la virgule)

G ± ΔG

ΔG doit avoir un seul chiffre significatif. (Arrondir à la hausse)

G doit avoir la même précision que l’incertitude. (Mêmes décimales)

(1 seul chiffre avant la virgule)

( G ± ΔG ) ⋅ 10n

( G ± ΔG ) ⋅ 10n

G ± ΔG

G ± ΔG

**Figure 19 : Conventions d’écriture des mesures et des incertitudes absolues**

**Les règles sur les chiffres significatifs**

Avant de voir en profondeur le module 3 sur les chiffres significatifs, voici des exemples et des contre-exemples de mesures données avec des incertitudes.

Exemples :

|  |  |
| --- | --- |
| **Mesures** | **Explications** |
| 0,53 ± 0,02 | L'incertitude a un seul chiffre significatif (le 2).  La mesure et son incertitude ont la même précision (précision aux centièmes). |
| 2321 ± 4 | L'incertitude a un seul chiffre significatif (le 4).  La mesure et son incertitude ont la même précision (précision aux unités). |
| ( 1,4 ± 0,3 ) · 10³ | L'incertitude a un seul chiffre significatif (le 3).  (Il a fallu exprimer la mesure avec la notation scientifique pour ne pas devoir écrire ± 300.)  La mesure et son incertitude ont la même précision (précision aux dixièmes). |
| 1213,5 ± 0,5 | L'incertitude a un seul chiffre significatif (le 5).  La mesure et son incertitude ont la même précision (précision aux dixièmes). |
| 0,00 ± 0,01 | L'incertitude a un seul chiffre significatif (le 1).  La mesure et son incertitude ont la même précision (précision aux centièmes). |

Contre-exemples :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Mesures** | **Explications** | **Corrections** |
| 0,53 ± 0,2 | La mesure et son incertitude n'ont pas la même précision.  Mesure : précision aux centièmes  Incertitude : précision aux dixièmes | 0,5 ± 0,2 |
| 2321 ± 4,3 | L'incertitude a deux chiffres significatifs (le 4 et le 3).  Note : Il faut alors toujours arrondir l'incertitude à la hausse. | 2321 ± 5 |
| 1480 ± 300 | L'incertitude a trois chiffres significatifs (le 3, le 0 et le 0).  Pour avoir un seul chiffre significatif sur l'incertitude, il faut exprimer la mesure et son incertitude avec la notation scientifique. | ( 1,5 ± 0,3 ) · 10³ |
| 12 ± 0,5 | La mesure et son incertitude n'ont pas la même précision.  Mesure : précision aux unités  Incertitude : précision aux dixièmes  On peut penser que l'expérimentateur a oublié de noter un « 0 »...  Cependant, si on n'est pas certain que le problème n'est qu'un simple oubli, il faut augmenter l'incertitude! | 12,0 ± 0,5  ou  12 ± 1 |
| 0 ± 0,1 | 0,0 ± 0,1  ou  0 ± 1 |

Note : On ne peut pas lire un instrument de mesure plus précisément qu’à la moitié de la plus petite division.

#### 4.5 Le traitement des données

Le plus souvent, les données expérimentales brutes ne permettent pas de répondre immédiatement au but. L'expérimentateur doit transformer les mesures expérimentales en résultats significatifs. Pour arriver à faire ceci, il doit choisir une démarche dans laquelle il a à appliquer des lois, à utiliser des méthodes, à faire différents calculs et à construire des graphiques. Dans cette partie du rapport, le rédacteur du rapport présentera les étapes de cette démarche. Voici ce qu'il doit alors présenter :

* Les calculs et leurs explications
* Les graphiques et leur analyse
* Les résultats du traitement des données

Dans cette section, il est important de présenter les trois items ci-dessus dans un ordre logique. L'ordre de présentation des items doit permettre au lecteur de suivre le raisonnement de l'auteur du rapport. Bien évidemment, les trois items peuvent être scindés et présentés à plusieurs reprises selon les besoins du rapport. Voici, ci-dessous, des exemples fictifs pour illustrer l'ordre dans lequel les items ci-dessus peuvent être présentés.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Exemple 1 |  | Exemple 2 |
| * Présentation des **calculs** de la masse volumique * Présentation de la **valeur** numérique de la masse volumique |  | * Présentation du **graphique** de la température en fonction du temps * Présentation de l'**analyse du graphique** * Présentation de la **valeur** de la température d'ébullition |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Exemple 3 |  | Exemple 4 |
| * Présentation des **calculs** des forces appliquées sur un objet * Présentation du **graphique** de la force en fonction de la longueur * Présentation de l'**analyse du graphique** * Présentation de la **valeur** numérique de la constante d'élasticité (pente du graphique) |  | * Présentation des **calculs** de la vitesse d'un mobile * Présentation du **graphique** de la vitesse en fonction du temps * Présentation de l'**analyse du graphique** * Présentation des **calculs** de l'accélération * Présentation du **graphique** de l'accélération en fonction du temps * Présentation de l'**analyse du graphique** * Présentation de la **valeur** retenue pour l'accélération |

Note : Le but du traitement des données est d'arriver à obtenir des résultats significatifs. On obtient avant tout des chiffres et des relations mathématiques. Ces résultats ne seront pas expliqués dans cette partie du rapport. C'est dans l'analyse et dans l'interprétation qu'il faudra expliquer les résultats.

**4.5.1 Les calculs et leurs explications**

Rappel :

Les calculs et leurs explications ne sont pas nécessairement la première partie du traitement des données. Le traitement des données peut débuter avec un graphique comme le montre l’exemple 2 de la page 128 si, par exemple, les données expérimentales ne nécessitent pas de transformation.   
  
Tous les calculs et leurs explications n’ont pas à être regroupés au même endroit. Il faut plutôt les présenter dans l’ordre logique où ceux-ci doivent être utilisés (exemple 4 de la page 128).

Pour chaque type de calcul ou de changement d'unités, le rédacteur du rapport de laboratoire doit :

* Expliquer la raison du calcul ou du changement d'unités.
* Présenter et expliquer la formule ou la méthode qu'il utilisera.
* Donner seulement un exemple complet de calcul.
* Expliquer le traitement de l'incertitude et donner   
  un exemple de calcul (si ceci est exigé).
* Respecter les règles sur les chiffres significatifs.

Les valeurs calculées devront ensuite être présentées dans des tableaux en respectant les règles de présentation des tableaux.

Des liens sont faits entre les différentes parties du rapport.

Des liens sont faits entre les différentes parties du rapport.

Les valeurs calculées sont présentées dans des tableaux qui précèdent les graphiques correspondants.

Les valeurs sont exprimées en respectant les chiffres significatifs et les incertitudes.

Un exemple de calcul est présenté pour chaque calcul.

Les formules sont présentées et expliquées s’il y a lieu.

Les raisons des calculs sont expliquées.

**LE TRAITEMENT DES DONNÉES**

À partir des mesures expérimentales du tableau 3, nous allons calculer la masse volumique de l’eau pour chaque température. Ceci nous permettra de voir la variation de la masse volumique selon la température. Pour obtenir la masse volumique, nous allons simplement utiliser la formule suivante :

**ρ =  m**

**V**

Voici un exemple de calcul avec la mesure à 4,0°C :

T = ( 4,0 ± 0,4 ) °C m = ( 1000,0 ± 0,5 ) g

V = ( 1000,0 ± 0,2 ) mL

ρ = 1000,0 = 1,0000 g/mL

1000,0

En utilisant la méthode des extrêmes, on peut exprimer cette valeur avec l’incertitude appropriée :  
  
 ρ = ( 1,0000 ± 0,0007 ) g/mL

Voici le calcul qu’il faut appliquer pour déterminer l’incertitude absolue sur la masse volumique :

[…]

Maintenant, on peut présenter un tableau présentant la masse volumique pour chaque température.

Tableau 4 : Masse volumique de l'eau selon la température

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Mesure | T  °C | ρ  g/mL |
| 1 | 0,0 ± 0,2 | 0,9986 ± 0,0003 |
| 2 | 4,0 ± 0,4 | 1,0000 ± 0,0007 |
| [...] | [...] | [...] |

Maintenant…

**Figure 20 : Modèle pour les calculs et leurs explications**

**4.5.2 Les graphiques et leur analyse**

Rappel :

Les graphiques et leur analyse ne sont pas nécessairement la deuxième partie du traitement des données. Le traitement des données peut débuter avec un graphique comme le montre l’exemple 2 de la page 128 si, par exemple, les données expérimentales ne nécessitent pas de transformation.   
  
Les graphiques et leur analyse n’ont pas à être regroupés au même endroit. Il faut plutôt les présenter dans l’ordre logique où ceux-ci doivent être utilisés (exemple 4 de la page 128).

Le traitement des données comprend aussi les graphiques réalisés à partir des données. Les graphiques doivent être présentés en suivant les règles du Module 2 de TMS. Voici un bref résumé de ces règles :

* Les graphiques doivent être immédiatement précédés d'un tableau contenant les valeurs servant à construire le tableau. Dans ce tableau, les données placées dans la première colonne du tableau doivent se retrouver sur l'axe des abscisses (« x ») du graphique.
* Les unités du graphique doivent être les mêmes que celles des valeurs présentées.
* Les graphiques doivent être tracés à la main sur des feuilles quadrillées millimétriques (à moins d'indication contraire) ou imprimés sur des feuilles blanches de grandeur régulière.
* Les graphiques peuvent figurer en mode portait (8½ x 11) ou paysage (11 x 8½).
* Les graphiques doivent être placés au bon endroit dans le rapport. Ils ne doivent pas se retrouver en annexe.
* L'utilisation de couleurs est permise pour les détails du graphique.

Bien sûr, les graphiques doivent aussi être accompagnés de leur analyse. L'analyse peut inclure les éléments suivants :

* Il faut expliquer l'allure générale du graphique :   
  - fonction linéaire - fonction quadratique - fonction inversement proportionnelle au carré  
  - fonction affine - fonction inversement proportionnelle - etc.
* Il faut commenter les parties de la courbe qui semblent ne pas répondre à l'allure générale.  
  Ex. : Présence d'une droite distincte pour les premiers points du graphique, présence d'une légère courbe à la suite de la fonction affine, etc.
* Il faut commenter les points qui semblent aberrants.   
  Ex. : Pour tracer la meilleure droite, nous avons négligé le point (4, 9), car ce point…
* Il faut expliquer la méthode utilisée pour trouver l'équation du graphique.  
  Ex. : Pour déterminer l’équation, nous avons trouvé deux points sur la droite tracée (points identifiés en bleu) et…
* Il faut présenter le calcul de la pente et expliquer les unités de la pente (pour les fonctions linéaires et affines).
* Il faut présenter l'équation mathématique du graphique et expliquer sa signification et ses caractéristiques.  
  Ex. : Signification de l'ordonnée à l'origine, domaine et image de la fonction, etc.

L’allure générale du graphique est présentée.

L’analyse du graphique suit immédiatement le graphique.

Les particularités du graphique sont détaillées.

Les points servant à calculer la pente sont donnés et le calcul de chaque pente est présenté en détail et avec les incertitudes s’il y a lieu.

Le graphique est présenté seul sur une page.

Des liens sont faits entre les différentes parties du rapport.

Les tableaux précèdent les graphiques correspondants.

L’équation du graphique est donnée avec les variables adéquates.

L’équation est expliquée.

**LE TRAITEMENT DES DONNÉES**

[…]

À partir du tableau 4, on peut construire le graphique de la masse volumique en fonction de la température. À la page suivante (p. 12), vous trouverez ce graphique. À la page 13, vous trouverez son analyse détaillée.

p. 12

[Graphique…]

p. 13

Analyse du graphique

À la page précédente, on peut remarquer sur le graphique de la masse volumique en fonction de la température que la courbe semble suivre l’allure générale d’une…

Il faut noter que les points […] ne se trouvent pas sur la droite principale. […]

Pour calculer la pente de la section 1, nous avons choisi le point […] et le point […].

Voici le calcul effectué pour trouver la pente minimale et la pente maximale :

[…]

On peut exprimer la pente avec la valeur médiane et l’incertitude. Voici la valeur :

[…]

Ainsi, l’équation du graphique est […].

Dans cette équation, l’ordonnée à l’origine est […]. Il faut noter que l’équation s’applique pour des valeurs de [domaine…]. […]

**Figure 21 : Modèle pour les graphiques et leur analyse**

**4.5.3 Les résultats du traitement des données**

Les résultats obtenus avec le traitement des données seront finalement regroupés et mis en évidence. Ils seront présentés à la fin de cette partie du rapport sous la forme d'un tableau. Ils sont placés à cet endroit pour faciliter la discussion qui suivra.

Les résultats qu’il faut retenir sont clairement mis en évidence à la fin du traitement des données.

**LE TRAITEMENT DES DONNÉES**

[…]

L’équation du graphique de la page 12 illustre bien la relation entre la température et la masse volumique de l’eau.

Relation mathématique : ρ = […]

**Figure 22 : Modèle pour la présentation du résultat du traitement des données**

#### 4.6 L'analyse et l'interprétation des résultats

Cette section est probablement la plus importante du rapport de laboratoire, car elle indique les conclusions tirées de l'expérience. C'est dans cette section qu'il sera enfin possible de répondre au but de l'expérience et de vérifier, s'il y a lieu, les hypothèses. Voici les éléments à inclure dans cette partie :

* L'explication et la signification des résultats
* La comparaison des résultats avec des valeurs théoriques, des valeurs de référence ou des valeurs d'expériences semblables
* Les sources d’erreur possibles
* La critique de la stratégie expérimentale
* Les modifications au plan initial et celles souhaitables

**4.6.1 L'explication et la signification des résultats**

À la fin de la section précédente (Le traitement des données), l'expérimentateur s'était contenté de présenter les résultats dans des tableaux. L'expérimentateur doit maintenant présenter et expliquer ces résultats à l'aide d'un court texte. Il faut bien comprendre que les chiffres ne parlent pas d'eux-mêmes !

Cette étape est nécessaire, car c'est à ce moment que l'expérimentateur réussit à présenter une première réponse au but de l'expérience. Voici des questions qui peuvent aider à élaborer cette partie du rapport :

* Quels résultats faut-il retenir ?
* Que veut dire la valeur obtenue ?   
  Est-ce une propriété caractéristique ?   
  Quelles autres valeurs auraient été possibles avec une autre substance ou d'autres conditions expérimentales ?
* Que veut dire l'équation obtenue ?   
  Dans quelles conditions l'équation obtenue est-elle valide ?   
  Que signifie chaque paramètre de l'équation ?
* Quelle est la réponse au but ?
* Etc.

La réponse au but est donnée et expliquée clairement.

Les résultats obtenus sont mis en relation avec le but de l’expérience.

Les valeurs possibles sont données et expliquées.

La signification « conceptuelle » des résultats est expliquée en détail.

Note : Pour cet exemple et les suivants, les textes font référence à une expérience où il fallait déterminer la masse volumique de certaines essences de bois.

La signification « numérique » des résultats est expliquée en détail.

L’équation du graphique est expliquée.

Les résultats à retenir sont répétés.

**L’ANALYSE ET L’INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS**

**Explication et signification des résultats**

Avec le graphique de la masse en fonction du volume, nous avons obtenu une équation

propre à chacune des trois essences de bois étudiées. Dans ces équations, la pente correspond à   
la masse volumique de chaque essence de bois. Voici les valeurs :

ρcèdre = ( 0,40 ± 0,06 ) g/mL

ρchêne = ( 0,7 ± 0,1 ) g/mL

ρébène = ( 1,1 ± 0,1 ) g/mL

La masse volumique nous indique la masse par unité de volume. Par exemple, un morceau de 1000 mL (10 cm × 10 cm × 10 cm) de cèdre aura une masse d’environ 400 g. Pour ce qui est du chêne et de l’ébène, la masse sera plus grande pour un échantillon de même volume.

Pour calculer la masse volumique d’un morceau de bois, il suffit d’utiliser la formule suivante :

ρ = \_\_m\_\_

V

où ρ = masse volumique (g/mL)

m = masse (g)

V = volume (mL)

Bien sûr, la formule ci-dessus peut être utilisée pour calculer la masse ou le volume d’un échantillon de bois dont on connaît l’essence. Il suffit alors d’isoler la variable inconnue.

Nous savions déjà que la masse volumique est une propriété caractéristique des substances. Ainsi chaque substance pure a une masse volumique qui lui est propre. Pour le bois, nous ne pensions pas que la masse volumique était si différente d’une essence à une autre et pouvait aider à distinguer les différentes essences de bois. […]

Les valeurs possibles pour la masse volumique sont toutes les valeurs réelles plus grandes que 0. (Une masse volumique de zéro signifierait que la masse de la substance est égale à zéro.) Plus la valeur est grande, plus la masse sera grande par unité de volume.

Pour les essences de bois, nous avons trouvé sur Internet que la masse volumique varie de 0,35 g/mL à 1,15 g/mL. Les bois tendres (résineux) ont généralement une masse volumique plus petite que celle des bois durs (feuillus). Il est à noter que presque tous les bois ont une masse volumique inférieure à 1 g/mL (masse volumique de l’eau). Ainsi, presque tous les bois peuvent flotter sur l’eau.

Dans notre cas, il y a le cèdre et le chêne qui peuvent flotter sur l’eau. L’ébène a une masse volumique trop élevée et il va couler au fond de l’eau.

Le but de notre expérience étant de trouver un bois adapté à la construction d’un radeau, il nous semble que le chêne serait le bois idéal. Le chêne est un bois dur qui serait parfait pour la construction du radeau. Même si sa masse volumique est plus grande que le cèdre, il nous semble un meilleur choix, car le cèdre semble trop mou et trop perméable à l’eau.

Note : Lors de l’expérience, certains morceaux de cèdre se sont imbibés d’eau. Leur masse volumique a alors augmenté grandement et nous avons exclu ces morceaux dans nos calculs. Un radeau en cèdre aurait ce problème s’il avait à rester longtemps sur l’eau.

**Figure 23 : Modèle pour l'explication et la signification des résultats**

**4.6.2 La comparaison des résultats avec des valeurs théoriques, de référence ou d'expériences semblables**

À cette étape, l'expérimentateur peut comparer ses résultats expérimentaux. Selon les possibilités et l'expérience, il peut les comparer avec :

* des valeurs théoriques ;
* des valeurs expérimentales de références ;
* des valeurs obtenues lors d'expériences similaires effectuées par ses pairs. Il faut alors mentionner le nom des personnes ayant obtenues ces résultats.

Pour effectuer la comparaison, l'expérimentateur doit utiliser la notion d'égalité physique. Cette notion est expliquée à la page 148. Cette comparaison va permettre à l'auteur de faire une première critique des résultats obtenus.

Il ne faut pas hésiter à chercher dans des livres de références ou sur Internet pour trouver ces valeurs de comparaison. Il faudra alors penser à ajouter une référence dans la bibliographie du rapport.

Les résultats expérimentaux et théoriques sont présentés clairement.

La provenance des valeurs théoriques est mentionnée.

Les résultats de la comparaison sont expliqués.

Le principe d’égalité physique est utilisé pour comparer les valeurs expérimentales et théoriques.

masse vol. théo.

g/mL

masse vol. expér.

g/mL

0,3 0,4 0,5 0,6

0,3 0,4 0,5 0,6

**L’ANALYSE ET L’INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS**

[…]

**Comparaison des résultats expérimentaux avec les valeurs théoriques**

Sur Internet, nous avons trouvé les masses volumiques théoriques de nos trois essences de bois. Le tableau suivant présente nos valeurs expérimentales et les valeurs théoriques trouvées sur Internet.

Tableau 5 : Masses volumiques expérimentales et théoriques des trois essences de bois

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Essences | Masses volumiques  (valeurs expérimentales)  g/mL | Masses volumiques  (valeurs théoriques)  g/mL |
| Cèdre | 0,40 ± 0,06 | 0,50 ± 0,03 |
| Chêne | 0,7 ± 0,1 | 0,8 ± 0,2 |
| Ébène | 1,1 ± 0,1 | 1,15 ± 0,05 |

Pour comparer adéquatement les valeurs, nous avons appliqué la notion d’égalité physique. Voici les schémas explicatifs :

Figure 7 : Comparaison des masses volumiques expérimentales et théoriques du cèdre

Sur la figure 7, on remarque qu’il n’y a pas d’égalité physique entre la valeur expérimentale et la valeur théorique. Notre résultat est plus petit que la valeur théorique. Ceci est probablement dû au fait que nos avons rejeté certains échantillons « trop humides » lors de l’expérimentation. Il aurait fallu garder ces échantillons. On peut aussi douter de la « fraîcheur » de notre échantillon […]

**Figure 24 : Modèle pour la comparaison des résultats**

Les résultats sont aussi interprétés. L’auteur donne un sens, une signification aux résultats.

Les résultats de la comparaison sont expliqués.

Des informations supplémentaires sont présentées.

Le principe d’égalité physique est utilisé pour comparer les valeurs expérimentales et théoriques.

masse vol. théo.

g/mL

masse vol. expér.

g/mL

0,6 0,7 0,8 0,9 1,0

0,6 0,7 0,8 0,9 1,0

[…]

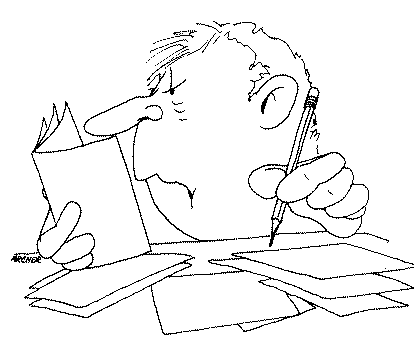
Figure 8 : Comparaison des masses volumiques expérimentales et théoriques du chêne

Sur la figure 8, on remarque qu’il y a une égalité physique entre la valeur expérimentale et la valeur théorique. Cette égalité physique a lieu entre 0,6 et 0,8 g/mL comme le montrent les hachures de la figure 8.

Il est intéressant de remarquer que notre résultat expérimental est dans la moitié inférieure des valeurs théoriques. Notre résultat relativement bas peut être expliqué par le fait que la masse volumique du chêne varie beaucoup entre le cœur et son pourtour (d’où le grand écart entre les valeurs théoriques minimale et maximale). Ayant des échantillons pris à l’extérieur du cœur, il est normal d’obtenir des résultats se situant […]

Il est intéressant de noter que les valeurs théoriques du tableau 5 sont valides pour un pourcentage d’humidité de 0%. Si l’humidité d’un bois augmente, sa masse volumique augmente grandement. Sur Internet, nous avons trouvé qu’un bois à 20% d’humidité a, en général, une masse volumique de 0,1 g/ml plus grande. Pour 50% d’humidité, c’est 0,5 g/mL qu’il faut ajouter à la masse volumique initiale.

**Figure 25 : Modèle pour la comparaison des résultats (suite de la figure 24)**

****

**Figure 26 : Comparer et expliquer**

**4.6.3 Les sources d’erreur possibles**

Après la comparaison, il faut tenter d'expliquer les divergences en présentant les éléments qui peuvent expliquer l'écart entre les résultats et les valeurs de comparaison. L'expérimentateur doit ainsi présenter les sources d'erreurs et la façon dont chaque source a pu influencer le résultat. L'auteur a avantage à séparer les sources d'erreurs selon deux catégories :

**1. Erreurs systématiques**  
  
Les erreurs systématiques sont des erreurs qui se répètent systématiquement d'une mesure à l'autre. Elles ne peuvent être évitées durant l'expérience et elles influencent de la même façon tous les résultats. Dans tous les cas, on obtient des mesures qui seront toujours systématiquement supérieures à la valeur exacte ou systématiquement inférieures à la valeur exacte.

Ainsi, une erreur systématique agit dans un seul sens :

* Une erreur peut diminuer systématiquement toutes les valeurs d'une mesure.  
  ou
* Une autre erreur peut, à l'inverse, augmenter systématiquement toutes les valeurs.

Les erreurs systématiques sont dues :

* soit aux appareils ;
* soit aux méthodes employées ;
* ou les deux à la fois.

On peut déceler et corriger les erreurs systématiques en utilisant d'autres méthodes de mesure ou différents appareils.   
  
Note : Les méthodes employées comprennent l'environnement, l'observateur et la méthode de mesure.

**2. Erreurs fortuites**  
  
Les erreurs fortuites sont des erreurs aléatoires. Elles sont imprévisibles quand elles se produisent. On ignore leur grandeur et leur signe. Tantôt elles fournissent des mesures plus élevées, tantôt des valeurs moindres à la valeur exacte.

Elles sont dues essentiellement :

* à l'imperfection des qualités sensorielles de l'expérimentateur  
  et
* à l'imperfection des qualités mécaniques de l'appareil de mesure

On peut déceler et évaluer les erreurs fortuites en effectuant plusieurs fois les mêmes mesures et en calculant les moyennes.

Note : Le Module 3 de TMS donne davantage de détails sur les sources d'erreurs.

Notes supplémentaires :

* Le rédacteur du rapport peut aussi dégager la cause d'erreur la plus importante.
* La prise de notes lors de l'expérience (observations qualitatives) facilite la rédaction de cette partie.
* Il ne faut pas mentionner une erreur d'inattention à moins d'être certain que l'erreur ait été commise et qu'il ait été impossible de refaire la manipulation pour éliminer l'erreur.
* Il ne faut pas inventer des erreurs « stupides » (mauvais calculs sur la calculatrice, mauvaises lectures d’une mesure sur une règle, etc.). Personne ne devrait faire ces erreurs !
* Il ne faut pas oublier de présenter les erreurs provenant de la stratégie expérimentale (facteurs qu'on a choisi de négliger, approximations, instruments inadéquats, etc.).
* Il ne faut pas exagérer l'effet de certaines sources d'erreur. Par exemple, la friction de l'air dans une expérience est souvent une source d'erreur beaucoup moins importante que plusieurs autres sources d'erreur.
* Il ne faut pas confondre les « erreurs » et les « incertitudes ».

L’auteur présente et explique les erreurs systématiques.

L’auteur présente et explique les erreurs aléatoires.

**L’ANALYSE ET L’INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS**

[…]

**Les sources d’erreur**

Pour la mesure du volume, le fait de déterminer le volume en mesurant les côtés à l’aide d’une règle nous a sûrement causé des problèmes. Certains blocs avaient des côtés non parallèles. Le calcul du volume (hauteur × largeur × profondeur) est donc problématique. Plusieurs volumes calculés sont entachés d’une petite erreur aléatoire. […]

Selon nous, cette façon de déterminer le volume était aussi associée à une erreur systématique relativement importante. Le volume calculé comprenait les aspérités sur les six faces des blocs. Dans notre calcul de la masse volumique, nous avons divisé la masse (bois) par ce volume (bois + air). Dans l’eau, le problème est que ces trous seront remplis d’eau. Il est alors évident que la masse pour le même volume sera plus grande. [Analogie avec le fromage gruyère…] […]

MCj03489110000[1]

[…]

**Figure 27 : Modèle pour les sources d’erreur**

**4.6.4 Critique de la stratégie expérimentale**

Dans cette partie, il faut analyser la méthode expérimentale et la mettre en relation avec la précision des résultats obtenus. Dans le cas de résultats quantitatifs, le calcul de l'incertitude relative permet d'avoir une bonne idée de la précision des résultats. Cette incertitude permet de poser un jugement sur la précision des résultats et de dire si la démarche a permis de répondre au but avec satisfaction et précision.

Dans la critique de la stratégie expérimentale, l'auteur peut aussi analyser les différentes causes d'incertitude et spécifier celle qui a le plus influencé la précision du résultat.

Il faut penser à ajuster la sévérité de la critique avec le niveau scolaire ou le niveau de performance annoncé dans l'introduction. Avec une expérience au secondaire, il ne faut pas chercher à obtenir la même précision qu'une expérience réalisée à l'université ou dans un laboratoire de pointe.

Dans sa critique, l’auteur met en relation les causes d’erreurs et les résultats.

L’auteur porte un jugement sur la précision des résultats.

Le calcul de l’incertitude relative est présenté.

L’auteur dit explicitement si l’expérience a permis de répondre au but.

La précision des résultats est présentée en utilisant l’incertitude relative.

**L’ANALYSE ET L’INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS**

[…]

**Critique de la stratégie expérimentale**

Selon nous, l’expérience nous a permis de bien identifier le bois à utiliser pour construire un radeau. En déterminant la masse volumique de nos trois essences de bois, nous avons pu comprendre que les blocs devaient avoir une masse volumique inférieure à celle de l’eau. Ceci nous a permis d’éliminer rapidement une essence de bois (l’ébène) et de garder uniquement les deux essences ayant une masse volumique inférieure à 1,0 g/mL (le cèdre et le chêne).

Les masses volumiques trouvées ont une précision ni faible, ni élevée. L’incertitude relative est de 15% pour le cèdre et de 14% pour le chêne.

Calculs : Cèdre : 0,06 × 100 = 15%

0,40

Chêne : 0,1 × 100 = 14%

0,7

Selon nous, ces incertitudes sont réalistes. Nous devons considérer que le bois n’est pas une substance pure. Il ne faut pas s’attendre à avoir une précision aussi grande que celle que nous aurions trouvée en déterminant la masse volumique de bloc d’aluminium pur.

À la limite, les masses volumiques trouvées auraient pu varier encore plus. Pour le chêne, les blocs que nous avions semblaient provenir d’une même zone d’un seul arbre. Si nous avions eu des échantillons pris à différents endroits dans l’arbre et pris dans différents arbres, il est probable […].

Pour le cèdre, nous avons des doutes par rapport à l’incertitude, à l’exactitude de nos résultats et à la stratégie expérimentale. Comme nous l’avons dit dans les sources d’erreurs, la mesure du volume des blocs de cèdre n’auraient pas dû être effectuée en mesurant les côtés des blocs. Comme nous l’avons dit dans les sources d’erreurs, les volumes pour les blocs de cèdre sont toujours trop grands. Ainsi, les masses volumiques ne sont pas appropriées si nous considérons que le fait que le bois de notre radeau sera immergé dans l’eau.

De plus, pour les blocs de cèdre, il est maintenant évident que nous n’aurions pas dû exclure les morceaux de cèdre imbibés d’eau, car […].

**Figure 28 : Modèle pour la critique de la stratégie expérimentale**

**4.6.5 Les modifications à l'expérimentation**

Le rédacteur peut maintenant suggérer des modifications susceptibles d'améliorer l'expérimentation. Ces modifications devraient permettre de corriger les sources d'erreurs décrites préalablement et d'améliorer la précision des résultats.

Des modifications simples sont suggérées pour améliorer l’expérience.

**L’ANALYSE ET L’INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS**

[…]

**Les modifications à l’expérimentation**

Pour éviter le problème relié aux aspérités du bois, on aurait pu mesurer le volume des blocs de bois par déplacement d’eau.

Dans ce cas, il aurait fallu faire attention à submerger complètement chaque bloc pour avoir le volume exact. L’illustration suivante présente le montage à utiliser pour faire la mesure du volume.

[…]

Ainsi […]

**Figure 29 : Modèle pour les modifications à l’expérimentation**

Note : Lorsqu'on fait la comparaison avec les valeurs de comparaison, qu'on présente les sources d'erreurs, qu'on critique la démarche et qu'on suggère des modifications à l'expérience, il ne faut pas penser à démolir systématiquement ce qui a été fait. Il faut plutôt montrer qu'on est capable de juger adéquatement de la valeur du travail.   
  
En fait, le but des expériences lors des cours au secondaire n'est pas d'obtenir des valeurs expérimentales égales aux valeurs théoriques. Le but est de faire développer l'esprit critique à la base de toute démarche scientifique.

#### 4.7 La conclusion

La conclusion est composée d'une **partie bilan** (bilan des résultats et bilan de l'expérimentation) et d'une **partie ouverture**.

Dans le **bilan des résultats**, il faut retrouver la synthèse des faits et des opinions retenus par l'auteur. L'auteur doit poser les actions suivantes :

* Rappeler le problème de départ.
* Dire explicitement si le but a été atteint.
* Énoncer les principaux résultats avec leurs unités et leur incertitude.

L'auteur doit aussi faire un **bilan de l'expérience**. Ceci peut se faire en rappelant les améliorations réalistes qui rendraient l'expérience plus précise et plus significative. Il est aussi intéressant de situer son travail expérimental et ses résultats dans un contexte plus global en faisant référence aux notions théoriques, pratiques et historiques reliées à l'expérimentation.

Dans la **partie ouverture**, l'auteur doit présenter les résultats dans un contexte plus large. Pour faire ceci, il peut parler de recherches connexes, des améliorations possibles à la démarche expérimentale, des nouvelles questions suscitées par l'expérimentation, etc.

On peut résumer la conclusion par cette phrase : « Voilà ce que j'ai découvert, ce qu'il faudrait faire pour aller plus loin et ce que vous pouvez en faire ».



**Figure 30 : Remise du rapport**

Les principaux résultats sont répétés.

Les principaux résultats sont répétés.

Une ouverture permet de replacer les résultats ou l’expérience dans un contexte plus large.

L’auteur présente un bilan de l’expérience.

La réponse au but est donnée explicitement.

**CONCLUSION**

Lors de notre expérience, nous avons fait des graphiques de la masse en fonction du volume. Ces graphiques nous ont permis d’obtenir l’équation de la masse volumique :

ρ = \_\_m\_\_

V

Pour nos trois essences de bois, nous avons déterminé les masses volumiques suivantes :

|  |  |
| --- | --- |
| Essences | Masses volumiques expérimentales  g/mL |
| Cèdre | 0,40 ± 0,06 |
| Chêne | 0,7 ± 0,1 |
| Ébène | 1,1 ± 0,1 |

En analysant ces résultats, nous avons pu répondre à notre but qui était de déterminer les essences de bois adéquates pour la construction d’un radeau. Nous avons pu exclure rapidement l’ébène, car ce bois a une masse volumique supérieure à celle de l’eau. Pour le cèdre, même si la masse volumique est très basse, nous avons des doutes sur son comportement dans l’eau (dureté du bois, imperméabilité et pénétration de l’eau dans le bois). Pour la construction d‘un radeau, nous privilégierions donc le chêne pour sa masse volumique et pour ses diverses propriétés.

Nous pouvons affirmer que notre expérience fut un succès, car […]. Il est évident que nous aurions aimé vérifier plus en profondeur si le cèdre pourrait être utilisé pour la confection d’un radeau, car ce bois a une masse volumique beaucoup plus intéressante que celle du chêne.

Pour la construction d’un navire au lieu d’un radeau, nous nous demandons si la masse volumique est vraiment une variable à considérer pour le choix d’une essence de bois. Pour les bateaux, le volume d’eau déplacée est ce qui permet la flottabilité (principe d’Archimède). Il nous semble évident que l’étanchéité de la coque est […].

**Figure 31 : Modèle pour la conclusion**

#### 4.8 Les annexes

Les annexes constituent un complément d'information qui peut faciliter la compréhension du travail. Elles ne sont pas toujours indispensables, mais elles peuvent simplifier la lecture pour un rédacteur cherchant des informations particulières. Les annexes peuvent répondre aux objectifs suivants :

* Donner les caractéristiques complètes des appareils déterminants pour l'expérience.
* Expliquer une technique de laboratoire ou de calcul plus particulière.
* Fournir des détails supplémentaires sur l'expérience.
* Présenter des exemples de calcul.
* Détailler des calculs longs et complexes.
* Expliquer des changements d'unités complexes.
* Présenter un extrait des documents de référence.
* Fournir les documents utilisés ou obtenus lors de l'expérience.
* Etc.

Notes supplémentaires: L'ordre de présentation des annexes doit correspondre à l'ordre normal de lecture du rapport.   
  
Les annexes commencent par une feuille blanche sur laquelle on écrit le titre « Annexes ».  
  
À la fin du rapport, on agrafe une feuille blanche. Cette feuille indique la fin du rapport de laboratoire et permet au correcteur d'écrire des commentaires.

**ANNEXES**

**Figure 32 : La feuille blanche identifiée par « Annexes »**

**ANNEXE 1**

**[Titre de l’annexe]**

[…]

**Figure 33 : Une annexe numérotée et nommée par un titre significatif**

**ANNEXE 2**

**[Titre de l’annexe]**

[…]

**Figure 34 : Une deuxième annexe présentée sur une page différente**

### 5. Informations supplémentaires

#### 5.1 La construction d'un organigramme

L'organigramme a les objectifs suivants :

* Identifier les différentes phases de la procédure ;
* Identifier les dépendances entre les opérations et donner l'ordre d'exécution des tâches ;
* Donner une vue d'ensemble du déroulement de la recherche ;
* Permettre, en cours d'expérimentation, de se situer sur l'avancement de la tâche ;
* Faciliter la rédaction de la procédure.

**Tableau 9 : L'élaboration de l'organigramme**

|  |  |
| --- | --- |
| **Règles** | **Exemples** |
| Au niveau supérieur de l'organigramme, on retrouve la case finale.  C'est donc la réponse au but qu'on retrouve dans cette case. | Calcul de la  masse volumique  Conclusion |
| Aux niveaux intermédiaires, on retrouve les diverses étapes de calcul et d'analyse.  Des flèches arrivent par le bas et quittent par le haut. | Calcul du  volume  Calcul de la  vitesse |
| Au niveau inférieur (et sur les côtés), on retrouve les cases d'entrées.  Ces cases représentent des mesures directes ou des données obtenues par d'autres moyens. | Mesure de la  longueur  Pression atmosphérique |
| Les cases nécessitant une décision sont représentées par un losange.  Ces cases ont au moins deux sorties qui s'excluent l'une de l'autre. La voie choisie dépend du choix effectué. | M1 > M2  ?  oui  non |

**Exemple 1 : Organigramme**

But : Déterminer la nature d'un cylindre constitué d'un métal inconnu.

Mesure de la masse du cylindre

Mesure de la hauteur du cylindre

Mesure du diamètre du cylindre

Valeur de π

Conclusion

Calcul de la masse volumique

Calcul du volume du cylindre

Calcul de la surface de la base

**Figure 35 : Exemple d'organigramme**

#### 5.2 Exemples supplémentaires de tableaux de mesures

LES MESURES EXPÉRIMENTALES

Tableau 1 : Mesure du volume de 100 grammes d'eau selon la température

|  |  |
| --- | --- |
| T  °C  ± 0,2 | V  mL  ± 0,4 |
| 0,0 | 99,8 |
| 2,0 | 99,6 |
| 4,0 | 99,4 |
| 6,0 | 99,8 |
| [...] | [...] |

T = température de l'eau

V = volume de l'eau

Pression atmosphérique : P = ( 101,2 ± 0,2 ) kPa

Masse d'eau : m = ( 100,0 ± 0,2 ) g

**Figure 36 : Modèle supplémentaire pour les mesures expérimentales (incertitudes constantes)**

**Figure 37 : Modèle supplémentaire pour les mesures expérimentales (incertitudes variables)**

LES MESURES EXPÉRIMENTALES

Tableau 1 : Mesure du volume de 100 grammes d'eau selon la température

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T  °C | ΔT  °C | V  mL | ΔV  mL |
| 0,0 | 0,2 | 99,8 | 0,4 |
| 2,0 | 0,4 | 99,6 | 0,3 |
| 4,0 | 0,4 | 99,4 | 0,4 |
| 6,0 | 0,4 | 99,8 | 0,3 |
| [...] | [...] | [...] | [...] |

T = température de l'eau

V = volume de l'eau

Pression atmosphérique : P = ( 101,2 ± 0,2 ) kPa

Masse d'eau : m = ( 100,0 ± 0,2 ) g

#### 5.3 Comparaison de résultats : égalité physique

La comparaison permet de vérifier l'égalité ou non de deux nombres. En mathématique, la comparaison est simple, car on vérifie simplement si les nombres sont identiques. Pour les sciences expérimentales, les valeurs sont plus difficiles à comparer, car les grandeurs sont affectées par des incertitudes qui donnent l'intervalle de validité d'une valeur. L'égalité entre deux valeurs ne peut pas être limitée à l'égalité exacte de deux valeurs. C'est ainsi que pour les sciences, la notion d'égalité a un sens plus large qu'en mathématique. L'égalité est présente dès que les domaines d'incertitude des deux valeurs ont un chevauchement. C'est la notion d'égalité physique.

La vérification de l'égalité physique doit préférablement se faire par une méthode graphique qui montre le domaine d'incertitude de chaque valeur. Il faut alors tracer deux axes parallèles qui auront la même graduation et qui montreront chacune des mesures avec son incertitude. Ensuite, il suffira de vérifier s'il y a un recouvrement des domaines d'incertitude.

**Exemple 2 : Présence d'une égalité physique**

Grandeur 1 (grandeur expérimentale) : a ± Δa

Grandeur 2 (grandeur de référence) : b ± Δb

a

a - Δa

a + Δa

domaine d'incertitude

b

b - Δb

b + Δb

domaine d'incertitude

**Recouvrement des domaines d'incertitude.**

Ceci prouve qu'il y a égalité physique entre les deux grandeurs.

**Exemple 3 : Absence d'égalité physique**

Grandeur 1 (grandeur expérimentale) : c ± Δc

Grandeur 2 (grandeur de référence) : d ± Δd

a

a - Δa

a + Δa

domaine d'incertitude

b

b - Δb

b + Δb

domaine d'incertitude

**Aucun recouvrement des domaines.**

Ceci prouve qu'il N'y a PAS égalité physique entre les deux grandeurs.

**Exercice 4 : Comparaison de domaines**

Pour chacun des couples de grandeurs ci-dessous, déterminez s'il y a égalité physique en utilisant la méthode graphique. Pour représenter l'égalité physique, vous devez préalablement choisir l'échelle de votre choix et tracer les marques de graduations

(utilisez votre règle !).

|  |  |
| --- | --- |
| Couple A | Grandeur A1 : 70 ± 5 cm  Grandeur A2 : ( 5 ± 2 ) × 10 cm    Réponse : \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ OUI |
| Couple B | Grandeur B1 : 16,2 ± 0,1 cm  Grandeur B2 : 16,04 ± 0,04 cm    Réponse : \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ NON |
| Couple C | Grandeur C1 : 0,877 ± 0,002 g/cm³  Grandeur C2 : 0,87870 ± 0,00005 g/cm³    Réponse : \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ OUI |

#### 5.4 La médiagraphie

Cette section nommée souvent Bibliographie doit être ajoutée à la fin du rapport (avant la dernière feuille blanche) si la rédaction du rapport a nécessité l'utilisation des documents de référence. Toutes les sources, qu'elles proviennent de manuels, d'Internet, de notes de cours ou autres, qu'elles soient des textes ou des images, doivent figurer dans cette section de façon à ce qu'elles puissent être retrouvées facilement et rapidement.

Voici les règles de présentation des différents documents :

**Livres :** NOM DE L'AUTEUR, prénom et prénom du deuxième auteur NOM DU DEUXIÈME AUTEUR (année de publication). Titre du livre, lieu de publication, maison d’édition, nombre de pages p. (Titre de la collection s’il y a lieu)

**Articles de périodique :** NOM DE L'AUTEUR, prénom (mois et année de publication). «Titre de l’article», Titre du périodique, vol. (numéro du volume), no (numéro de parution), p. première page consultée- dernière page consultée.

**Sites Internet :** NOM DE L'AUTEUR, prénom. Titre du site, (page consultée le, date de consultation), [En ligne], adresse Internet complète.

**Disques compacts :** NOM DE L'AUTEUR, prénom (année de publication). «Titre du document», Titre du CD, ville d’édition, maison d’édition, p. première page consultée - dernière page consultée, CD.

**Documents audiovisuels :** NOM DE L'AUTEUR OU DU RÉALISATEUR, prénom (année de publication). Titre du document, ville ou pays de production, maison de production, format, durée en minutes, couleur.

1. Un symbole peut être utilisé pour représenter un appareil. Dans ce cas, il faut ajouter une légende au schéma. [↑](#footnote-ref-1)