

PLATE FORME DE TRAVAUX PRATIQUES VIRTUELS DE PHYSIQUE

Manuel de conceptualisation
et de scénarisation



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Les TICE Appliquées
à l'expérimentation
scientifique

2018

PLATEFORME DE TRAVAUX PRATIQUES VIRTUELS DE PHYSIQUE

Manuel de conceptualisation et de scénarisation

Edition 2018



Toute reproduction partielle ou intégrale est interdite sans un accord préalable des coordinateurs du projet : Université de Murcie en Espagne et Université Abdelamlek Essaadi de Tétouan. Ces reproductions devront aussi respecter les droits d'auteurs conformément aux Licences Créative Commons mentionnées ci-dessous.

ISBN : 978-84-948233-3-6
D.L.: MU 326-2018

**Edited by the onsortium Project EXPERES, o-funded by
the Erasmus+ Programme of the European Union**

Avec le soutien du programme ERASMUS+ de l'Union européenne

© EXPERES – Erasmus + 2018



Préface :

La massification qu'a connue le système d'enseignement supérieur marocain ces dernières années, concomitante à une quasi-stagnation du nombre d'enseignants pose un énorme défi d'encadrement pédagogique, particulièrement au niveau des établissements à accès ouvert. Ce défi semble insurmontable quand il s'agit d'enseignement nécessitant un encadrement de proximité et différencié comme c'est le cas des travaux pratiques dans les filières scientifiques et techniques. Au niveau de ces activités, la situation est aggravée par la limitation du nombre de bancs didactiques et d'espaces appropriés qui permettraient aux étudiants les possibilités d'observation et de manipulation requises. Ces contraintes ont réduit bon nombre d'activités sensées être pratiques à de simples séances de démonstrations au cours desquelles les étudiants assistent à titre de spectateurs passifs. Plus préoccupant, et le fait que faute d'équipements et de ressources humaines, un certain nombre de travaux pratiques ont littéralement été supprimés de certains cursus au niveau des premières années non sans impact négatif sur la qualité de la formation. Une contribution en vue de remédier à cette situation ne peut que faire l'objet d'un encouragement et d'une appréciation à sa juste valeur. C'est ce qui met en exergue l'importance et la portée du projet Erasmus + EXPERES dont la thématique est : «Les TICE appliquées à l'expérimentation scientifique». Ce projet vise à exploiter les immenses possibilités des outils numériques de simulation largement disponibles actuellement pour mettre en place une plateforme travaux pratiques virtuels (e-TP) permettant aux étudiants de réaliser par simulation des manipulations de physique. Le projet s'inscrit parfaitement dans la vision de faire du numérique un levier de développement du système d'enseignement supérieur marocain.

L'intérêt du projet EXPERES ne découle pas uniquement de son objectif de contribuer à la résolution de la problématique des travaux pratiques mais également à son portée structurelle via la mobilisation de pédagogues chevronnés appartenant à toutes les universités marocaines. La synergie sous-jacente à cet effort collaboratif alliée à l'enrichissante contribution des institutions partenaires d'Europe augure d'un travail qui aura un durable impact sur l'enseignement des sciences au niveau du premier cycle dans les universités marocaines. Cet impact constituera la meilleure récompense des énormes efforts déployés par l'équipe du projet EXPERES depuis l'idée de départ jusqu'à sa concrétisation ainsi que par toutes les personnes qui ont contribué à ce projet.

Le présent manuel sur la conceptualisation et la scénarisation des manipulations conçues est un livrable du projet EXPERES dont le contenu scientifique et la qualité de rédaction et de l'organisation suscite admiration et reconnaissance. Fruit du formidable travail des collègues qui ont en assuré la rédaction et la mise en forme, ce manuel sera d'une grande utilité pour préparer les étudiants et les guider à tirer meilleur profil des manipulations. Ce manuel constitue par ailleurs un acquis susceptible d'être exploité pour la conception d'autres manipulations que ce soit en physique ou autres disciplines scientifiques.

Mohamed TAHIRI
Directeur de l'Enseignement Supérieur et
du développement Pédagogique

Editorial

Ce travail constitue le résultat du Lot d'activités WP. 2 du projet EXPERES : *Les TICE appliquées à l'expérimentation scientifique*. EXPERES est un projet Erasmus plus financé par la Commission Européenne sous la Référence : No 561551-EPP-1-2015-1-ES-EPPKA2-CBHE-SP.

Il se présente sous forme d'un manuel sur la conceptualisation et la scénarisation de Travaux pratiques virtuels de physique. Le contenu de ce manuel décrit en détails et à plusieurs niveaux la méthodologie adoptée par les membres des équipes partenaires du projet pour concevoir des fiches de conceptualisation et de scénarisation des TP virtuels de physique.

Les partenaires du projet EXPERES sont :

- Université de Murcie, Espagne (UM)
- Université Abdelmalek Essaadi-Tétouan (UAE)
- Ministère de l'Education Nationale, de la Formation Professionnelle, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, Maroc (MENFPESRS)
- Université Hassan 1^{er}-Settat (UH1)
- Université Ibn Tofail-Kénitra (UIT)
- Université Mohammed Premier-Oujda (UMP)
- Université Ibn Zohr-Agadir (UIZ)
- Université Moulay Ismail-Meknès, Maroc (UMI)
- Université Cadi Ayyad-Marrakech (UCA)
- Université Sidi Mohammed Ben Abdellah-Fès (USMBA)
- Université Sultan Moulay Sliman-Beni Mellal (USMS)
- Université Mohammed V-Rabat (UM5)
- Université Hassan II-Casablanca (UH2)
- Université Chouaib Doukkali-El Jadida (UCD)
- Institut Royal de Technologie-Stockholm, Suède (KTH)
- Expertise Erasmus-Bordeaux, France (EE)
- Université de Bologne, Italie (UNIBO)
- Université de León, Espagne (ULE)
- Université de Vigo, Espagne (UVigo)

Les fiches décrites dans ce manuel ont servi par la suite à la programmation de simulations de 12 TP de physique des niveaux S1 et S2 de l'enseignement supérieur fondamental. Ces TP seront intégrés dans une plateforme pédagogique de type LMS pour leur mise en ligne à l'issue de ce projet.

L'équipe de travail qui a contribué à la rédaction de ce manuel est composée par :

<i>Francisco ESQUEMBRE</i>	UM
<i>Hassan EZBAKHE</i>	UAE (Co-coordonateur du projet)
<i>Khalil EL HAJJAJI</i>	UAE (Coordinateur scientifique du projet)
<i>Mohammed L'Bachir EL KBIACH</i>	UAE
<i>Khalid BERRADA</i>	UCA (Coordinateur du WP2 et du comité de rédaction)
<i>Jacqueline BERGERON</i>	EE (Coordinatrice du contrôle qualité et suivi du projet)
<i>Mohammed KHOULID</i>	UCD (Coordinateur de l'équipe mécanique)
<i>Mourad GHARBI</i>	UM5 (Coordinateur de l'équipe électricité)
<i>Hichame BOUGHALEB</i>	UMI (Coordinateur de l'équipe thermodynamique)
<i>Souad BENAICH</i>	MENFPESRS (Représente du Ministère de tutelle)

Les auteurs de ce manuel sont composés de tous les membres des équipes disciplinaires associées au projet EXPERES et de l'équipe de rédaction.

Université de Murcie (UM) – Espagne :

Matias BALIBREA GONZALEZ, Francisco ESQUEMBRE, Raquel GRAS GIL, Javier CORTES ALARCON, Rafael CHICON ROMERO.

Ministère de l'Éducation Nationale, de la Formation Professionnelle, de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique (MENFPESRS) – Maroc :

Mohamed TAHIRI, Abderrahim OUABBOU, Souad BENAICH, Abdelkbir ERROUGUI, Kaoutar FAHMI.

Université Abdelmalek Essaâdi de Tétouan (UAE) – Maroc :

Hassan EZBAKHE, Abderrahmane KAMILI, Abdelkrim FARKHSI, Mohammed L'Bachir EL KBIACH, Mounia AJDOUR, Abderrahim TAHIRI, Otman EL MRABET, Yasser MESMOUDI, Khalil EL HAJJAJI.

Université Hassan 1er de Settat (UH1) – Maroc :

Ahmed FAHLI, Ahmed NADDAMI, Mourad GOURMAJ.

Université Ibn Tofail de Kénitra (UIT) - Maroc :

karima SELMAOUI, Jaouad Diyadi, Ilham OUMAIRA, Mohamed IGOUZAL, Hanane EL FAYLALI, Omar MOUHIB.

Université Mohammed Premier d'Oujda (UMP) - Maroc :

Driss BRIA, Abdelkhalek BENKADDOUR, Mohammed SERRHINI.

Université Ibn Zohr d'Agadir (UIZ) – Maroc :

Fattehallah GHADI, Zouhair MAHANI, Ahmed TIRBIYINE, Ahmed EL MOUDENE, Radouane LEGHRIB, Hassane SAHSAH.

Université Moulay Ismail de Meknès (UMI) – Maroc :

Hamid EL MIR, Hichame BOUGHALEB, Omar OUSSOUADDI, Abdelouhab JAOUHARI.

Université Cadi Ayyad de Marrakech (UCA) – Maroc :

Khalid BERRADA, Faouzi BENSAMKA, Rachid BENDAOUD, Amane OUERIAGLI, Said EL HASRI, Said MACHWATE, Mohamed Essam EL MESSOUSSI.

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès (USMBA) – Maroc :

Abdelghani EL ACHKAR, Mostafa IJJAALI, Lhabib HAMED, Khalid BOUSLYKHANE, Yassine ZAHRAOUI.

Université Sultan Moulay Sliman de Beni Mellal (USMS) – Maroc :

Adelkhalek OUSSAMA, El Arbi SIHER, Youssef AIT EL KADI.

Université Mohammed V de Rabat (UM5) – Maroc :

Mourad GHARBI, El Hossaine EL RHALEB, Mohammed Majid HIMMI, Mourad EL BELKACEMI, Rachid BAKRAOUI, Driss NAMLY.

Université Hassan 2 de Casablanca (UH2) – Maroc :

Noureddine DAMIL, Mohamed MOUSSETAD, Lynda OUCHAOUKA, Adil SAISSI HASSANI.

Université Chouaib Doukkali d'El Jadida (UCD) – Maroc :

Mohammed KHOUILID, Rachid HILAL, Hamid BIOUD, Ibrahim MRANI.

Kungliga Tekniska Högskolan de Stockholm (KTH) – Suède :

Bassam KAYAL, Jerzy MIKLER.

Réseau d'universités Erasmus Expertise (EE) Bordeaux – France :

Jacqueline BERGERON.

Universita di Bologna (UNIBO) – Italie :

Luigi GUERRA, Elena PECETTI, Alessandro SORIANI, Giulia TASQUIER, Barbara PECORI, Maurizio BETTI.

Universidad de Leon (ULE) – Espagne :

Roberto BAELO ALVAREZ, Rafael DE PAZ URUENA, José Antonio RESINES GORDALIZA, Maria FERNANDEZ RAGA.

Universidad de Vigo (UVigo) – Espagne :

Rebeca P. DIAZ REDONDO, Eva GAREA OYA, Anxo SANCHEZ BERMUDEZ.

TABLE DE MATIERES

I. INTRODUCTION GENERALE	01
I.1. Présentation du projet EXPERES.....	03
I.2. Conceptualisation et scénarisation des activités pratiques.....	06
I.2.1. Objectifs.....	06
I.2.2. Méthodologie et déroulement du WP 2.....	06
II. CONCEPTUALISATION DES TRAVAUX PRATIQUES	09
Introduction.....	11
II.1 TP01 - Conservation de l'énergie mécanique.....	13
II.2 TP02 - Etude statique et dynamique d'un ressort.....	17
II.3 TP03 - Pendule simple.....	21
II.4 TP04 - Loi d'Ohm – Mesure des résistances.....	25
II.5 TP05 - Pont de Wheatstone.....	29
II.6 TP06 - Oscilloscope cathodique.....	33
II.7 TP07 - Dioptré.....	37
II.8 TP08 - Prisme.....	41
II.9 TP09 - Focométrie.....	45
II.10 TP10 - Machines thermiques.....	49
II.11 TP11 - Mesure du coefficient adiabatique Gamma.....	53
II.12 TP12 - Calorimétrie.....	57
III. SCENARISATION DES ACTIVITES PRATIQUES	61
Introduction.....	63
III.1 TP01 - Conservation de l'énergie mécanique.....	65
III.2 TP02 - Etude statique et dynamique d'un ressort.....	79
III.3 TP03 - Pendule simple.....	101
III.4 TP04 - Loi d'Ohm - Mesure des résistances.....	105
III.5 TP05 - Pont de Wheatstone.....	111
III.6 TP06 - Oscilloscope cathodique.....	119
III.7 TP07 - Dioptré.....	133
III.8 TP08 - Prisme.....	143
III.9 TP09 - Focométrie.....	157
III.10 TP10 - Machines thermiques.....	163
III.11 TP11 - Mesure du coefficient adiabatique Gamma.....	171
III.12 TP12 - Calorimétrie.....	179
IV. CONCLUSION	185

V. ANNEXE : Ressources théoriques	189
V.1 TP01 - Conservation de l'énergie mécanique.....	191
V.2 TP02 - Etude statique et dynamique d'un ressort.....	199
V.3 TP03 - Pendule simple.....	207
V.4 TP04 - Loi d'Ohm - Mesure des résistances.....	215
V.5 TP05 - Pont de Wheatstone.....	225
V.6 TP06 - Oscilloscope cathodique.....	243
V.7 TP07 - Dioptre.....	249
V.8 TP08 - Prisme.....	251
V.9 TP09 - Focométrie.....	257
V.10 TP10 - Machines thermiques.....	261
V.11 TP11 - Mesure du coefficient adiabatique Gamma.....	269
V.12 TP12 - Calorimétrie.....	273

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

I-1. Présentation du projet :

Les technologies éducatives ont pris, ces dix dernières années, *un essor* considérable du fait de l'intérêt qu'ils apportent par rapport aux situations et contraintes des systèmes éducatifs, à savoir : instrumentation coûteuse, faible taux d'encadrement, manque de ressources humaines et matériels, fort taux d'utilisation de la capacité d'accueil, effectif galopant des étudiants...etc. Elles offrent également la possibilité d'utiliser de nouvelles méthodologies d'apprentissage flexibles et adaptables aux apprenants, exploitant les fonctionnalités interactives des dispositifs technopédagogiques et donc permettant de conduire des travaux collaboratifs s'appuyant sur l'abondance de l'information disponible sur le net.

Si l'offre des sites des e-formations dans le domaine de l'enseignement théorique, notamment les cours et les exercices, est croissante, la mise en ligne des expérimentations scientifiques et des travaux pratiques (TP) reste assez limitée malgré le développement que connaissent les TICE. Au niveau des universités maghrébines, ces situations de mise en ligne des e-TP restent encore au stade élémentaire, même si leur implémentation permettrait aux apprenants d'une part, de réaliser ou de suivre des expériences à distance avec moins de contraintes spatio-temporelles et d'autre part, de gérer et d'optimiser leur apprentissage.

C'est dans cet objectif que le projet Erasmus + sur « *les TICE appliquées à l'expérimentation scientifique – EXPERES* » a été proposé au Ministère de tutelle et à l'ensemble des universités marocaines pour mettre en place un laboratoire virtuel à travers une plateforme de travaux pratiques à distance. Ces TP virtuels sont proposés comme des activités pédagogiques conduisant à un renforcement de l'enseignement des sciences et technologies et d'assurer la qualité du savoir des apprenants dans les universités marocaines.

Pour atteindre cet objectif d'apprentissage de l'enseignement pratique, la mise en œuvre de formules de travaux pratiques simulés en ligne donnera plus de possibilités aux étudiants de refaire l'expérimentation autant de fois que nécessaire, à n'importe quel moment et de n'importe quel endroit. Outre les possibilités d'accessibilité, les étudiants, auront aussi l'avantage de communiquer de façon interactive avec des tuteurs pour répondre à leurs questions et, au besoin, d'effectuer des évaluations formatives sur la plateforme.

Au cœur de notre approche, nous nous sommes intéressés dans cette première étape à l'élaboration d'une plateforme de travaux pratiques dans les sciences physiques et de l'ingénieur. Cette innovation des TP virtuels permet potentiellement à un effectif important d'étudiants de s'approprier ce type d'enseignement pratique qui sera partagé entre les différentes universités marocaines.

Ce projet est soutenu par le ministère de tutelle et connaît l'implication de toutes les universités marocaines dans l'élaboration des contenus numériques des e-TP. La coordination du projet est assurée par l'université de Murcie en collaboration avec l'université Abdelmalek Essaadi de Tétouan. Les autres universités marocaines membres d'EXPERES sont :

- *Université Hassan 2, Casablanca*
- *Université Chouaib Doukkali, EL Jadida*
- *Université Hassan 1, Settat*
- *Université Mohammed V, Rabat*
- *Université Ibn Toufail, Kénitra*
- *Université Sulta Moulay Sliman, Beni Mellal*
- *Université Cadi Ayyad, Marrakech*
- *Université Ibn Zohr, Agadir*
- *Université Sidi Mohammed Ben Adallah, Fès*
- *Université Moulay Ismail, Meknes*
- *Université Mohamed 1er, Oujda*

Les autres partenaires européens associés à EXPERES ont été choisis pour leur expérience dans la thématique du projet et pour assurer l'accompagnement nécessaire aux universités marocaines en matière des TP virtuels. Ces partenaires sont :

- *Institut Royal de Technologie de Stockholm, Suède*
- *Université de Bologne, Italie*
- *Agence Expertise Erasmus, Bordeaux*
- *Université de Vigo, Espagne*
- *Université de León, Espagne*

L'approche méthodologique pour atteindre les résultats est fondée sur une panoplie d'activités et d'actions de préparation, de développement, de diffusion et de gestion tout au long du projet (36 mois). Cette démarche méthodologique mise en œuvre est articulée en 5 étapes :

1- Une analyse minutieuse de l'état des lieux auprès des universités partenaires, tant au niveau des équipements que des ressources humaines a été nécessaire comme première étape du projet. En effet, les partenaires ont concentré leurs efforts sur les technologies disponibles pour le choix des outils informatiques adéquats (logiciels et matériels) et pourront servir la phase de développement des TP virtuels.

Un bilan des expériences similaires en e-learning a été établi à partir des états des lieux fournis par les partenaires. Cette enquête a ciblé les expériences TP virtuels répondant au cahier des charges du projet. Il a été nécessaire de définir le type de structure capable de mettre à la disposition d'un plus grand nombre d'étudiants l'ensemble des ressources partageables (documents numériques, outils de logiciels, guides méthodologiques, protocoles expérimentaux,..). Le résultat de ces analyses a permis de déterminer la nature la plus appropriée des contenus pratiques des TP virtuels à intégrer dans le programme de la licence (S1 à S4). Le lot d'activités de cette étape a constitué le lot d'activités WP.1 de ce projet.

Au total 12 manipulations ont été proposées et sont réparties sur 4 champs disciplinaires, à savoir la **Mécanique**, l'**Electricité**, l'**Optique** et la **Thermodynamique**. Ce sont principalement les mêmes TP dispensés au niveau des semestres S1 à S4 dans les établissements d'enseignement supérieur au Maroc.

Les douze TP retenus sont :

- *Conservation de l'énergie mécanique,*
- *Etude statique et dynamique d'un ressort,*
- *Pendule simple,*
- *Mesure des résistances,*
- *Pont de Wheatstone,*
- *Oscilloscope cathodique,*
- *Focométrie,*
- *Prisme,*
- *Dioptre,*
- *Machines thermiques,*
- *Mesure du Coefficient Adiabatique Gamma,*
- *Calorimétrie.*

2- La deuxième étape de ce projet a concerné la préparation des fiches de conceptualisation et de scénarisation de ces 12 TP. Ce travail a été réparti entre les universités marocaines avec l'accompagnement des universités européennes partenaires au projet. Chaque université s'est engagée à réaliser un TP complet dans une thématique bien définie. Après plusieurs réunions de travail des équipes thématiques et de coordination entre les universités partenaires du projet il a été défini et de manière bien claire les points ci-dessous :

- *la définition des objectifs,*
- *les contenus des TP (théorie, simulation, audiovisuels, etc...),*
- *les pré-requis, le public cible, les mots clés, ..*
- *l'organisation des ressources,*
- *les modes d'évaluation envisagées,*
- *le déroulé des TP,*
- *Etc.*

Il a aussi été discuté entre les différents partenaires de la conception du dispositif pédagogique global à mettre en place à terme de ce projet. Ceci inclut aussi les instrumentations, les outils et les produits nécessaires pour effectuer ces TP.

Des scénarios pour concevoir ces TP ont été formulés et le recours à l'évaluation de la pertinence de ces actions et de l'acquisition des connaissances par les étudiants peuvent apporter des réponses aux situations particulières.

3- L'étape 3 sera consacrée à la qualification du personnel enseignant et technicien dans le domaine de la gestion des plateformes éducatives et de la programmation des TP virtuels. Ces formations, conçues par nos partenaires européens selon les attentes des universités marocaines, sont comme suit :

a- une formation des programmeurs dans l'Université de Murcie ayant pour objectif de faciliter l'accès aux logiciels utilisés par les équipes disciplinaires, mais aussi de maîtriser les simulations qui seront utilisées par la suite. D'autres volets ont été développés lors de cette formation, à savoir l'usage de la plateforme Moodle et la scénarisation.

b- une formation des enseignants dans les institutions européennes partenaires pour une bonne connaissance des méthodes pédagogiques utilisées en e-learning, la scénarisation, l'écriture multimédia interactive, le mode de tutorat et l'autoévaluation. Cette formation permettra aux enseignants d'accéder à des informations et des compétences qui leur facilitent de redessiner efficacement les TP virtuels qui vont assurer.

c- une formation des techniciens et concepteurs médiatiques (techniques de base du multimédia et d'internet pour la e-formation et les TP virtuels), en plus d'une formation au profit des administratifs, animateurs et gestionnaires (exploitation d'un dispositif e-learning, modes d'organisation, etc.).

4- Cette étape du projet consiste à l'implantation et à la mise en place des applications en ligne avec :

a- la mise en place des équipements et logiciels et des méthodes d'organisation. Elle consiste en l'implantation et l'adaptation d'une plateforme au sein des universités marocaines et en l'assimilation des méthodes d'organisation,

b- le transfert et l'adaptation de formations à distance existantes chez les partenaires européens et le développement de nouveaux contenus, ce qui permettra aux partenaires européens de compléter leur offre.

c- la mise à l'essai du TP virtuel par un échantillon d'enseignants et d'étudiants pour s'assurer de la bonne conception de la plateforme et évaluer l'interface développée.

5- En dernière étape, une stratégie de gestion, de suivi et d'évaluation a été définie. Des indicateurs de progression de chaque activité réalisée ont été introduits pour mesurer dans le temps le taux de réalisation et la qualité de chaque résultat, tout en tenant compte des hypothèses et risques associés mis en évidence.

I-2. Conceptualisation et scénarisation des activités :

Ce travail a été réalisé dans le cadre du WP.2 du projet EXPERES. De ce fait, une série de fiches de conceptualisation et scénarisation des travaux pratiques de physique ont été élaborées par les universités marocaines avec le soutien des universités européennes partenaires du projet.

Nous apportons une description détaillée de ces fiches qui serviront par la suite de documents pour la réalisation des différentes simulations en rapport avec les TP proposés. Nous considérerons ces fiches de conceptualisation comme documents de référence nécessaires aux participants pour les sessions de formations prévues dans le cadre dudit projet, mais aussi pour l'ensemble des membres des équipes pilotes du projet.

I-2.1. Objectifs :

La conceptualisation et la scénarisation des travaux pratiques, entreprises par les universités partenaires dans le projet avait pour objectifs de :

- Définir les activités d'apprentissage comprenant un ensemble de tâches qui sont proposées à l'étudiant : objectifs pédagogiques, compétences, moyens et supports pédagogiques,
- Mettre en scène les activités d'apprentissage et les tâches que l'étudiant doit effectuer,
- Mettre au point une méthodologie simple et efficace pour évaluer le rendement des étudiants et de repérer ses réponses.

I.2.2. Méthodologie et déroulement du WP2 :

Les fiches de conceptualisation et de scénarisation ont été élaborées par les universités marocaines. Une fiche modèle a été réalisée en plusieurs étapes :

La première étape consistait en la conception d'un projet de fiche structuré en 9 rubriques concernant essentiellement le cadre conceptuel, les objectifs pédagogiques, les compétences acquises et l'équipement nécessaire pour la mise en ligne des TP.

Ce projet a été ensuite soumis au consortium, réuni à Kénitra au Maroc en mai 2016, pour discussion à l'issue de laquelle certaines rubriques plus précises ont été ajoutées, d'autres ajustées, aboutissant à la version définitive. Pour l'élaboration de ces fiches, une équipe pilote a été constituée dans chacune des universités marocaines.

Cette phase de conceptualisation et de scénarisation s'est déroulée entre mai et octobre 2016. Elle a été suivie par des réunions des équipes disciplinaires pour révision, harmonisation et finalisation de ces fiches. Ces réunions se sont déroulées comme suit :

1- L'équipe de mécanique s'est réunie à Settat en présence des coordinateurs des universités UCD (El Jadida), UH1 (Settat), UH2 (Casablanca) et ULE (Espagne).

2- L'équipe d'électricité s'est réunie à Tétouan en présence des coordinateurs des universités UM5 (Rabat), UIT (Kénitra), UVigo (Espagne), du KTH (Suède) et UAE (Tétouan).

3- L'équipe d'optique s'est réunie à Agadir en présence des coordinateurs des universités UCA (Marrakech), USMS (Beni Mellal), UM (Espagne) et UIZ (Agadir).

4- L'équipe de thermodynamique s'est réunie à Oujda en présence des coordinateurs des universités UMI (Meknès), UMP (Oujda), USMBA (Fès) et UNIBO (Italie).

Cette phase de conceptualisation et de scénarisation a aussi connu la tenue d'une réunion de coordination scientifique à Marrakech les 04 et 05 novembre 2016. Elle avait comme objectif la restitution des résultats issus des réunions des équipes disciplinaires et la planification des étapes futures. A l'issue de cette réunion, un comité de rédaction a été constitué. Il est composé de :

- *Coordinateur du projet,*
- *Coordinateur scientifique du projet,*
- *Coordinateur du lot d'activités 2 (conceptualisation et scénarisation des TP),*
- *Coordinateur du lot d'activités relatif au contrôle qualité et suivi du projet,*
- *Coordinateurs des équipes disciplinaires.*

Après les réunions de coordination des mois d'octobre et novembre 2016, les équipes disciplinaires ont convenu de travailler sur un modèle préétabli de la fiche de conceptualisation. Le modèle choisi a été celui de la fiche de conceptualisation du TP «Prisme». Cette fiche a été préparée par l'équipe d'optique, validée par nos partenaires européens et présentée à l'ensemble des équipes.

Par la suite, l'équipe de coordination a convenu d'inclure la partie sur la scénarisation au sein de cette même fiche de conceptualisation. Le choix a été fait pour faciliter l'intégration des contenus sur la plateforme des TP virtuels.

-II-
CONCEPTUALISATION DES TRAVAUX PRATIQUES

II. CONCEPTUALISATION DES TRAVAUX PRATIQUES

Introduction :

Conformément au lot d'activités du WP.2 du projet EXPERES, les équipes disciplinaires des différentes universités se sont engagées dès le lancement du projet début 2016 dans la préparation des fiches de conceptualisation de 12 travaux pratiques selon la répartition ci-dessous :

Equipe / Université	Intitulé du TP
Université Hassan 2	1. Conservation de l'énergie mécanique
Université Chouaib Doukkali	2. Etude statique et dynamique du ressort
Université Hassan 1 ^{er}	3. Pendule simple
Université Mohammed V	4. Mesure de résistances
Université Abdelmalek Essaadi	5. Pont de Wheatstone
Université Ibn Toufail	6. Oscilloscope cathodique
Université Sultan Moulay Slimane	7. Dioptré
Université Cadi Ayyad	8. Prisme
Université Ibn Zohr	9. Focométrie
Université Sidi Med Ben Abdellah	10. Machines thermiques
Université Moulay Ismail	11. Mesure de coefficient adiabatique Gamma
Université Mohamed 1 ^{er}	12. Calorimétrie

Tableau présentant l'affectation des lots de TP aux universités marocaines

Ces travaux pratiques ont été répartis par champs disciplinaire présentés successivement comme suit :

- Mécanique
- Electricité
- Optique
- Thermodynamique

La préparation de ces fiches a été réalisée à deux niveaux. Le premier niveau consiste en une coordination locale au sein d'une même équipe-projet pour chaque université. Le second niveau est une coordination par champs disciplinaire entre trois universités regroupées selon la proximité géographique pouvant faciliter les échanges entre les différents partenaires. Chaque lot d'activités pratiques, regroupé par champs disciplinaire, a été accompagné par un partenaire européen tout au long des étapes de préparation. La coordination de ce lot d'activités WP.2 a été assurée par l'université Cadi Ayyad de Marrakech.

Un premier modèle de ces fiches de conceptualisation figurait d'ores et déjà dans le projet initialement soumis. Une version améliorée a par la suite été proposée par l'équipe de l'université Abdelmalek Essaadi aux différentes équipes-projets. Après échanges et discussions, un modèle de fiche de conceptualisation a été adopté définitivement lors de la réunion de coordination en octobre 2016 lors de la réunion de coordination à Marrakech.

Un modèle de fiche de conceptualisation a été proposé par l'équipe projet de l'Université Cadi Ayyad et concerne le TP du Prisme. Ce choix a été validé par les équipes membres du projet et en concertation avec l'université de Murcie, partenaire et coordinatrice du projet.

Le modèle de fiche de conceptualisation devait comprendre certaines rubriques que les équipes disciplinaires devraient renseigner, chacune en fonction du TP choisi. Nous citons ci-dessous les rubriques convenues :

- *Intitulé de la manipulation,*
- *Mots clés,*
- *Introduction et présentation du contenu,*
- *Niveau ciblé,*
- *Pré requis,*
- *Objectifs pédagogiques,*
- *Compétences,*
- *Moyens et supports pédagogiques,*
- *Contexte et choix pédagogiques,*
- *Organisation des ressources,*
- *Méthodes et outils d'évaluation des acquis,*
- *Apport pour les étudiants,*
- *Limites et nouvelles pistes d'utilisation,*
- *Commentaire général.*

Cette fiche de conceptualisation devrait constituer pour chacune des équipes une feuille de route à suivre pour faire aboutir l'activité pratique à considérer.

Nous présentons dans ce qui suit les fiches de conceptualisation réalisées par les différentes équipes disciplinaires. Il nous est paru important de présenter toutes les fiches de conceptualisation préparées par les équipes disciplinaires.

II.1

TP01 : Conservation de l'Énergie Mécanique

(Fiche de conceptualisation)

1- Intitulé de la manipulation :

Conservation de l'énergie mécanique

2- Mots clés :

Énergie cinétique, énergie potentielle, énergie mécanique, conservation, chute libre, fluide, systèmes oscillants, forces de frottements, poussée d'Archimède, simulation.

3- Introduction, définition et contenu :

Énergie : L'énergie (du grec : force en action) est la capacité d'un système à produire un phénomène tels que le mouvement, la lumière, la chaleur ,...Cela signifie qu'elle est stockée dans les systèmes sous différentes formes : mécanique, chimique, électrique, nucléaire,...

L'énergie est caractérisée principalement par sa capacité à se transformer d'une forme à une autre forme. Par exemple, une pile emmagasine de l'énergie sous forme chimique. Quand la pile est utilisée dans un circuit électrique, cette énergie est libérée sous forme électrique qui est, de son tour, transformée en chaleur dans les conducteurs ohmiques. Parmi toutes ces formes d'énergie, l'énergie mécanique occupe une place importante dans le monde entier du fait que l'on la trouve dans les différents domaines de la vie quotidienne.

On peut définir l'énergie mécanique comme une quantité d'énergie emmagasinée dans un système sous forme d'énergie cinétique liée à son mouvement et d'énergie potentielle qui dépend de sa position.

L'énergie cinétique : comme nous le savons ce type d'énergie est lié à la vitesse du système en mouvement. Soit un point matériel M, de masse m , animé d'une vitesse \vec{V} par rapport à un référentiel supposé Galiléen R. Par définition, l'énergie cinétique de ce point matériel M, dans son mouvement par rapport au référentiel R, est :

$$E_c = \frac{1}{2} m \vec{V}^2$$

L'énergie potentielle : il s'agit de l'énergie emmagasinée par un système quand ce dernier occupe une position quelconque par rapport à la terre. Autrement dit, ce type d'énergie appelée aussi potentiel mécanique, notée E_p , est une grandeur qui n'est définie qu'à une constante additive près. Elle caractérise l'énergie de position d'un corps.

Dans le cas d'un champ de forces \vec{F} conservatif, ce champ dérive d'une énergie potentielle E_p telle que:

$$\vec{F} = -\overrightarrow{\text{grad}} E_p$$

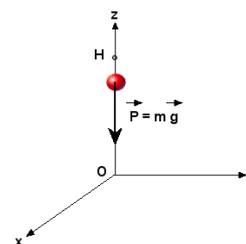
Le signe (−) montre que le champ de forces \vec{F} est dirigé suivant les potentiels décroissants.

Dans ces travaux pratiques virtuels nous nous intéressons à l'étude de l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique en fonction du temps. Cette étude portera sur la conservation ou non de cette énergie, et ce dans les cas suivants :

1/Chute d'un corps :

a/ Chute libre :

Considérons la chute libre d'un corps lâché avec ou sans vitesse initiale V_0 d'une hauteur h par rapport au sol. L'objet se met en mouvement sous l'action de son poids.



b/ Chute dans un fluide :

On se propose d'étudier la chute d'une bille dans un fluide (huile).

2/ Etude énergétique d'un système oscillant avec ou sans dissipation : Le système oscillant est un système qui effectue un mouvement périodique autour d'une position d'équilibre stable. Il s'agit d'un :

- pendule élastique ; masse attachée à un ressort
- pendule simple : masse attachée à un fil inextensible.

Ce TP virtuel sera accessible en ligne à travers une plateforme pédagogique dédiée, offrant un maximum d'interactivité à l'étudiant qui pourrait réaliser lui même ses activités pratiques de laboratoire en mode virtuel. L'étudiant sera amené à vérifier les évolutions de l'énergie cinétique, de l'énergie potentielle et de l'énergie totale et comprendre le principe de la conservation de cette dernière.

4- Niveau ciblé :

Etudiants en première année universitaire (Semestres 1 et 2)

5- Pré requis :

L'étudiant doit maîtriser :

- ✓ Vitesse moyenne, vitesse instantanée,
- ✓ Energie cinétique de translation,
- ✓ Expressions des énergies potentielle, cinétique et mécanique des systèmes mécaniques oscillants,
- ✓ Chute libre des corps.

Il doit faire au préalable ces TP virtuels sur les systèmes oscillants : pendule simple et le ressort.

6- Objectifs pédagogiques :

Au terme de cette manipulation virtuelle, l'étudiant sera capable de :

- ✓ Savoir si l'énergie mécanique se conserve ou non
- ✓ Savoir exploiter le principe de la conservation de l'énergie
- ✓ Analyser les transferts énergétiques au cours d'un mouvement d'un point matériel
- ✓ Etudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique d'un oscillateur
- ✓ Observer une dissipation d'énergie

7- Compétences :

Les compétences scientifiques que l'étudiant doit acquérir lors des travaux pratiques de l'énergie mécanique (totale) d'un système sont liées à la réalisation d'un TP virtuel en :

- ✓ Effectuant une expérience en utilisant les TICE.
- ✓ Faisant des mesures expérimentales.

- ✓ Exploitant les résultats obtenus et les confronter avec les modèles théoriques enseignées dans le cours.
- ✓ Pouvant proposer des protocoles expérimentaux.

8- Moyens et supports pédagogiques :

Ressources pédagogiques

- Supplément de cours : les cours de mécanique¹ sur l'espace numérique de travail de l'université UH2C :

<http://ent.univh2c.ma/documentation/ELearning>

- Ressources théoriques, supports multimédias au format vidéo et manuel de TP : supports papiers et numériques

Autres ressources numériques et multimédia

- Applets et autres ressources numériques de démonstration en relation avec les TPs des études énergétiques :

- Chutes des corps :

<http://guy.chaumeton.pagespersoorange.fr/scphysiques2010/1stpph08c.htm>

- Systèmes oscillants :

https://phet.colorado.edu/sims/mass-spring-lab/mass-spring-lab_fr.html

Logiciels

- Logiciels d'exploitation des mesures liées aux TPs tels que Les logiciels :

- Avimeca2 :

<http://e.m.c.2.free.fr/sequences-avi.htm>

- Regressi :

<http://regressi.fr/WordPress/download/>

9- Contexte et choix pédagogique :

Dans le cadre des activités définies par le projet EXPERES, les étudiants doivent réaliser virtuellement trois travaux pratiques en mécanique du point, à savoir : Etude statique et dynamique du ressort, étude d'un pendule simple et conservation de l'énergie mécanique.

Ces trois TP virtuels seront effectués par les étudiants via une plateforme d'enseignement à distance où l'étudiant peut réaliser les différentes étapes des TP en utilisant un moyen adapté de connexion au web : ordinateur, tablette ou Smartphone.

10- Organisation des ressources :

- Equipement principal nécessaire pour la manipulation
- Instrumentations nécessaires pour la programmation
- Coordination du dispositif et le suivi des apprenants (Ressources humaines, charge du travail estimée pour l'apprenant, nombre approximatif des apprenants,...) par un dispositif de tutorat.

11- Méthodes et outils d'évaluation :

L'évaluation proposée pour ce TP est de nature formative et se présentera avec un protocole pédagogique intégré tout au long des activités pratiques. Les réponses aux questions seront aussi intégrées dans la plateforme pour motiver l'étudiant à se procurer les solutions soulevées en rapport avec le descriptif du TP.

Il serait intéressant si l'évaluation proposée pouvait ressortir les concepts de base par rapport aux activités proposées.

De même, pour chaque TP, il est prévu un pré-test sous format de QCM ou de QUIZ que l'étudiant pourrait renseigner au début des activités.

12- Apport pour les étudiants :

Une étude complète de la conservation de l'énergie mécanique d'un système permettra, aux étudiants de surmonter les difficultés liées à la conception des forces conservatives et non conservatives et leurs effets sur les évolutions des énergies cinétique, potentielle et mécanique. En plus une telle étude consolide la compréhension de la notion de la conversion d'énergie d'une forme cinétique en une forme potentielle et vice versa.

13- Limites et nouvelles pistes d'utilisation :

Le concept de l'énergie est présent dans tous les domaines scientifiques. En mécanique, nous pouvons identifier deux types d'énergie, une énergie cinétique liée au mouvement et une énergie potentielle liée à la position. La somme de ces deux formes d'énergie donne l'énergie totale du système. Si cette dernière est constante, on dit que l'énergie se conserve.

Dans ce sens, cette manipulation est utilisée pour montrer aux étudiants que l'énergie mécanique totale se conserve en l'absence de forces de frottements qui sont responsables de la dissipation de l'énergie généralement sous forme de chaleur. En effet, les forces de frottement s'opposent toujours au déplacement du corps. Donc elles contribuent avec un travail négatif, c.à.d. elles soustraient de l'énergie mécanique. Les applications de ces concepts sont nombreuses dans les différents domaines de la vie (Parachutes, trajectoires de projectiles, horloges mécaniques à pendules, ...).

Une ou plusieurs de ces applications pourront être fournies et expliquées avec une illustration complète.

14- Commentaire général :

L'établissement de la fiche de conceptualisation des TP nécessite une description claire et détaillée du scénario pédagogique à jouer puisqu'il s'agira d'une ou plusieurs animations que les étudiants seront amenés à reproduire pour aboutir aux résultats escomptés.

Ce descriptif nécessite une connaissance très approfondie du TP avec un guide enseignant et étudiant pour permettre la réalisation de l'activité pratique.

II.2

TP02 : Etude statique et dynamique d'un ressort

(Fiche de conceptualisation)

1- Intitulé de la manipulation :

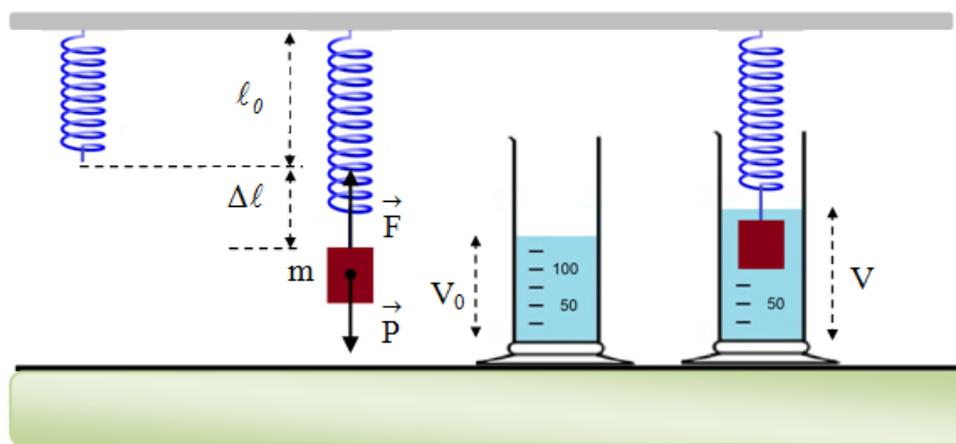
Etude statique et dynamique d'un ressort

2- Mots clés :

Constante de raideur, masse-ressort, allongement d'un ressort, bilan de forces, période d'oscillations, régime statique, régime dynamique, 2^{ème} loi de Newton, simulation, ressorts en parallèle, ressorts en série, Poussée d'Archimède, dynamomètre, masse volumique.

3- Introduction, présentation et contenu :

Dans ce travail il s'agit de découvrir et de mettre en évidence le mouvement d'un pendule élastique, identifier et mesurer l'amplitude et la période des oscillations et de déterminer la constante de raideur du ressort par deux méthodes : statique et dynamique. On étudiera aussi un système mécanique composé de deux ressorts en parallèle ou en série et de vérifier la poussée d'Archimède sur un objet immergé dans un liquide.



Ce TP va permettre aux étudiants de réaliser des manipulations entièrement à distance à travers une plateforme pédagogique en utilisant une connexion internet et de mettre à leur disposition toutes les ressources pédagogiques via une plateforme moodle.

C'est dans ce contexte que nous proposons une scénarisation du travail pédagogique qui permet de créer un laboratoire virtuel où les étudiants peuvent analyser et explorer de manière interactive les concepts de la mécanique du point, et celui d'un pendule élastique en particulier.

4- Niveau ciblé :

Etudiants en première année universitaire (Semestres 1 et 2)

5- Pré requis :

Connaissances de base en mécanique du point du semestre 1 et en particulier :

- ✓ Définir une force et ses caractéristiques

- ✓ Faire le bilan des forces extérieures s'exerçant sur un solide lorsque celui-ci est en équilibre.
- ✓ Appliquer la relation fondamentale de la dynamique (2^{ème} loi de Newton)
- ✓ Représentation graphique des variations d'une grandeur physique
- ✓ Pression hydrostatique d'un liquide.

6- Objectifs pédagogiques :

- ✓ Mettre en évidence un phénomène physique.
- ✓ Se familiariser avec des outils de mesures de paramètres physiques.
- ✓ Evaluer les incertitudes liées à des mesures de grandeurs physiques.
- ✓ Valider des modèles théoriques par des mesures expérimentales.
- ✓ Exploiter les résultats obtenus, synthèse et argumentation.
- ✓ Rédiger un compte rendu de TP.

7- Compétences :

Les compétences scientifiques que l'étudiant doit acquérir lors des travaux pratiques de l'étude statique et dynamique du ressort sont d'une part liées à la réalisation d'un TP en général qui sont :

- ✓ Effectuer une expérience en utilisant les TICE.
- ✓ Faire des mesures pendant des travaux pratiques virtuels
- ✓ Exploiter les résultats obtenus et les confronter avec les modèles théoriques enseignés dans le cours.

D'autre part les compétences liées au TP du ressort qui sont :

- ✓ Caractériser la raideur d'un ressort
- ✓ Identifier les phénomènes linéaires
- ✓ Mettre en évidence la poussée d'Archimède.

8- Moyens et supports pédagogiques :

Ressources pédagogiques mise à la disposition des étudiants sous forme de polycopies et sur le site de l'établissement.

- ✓ Supplément de cours élaboré par le responsable de module relatif au TP.
- ✓ Documents spécifiques à la réalisation du TP.
- ✓ Manuel technique du TP fourni par les enseignants intervenants aux TP.

Ressources numériques et multimédia :

- ✓ Observer le phénomène physique à l'aide de supports audiovisuels.
- ✓ Applets et autres ressources numériques de démonstration utilisant le ressort.

Logiciels d'exploitation des mesures liées au TP.

Une auto-évaluation est proposée à la fin pour cette activité.

9- Contexte et choix pédagogique :

La vérification des performances de la suspension d'un système mécanique est devenue nécessaire. Un des éléments fondamentaux de cette suspension est constitué par un ressort dont la constance de raideur, ainsi que la période propre de l'oscillateur élastique, sont deux critères pris en compte lors cette vérification.

Pour cela on doit élaborer une stratégie de travail en réalisant des investigations et coordonner des actions pour atteindre l'objectif visé lors de ce TP, à savoir :

Investigation 1 → Détermination de la raideur d'un ressort vertical en mode statique

Investigation 2 → Détermination de la raideur d'un ressort vertical en mode dynamique

Investigation 3 → Association de ressorts en mode statique en parallèle et en série

Investigation 4 → Mise en évidence de la poussée d'Archimède.

10- Organisation des ressources :

Pour la gestion de travaux pratiques virtuels il est absolument nécessaire de prévoir une plateforme d'enseignement au niveau de l'établissement dans une forme intégrée à partir d'une même fenêtre. Ces ressources sont les suivantes :

- ✓ Un spot illustrant la présentation globale du TP (5 min)
- ✓ Observation vidéo du TP (10 min max)
- ✓ Exploration à l'aide de la simulation (10 min)
- ✓ Ressources théoriques (15 min)
- ✓ Travaux pratiques virtuels (environ 60 min)
- ✓ Evaluation (Test des pré-requis par QCM, Elaboration d'un compte rendu, QCM ou QRM) (environ 20 min).

11- Méthodes et outils d'évaluation des acquis :

Mode d'apprentissage

Le déroulement des TP se fait totalement à distance via une plate-forme Moodle. Le suivi et l'accompagnement des étudiants seront assurés par les enseignants et des tuteurs. La durée d'une séance de TP est de deux heures.

Outils d'évaluation des acquis

- ✓ Test des pré-requis par QCM
- ✓ Elaboration d'un compte rendu
- ✓ Evaluation en présentiel QCM ou QRM.

12- Apport pour les étudiants

- ✓ Avoir une bonne compréhension des notions de base de la mécanique classique vues en cours sur le principe fondamental de la dynamique appliqué à l'étude du comportement statique et dynamique d'un ressort.
- ✓ Se familiariser et acquérir les compétences avec les outils informatiques pour mettre en évidence les lois mécaniques de l'étude statique et dynamique d'un ressort (détermination de la raideur d'un ressort, calcul de la poussée d'Archimède, ...)
- ✓ Développer leurs *sens de l'observation*, leurs curiosités et leurs rigueurs de raisonnement.

13- Limites et nouvelles pistes d'utilisation :

Pour tout système physique réel, le comportement n'est celui d'un oscillateur harmonique que dans un domaine restreint, même en négligeant tout terme de dissipation. Dans le cas d'un système masse-ressort, le système ne se comporte comme un oscillateur harmonique que dans la limite des petites oscillations, c'est-à-dire si l'on reste dans le domaine linéaire du ressort, où la force de rappel est proportionnelle à son élongation.

Si l'écart à l'équilibre est important (élongations plus élevées), il apparaît en général des termes supplémentaires dans la relation force de rappel / élongation. Ceux-ci se caractérisent en pratique par l'apparition de termes non quadratiques dans l'expression de l'énergie potentielle. Pour des élongations encore plus élevées, il y aura une déformation permanente du ressort, qui quitte alors le domaine élastique pour entrer dans celui de la déformation plastique, voire se rompre. Dans ce cas-là la modélisation du système par une énergie potentielle ne sera pas possible.

L'étude des oscillateurs est d'un grand intérêt pour la vie courante: leur périodicité permet la mesure du temps (montres mécaniques) ce qui a historiquement permis une avancée rapide des sciences; les amortisseurs de voitures permettent aux passagers un certain confort sur des routes déformées.

14- Commentaire général :

L'établissement de la fiche de conceptualisation des TP nécessite une description claire et détaillée du scénario pédagogique à jouer puisqu'il s'agira d'une ou plusieurs animations que les étudiants seront amenés à reproduire pour aboutir aux résultats escomptés.

Ce descriptif nécessite une connaissance très approfondie du TP avec un guide enseignant et étudiant pour permettre la réalisation de l'activité pratique.

II.3

TP03 : Pendule simple (Fiche de conceptualisation)

1- Intitulé de la manipulation :

Pendule simple

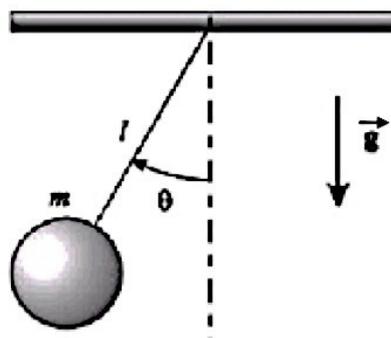
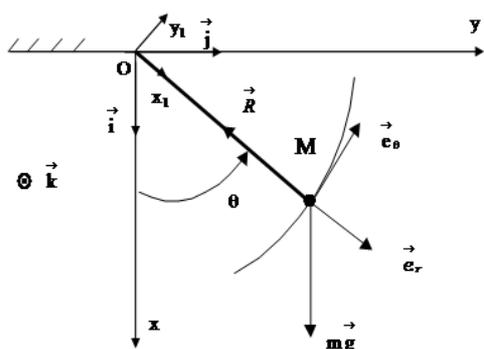
2- Mots clés :

Pendule simple, masse, simulation, oscillations amorties, période, oscillation entretenues.

3- Introduction, présentation et contenu :

Un pendule simple est constitué d'une masse m , assimilée à une boule, suspendue à un fil inextensible fixé sur un support.

La position du pendule est repérée par l'angle θ (compris entre $-\pi$ et $+\pi$) qui existe entre la tige et la verticale. La masse se déplace suivant une trajectoire circulaire de rayon L (longueur du fil).



L'objet de ce travail est de déterminer expérimentalement la période d'un pendule simple, d'étudier les influences de la masse et de la longueur du fil sur cette période et d'approuver la relation théorique existante entre la période et la longueur du fil.

Enfin, l'étudiant sera amené à déduire l'accélération de la pesanteur et la masse de la terre.

Cette série de TP virtuels et les cours correspondants seront accessibles via une plateforme RLMS, Moodle.

Ils seront hébergés sur un serveur au sein de notre université. Ce dernier contiendra, également, les 11 autres simulations développées par les différents partenaires de ce projet. L'objectif final est de mettre à disposition des enseignants, de physique, cette série de TPs virtuels pour, d'une part, combler à l'élimination des travaux pratiques en première année universitaire, et d'autre part, trouver une solution alternative, qui ne remplace en aucun cas les travaux pratiques en présentiel, au problème de la massification.

4- Niveau ciblé :

TP de niveau première année universitaire (Semestres 1 et 2).

5- Pré requis :

Mécanique : Principe fondamental de la dynamique, Oscillateur harmonique.

6- Objectifs pédagogiques :

On peut utiliser, dans ce cas, la manipulation du pendule simple pour :

- ✓ Mesure de la période T d'un pendule simple.
- ✓ Démontrer que la période dépend de la longueur l du pendule et déduire l'accélération de la pesanteur puis déduire la masse de la terre.
- ✓ Démontrer que la période ne dépend pas de la masse du pendule.

7- Compétences :

Les compétences scientifiques que l'étudiant doit acquérir, lors des travaux pratiques du pendule simple, sont :

- ✓ Effectuer une expérience en utilisant les TICE.
- ✓ Faire des mesures expérimentales.
- ✓ Exploiter les résultats obtenus et les confronter avec les modèles théoriques enseignés dans le cours.
- ✓ Identifier les phénomènes oscillatoires (Libre, Amorti, Entretenu).

8- Moyens et supports pédagogiques :Ressources pédagogiques

- ✓ Supplément de cours.
- ✓ Documents spécifiques à la réalisation du TP
- ✓ Manuel du TP.

Ressources numériques et multimédia

- ✓ Applets et autres ressources numériques de démonstration en relation avec le TP du pendule.

Logiciels

- ✓ Logiciels d'exploitation des mesures liées au TP.

9- Contexte et choix pédagogique :

Les travaux pratiques, en première année du cursus universitaire de l'étudiant, sont essentiels pour compléter la formation de l'étudiant et consolider ses acquis pendant les séances théoriques (cours et TD). Cependant, la réalisation et l'organisation des travaux pratiques, dans les facultés à accès ouvert, posent un réel défi, aux départements en charge de cet enseignement, à cause de la massification.

En effet, vu les ressources matérielles, didactiques, humaines et logistiques demandées, les TP ont été supprimés du cursus universitaire en première année dans plusieurs filières dans les facultés marocaines.

L'implémentation des simulations, des TP à distance et l'introduction des nouvelles technologies de l'information sont devenues une nécessité pour combler ces déficiences.

Le projet EXPERES, coordonné par l'université de Murcie en Espagne et l'université Abdelmalek Essaadi au Maroc, présente une bonne initiative pour concrétiser et mettre en application cette solution.

Dans le cadre des activités définies par le projet EXPERES, les universités du centre (UH1, UH2C et UCD) sont chargées de réaliser virtuellement trois travaux pratiques en mécanique du point, à savoir :

1- Etude statique et dynamique du ressort. (UCD)

2- Etude d'un pendule simple. (UH1)

3- Conservation de l'énergie mécanique. (UH2C)

Ces trois TP virtuels seront effectués par les étudiants via une plateforme d'enseignement à distance où l'étudiant peut suivre les différentes étapes du TP virtuel en utilisant un moyen de connexion au web : ordinateur, tablette, Smartphone.

10- Organisation des ressources :

Les ressources citées ci-dessous seront accessibles via une plateforme de l'université.

Dans une forme intégrée à partir d'une même fenêtre. Ces ressources sont :

- ✓ Enregistrement vidéo du TP (Observation → 7-10 min)
- ✓ Simulation (Exploration guidée → 5-10 min)
- ✓ Ressources théoriques (document PDF à lire → 45 min)
- ✓ Simulation (Manipulation virtuelle → 60 min)
- ✓ Auto-évaluation (Questions auto corrigées → 15-20 min)

11- Méthodes et outils d'évaluation des acquis :

- ✓ Test des prérequis par questions à choix multiples (QCM) ou questions à réponses multiples (QRM)
- ✓ Elaboration d'un compte rendu
- ✓ Evaluation en présentiel QCM ou QRM.

12- Apport pour les étudiants :

- ✓ Possibilité de refaire plusieurs fois la manipulation
- ✓ Avoir une bonne compréhension des lois théoriques vues en cours
- ✓ Se familiariser avec les outils informatiques.

13- Limites et nouvelles pistes d'utilisation :

Le pendule simple appartient à cette famille de systèmes physiques qui déplacés légèrement de leur position d'équilibre se mettent à osciller autour de leurs positions d'équilibre.

De tels systèmes sont très communs en mécanique (pendule, ressort...) qu'en électricité (circuit RLC série) ou encore en physique du solide (vibration d'un atome dans le réseau cristallin).

Le mouvement d'oscillation est limité aux faibles amplitudes, dans ce cas le système se comporte comme un oscillateur linéaire encore appelé oscillateur harmonique.

En l'absence du frottement, l'oscillateur est libre et est périodique.

Comme nouvelles pistes d'utilisations, on introduit le coefficient de frottement et la poussée d'Archimède pour décrire le comportement des oscillateurs amortis.

En introduisant également un exciteur pour imposer la même fréquence, qu'en oscillation libre, le système représentera un bon support pour l'étude de la résonance dans le régime forcé.

14- Commentaire général :

L'établissement de la fiche de conceptualisation des TP nécessite une description claire et détaillée du scénario pédagogique à jouer puisqu'il s'agira d'une ou plusieurs animations que les étudiants seront amenés à reproduire pour aboutir aux résultats escomptés.

Ce descriptif nécessite une connaissance très approfondie du TP avec un guide enseignant et étudiant pour permettre la réalisation de l'activité pratique.

II.4

TP04 : Loi d'Ohm - Mesure des résistances

(Fiche de conceptualisation)

1- Intitulé de la manipulation :

Loi d'Ohm – Mesure des résistances

2- Mots clés :

Résistance, loi d'Ohm, Voltmètre, Ampèremètre, Mesure physique.

3- Introduction, définition et contenu :

Ce TP a trois objectifs :

- ✓ Démontrer par l'expérience la loi d'Ohm.
- ✓ Etudier la variation de l'intensité du courant électrique traversant une résistance en fonction de la tension U à ses bornes.
- ✓ Tracer graphiquement la caractéristique $U = f(I)$ de la résistance.

Ce TP sera accessible en ligne à travers la plateforme pédagogique Moodle de chaque université, offrant un maximum d'interactivité à l'étudiant qui pourrait réaliser lui-même ses activités pratiques de laboratoire en mode virtuel. Il sera amené à vérifier les schémas de montage et comprendre les concepts de base d'un circuit électrique. Les schémas proposés à l'étudiant seront simples et lui permettront de « réaliser » son montage.

4- Niveau ciblé :

TP de niveau première année universitaire (Semestres 1 et 2).

5- Pré requis :

- ✓ La mesure en physique
- ✓ Instruments de mesure (ampèremètre, voltmètre)
- ✓ Rappels sur la loi d'Ohm
- ✓ Définition d'une résistance
- ✓ Code de couleur des résistances
- ✓ Association des résistances (séries, parallèles).

6- Objectifs pédagogiques :

- ✓ Vérification de la loi d'Ohm et Association des résistances (Parallèles, Série)
- ✓ Se familiariser avec les appareils de mesure classiques (Voltmètre, Ampèremètre).
- ✓ Apprendre à relever des mesures et détecter les erreurs potentielles.
- ✓ Savoir choisir la méthode de mesure la plus convenable.
- ✓ Savoir présenter correctement un résultat de mesure.

7- Compétences :

- ✓ Savoir manipuler et utiliser de façon correcte les appareils de mesure classiques (Voltmètre, Ampèremètre).
- ✓ Apprendre à éviter les erreurs accidentelles et détecter les erreurs systématiques.
- ✓ Développer l'esprit critique des résultats obtenus.

8- Moyens et supports pédagogiques :

Les documents à télécharger ou à visualiser comprenant :

- ✓ Rappels sur la loi d'Ohm
- ✓ Définition d'une résistance
- ✓ Code de couleur des résistances
- ✓ Classification des résistances et études sur les réseaux de résistances.
- ✓ Test des prérequis (préférable avant « l'expérimentation »).

9- Contexte et choix pédagogique :

Proposer le matériel à utiliser et à placer sur la platine de montage :

- ✓ Résistances.
- ✓ Alimentation stabilisée.
- ✓ Voltmètre, ampèremètre.

- Activité 1 : réaliser le premier montage, l'exploiter (tracé de la fonction $U=f(I)$)
- Activité 2 : réaliser le second montage, l'exploiter (mesure d'une résistance montage en amont)
- Activité 3 : réaliser le troisième montage, l'exploiter (montage en série)
- Activité 4 : réaliser le quatrième montage, l'exploiter (montage en parallèle).

10- Organisation des ressources :

- ✓ Equipement principal nécessaire pour la manipulation
- ✓ Instrumentations nécessaires pour la programmation
- ✓ Coordination du dispositif et le suivi des apprenants (Ressources humaines, charge du travail estimée pour l'apprenant, nombre approximatif des apprenants ...)
- ✓ Un ordinateur connecté et un navigateur compatible avec la technologie utilisée (flash, Java,)
- ✓ Le temps de travail ne devra pas dépasser les 60 mn ; le TP est proposé en libre accès.
- ✓ Une version évaluée peut être proposé pour un contrôle en présentiel.
- ✓ Les éléments virtuels nécessaires pour la simulation :
 - Ampèremètre
 - Voltmètre
 - Alimentation variable
 - Lot de résistances.
- ✓ Coordination par les enseignants/chercheurs en charge de ces TP pour un nombre maximal d'environ 500 d'apprenants simultanément en ligne.

11- Méthodes et outils d'évaluation des acquis :

Via le logiciel de simulation, vérifier et évaluer en ligne :

- ✓ Schéma correct.
- ✓ Méthode de travail de l'étudiant.
- ✓ Exactitude des résultats.

Elaboration d'un compte rendu en présentiel.

12- Apport pour les étudiants :

- ✓ Compréhension de la mesure en physique
- ✓ Vérification de la loi d'Ohm et manipulation des résistances.
- ✓ Manipulation d'appareils de mesure.

13- Limites et nouvelles pistes d'utilisation :

Plusieurs idées sont possibles et seront proposées en fonction de l'avancement du TP.

14- Commentaire général :

TP inséré dans Moodle avec rappels de cours et QCM pour évaluation intermédiaire.

II.5

TP05 : Pont de Wheatstone

(Fiche de conceptualisation)

1- Intitulé de la manipulation :

Pont de Wheatstone

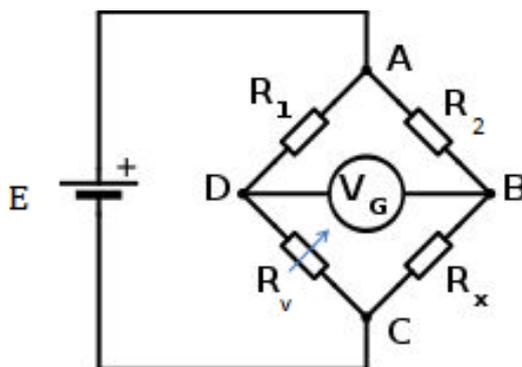
2- Mots clés :

Résistance, circuit électrique, loi d'Ohm, pont de Wheatstone, différence de potentiel, lois de Kirchhoff, théorème de Thévenin.

3- Introduction définition et contenu

Ce T.P a pour objectif général l'acquisition des connaissances et l'apprentissage des savoir-faire théoriques inscrits dans le répertoire des compétences associé au programme.

Le Pont de Wheatstone est une des méthodes les plus précises pour mesurer des résistances. Ce pont est constitué de quatre résistances (R_1 , R_2 connues, R_v variable et R_x à déterminer) et d'un galvanomètre. Il permettra dans le cas particulier de l'équilibre de déterminer la valeur de la résistance R_x à mesurer



La différence de potentiel quand le pont est en déséquilibre est :

$$V_B - V_D = E \left(\frac{R_x}{R_2 + R_x} - \frac{R_v}{R_1 + R_v} \right)$$

On dit que le pont est équilibré lorsqu'il ne passe aucun courant ($V_B = V_D$) dans le galvanomètre V_G par suite du réglage des éléments étalonnés : R_1 , R_2 et R_v . Il s'ensuit que si $I_g = 0$, le courant i_1 traverse R_1 et R_v , et le courant i_2 traverse R_2 et R_x . La différence de potentiel entre les points B et D est nulle. L'application de la loi d'ohm aux différentes bornes conduit à :

$$V_A - V_D = R_1 i_1$$

$$V_A - V_B = R_2 i_2$$

$$V_D - V_C = R_v i_1$$

$$V_B - V_C = R_x i_2$$

Il vient :

$$R_1 i_1 = R_2 i_2$$

$$R_v i_1 = R_x i_2$$

Soit enfin :

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_v$$

4- Niveau ciblé :

TP de niveau première année universitaire (Semestres 1 et 2).

5- Pré requis :

- ✓ Définition d'une résistance,
- ✓ Aspect énergétique du courant électrique,
- ✓ Etude des réseaux : loi des mailles...
- ✓ Calcul d'incertitude.
- ✓ Code de couleur des résistances,
- ✓ Montage à exploiter,
- ✓ Evaluation de l'incertitude.

6- Objectifs pédagogiques :

- ✓ Confronter la théorie et l'expérience
- ✓ Se familiariser avec les appareils de mesure : choix d'appareil et réalisation des montages,
- ✓ Evaluer les incertitudes liées aux mesures, ainsi que celles liées au modèle physique,
- ✓ Exploiter les mesures en tenant compte des spécifications du constructeur,
- ✓ Comparer des méthodes de mesure,
- ✓ Argumenter et synthétiser sous la forme d'un rapport.

7- Compétences :

Parmi les compétences scientifiques que l'étudiant développera, par l'enseignement de ce TP, relevons celle qui consiste à développer une démarche scientifique complète pour :

- ✓ Acquérir des méthodes expérimentales,
- ✓ Mesurer une résistance inconnue,
- ✓ Interpréter des résultats expérimentaux.

8- Moyens et supports pédagogiques :

Ressources pédagogiques

- ✓ Supports écrits : Un premier polycopié ayant trait au cours d'électricité, où sont exposées les notions de base. Un second polycopié dédié à la réalisation du TP.
- ✓ Support audiovisuel du TP réel.

Ressources numériques et multimédia

- ✓ Applets et autres ressources numériques de démonstration en relation avec le TP du ressort.

9- Contexte et choix pédagogique :

La conception d'un environnement numérique interactif et le développement des travaux pratiques à distance sont jugés indispensables aux apprenants pour mieux comprendre les acquis théoriques. Cette pédagogie numérique permet aux apprenants la consultation d'un contenu pédagogique avec différents énoncés et étapes de réalisation des travaux pratiques, ainsi qu'un ensemble des objets virtuels pour la réalisation du TP. Elle offre également des expériences sur les concepts et les lois utilisées pour décrire et expliquer les phénomènes en cause dans les expériences simulées.

Dans le cas de ce T.P, il s'agit de procéder à une mesure d'une résistance inconnue par le biais de ce qu'on appelle pont de Wheatstone et de vérifier par voie de conséquence les résultats prévus par les différentes lois et théorèmes : Kirchhoff, Thevenin, Norton, etc....

Toutes les ressources seront accessibles via une plate forme dédiée.

10- Organisation des ressources :

Toutes les ressources citées ci-dessous seront accessibles via une plateforme (Moodle), dans une forme intégrée à partir d'une même fenêtre. Ces ressources sont les suivantes :

- ✓ Enregistrement vidéo du TP réel (Observation 7-10 min)
- ✓ Ressources théoriques (document pdf à lire 25 min)
- ✓ Simulation (Manipulation virtuelle 60 min)
- ✓ Auto-évaluation (Questions auto corrigées 10 min).

11- Méthodes et outils d'évaluation des acquis :

Comme pour toute évaluation, celle des savoirs (généraux) et des savoir-faire (opérationnels) acquis en formation, elle va consister à bien cerner l'objet à évaluer, à construire le référentiel de l'évaluation (l'ensemble des objectifs pédagogiques), à définir les modalités (les outils de mesure) pour évaluer.

L'évaluation proposée pour ce T.P est de nature formative, utilisant une auto-évaluation et un questionnaire ouvert pour motiver l'étudiant à se procurer les solutions adéquates.

La note d'une manipulation tiendra compte de trois parties : qualité de la préparation, conduite de la manipulation, qualité du rapport.

12- Apport pour les étudiants :

La programmation des travaux pratiques en présentiel était jusqu'à présent soumise aux impératifs de disponibilité des laboratoires et d'emploi du temps des étudiants et des enseignants. La mise en place des travaux pratiques à distance permet d'offrir à l'étudiant un apprentissage flexible avec :

- ✓ les possibilités d'effectuer les TP librement, de n'importe où et autant de fois,
- ✓ le temps nécessaire pour l'assimilation des objectifs pédagogiques du TP,
- ✓ la maîtrise des logiciels de simulation.

L'étude de ce T.P permettra aux étudiants de confronter théorie et pratique et de se familiariser avec les méthodes et appareils expérimentaux.

13- Limites et nouvelles pistes d'utilisation :

Parmi les limites d'utilisation de ce type d'enseignement pratique à distance :

- ✓ disponibilités des ressources matérielles (poste de travail, connexion,...) et humaines (motivation, attractivité et disponibilité des enseignants tuteurs,...),
- ✓ gestion de l'accès (authentification, autorisation,...).

La simulation de ce T.P prévoit différentes valeurs pour le choix de E , R_1 et R_2 . Dans la réalité les valeurs de E ne dépassent guère les 24 Volts et il est judicieux de choisir un rapport de R_1 et R_2 égal respectivement : 0.1 ; 1 et 10.

L'accompagnement approprié des étudiants (tutorat) est l'une des conditions de réussite de cet enseignement pratique à distance. La mise en ligne du contenu et des ressources pédagogiques (tutorat informatisé) constitue un support d'accompagnement de cette activité.

II.6

TP06 : Oscilloscope cathodique (Fiche de conceptualisation)

1- Intitulé de la manipulation :

Oscilloscope cathodique

2- Mots clés :

Oscilloscope, oscillogramme, sensibilité verticale, sensibilité horizontale, balayage, spot, tension, périodique, période, déphasage, continue, alternative.

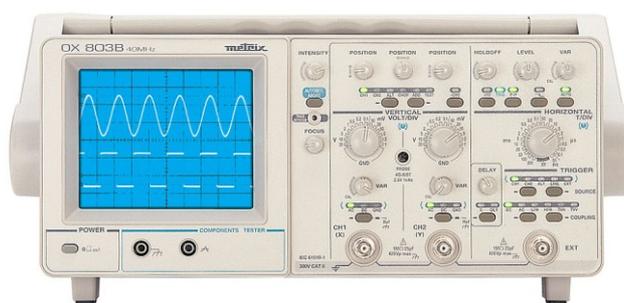
3- Introduction, définition et contenu :

L'objectif de ce TP est de se familiariser avec l'utilisation de l'oscilloscope en tant qu'instrument de mesures utilisé aussi bien au laboratoire que dans l'industrie.

On dénombre deux types d'oscilloscopes : l'oscilloscope cathodique (qui est le sujet de notre séance de travaux pratiques) et l'oscilloscope numérique. Un oscilloscope comporte :

- ✓ un tube cathodique comprenant un canon à électrons, des systèmes de déflexion et un écran fluorescent,
- ✓ des amplificateurs,
- ✓ une base de temps,
- ✓ un dispositif de synchronisation.

Chacun de ces éléments fonctionne avec une alimentation interne à l'oscilloscope.



Oscilloscope

L'oscilloscope permet essentiellement l'étude des phénomènes oscillants. Il visualise les variations d'une tension en fonction du temps ou en fonction d'une autre, celle-ci pouvant être l'image d'autres grandeurs (temps, courant, flux magnétique, variation mécanique, etc.).

Nous allons observer, mesurer et comparer les tensions délivrées par un générateur de tension en affichant les courbes des tensions en fonction du temps, puis mesurer le déphasage par deux méthodes différentes.

4- Niveau ciblé :

TP de niveau première année universitaire (Semestre 2).

5- Pré requis :

- ✓ Constitution et fonctionnement de l'oscilloscope cathodique
- ✓ Procédures de mesures à l'aide de l'oscilloscope cathodique :

- Tension
- Fréquence
- Déphasage par :
 - la méthode directe
 - la méthode de Lissajous

- ✓ Mesure de tension continue
- ✓ Mesure d'une tension sinusoïdale délivrée par un G.B.F
- ✓ Mesure de la tension à l'aide d'un voltmètre (Tension efficace)
- ✓ Mesure de fréquence
- ✓ Mesure de déphasage.

6- Objectifs pédagogiques :

- ✓ Visualisation de deux types de tension : une tension continue et une tension alternative.
- ✓ Branchement et de réglage de l'oscilloscope pour des mesures de tension.
- ✓ Mesure une tension continue.
- ✓ Mesurer des caractéristiques d'une tension alternative : amplitude, période et fréquence.
- ✓ Déterminer le déphasage entre deux tensions sinusoïdales de même fréquence par :
 - La méthode directe
 - La méthode de Lissajous.

7- Compétences :

Savoir :

- ✓ Relever les caractéristiques d'un signal périodique : amplitude, période et déduire la fréquence
- ✓ Différencier entre valeur maximale et valeur efficace d'une tension.
- ✓ mesurer le déphasage et distinguer entre retard et avance de phase.

8- Moyens et supports pédagogiques :

Documents comprenant :

- ✓ Polycopiés de TP
- ✓ Liens vers des documents, vidéo ou simulation pour complément de prérequis.

Une vidéo :

- ✓ Contenant un enregistrement sur le principe de fonctionnement d'un oscilloscope et l'utilité des boutons standards.

9- Contexte et choix pédagogique :

Les oscilloscopes :

- ✓ Convertissent les signaux d'entrée électriques en une trace visible sur un écran; en d'autres termes, ils transforment l'électricité en lumière.
- ✓ Représentent dynamiquement, sous forme graphique et en 2D, des signaux électriques variables dans le temps (généralement la tension par rapport au temps).
- ✓ Sont utilisés par les ingénieurs et techniciens pour tester, vérifier et déboguer des conceptions électroniques.
- ✓ Sont utilisés dans la plupart des salles de TP et des laboratoires de physique.

Les objectifs du TP seront atteints par les activités suivantes :

Activité 1 : Mesure de tension continue

Activité 2 : Mesure de tension sinusoïdale délivrée par un G.B.F à l'aide d'un oscilloscope et d'un multimètre

Activité 3 : Mesure de fréquence

Activité 4 : Mesure de déphasage par :

- la méthode directe
- la méthode de Lissajous.

10- Organisation des ressources :

Toutes les ressources citées ci-dessous seront accessibles via une plateforme pédagogique :

- ✓ Ressources théoriques (document PDF) à télécharger pour préparer la manipulation
- ✓ Présentation audiovisuelle sur l'oscilloscope (durée de 10 mn)
- ✓ Simulation - Exploration guidée (durée 5-10 min)
- ✓ Simulation de manipulation virtuelle (durée 60 min).

11- Apport pour les étudiants :

L'oscilloscope permet de tracer directement sur un écran, une courbe correspondant à l'évolution du signal de mesure (par exemple, une tension en fonction temps). Cet appareil permet l'observation de phénomènes très rapides (plusieurs centaines de mégahertz ce qui correspond à quelques nanosecondes).

C'est pour cette raison que l'oscilloscope occupe une place très privilégiée parmi toute la panoplie des appareils de mesure (Voltmètre, Ampèremètre, Wattmètre ou Multimètre). C'est l'un des rares appareils qui permet de voir la forme des signaux les plus complexes et de mesurer leurs caractéristiques: durées, fréquences, amplitudes.

La manipulation de l'oscilloscope permet à l'étudiant d'apprendre comment utiliser l'oscilloscope, visualiser les variations d'une tension en fonction du temps ou en fonction d'une autre tension, et de mesurer la fréquence des signaux alternatifs ainsi que le déphasage entre deux signaux.

L'étudiant mettra aussi l'accent sur la différence entre une tension maximale et une tension efficace et réalisera également des figures de Lissajous (signaux de fréquence multiple).

12- Limites et nouvelles pistes d'utilisation :

La richesse des possibilités offertes par un oscilloscope, accompagnée de la profusion des commandes ou des réglages peuvent d'abord dérouter. Cela conduit très souvent à une sous-exploitation de l'appareil, voire à des erreurs.

En fait, cette complexité n'est pourtant qu'apparente. Elle résulte de la réunion de sous-ensembles aux fonctions variées, mais simples lorsqu'on les examine séparément. Il est essentiel de bien connaître l'architecture d'un oscilloscope et de se documenter sur son éventuelle utilisation dans divers domaines.

II.7

TP07: Dioptré

(Fiche de conceptualisation)

1- Intitulé de la manipulation :

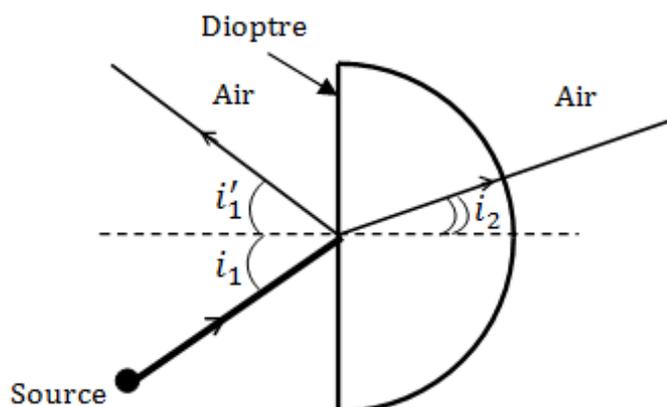
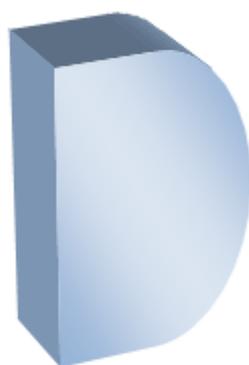
Dioptré

2- Mots clés :

Lumière, Dioptré plan, Réflexion, Réfraction, Propagation rectiligne, Lois de Snell-Descartes, Réflexion interne totale.

3- Introduction, présentation et contenu :

A l'aide d'un dispositif simple et d'une expérimentation bien menée, ce TP permettra à l'étudiant de retrouver facilement les lois de la réflexion et de la réfraction de la lumière visible, appelées lois de Snell-Descartes. Pour cela, nous allons utiliser le dispositif suivant :



Le rayon incident est matérialisé par la projection sur un plan de la lumière émise par une source lumineuse à travers une fente. Le rayon incident vient frapper au centre du dispositif un dioptré en demi-lune de matériau transparent (plexiglas par exemple). Le rayon incident est alors généralement partiellement réfléchi et réfracté. Le dispositif peut pivoter de 180° pour réaliser deux expérimentations différentes : passage d'un milieu plus réfringent vers un milieu moins réfringent ou l'inverse. Ce TP sera accessible en ligne à travers une plateforme pédagogique offrant un maximum d'interactivité à l'étudiant qui pourrait réaliser lui même ses activités pratiques de laboratoire en mode virtuel. Il sera amené à comprendre les concepts de base en optique et à retrouver les lois de Snell-Descartes.

4- Niveau ciblé :

TP de niveau première année universitaire (Semestres 1).

5- Pré requis :

Connaissances de base :

- ✓ Trigonométrie.
- ✓ Géométrie - Tracé des normales.
- ✓ Propagation rectiligne de la lumière dans un milieu homogène et transparent.
- ✓ Lois de Snell-Descartes.

6- Objectifs pédagogiques :

- ✓ Étudier la réfraction et la réflexion de la lumière lors de son passage entre deux milieux d'indices différents.
- ✓ Retrouver les lois de la réflexion et de la réfraction.
- ✓ Étude de la réfraction d'un milieu moins réfringent vers un milieu plus réfringent et vice-versa.
- ✓ Mettre en évidence le phénomène de la réflexion totale.

7- Compétences :

Être capable de pratiquer une démarche expérimentale pour établir un modèle à partir d'une série de mesures et pour déterminer l'indice de réfraction d'un milieu.

8- Moyens et supports pédagogiques :

L'étudiant fera d'abord une phase d'observation à l'aide de supports audiovisuels. Ensuite il pourra faire la découverte du dioptre avec une exploration guidée virtuelle. Par la suite, l'étudiant sera invité à acquérir les connaissances théoriques nécessaires pour la réalisation des activités pratiques. La partie manipulation se fera grâce à une simulation graphique avec un guide d'activités et des consignes concernant les tâches à réaliser. A la fin une auto-évaluation formative est proposée pour cette activité.

9- Contexte et choix pédagogique :

Lors de ce TP, on s'intéressera à l'étude de certaines caractéristiques de la propagation de la lumière. Dans une première partie, il s'agit de découvrir les lois de Snell-Descartes permettant de décrire la propagation de la lumière aux interfaces entre deux milieux matériels.

La seconde partie porte sur la vérification de la loi de retour inverse et la troisième sera consacrée à la mesure de l'indice de réfraction d'un milieu transparent.

Afin d'atteindre les objectifs visés lors de ce TP, il sera procédé à la réalisation des investigations ci-dessous, à savoir :

- ✓ **Investigation 1** → Marche d'un rayon lumineux passant de l'air vers le plexiglas
- ✓ **Investigation 2** → Lumière passant du plexiglas vers l'air (Retour inverse de la lumière)
- ✓ **Investigation 3** → *Mesure de l'indice d'un milieu transparent.*

10- Organisation des ressources :

Toutes les ressources citées ci-dessous seront accessibles via une plateforme dans une forme intégrée à partir d'une même fenêtre. Ces ressources sont les suivantes :

- ✓ Ressources théoriques (10 min)
- ✓ Vidéo de mise en situation par observation de quelques phénomènes optiques (5 min)
- ✓ Auto-évaluation des pré-requis - Questions auto corrigées (5 min).
- ✓ Présentation audiovisuelle du déroulement du TP avec mode opératoire (10 min)
- ✓ Simulation et manipulation virtuelle (45 min)
- ✓ Évaluation et test des acquis (15 min)

11- Méthodes et outils d'évaluation des acquis :

L'évaluation proposée pour ce TP est de nature formative et se présentera sous format de QCM.

Les réponses aux questions seront aussi intégrées dans la plateforme pour motiver l'étudiant à se procurer les solutions soulevées en rapport avec le descriptif du TP.

12- Apport pour les étudiants :

Cette étude basée sur les lois de Snell-Descartes, facilitera la localisation des rayons lumineux qui se réfractent et ou se réfléchissent sur un dioptre. Cela permettra aussi de maîtriser la propagation de la lumière à travers les systèmes optiques et particulièrement les surfaces planes et interpréter correctement certains phénomènes optiques observés.

13- Limites et nouvelles pistes d'utilisation :

Se rendre compte des phénomènes optiques tels que la réflexion totale de la lumière et les mirages. Ce phénomène de la réflexion totale est exploité en médecine (endoscopie) et en électronique (transmission de données par fibre optique).

14- Commentaire général :

L'établissement de la fiche de conceptualisation des TP nécessite une description claire et détaillée du scénario pédagogique à jouer puisqu'il s'agira d'une ou plusieurs animations que les étudiants seront amenés à reproduire pour aboutir aux résultats escomptés.

II.8

TP08 : Prisme

(Fiche de conceptualisation)

1- Intitulé de la manipulation :

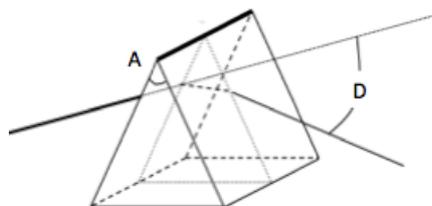
Prisme

2- Mots clés :

Lois de Descartes, Réfraction, Réflexion totale interne, Déviation minimale, Dispersion de la lumière, indice de refraction, Dioptries plans, Lumière monochromatique et lumière blanche.

3- Introduction, présentation et contenu :

De point de vue de l'optique géométrique, la lumière est représentée par des rayons lumineux dessinés dans la direction de propagation des ondes lumineuses. Un prisme est fabriqué par une substance transparente limitée par deux faces planes sécantes (fig. ci-dessous) :



On étudiera la propagation d'un rayon lumineux à travers un prisme et les conditions d'émergence. De même on passera en revue la déviation et la dispersion de la lumière à travers un prisme. L'étude sera faite uniquement sur une section plane du prisme (confondue avec le plan d'incidence), où les lois de Snell-Descartes restent applicables. Ce TP sera accessible en ligne à travers une plateforme pédagogique offrant un maximum d'interactivité à l'étudiant qui pourrait réaliser lui même ses activités pratiques de laboratoire en mode virtuel. L'étudiant sera amené à vérifier les relations du prisme et comprendre les concepts de base en optique géométrique.

4- Niveau ciblé :

TP de niveau première année universitaire (Semestres 1 et 2).

5- Pré requis

Connaissances de base :

- ✓ Notions sur la propagation rectiligne de la lumière,
- ✓ Définition d'un rayon et d'un faisceau lumineux,
- ✓ Lois de Descartes et leurs applications,
- ✓ Définition d'une lumière monochromatique et d'une lumière blanche.

6- Objectifs pédagogiques :

- ✓ Déterminer les équations du prisme,
- ✓ Etudier la déviation à travers un prisme,
- ✓ Etudier qualitativement la dispersion de la lumière.

7- Compétences :

Être capable de comprendre et d'analyser la propagation de la lumière à travers un prisme.

8- Moyens et supports pédagogiques :

L'étudiant fera d'abord une phase d'observation à l'aide de support audiovisuel. Ensuite il pourra faire la découverte du prisme avec une exploration guidée virtuelle. Par la suite, l'étudiant sera invité à acquérir les connaissances théoriques nécessaires pour la réalisation des activités pratiques.

La partie manipulation se fera grâce à une simulation graphique avec un guide d'activités et des consignes concernant les tâches à réaliser. A la fin une auto-évaluation formative est proposée pour cette activité.

9- Contexte et choix pédagogique :

Le prisme est un système optique utilisé pour réfracter la lumière, la réfléchir ou la disperser (décomposer une lumière en ses différentes couleurs). Des prismes spéciaux peuvent aussi servir dans différents systèmes optiques pour améliorer la qualité de la vision. Examiner la dispersion de la lumière et comprendre la formation de l'arc-en-ciel.

Afin d'atteindre les objectifs visés lors de ce TP, il sera procédé à la réalisation des investigations ci-dessous, à savoir :

- ✓ **Investigation 1** → Marche d'un rayon lumineux à travers un prisme et équations du prisme
- ✓ **Investigation 2** → Déviation à travers un prisme
- ✓ **Investigation 3** → Dispersion de la lumière.

10- Organisation des ressources :

Toutes les ressources citées ci-dessous doivent être accessibles via une plateforme (Ex : Moodle) dans une forme intégrée à partir d'une même fenêtre. Ces ressources sont les suivantes :

- ✓ Teaser (Vidéo, présentation globale du TP → 2-3 min)
- ✓ Enregistrements vidéos du TP (Observation → 7-10 min)
- ✓ Simulation (Exploration guidée → 5-10 min max)
- ✓ Ressources théoriques (document pdf → 15 min)
- ✓ Simulation (Manipulation virtuelle → 60 min)
- ✓ Auto-évaluation (Questions auto corrigées → 15-20 min).

11- Méthodes et outils d'évaluation des acquis :

L'évaluation proposée pour ce TP est de nature formative et se présentera avec un protocole pédagogique intégré tout au long des activités pratiques. Les réponses aux questions seront aussi intégrées dans la plateforme pour motiver l'étudiant à se procurer les solutions proposées en rapport avec le descriptif du TP.

Il serait intéressant si l'évaluation proposée pourrait ressortir les concepts de base par rapport aux activités proposées.

De même, pour chaque TP, il est prévu un pré-test sous format de QCM ou de QUIZ que l'étudiant pourrait renseigner au début des activités afin de tester ses connaissances et prérequis théoriques en rapport avec le sujet du TP.

11- Apport pour les étudiants :

Une étude complète du prisme mettra fin, nous l'espérons, aux difficultés liées à la conception de la propagation de la lumière à travers les systèmes optiques et particulièrement les surfaces planes. Basée sur les lois de Snell-Descartes, cette étude facilitera aussi la conception de rayons lumineux qui se réfractent et ou se réfléchissent sur des dioptries plans. Elle mettra aussi le point sur les phénomènes de déviation et de dispersion de la lumière à travers le prisme.

12- Limites et nouvelles pistes d'utilisation :

Dans nos observations de tous les jours, on peut se rendre compte de la séparation de la lumière blanche en ses différentes composantes colorées, soit par un prisme, soit par des gouttelettes d'eau, afin de former un arc en ciel, c'est le processus de dispersion. Aussi, les prismes sont utilisés pour la formation des systèmes optiques comme les appareils photographiques, les télescopes etc.

Un modèle d'application du prisme dans des instruments optiques pourra être fourni et expliqué avec une illustration complète (appareil photo, Jumelles..).

13- Commentaire général :

L'établissement de la fiche de conceptualisation des TP nécessite une description claire et détaillée du scénario pédagogique à jouer puisqu'il s'agira d'une ou plusieurs animations que les étudiants seront amenés à reproduire pour aboutir aux résultats escomptés.

Ce descriptif nécessite une connaissance très approfondie du TP avec un guide enseignant et étudiant pour permettre la réalisation de l'activité pratique.

II.9

TP09 : Focométrie (Fiche de conceptualisation)

1- Intitulé de la manipulation :

Focométrie

2- Mots clés :

Lentille convergente, lentille divergente, relation de conjugaison, auto-collimation, foyers principaux, distance focale.

3- Introduction, définition et contenu :

Parmi les systèmes optiques de base, on trouve les lentilles minces, d'où l'intérêt d'avoir un TP dédié à ses systèmes optiques.

On étudiera la propagation d'un rayon lumineux et même d'un faisceau à travers une lentille. De même, ce TP permettra à l'étudiant d'acquérir plusieurs méthodes pour déterminer la distance focale d'une lentille mince inconnue. Le TP sera accessible en ligne à travers une plateforme pédagogique.

Cette plateforme offrira un maximum d'interactivité à l'étudiant et lui permettra de réaliser ses activités pratiques de laboratoire en mode virtuel. Par ailleurs, Il sera amené à vérifier les formules d'optique (relation de conjugaison, grandissement...) et comprendre les concepts de base en optique.

Une lentille est un milieu transparent limité par deux dioptries dont au moins un est sphérique. Une lentille est dite mince vu la dimension de son épaisseur, sur l'axe optique principal, qui est très petite devant les rayons de courbures des dioptries sphériques ainsi que leur différence. On trouve deux types de lentilles :

- ✓ Les lentilles à bords minces dites lentilles convergentes (figure 1).
- ✓ Les lentilles à bords épais dites divergentes (figure 2).

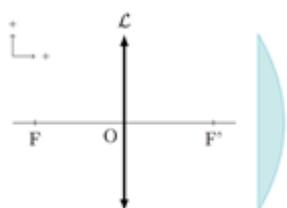


Figure 1. Lentille convergente

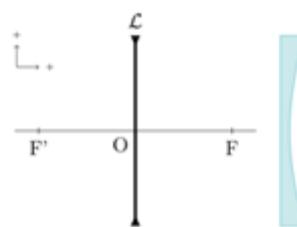


Figure 2. Lentille divergente

4- Niveau ciblé :

TP de niveau première année universitaire (Semestres 1 et 2).

5- Pré requis

Notions préliminaires de base :

- ✓ Définitions des éléments remarquables d'une lentille mince convergente (axe optique, centre optique O, foyer principal objet F, foyer principal image F', distance focale)

- ✓ connaître la différence entre une image réelle et une image virtuelle.
- ✓ Eude graphique d'une droite (détermination de la pente et l'ordonnée à l'origine)
- ✓ Savoir différentier entre une distance géométrique et distance algébrique.

6- Objectifs pédagogiques :

- ✓ Visualisation de la position et la taille de l'image en fonction de la position de l'objet et vérification de la relation du grandissement
- ✓ Vérification de la relation de conjugaison d'une lentille
- ✓ Déterminer, par différentes méthodes, la distance focale d'une lentille mince convergente et une autre divergente.

7- Compétences :

- ✓ Identifier une lentille convergente
- ✓ Etre capable de comprendre la construction d'image d'un objet à travers une lentille mince et d'identifier l'objet et l'image dans les différentes situations possibles.
- ✓ Appliquer les relations de conjugaison et du grandissement d'une lentille.

8- Moyens et supports pédagogiques :

L'étudiant fera d'abord une phase d'observation à l'aide de supports audiovisuels. Ensuite il pourra faire la découverte des lentilles avec une exploration guidée virtuelle. Par la suite, l'étudiant sera invité à acquérir les connaissances théoriques nécessaires pour la réalisation des activités pratiques. La partie manipulation se fera grâce à une simulation graphique avec un guide d'activités et des consignes concernant les tâches à réaliser. A la fin une autoévaluation formative est proposée pour cette activité.

9- Contexte et choix pédagogique :

Une lentille est constituée d'un milieu transparent (verre ou matière plastique) rigide comme les lentilles qui constituent les loupes et les lunettes ou souple comme les lentilles de contact.

Une lentille possède toujours deux faces dont au moins une qui n'est pas plane. Les lentilles sont présentes dans les appareils optiques les plus courant comme les lunettes astronomiques, les microscopes, les objectifs des appareils photo, les jumelles... etc.

Afin d'atteindre les objectifs visés lors de ce TP, l'étudiant procédera à la réalisation des investigations ci-dessous, à savoir :

- ✓ **Investigation 1** → Identifier une lentille
- ✓ **Investigation 2** → Obtention de l'image d'un objet et vérification du grandissement
- ✓ **Investigation 3** → Vérification de la relation de conjugaison d'une lentille
- ✓ **Investigation 4** → Détermination de la distance focale d'une lentille.

10- Organisation des ressources :

Les ressources citées ci-dessous doivent être accessibles via une plateforme dans une forme intégrée à partir d'une même fenêtre. Ces ressources sont les suivantes :

- ✓ Teaser (Vidéo, présentation globale du TP à 2-3 min)
- ✓ Enregistrement vidéo du TP (Observation à 7-10 min)
- ✓ Simulation (Exploration guidée à 5-10 min)
- ✓ Ressources théoriques (documents pdf à lire à 15 min)

- ✓ Simulation (Manipulation virtuelle à 60 min)
- ✓ Auto-évaluation (Questions auto corrigées à 15-20 min).

11- Méthodes et outils d'évaluation des acquis :

- ✓ Chaque partie sera opérationnalisée et fractionnée sous forme de questions laissant à l'étudiant l'accès à l'animation pour obtenir la réponse aux questions. Il est alors conseillé de préparer les questions et de dresser des scénarios possibles qui seront par la suite reconverties en actions informatisées ou animation flash etc...
- ✓ Auto-évaluation sous forme de QCM.

12- Apport pour les étudiants :

Ce TP permettra à l'étudiant de :

- ✓ Comparer plusieurs méthodes permettant de déterminer la distance focale f' d'une lentille convergente, et donc sa vergence,
- ✓ Vérifier les notions de bases de l'optique géométrique à savoir : les notions d'objet/image, les distances objet et image.
- ✓ Mettre en œuvre les relations liées à une lentille (relation de conjugaison, relation du grandissement)
- ✓ Un présentiel allégé.
- ✓ Acquérir le sens de l'observation.
- ✓ Développer l'esprit critique vis-à-vis de l'information disponible.

13- Commentaire général :

L'équipe de travail s'est rendue compte de la nécessité de décrire avec précision le scénario pédagogique à jouer puisqu'il s'agira d'une ou plusieurs animations que les étudiants seront amenés à reproduire pour aboutir aux résultats escomptés. Un descriptif détaillé est indispensable pour comprendre l'aspect théorique des différentes activités pratiques à réaliser.

II.10

TP10 : Machines Thermiques

(Fiche de conceptualisation)

1- Intitulé de la manipulation :

Machines thermiques

2- Mots clés :

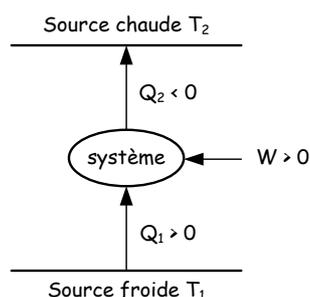
Machines dithermes, machine frigorifique, pompe à chaleur, transformations thermodynamiques, coefficient de performance (COP) ou efficacité.

3- Introduction, présentation et contenu :

L'objectif de cette manipulation est de faire découvrir et comprendre à l'étudiant le fonctionnement d'une machine thermique fonctionnant entre deux sources de chaleur : machine ditherme. L'étude portera essentiellement sur le fonctionnement des appareils domestiques auxquels il est habitué dans sa vie quotidienne : le réfrigérateur et la pompe à chaleur (climatiseur).

La pompe à chaleur ou la machine frigorifique est une machine dynamo thermique qui permet d'extraire de la chaleur à partir d'une source froide (de température plus basse) et d'en restituer à une source chaude (de température plus élevée). Cette opération ne peut avoir lieu que si le système reçoit un travail (conséquence du deuxième principe de la thermodynamique).

La pompe à chaleur sert à chauffer le milieu à la température la plus haute (T_2), alors que la machine frigorifique sert à refroidir le milieu à la température la plus basse (T_1). Ce sont des machines de transfert de chaleur tels que les réfrigérateurs, les climatiseurs, les pompes à chaleur, les liquéfacteurs de gaz. Le principe de fonctionnement de ces machines dithermes (DT) est donné sur ce schéma ($T_2 > T_1$) :



Suivant le fonctionnement de la machine, on définit l'efficacité ou le coefficient de performance (COP) :

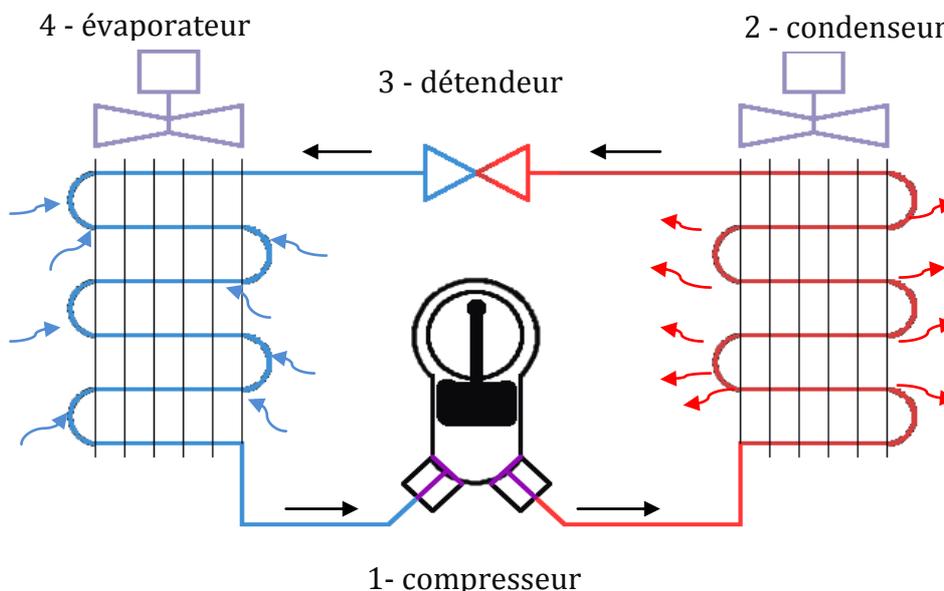
Pour la machine frigorifique :

$$COP_F = \frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{|Q_2| - Q_1}$$

Pour la pompe à chaleur :

$$COP_c = \frac{-Q_2}{W} = \frac{|Q_2|}{|Q_2| - Q_1} > 1$$

Principe de fonctionnement d'un cycle frigorifique à compresseur



Principaux composants du circuit frigorifique

Une machine frigorifique est composée essentiellement de 4 organes principaux où circule un fluide frigorigène (fluide caloporteur) permettant le transfert de la chaleur d'un milieu vers un autre en absorbant ou en libérant sa chaleur latente lors d'un changement d'état (liquide \leftrightarrow gaz).

1. Compresseur

Son rôle est d'aspirer le fluide frigorigène qui se trouve à l'état gazeux, de le comprimer et le refouler à haute pression et haute température il fournit donc un travail mécanique au fluide.

2. Condenseur

Lors de son passage dans le condenseur, le fluide frigorigène cède de la chaleur au milieu dans lequel il se trouve.

En cédant cette chaleur, il se condense progressivement (changement de phase) et donc passe de l'état gazeux à l'état liquide à haute pression (donc : haute pression et haute température).

3. Détendeur

Son rôle est de faire chuter la pression (détente) du fluide frigorigène. Mais lors de cette détente, sa température va chuter également. Ce qui cause une diminution du point d'ébullition du fluide.

4. Evaporateur

Lors de son passage dans l'évaporateur, le fluide frigorigène absorbe la chaleur du milieu dans lequel il se trouve. Il va donc s'évaporer et passe de l'état liquide à l'état gazeux à basse pression (donc : basse pression et basse température).

Ce TP sera **accessible en ligne à travers une plateforme pédagogique** offrant un maximum d'interactivité à l'étudiant qui pourra réaliser lui même ses activités pratiques de laboratoire en **mode virtuel**. Il sera amené à comprendre les concepts de base des machines thermiques et à déterminer les coefficients de performance de la pompe à chaleur et de la machine frigorifique.

4- Niveau ciblé :

TP de niveau première année universitaire (Semestres 1 et 2).

5- Objectifs pédagogiques :

- ✓ Comprendre le sens des transferts de chaleur et de travail
- ✓ Découvrir les éléments nécessaires et leur fonctionnalité pour le cycle de réfrigération du fluide.
- ✓ Savoir faire les mesures de pression, température et de puissance.
- ✓ Découvrir les transformations thermodynamiques dans deux cas pratiques : le réfrigérateur et la pompe à chaleur.
- ✓ Déterminer le coefficient de performance des deux machines.
- ✓ Effet de certains paramètres du circuit réfrigérant sur la performance de la machine frigorifique.

6- Compétences :

Etre capable d'expliquer clairement le principe de fonctionnement d'un réfrigérateur et d'une pompe à chaleur et de dégager l'effet de certains paramètres du circuit réfrigérant affectant la performance de ces deux machines.

7- Moyens et supports pédagogiques :

- ✓ Un support audiovisuel (Vidéo1) sous forme d'une vidéo de 15mn, est à la disposition de l'étudiant pour comprendre le fonctionnement d'un réfrigérateur.
- ✓ Un support pédagogique portant les bases théoriques de thermodynamique nécessaires pour la compréhension et la réalisation du TP.
- ✓ L'activité pratique portera sur la simulation virtuelle du fonctionnement de la machine frigorifique et de la pompe à chaleur. L'effet de certains paramètres du circuit frigorifique sur sa performance sera dégagé.
- ✓ Le TP est couronné par une autoévaluation.

8- Contexte et choix pédagogique :

L'étude des machines thermiques nécessite une connaissance des bases de la thermodynamique. Les notions essentielles pour comprendre le principe de fonctionnement de ces machines commencent par l'assimilation des transformations thermodynamiques et de ses deux premiers principes. Une maîtrise parfaite ne peut être atteinte que par le biais des travaux pratiques. Dans la vie quotidienne de nombreuses machines thermiques sont d'un usage courant, tel le moteur à explosion, le réfrigérateur et les pompes à chaleur.

Dans ce contexte et afin d'atteindre les objectifs visés dans ce TP en mode virtuel (e-TP), l'étudiant sera en mesure de maîtriser la méthodologie de l'étude des machines thermiques :

- ✓ Les différentes transformations constituant un cycle ainsi que les principes de base des machines thermiques en particulier : la machine frigorifique et la pompe à chaleur.
- ✓ Le sens des transferts thermiques

- ✓ L'efficacité ou **coefficient de performance** (COP) dans le cas de ces deux machines.

9- Organisation des ressources :

Le TP se déroulera selon les étapes suivantes :

Etape de préparation du TP

L'étudiant doit impérativement consulter les ressources mises à sa disposition sur la plateforme Moodle sous forme intégrée dans une même fenêtre.

- ✓ Vidéo présentation du TP (2-3 min)

<https://www.youtube.com/watch?v=zw33M99Lrz8>

- ✓ Ressources théoriques, document au format pdf (15 min)
- ✓ Vidéo du TP réel, observation des activités (7-10 min)

Etape de simulation

- ✓ Manipulation virtuelle, réalisation du TP (60 min)

Etape d'évaluation

- ✓ Auto-évaluation, questions auto corrigées (15-20 min)

II.11

TP11 : Mesure du coefficient adiabatique γ d'un gaz

(Fiche de conceptualisation)

1- Intitulé de la manipulation :

Mesure du coefficient adiabatique γ d'un gaz

2- Mots clés :

Gaz parfait, Coefficient gamma (γ), Capacité thermique à pression constante, Capacité thermique à volume constant, Transformations thermodynamiques, Transformation réversible, Adiabatique, Isochore, Isotherme, Expérience de Clément-Desormes, Premier principe de thermodynamique.

3- Introduction, présentation et contenu :

L'objet de ce travail est de déterminer la valeur du coefficient adiabatique γ d'un gaz parfait. Par définition, ce coefficient est égal au rapport des capacités thermiques à pression et à volume constants, respectivement, soit :

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

Ce coefficient permet de caractériser et de modéliser le comportement des gaz parfaits lors des évolutions adiabatiques réversibles (isentropiques) des gaz, et notamment dans les machines thermiques. Ce coefficient permet en outre, et le cas échéant, de déterminer la vitesse de propagation du *son* dans un gaz.

Pour déterminer γ , on utilise dans ce TP une méthode basée sur l'expérience de Clément-Desormes qui consiste à comprimer puis détendre un gaz (l'air) dans un récipient à volume constant, avec ou sans échanges de chaleur avec le milieu extérieur.

Ce TP sera accessible en ligne à travers une plateforme pédagogique offrant un maximum d'interactivité à l'étudiant qui pourrait réaliser lui-même ses activités pratiques de laboratoire en mode virtuel.

4- Niveau ciblé :

TP de niveau première année universitaire (Semestres 1 et 2).

5- Pré requis :

Connaissances de base :

- ✓ Propriétés des gaz parfaits.
- ✓ Premier principe de thermodynamique.
- ✓ Propriétés et caractéristiques des diverses transformations réversibles d'un gaz parfait et notamment, celles associées à une isotherme, une isochore ou encore à une adiabatique.

6- Objectifs pédagogiques :

- ✓ Etudier les caractéristiques de diverses transformations thermodynamiques réversibles d'un gaz parfait.
- ✓ Déterminer l'évolution des paramètres de pression, volume et température caractérisant l'« état » d'un gaz parfait, et ce après une ou plusieurs transformations thermodynamiques réversibles.

- ✓ Connaitre l'intérêt du coefficient adiabatique γ d'un gaz.
- ✓ Calculer le coefficient γ d'un gaz parfait.
- ✓ Comparer la valeur obtenue expérimentalement du coefficient γ à celle théoriquement admise (pour le gaz étudié).

7- Compétences :

- ✓ Savoir déterminer les paramètres de pression, volume et température caractérisant l'« état » d'un gaz parfait ayant subi une ou plusieurs transformations thermodynamiques réversibles.
- ✓ Savoir évaluer et calculer les incertitudes liées à des « mesures » expérimentales.
- ✓ Savoir comparer des mesures expérimentales à des valeurs « théoriques ».

8- Moyens et supports pédagogiques :

L'étudiant fera d'abord une phase d'observation à l'aide de supports audiovisuels. Ensuite, grâce à une exploration guidée virtuelle, il sera invité à découvrir l'expérience de Clément-Desormes. Un rappel des connaissances théoriques nécessaires pour la réalisation des activités pratiques lui est également proposé.

La partie manipulation sera réalisée via une simulation graphique avec un guide d'activités et des consignes concernant les tâches à réaliser. A la fin, une auto-évaluation formative sera proposée pour ces activités.

9- Contexte et choix pédagogique :

Savoir déterminer l'évolution des paramètres de pression, volume et température d'un gaz parfait ayant subi une ou plusieurs transformations thermodynamiques réversibles constitue l'introduction à la thermodynamique des gaz parfaits. Connaitre cette évolution étant en outre l'abécédaire pour pouvoir aborder l'étude des machines thermiques.

Dans ce contexte, à l'issue d'une transformation isentropique (adiabatique réversible) d'un gaz, la connaissance du coefficient γ (dudit gaz) s'avère essentielle pour pouvoir déterminer son évolution adiabatique (notamment dans des machines thermiques).

Rappelons-le, par définition : $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$. Si la mesure *expérimentale* de la capacité thermique à pression constante (C_p) peut être faite grâce à des mesures calorimétriques, mesurer la capacité thermique à volume constant (C_v) s'avère bien plus délicate. Aussi, déterminer directement le rapport de ces deux capacités thermiques, autrement dit, déterminer directement le coefficient γ se révèle plus accessible (expérimentalement) et plus pratique.

Afin d'atteindre les objectifs visés par ce TP, il sera procédé à la réalisation des investigations suivantes :

- ✓ **Investigation 1** → Gaz parfait subissant une suite de transformations thermodynamiques
- ✓ **Investigation 2** → Détermination de la valeur du coefficient adiabatique γ du gaz étudié.

10- Organisation des ressources :

Toutes les ressources citées ci-dessous doivent être accessibles via une plateforme (Moodle) dans une forme intégrée à partir d'une même fenêtre. Ces ressources sont les suivantes :

- ✓ Teaser (Vidéo, présentation du TP → 2-3 min)

- ✓ Enregistrement vidéo du TP (Observation → 7-10 min)
- ✓ Simulation (Exploration guidée → 5-10 min)
- ✓ Ressources théoriques (document pdf à lire → 15 min)
- ✓ Simulation (Manipulation virtuelle → 60 min)
- ✓ Auto-évaluation (Questions auto corrigées → 15-20 min)

11- Méthodes et outils d'évaluation des acquis :

L'évaluation proposée pour ce TP est de nature formative et se présentera avec un protocole pédagogique intégré tout au long des activités pratiques. Les réponses aux questions seront aussi intégrées dans la plateforme pour motiver l'étudiant à se procurer les solutions soulevées en rapport avec le descriptif du TP.

Il serait intéressant si l'évaluation proposée pourrait ressortir les concepts de base par rapport aux activités proposées.

De même, pour chaque TP, il est prévu un pré-test, sous format de QCM ou de QUIZ, et que l'étudiant pourrait renseigner au début des activités.

12- Apport pour les étudiants :

Les transformations thermodynamiques réversibles d'un gaz parfait constituent le fondement même de la Thermodynamique. Il s'agit de la pierre angulaire à l'introduction des machines thermiques.

A travers l'étude de trois transformations réversibles d'un gaz parfait, l'étudiant sera amené à :

- ✓ Appréhender la notion de transformation voire de cycle thermodynamique.
- ✓ Savoir déterminer les paramètres de pression, volume et température, d'un gaz ayant subi une ou plusieurs transformations thermodynamiques.
- ✓ Etudier l'évolution de ces paramètres au terme d'un cycle de transformations thermodynamiques.
- ✓ Savoir déterminer la valeur du coefficient γ d'un gaz, tout en prenant conscience de l'intérêt de connaître la valeur de ce coefficient.

13- Limites et nouvelles pistes d'utilisation :

Les machines thermiques sont des objets de notre quotidien, et restent incontournables dans nos vies « modernes ». A la base, ces machines reposent sur la notion de transformations thermodynamiques d'un gaz. Le modèle de *gaz parfait* reflétant, dans la plupart des cas, les propriétés du gaz réel.

Pour nombre de machines, connaître le comportement du gaz lors d'une transformation isentropique s'avère nécessaire. Dans ce contexte et afin de déterminer l'évolution du gaz lors d'une transformation isentropique, connaître le coefficient adiabatique γ du gaz s'avère primordial.

II.12

TP12 : Calorimétrie (Fiche de conceptualisation)

1- Intitulé de la manipulation :

Calorimétrie

2- Mots clés :

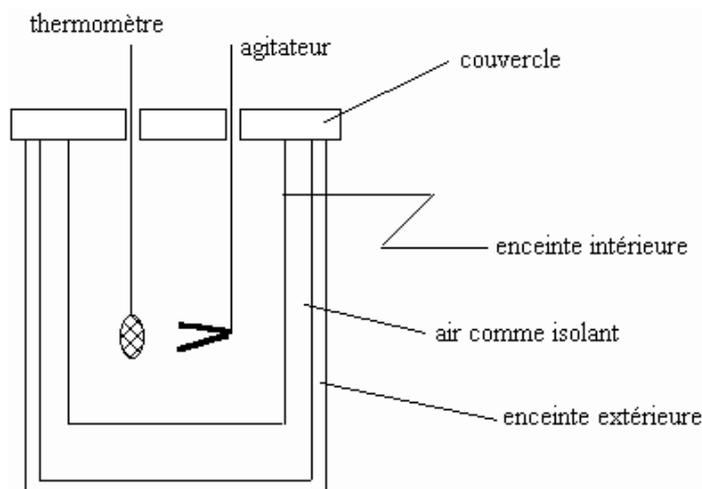
Calorimétrie, calorimètre, Capacité calorifique, Méthode des mélanges, Méthode électrique.

3- Introduction, présentation et contenu :

L'objet de ce travail est la détermination des chaleurs massiques d'un liquide et d'un solide par des méthodes calorimétriques qui sont :

- ✓ La méthode des mélanges dans le cas des solides,
- ✓ La méthode électrique dans le cas des liquides.

Du point de vue calorimétrique, l'échange de chaleur se fait entre des corps placés dans un calorimètre (fig. ci-dessous), isolé thermiquement et muni d'un agitateur, d'un thermomètre ou sonde de température et d'une résistance chauffante dans le cas de la méthode électrique.



On déterminera la capacité calorifique ou valeur en eau du calorimètre et la chaleur massique d'un solide (acier) par la méthode des mélanges et la capacité calorifique du calorimètre et la chaleur massique d'un liquide (alcool) par la méthode électrique. On note que les calorimètres utilisés dans les deux méthodes sont différents. Ce TP sera accessible en ligne à travers une plateforme pédagogique offrant un maximum d'interactivité à l'étudiant qui pourrait réaliser lui-même ses activités pratiques de laboratoire en mode virtuel. L'étudiant sera amené à écrire les équations d'échange de chaleur et comprendre les concepts de base en calorimétrie.

3- Niveau ciblé :

TP de niveau première année universitaire (Semestres 1 et 2).

4- Pré requis :

Connaissances de base :

- ✓ Notions sur la thermodynamique,
- ✓ Premier principe de la thermodynamique,
- ✓ Fonction enthalpie et échange de chaleur,
- ✓ Calorimétrie et principe des méthodes des mélanges et électrique.

5- Objectifs pédagogiques :

- ✓ Écrire les équations calorimétriques des échanges de chaleur.
- ✓ Déterminer les chaleurs massiques des solides,
- ✓ Déterminer les chaleurs massiques des liquides,
- ✓ Comparer les chaleurs massiques des différents solides ou liquides.

6- Compétences :

Etre capable d'écrire les équations calorimétriques et de déterminer les chaleurs massiques des solides et liquides.

7- Moyens et supports pédagogiques :

L'étudiant fera d'abord une phase d'observation à l'aide de support audiovisuel. Ensuite il pourra faire la découverte de la manipulation sur la calorimétrie avec une exploration guidée virtuelle. Par la suite, l'étudiant sera invité à acquérir les connaissances théoriques nécessaires pour la réalisation des activités pratiques. La partie manipulation se fera grâce à une simulation graphique avec un guide d'activités et des consignes concernant les tâches à réaliser. A la fin une auto-évaluation formative est proposée pour cette activité.

8- Contexte et choix pédagogique :

La calorimétrie qui fait partie de la thermodynamique est une discipline purement expérimentale (mesure de calories). Elle permettra de distinguer les corps ayant une forte chaleur massique à ceux ayant une faible chaleur massique. Un corps ayant une grande chaleur massique doit échanger une grande quantité de chaleur pour faire varier sa température d'un degré alors qu'un corps à faible chaleur massique doit échanger une faible quantité de chaleur pour faire varier sa température d'un degré.

Afin d'atteindre les objectifs visés lors de ce TP, il sera procédé à la réalisation des investigations ci-dessous, à savoir :

Méthode des mélanges :

- ✓ **Investigation 1** → Capacité calorifique du calorimètre
- ✓ **Investigation 2** → Chaleur massique d'un solide (acier)

Méthode électrique :

- ✓ **Investigation 3** → Capacité calorifique du calorimètre
- ✓ **Investigation 4** → Chaleur massique d'un liquide (Alcool)

9- Organisation des ressources :

Toutes les ressources citées ci-dessous doivent être accessibles via une plateforme (Moodle) dans une forme intégrée à partir d'une même fenêtre. Ces ressources sont les suivantes :

- ✓ Teaser (Vidéo, présentation globale du TP → 2-3 min)
- ✓ Enregistrement vidéo du TP (Observation → 7-10 min)
- ✓ Simulation (Exploration guidée → 5-10 min)

- ✓ Ressources théoriques (document pdf à lire → 15 min)
- ✓ Simulation (Manipulation virtuelle → 60 min)
- ✓ Auto-évaluation (Questions auto corrigées → 15-20 min)

10- Méthodes et outils d'évaluation des acquis :

L'évaluation proposée pour ce TP est de nature formative et se présentera avec un protocole pédagogique intégré tout au long des activités pratiques. Les réponses aux questions seront aussi intégrées dans la plateforme pour motiver l'étudiant à se procurer les solutions soulevées en rapport avec le descriptif du TP.

Il serait intéressant si l'évaluation proposée pourrait ressortir les concepts de base par rapport aux activités proposées.

De même, pour chaque TP, il est prévu un pré-test sous format de QCM ou de QUIZ que l'étudiant pourrait renseigner au début des activités.

11- Apport pour les étudiants :

Une étude complète des échanges de chaleurs mettra fin, nous l'espérons, aux difficultés liées à la perte de chaleur lors de l'expérimentation et qui sont liées d'une part à la rapidité de l'expérimentateur de réaliser le mélange, et d'autre part aux fuites à travers les parois du calorimètre qui ne sont pas idéalement isolés thermiquement.

12- Limites et nouvelles pistes d'utilisation :

Dans nos observations de tous les jours, on peut se rendre compte que l'eau de refroidissement d'un moteur de voiture n'arrivera jamais à 100°C (sauf cas d'endommagement du moteur) malgré qu'elle rentre en contact avec des parties de ce dernier ayant des températures qui peuvent excéder les 500°C. En effet ceci s'explique en partie par la forte chaleur massique de l'eau ($4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$).

On note que le choix d'un matériau dans une technologie donnée peut bien dépendre de sa chaleur massique.

13- Commentaire général :

L'établissement de la fiche de conceptualisation des TP nécessite une description claire et détaillée du scénario pédagogique à jouer puisqu'il s'agira d'une ou plusieurs animations que les étudiants seront amenés à reproduire pour aboutir aux résultats escomptés.

Ce descriptif nécessite une connaissance très approfondie du TP avec un guide enseignant et étudiant pour permettre la réalisation de l'activité pratique.

-III-
SCENARISATION DES ACTIVITES PRATIQUES

Introduction :

Dans la première partie de ce document nous avons établi des fiches de conceptualisation pour les 12 travaux pratiques comme cités précédemment. Aussi, nous avons homogénéisé et harmonisé entre les différentes rubriques dans une perspective d'optimiser leur utilisation pour le montage d'éventuelles activités de laboratoire.

Dans cette deuxième partie nous procéderons à la scénarisation de ces mêmes activités afin de faciliter la programmation de la partie dédiée à la simulation à l'aide du langage JavaScript.

La scénarisation des activités pratiques consiste en la mise en place d'une stratégie cohérente intégrant un certain nombre de techniques et de méthodes pédagogiques ayant pour objectif la formulation exacte d'un concept recherché. En effet, il s'agissait d'un travail descriptif dont l'objectif était de dégager des séquences d'apprentissage. Il nous a été donc nécessaire de prévoir des activités d'apprentissage par activité, organisées selon un certain déroulement spatio-temporel, au sein d'un environnement général d'apprentissage et de les mettre en place.

III.1

TP01 : Conservation de l'énergie mécanique (Fiche de scénarisation)

Ces travaux pratiques simulés sont composés de deux parties :

- (1) Etude énergétique de la chute verticale d'un corps
- (2) Etude d'un système oscillant

Partie I : Etude de la chute verticale d'une bille en acier

Les données utilisées en simulation dans cette première partie de ces travaux pratiques virtuels sont :

- ✓ La masse de la bille $m_b = 0,136$ kg.
- ✓ La pesanteur $g = 9.81$ m s⁻².
- ✓ Hauteur de la bille par rapport au sol : $h = 2$ m.
- ✓ La masse volumique de l'huile : $\rho = 920$ kg m⁻³.
- ✓ La masse volumique de la bille : $\rho_b = 7850$ kg m⁻³.
- ✓ Coefficient de la force de frottement visqueux de l'huile: $k_f = 0.115$ kg s⁻¹.

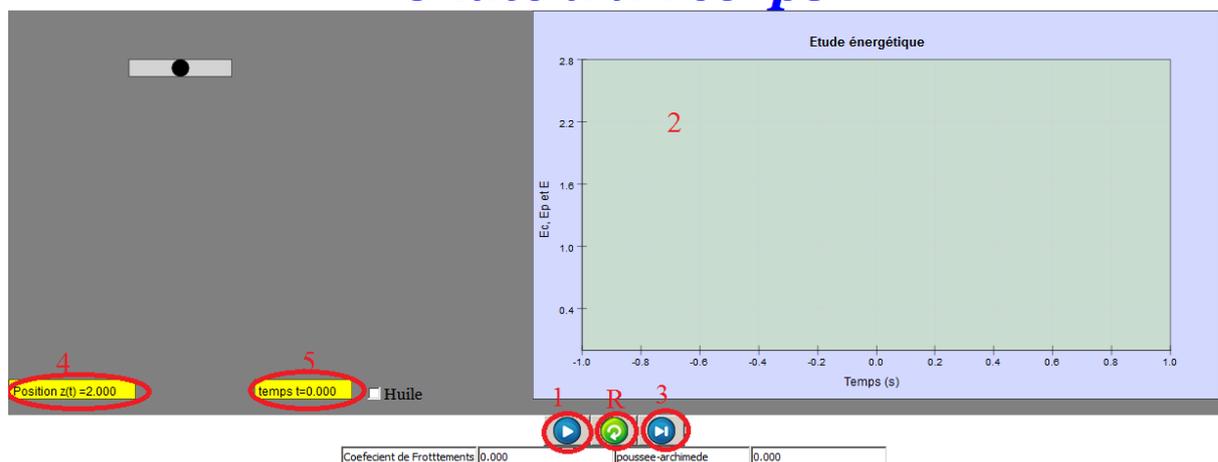
1- Chute libre de la bille dans l'air (40 minutes) : La bille est lâchée en chute libre dans l'air. Le travail à réaliser consiste à une :

a/ Etude qualitative (10 minutes) :

Simulation JavaScript

<http://experes.unileon.es/moodle/course/view.php?id=20>

Chute d'un corps



Remarque importante : La touche (R) initialise la simulation. Elle vous aidera à recommencer la simulation.

Lancer la manipulation en cliquant sur la touche « play » (1) et observer l'évolution des énergies cinétique E_C , potentielle E_P et totale $E = E_C + E_P$ sur l'écran (2) et cocher la ou les bonne(s) réponse(s) aux questions suivantes :

Question 1.a.1 : Lors de la chute libre de la bille :

	L'énergie potentielle se conserve
	L'énergie mécanique diminue quand son énergie potentielle diminue
	L'énergie mécanique diminue toujours
	L'énergie cinétique augmente et l'énergie potentielle diminue
	L'énergie totale reste constante

Réponse 1.a.1 :

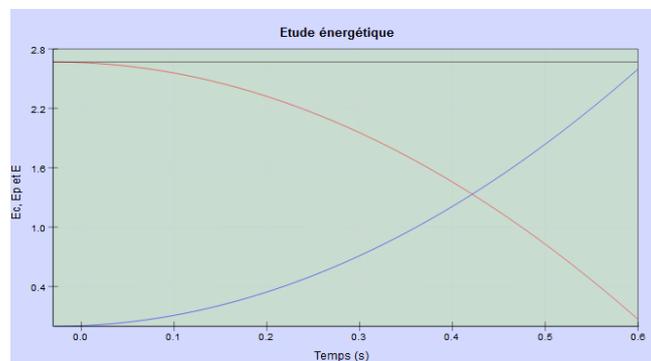
✓	L'énergie cinétique augmente et l'énergie potentielle diminue
✓	L'énergie totale reste constante

Question 1.a.2 : Les énergies de la bille sont représentées comme suit :

	E_c en rouge, E_p en noir et E en bleu
	E_c en noir, E_p en bleu et E en rouge
	E_c en bleu, E_p en rouge et E en noir
	E_c en rouge, E_p en bleu et E en noir

Réponse 1.a.2 :

✓	E_c en bleu, E_p en rouge et E en noir
---	--



Question 1.a.3 : A quel moment $E_C = E_P$?

	$t = 4.31$ s
	$t = 4.51$ s
	$t = 0.451$ s
	$t = 0.4$ s

Réponse 1.a.3 :

✓	$t = 0.451$ s
---	---------------

Question 1.a.4 : Les valeurs des énergies de la bille sont :

	Son énergie cinétique initiale est $E_C = 2.668 \text{ J}$
	Son énergie totale initiale - son énergie totale = 0 J
	Son énergie potentielle finale $E_P = 2.668 \text{ J}$

Réponse 1.a.4 :

✓	Son énergie totale initiale - son énergie totale = 0 J
✓	Son énergie potentielle finale $E_P = 2.668 \text{ J}$

b/ Etude quantitative (30 minutes) :

Question 1.b.1 :

Lancer la manipulation en cliquant sur la touche « pas à pas » (3). Relever pour chaque point le couple position $z(t)$ (4) et temps t (5) et remplir le tableau suivant :

$z(t)$										
t (s)										

Réponse 1.b.1 :

$z(t)$	2,000	1,951	1,804	1,559	1,215	0,774	0,234	0,175	0,115	0,053
t (s)	0,000	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,610	0,620	0,630

Question 1.b.2 :

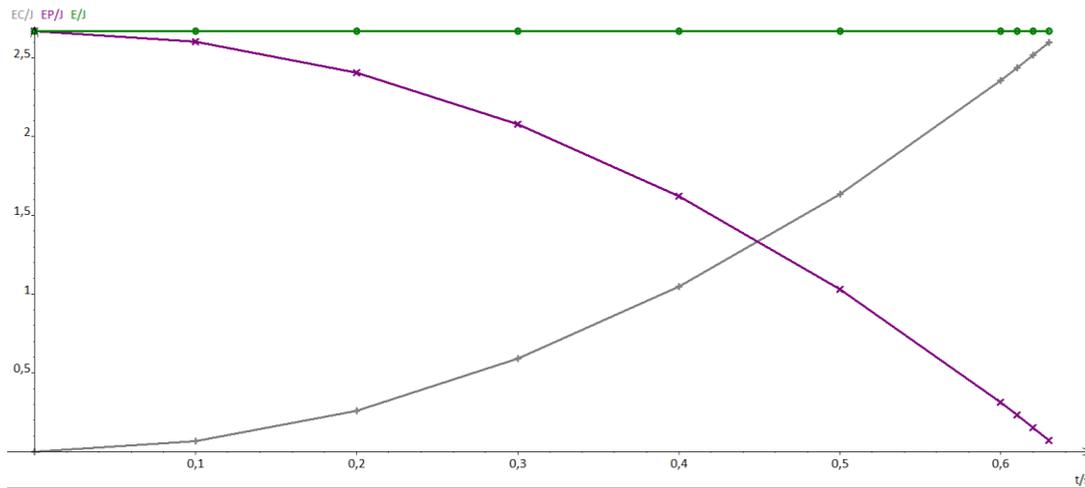
Utiliser les relations donnant $V(t)$ et $E_C(t)$, $E_P(t)$ et $E(t)$ et remplir le tableau suivant :

$V(t)$										
$E_C(t)$										
$E_P(t)$										
$E_C(t)+E_P(t)$										

Réponse 1.b.2 :

$V(t)$	0,000	-0,981	-1,962	-2,943	-3,924	-4,905	-5,886	-5,984	-6,082	-6,180
$E_C(t)$	0,000	0,065	0,262	0,589	1,047	1,636	2,356	2,435	2,516	2,597
$E_P(t)$	2,668	2,603	2,407	2,079	1,621	1,032	0,312	0,233	0,153	0,071
$E_C(t)+E_P(t)$	2,668	2,668	2,668	2,668	2,668	2,668	2,668	2,668	2,668	2,668

Utiliser le logiciel Regressi que vous pouvez télécharger sur le site <http://regressi.fr/WordPress/download/>. Il pourrait servir pour tracer un graphe représentant les énergies en fonction du temps.



Exploitation des résultats :

Question 1.1 :

Quelle est l'action exercée sur la balle ?

Réponse 1.1 :

Dans ce cas là la bille est soumise uniquement à son poids

Question 1.2 :

Comment évolue E_C au cours du mouvement ?

Réponse 1.2 :

L'énergie cinétique qui est initialement nulle croît en fonction du temps

Question 1.3 :

Comment évolue E_P au cours du mouvement ?

Réponse 1.3 :

L'énergie potentielle E_P qui est initialement maximale décroît en fonction du temps

Question 1.4 :

Comment évolue E (l'énergie totale) au cours du mouvement ?

Réponse 1.4 :

L'énergie totale (mécanique) reste constante et égale à 2,668 J

Conclusion :

Question 1.5 : Un système est dit conservatif si :

<input type="checkbox"/>	Son énergie cinétique se conserve
<input type="checkbox"/>	Son énergie potentielle de pesanteur se conserve
<input type="checkbox"/>	Il n'échange pas d'énergie avec le milieu extérieur
<input type="checkbox"/>	Son énergie mécanique se conserve

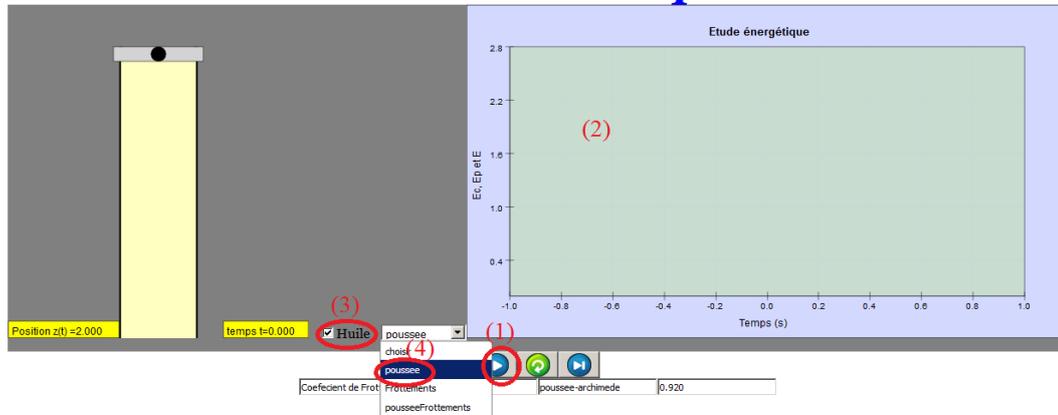
Réponse 1.5 :

<input checked="" type="checkbox"/>	Son énergie mécanique se conserve
-------------------------------------	-----------------------------------

2) Chute de la bille dans de l'huile (45 minutes) :

<http://experes.unileon.es/moodle/course/view.php?id=20>

Chute d'un corps

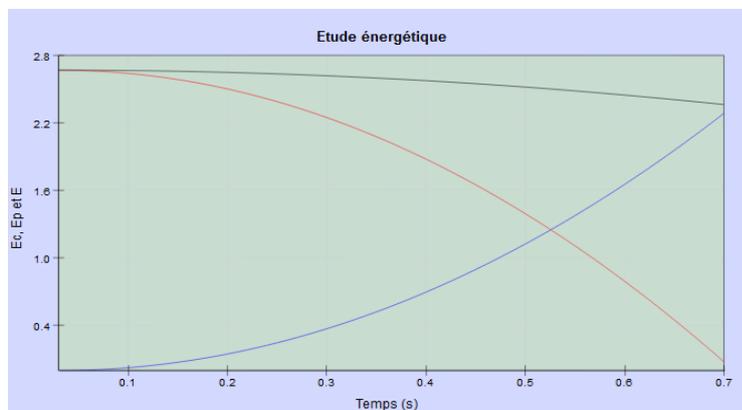


La bille tombe dans de l'huile contenue dans une éprouvette. On l'immerge totalement et on l'abandonne sans vitesse initiale. Trois forces agissent sur la bille à l'instant où elle a été lâchée : son poids, la poussée d'Archimède et la force de des frottements visqueux. On étudie la chute de la bille dans l'huile comme suit :

a) Poussée d'Archimède (15 minutes) :

On tient compte de la Poussée d'Archimède et on néglige la force de frottement. Avant de lancer la simulation, cocher « Huile » (3) et choisir dans le menu déroulant « poussée » (4).

Lancer la simulation en appuyant sur le bouton « play » (1). En regardant les graphes (2), cocher les bonnes réponses :



Question 2.a.1 : Lors de la chute de la bille :

<input type="checkbox"/>	Il y a conservation d'énergie entre les formes cinétique et potentielle.
<input type="checkbox"/>	L'énergie mécanique diminue quand son énergie potentielle diminue.
<input type="checkbox"/>	L'énergie mécanique diminue toujours.
<input type="checkbox"/>	L'énergie cinétique reste constante

Réponse 2.a.1 :

<input checked="" type="checkbox"/>	L'énergie mécanique diminue quand son énergie potentielle diminue.
<input checked="" type="checkbox"/>	L'énergie mécanique diminue toujours.

Question 2.a.2 : Les énergies sont représentées comme suit :

<input type="checkbox"/>	Ec en rouge, Ep en noir et E en bleu
--------------------------	--------------------------------------

	Ec en noir, Ep en bleu et E en rouge
	Ec en bleu, Ep en rouge et E en noir
	Ec en rouge, Ep en bleu et E en noir

Réponse 2.a.2 :

✓	Ec en bleu, Ep en rouge et E en noir
---	--------------------------------------

Question 2.a.3 : Les valeurs des énergies de la bille sont :

	Son énergie cinétique initiale est $E_C = 2.668 \text{ J}$
	Son énergie totale finale est $E = 2.363 \text{ J}$
	Son énergie potentielle finale $E_P = 0 \text{ J}$
	Son énergie mécanique reste constante

Réponse 2.a.3 :

✓	Son énergie potentielle finale $E_P = 0 \text{ J}$
---	--

b) Force de frottement visqueux (15 minutes) :

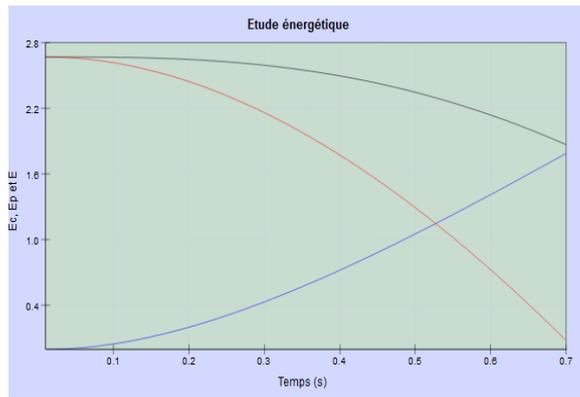
<http://experes.unileon.es/moodle/course/view.php?id=20>

On tient compte de la force de frottement et on néglige la Poussée d'Archimède. Lorsque la bille descend, l'huile exerce une force de frottement dont la valeur évolue selon l'expression $F = 0,115v$ (v est la vitesse du centre d'inertie de la bille).

Avant de lancer la simulation, cocher « Huile » (3) (et choisir dans le menu déroulant « Frottements » (4)).

Chute d'un corps

Lancer la simulation en appuyant sur le bouton « play » (1) . En regardant les graphes, cocher les bonnes réponses :



Question 2.b.1 : Lors de la chute de la bille :

<input type="checkbox"/>	Il y a conservation d'énergie entre les formes cinétique et potentielle.
<input type="checkbox"/>	L'énergie mécanique diminue quand son énergie potentielle diminue.
<input type="checkbox"/>	L'énergie mécanique diminue toujours.
<input type="checkbox"/>	L'énergie cinétique reste constante

Réponse 2.b.1 :

<input checked="" type="checkbox"/>	L'énergie mécanique diminue quand son énergie potentielle diminue.
<input checked="" type="checkbox"/>	L'énergie mécanique diminue toujours.

Question 2.b.2 : Les énergies sont représentées comme suit :

<input type="checkbox"/>	Ec en rouge, Ep en noir et E en bleu
<input type="checkbox"/>	Ec en noir, Ep en bleu et E en rouge
<input type="checkbox"/>	Ec en bleu, Ep en rouge et E en noir
<input type="checkbox"/>	Ec en rouge, Ep en bleu et E en noir

Réponse 2.b.2 :

<input checked="" type="checkbox"/>	Ec en bleu, Ep en rouge et E en noir
-------------------------------------	--------------------------------------

Question 2.b.3 : Les valeurs des énergies de la bille sont :

<input type="checkbox"/>	Son énergie cinétique initiale est $E_C = 1.835 \text{ J}$
<input type="checkbox"/>	Son énergie totale finale est $E = 1.837 \text{ J}$
<input type="checkbox"/>	Son énergie potentielle finale $E_P = 2.668 \text{ J}$
<input type="checkbox"/>	Son énergie mécanique reste constante

Réponse 2.b.3 :

<input checked="" type="checkbox"/>	Son énergie totale finale est $E = 1.837 \text{ J}$
<input checked="" type="checkbox"/>	Son énergie potentielle finale $E_P = 2.668 \text{ J}$

Question 2.b.4 :

Comparer les trois courbes de l'énergie totale tracées précédemment (1.a 2.a et 2.b). Lister toutes les différences que vous pouvez remarquer.

Réponse 2.b.4 :

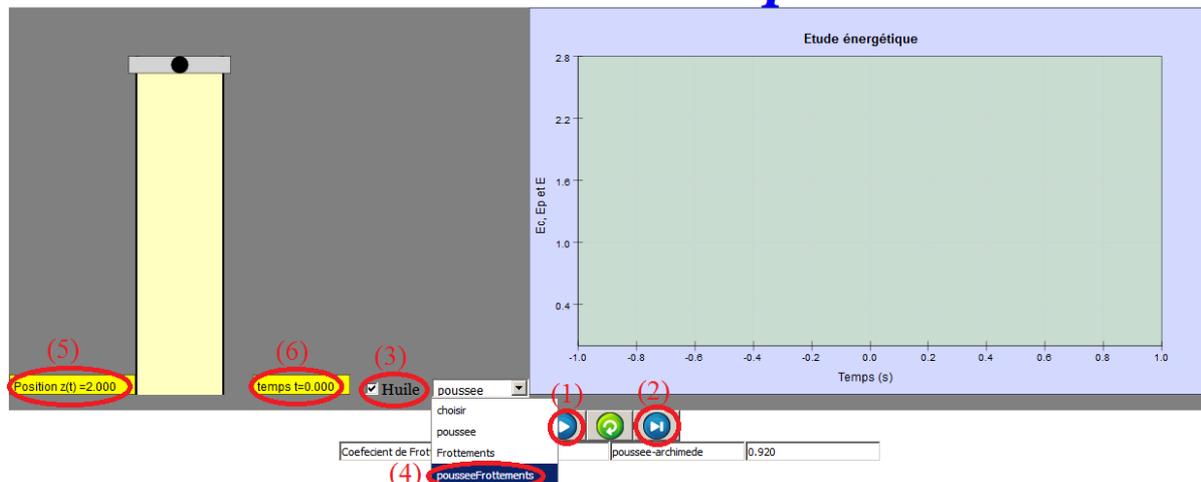
Quand la masse est écartée de sa position d'équilibre, l'énergie totale reste constante dans le premier cas en l'absence de la poussée d'Archimède et des forces de frottements. Dans le deuxième cas, elle diminue à cause de la présence de la poussée d'Archimède. La diminution est importante dans le troisième cas en présence des forces de frottements.

c) Poussée d'Archimède et force de frottement visqueux (15 minutes) :

On tient compte de la Poussée d'Archimède et de la force de frottement

<http://experes.unileon.es/moodle/course/view.php?id=20>

Chute d'un corps



Avant de lancer la manipulation en cliquant sur la touche « pas à pas » (2), cocher « Huile » (3) et choisir « pouseeFrottements » (4).

Question 2.c.1 : Relever pour chaque point le couple position $z(t)$ (5) et temps t (6) et remplir le tableau suivant :

$z(t)$																
t																

Réponse 2.c.1 :

$z(t)$	2	1,989	1,958	1,907	1,836	1,748	1,642	1,519	1,38	1,225	1,056	0,873	0,676	0,466	0,243	0,09
$t(s)$	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75

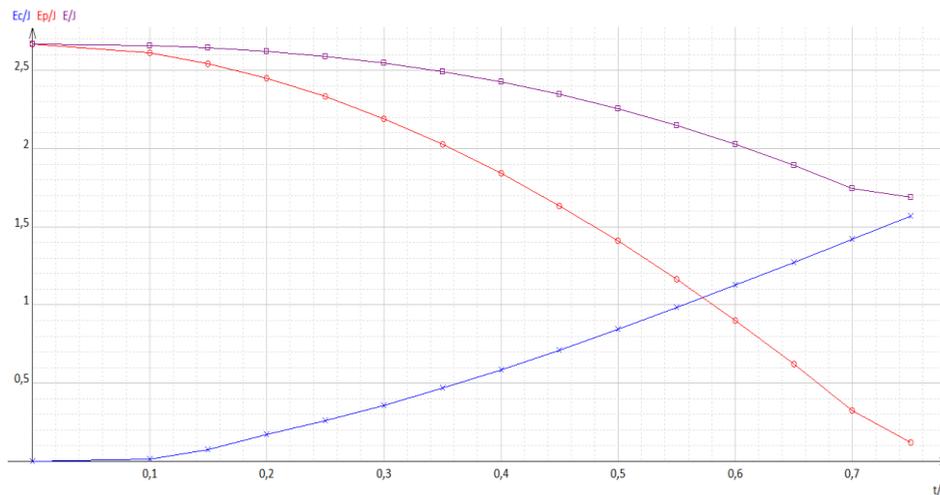
Question 2.c.2 : Utiliser les relations donnant $V(t)$ et $E_C(t)$, $E_P(t)$ et $E(t)$ et remplir le tableau suivant :

$V(t)$																
E_C																
E_P																
$E(t)$																

Réponse 2.c.2 :

$V(t)$	0,000	0,423	0,829	1,218	1,591	1,948	2,291	2,619	2,934	3,236	3,526	3,803	4,069	4,324	4,568	4,802
E_C	0,000	0,012	0,047	0,101	0,172	0,258	0,357	0,467	0,586	0,712	0,845	0,983	1,126	1,271	1,419	1,568
E_P	2,668	2,654	2,612	2,544	2,450	2,332	2,191	2,027	1,841	1,634	1,409	1,165	0,902	0,622	0,324	0,120
$E(t)$	2,668	2,666	2,659	2,645	2,622	2,590	2,548	2,493	2,427	2,347	2,254	2,148	2,028	1,893	1,743	1,688

Utiliser le logiciel Regressi pour tracer un graphe représentant les énergies en fonction du temps.



Exploitation des résultats :

Question 2.1 :

Comment évolue E_C au cours du mouvement ?

Réponse 2.1 :

L'énergie E_C augmente en fonction du temps

Question 2.2 :

Comment évolue E_P au cours du mouvement ?

Réponse 2.2 :

L'énergie potentielle E_P diminue quand le temps augmente

Question 2.3 :

Comment évolue E au cours du mouvement ?

Réponse 2.3 :

L'énergie totale E diminue quand le temps augmente

Conclusion :

Il n'y a pas de conservation de l'énergie mécanique E à cause de la viscosité du fluide et la poussé d'Archimède.

Partie II : Etude d'un système oscillants (40 minutes)

Un système mécanique oscillant peut être une masse suspendue à un fil inextensible ou une masse accrochée à un ressort. Nous allons présenter dans cette simulation un système oscillant constitué d'une masse m accrochée à l'une des extrémités d'un ressort et l'autre est fixée à un support verticalement.

Les données utilisées en simulation dans cette deuxième partie de ces travaux pratiques virtuels sont :

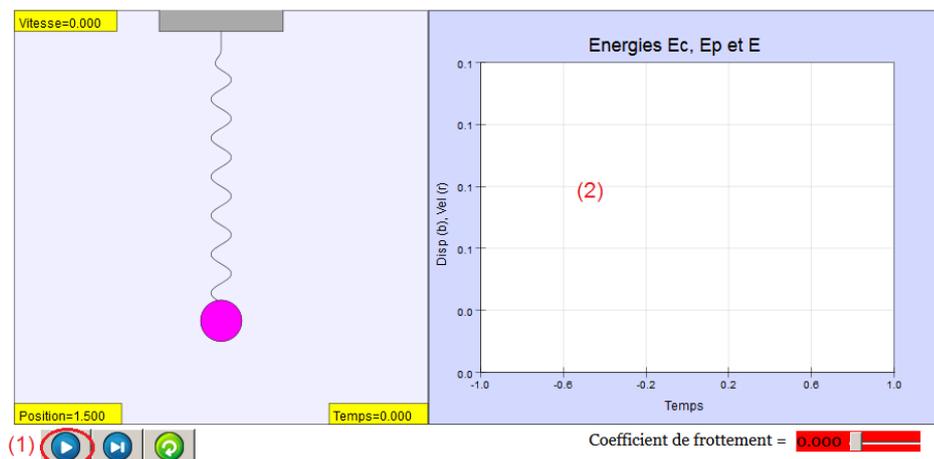
- ✓ Système : masse m accrochée à un ressort suspendu verticalement
- ✓ La masse : $m=1$ kg
- ✓ La pesanteur $g=9.81$ m s⁻².
- ✓ La constante de raideur du ressort : $k = 1$ N/m
- ✓ Le coefficient de frottement k_f (kg/s) varie de 0 à 2.

Quand la masse m est tirée vers le bas et lâchée, elle oscillera autour de sa position d'équilibre. Pour étudier le mouvement de cette masse, nous allons envisager deux cas :

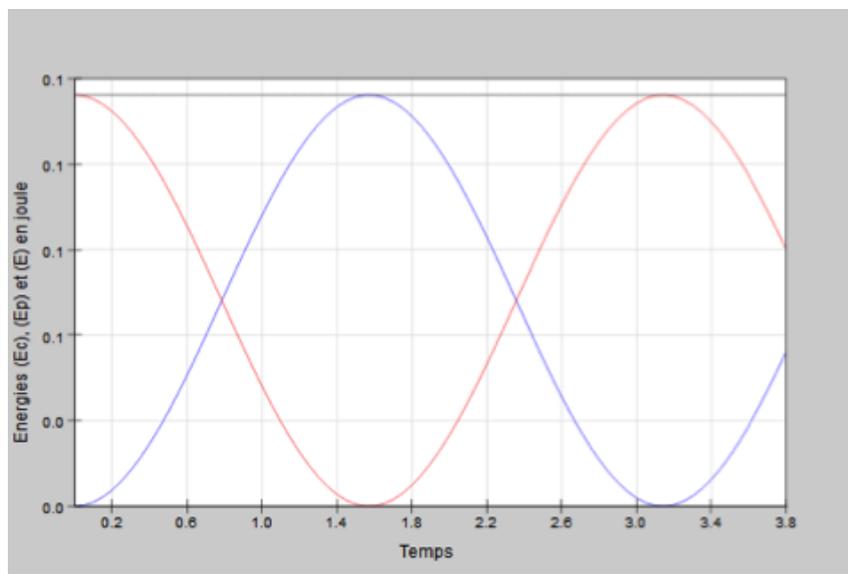
- 1) $k_f=0$: Il n'y a pas de forces de frottement (20 minutes) :

<http://experes.unileon.es/moodle/course/view.php?id=20>

Ressort vertical



Lancer la manipulation en cliquant sur la touche « play » (1) et observer l'évolution des énergies cinétique E_C , potentielle E_P et totale $E=E_C+E_P$ (2) et cocher la ou les bonne(s) réponse(s) aux questions suivantes :



Question 1.1 : Lors du mouvement de la masse :

<input type="checkbox"/>	L'énergie potentielle se conserve.
<input type="checkbox"/>	L'énergie mécanique diminue quand son énergie potentielle diminue.
<input type="checkbox"/>	L'énergie mécanique diminue toujours.
<input type="checkbox"/>	L'énergie cinétique diminue et l'énergie potentielle augmente.
<input type="checkbox"/>	L'énergie totale se conserve.

Réponse 1.1 :

<input checked="" type="checkbox"/>	L'énergie totale se conserve.
-------------------------------------	-------------------------------

Question 1.2 : Les valeurs des énergies de la masse sont :

	Son énergie cinétique initiale est $E_C = 1.668 \text{ J}$
	Son énergie totale finale – son énergie totale initiale = 0 J
	Son énergie potentielle initial $E_P = 0.125 \text{ J}$

Réponse 1.2 :

✓	Son énergie totale finale – son énergie totale initiale = 0 J
✓	Son énergie potentielle initial $E_P = 0.125 \text{ J}$

Question 1.3 : Le régime suivi est :

	Périodique
	Pseudopériodique
	Apériodique

Réponse 1.3 :

✓	Périodique
---	------------

Question 1.4 :

Que peut-on dire des allures des trois énergies ?

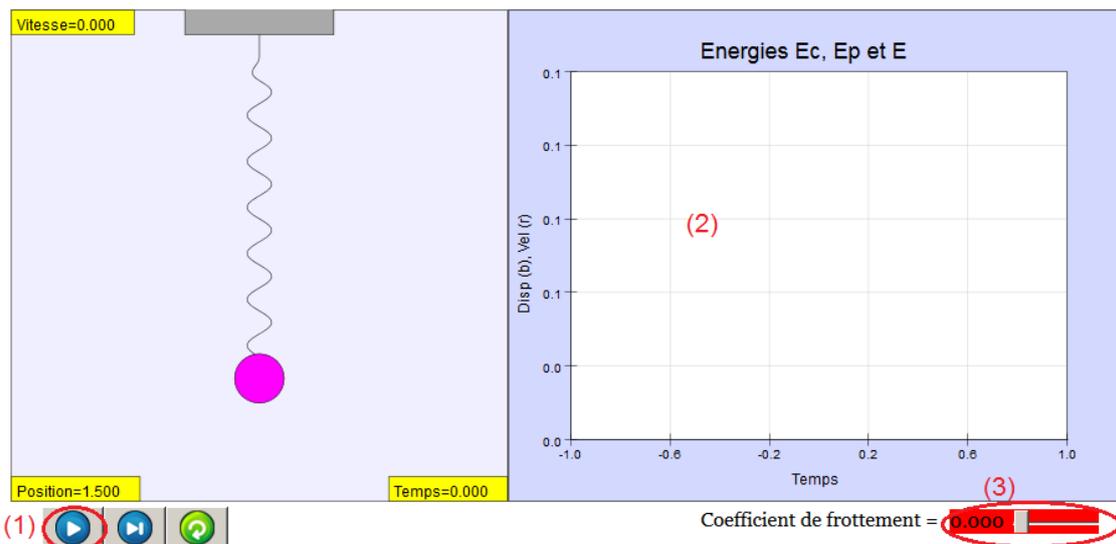
Réponse 1.3 :

En l'absence de frottements, il y a une conversion d'une manière continue entre énergie potentielle et l'énergie cinétique de sorte que l'énergie totale du système oscillant reste constante (conservée).

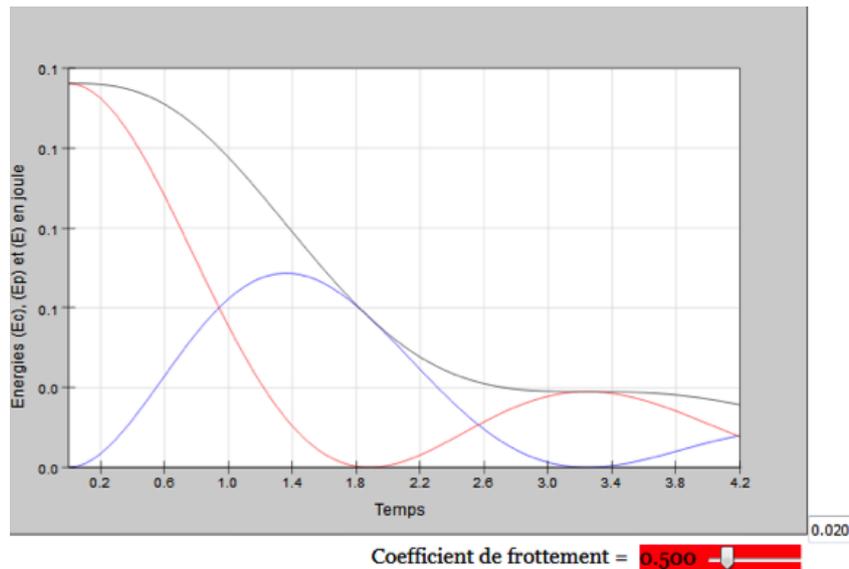
2) $k_f \neq 0$: dans ce cas, les frottements ne sont plus négligeables (20 minutes).

<http://experes.unileon.es/moodle/course/view.php?id=20>

Ressort vertical



Avant de commencer la simulation, utiliser le curseur pour choisir $k_f=0.5$ (3). Lancer la simulation en cliquant sur « play » (1) et refaire les mêmes questions qu'en un.



Question 2.1 : Lors du mouvement de la masse :

<input type="checkbox"/>	L'énergie potentielle se conserve.
<input type="checkbox"/>	L'énergie mécanique diminue quand son énergie potentielle diminue.
<input type="checkbox"/>	L'énergie mécanique diminue toujours.
<input type="checkbox"/>	L'énergie cinétique diminue et l'énergie potentielle augmente.
<input type="checkbox"/>	L'énergie totale se conserve

Réponse 2.1

<input checked="" type="checkbox"/>	L'énergie mécanique diminue quand son énergie potentielle diminue.
<input checked="" type="checkbox"/>	L'énergie mécanique diminue toujours.

Question 2.2 : Les valeurs des énergies de la masse sont :

<input type="checkbox"/>	Son énergie cinétique initiale est $E_C = 1.668 \text{ J}$
<input type="checkbox"/>	Son énergie totale finale – son énergie totale initiale = 0 J
<input type="checkbox"/>	Son énergie potentielle initial $E_P = 0.125 \text{ J}$

Réponse 2.2 :

<input type="checkbox"/>	Aucune de ces réponses
--------------------------	------------------------

Question 2.3 : Le régime suivi est :

<input type="checkbox"/>	Périodique
<input type="checkbox"/>	Pseudopériodique
<input type="checkbox"/>	Apériodique

Réponse 2.3 :

<input checked="" type="checkbox"/>	Pseudopériodique
-------------------------------------	------------------

Question 2.4 :

<input type="checkbox"/>	Que peut-on dire des allures des trois énergies ?
--------------------------	---

Réponse 1.3 :

<input type="checkbox"/>	On remarque qu'il y a toujours conversion continue entre l'énergie potentielle et l'énergie cinétique mais l'énergie totale diminue. Il n'y a pas, donc, conservation de l'énergie mécanique au cours du temps.
--------------------------	---

Ressources à utiliser :**a) Ressources pédagogiques**

- Supplément de cours : les cours de mécanique sur l'espace numérique de travail de l'université : <http://ent.univh2c.ma/>
- Support théorique : Annexe1
- Documents spécifiques à la réalisation du TP : des supports multimédias.
- Manuel des TP : des supports papiers et numériques

b) Ressources numériques et multimédia

- Applets et autres ressources numériques de démonstration en relation avec les TPs des études énergétiques.

- des chutes des corps :

<http://guy.chaumeton.pagesperso-orange.fr/scphysiques2010/1stp-ph08c.htm>

- des systèmes oscillants :

https://phet.colorado.edu/sims/mass-spring-lab/mass-spring-lab_fr.html

c) Logiciels

- Logiciels d'exploitation des mesures liées aux TPs tels que :

- Avimeca2

<http://e.m.c.2.free.fr/sequences-avi.htm>

- Regressi

<http://regressi.fr/WordPress/download/>

III.3

TP2 : Etude statique et dynamique d'un ressort

(Fiche de scénarisation)

1. Le matériel requis :

- ✓ un support pour pendule élastique
- ✓ une règle graduée
- ✓ un outil pour zoomer
- ✓ un chronomètre
- ✓ ressorts à boudin de raideurs différentes
- ✓ une boîte de masses marquées
- ✓ une éprouvette graduée (assez large)
- ✓ 3 liquides : Eau (masse volumique 1000 kg/m^3) ; Glycérine (masse volumique 1260 kg/m^3) ; Brome (masse volumique 3100 kg/m^3)

Données : Masses : 10g – 20g – 30g – 40g – 50g – 60g – 80g – 100g – 120g – 140g – 160g – 200g

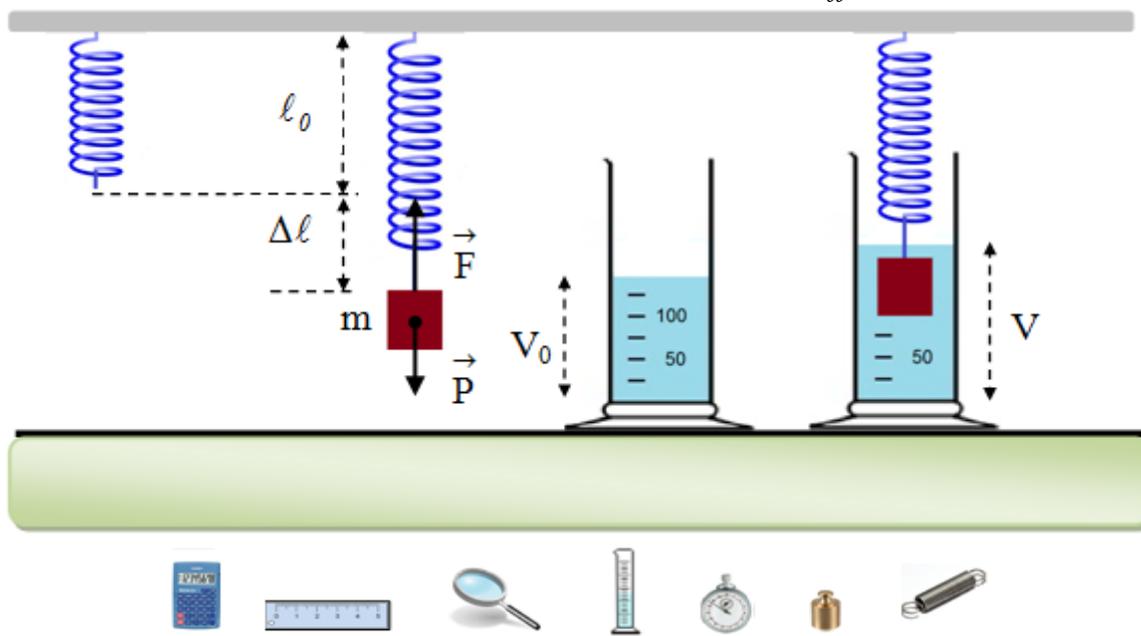
Raideur K : 5N/m – 10 N/m – 20 N/m – 30 N/m – 40 N/m

Règle graduée de 20 cm

Une éprouvette graduée 250 ml

3 Liquides : Eau (masse volumique 1000 kg/m^3) ; Glycérine (masse volumique 1260 kg/m^3), Brome (masse volumique 3100 kg/m^3)

2 masses de Cuivre et d'Aluminium : même volume et de masses différentes



Scénarisation : Afin qu'on puisse faire poser des objectifs relatifs aux besoins de la formation et de l'apprenant selon des étapes pédagogiques définies, l'élaboration d'un scénario pédagogique permettra l'organisation dans le temps et dans l'espace de toutes les activités de formation. Dans les principales étapes de la scénarisation on prévoit donc le contenu et les thèmes qui seront traités en formation, les choix d'animation et les modes de navigation dans une plateforme.

INVESTIGATION I

Détermination de la constante de raideur d'un ressort en mode statique

1- Activité I-1 :

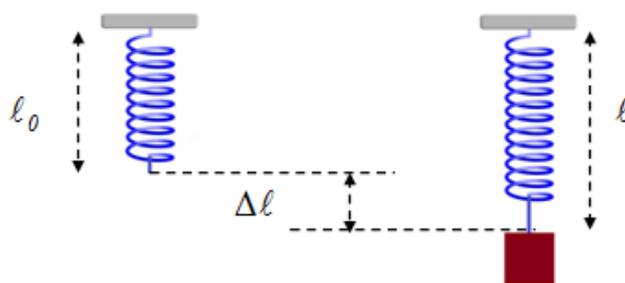
a - Dispositif expérimental :

On veut relier l'allongement d'un ressort à la force qu'il exerce en son extrémité sur un objet qui lui est suspendu.

Dans le dispositif ci-dessous, une masse marquée est suspendue à un ressort de masse négligeable et de raideur K . On note l_0 : Longueur à vide du ressort

l : Longueur du ressort en charge

$\Delta l = l - l_0$: Allongement du ressort

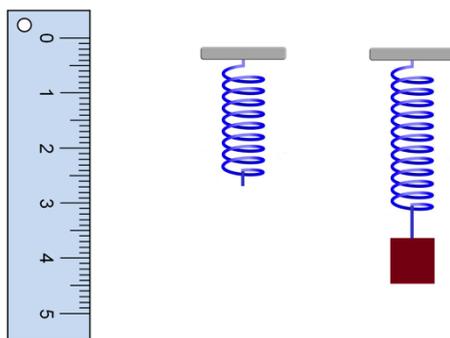


b - Protocol expérimental :

Procédez par déplacement de votre souris pour ramener une masse marquée m et l'accrocher à l'extrémité d'un ressort placé verticalement sur un support.

Dans le référentiel du laboratoire, supposé galiléen, choisir l'axe vertical descendant positif pour pouvoir faire l'inventaire des forces mises en jeu sur la masse m et mesurer l'allongement Δl pour les différentes masses.

Masses : 10g – 30g – 50g – 70g – 90g – 120g – 160 g.



Jouez l'animation !

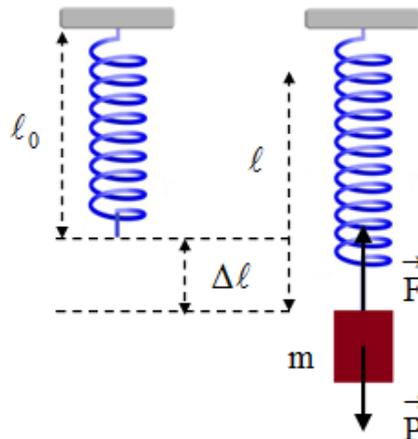


Question I-1 : Faire le *bilan des forces* qui s'exercent sur la *masse* marquée et les représenter sur un schéma.

Réponse I-1 : *Bilan des forces* qui s'exercent sur la *masse* m

Bilan des forces qui s'exercent sur la *masse* m : Poids \vec{P} et la force de rappel \vec{F} .

A l'équilibre on a : $\vec{P} + \vec{F} = \vec{0}$; La projection de ces forces sur l'axe vertical descendant donne : $mg - F = 0 \Rightarrow mg = F = K\Delta\ell$



Question I-2 : Dans le régime statique décrire comment peut-on déterminer expérimentalement la raideur d'un ressort ?

Réponse I-2 :

Pour cela on mesure la longueur ℓ_0 à vide du ressort suspendu à une potence, ensuite on accroche une masse m à l'extrémité du ressort et on mesure l'allongement correspondant $\Delta\ell = \ell - \ell_0$. On refait l'expérience pour les différentes masses et à l'aide d'un tableur grapheur on trace la courbe $F = f(\Delta\ell)$.

On constate que l'ensemble des points sont alignés. Il y a proportionnalité entre la force F et l'allongement $\Delta\ell$ du ressort. On peut donc modéliser la courbe par une droite passant par l'origine car pour une force nulle l'allongement du ressort est également nul. Le coefficient directeur de la droite correspondra à la constante de raideur K du ressort.

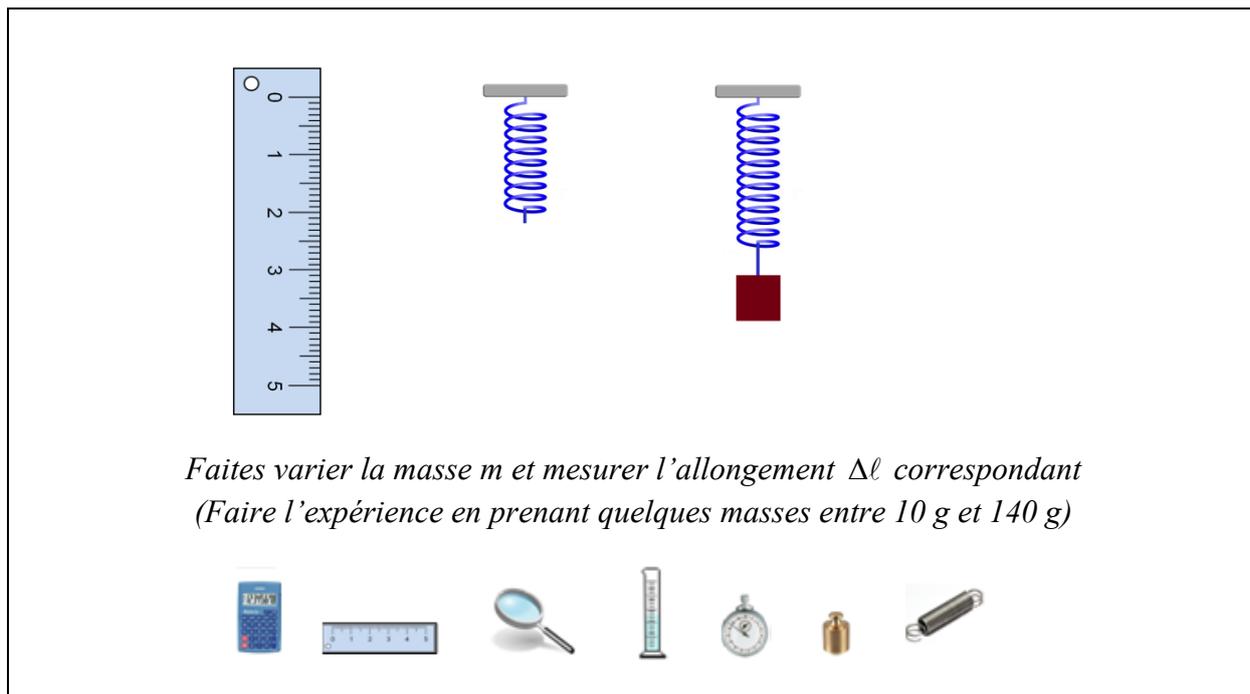
2- Activité I-2 :

a- Manipulation – Etude statique :

Déterminer la constante de raideur du ressort K_1

b- Protocol expérimental :

La masse m est accrochée au ressort de raideur K_1 étant disposés comme précédemment (**Activité 1**) Déplacer si nécessaire la position de la règle pour mesurer la longueur du ressort avec précision. Mesurer la longueur ℓ_0 du ressort à vide et l'allongement $\Delta\ell$ du ressort.



Question I-3 : Faites varier la masse m et remplir le tableau 1 ci-dessous en relevant la valeur de l'allongement $\Delta\ell$ correspondant à chacune des masses. Calculer le poids P et la tension F . On prendra $g = 9,81 \text{ N/kg}$.

Tableau 1 : Etude statique du ressort 1

$m \text{ (g)}$	10	30	50	70	90	120	160
$\Delta\ell \text{ (cm)}$							
$F \text{ (N)}$							

Réponse I-3 : Variation de la masse m en fonction de l'allongement $\Delta\ell$ (ressort 1)

$m \text{ (g)}$	10	30	50	70	90	120	160
$\Delta\ell \text{ (cm)}$	1	3	4,9	6,9	8,8	11,8	15,7
$F \text{ (N)}$	0,098	0,294	0,49	0,686	0,882	1,176	1,568

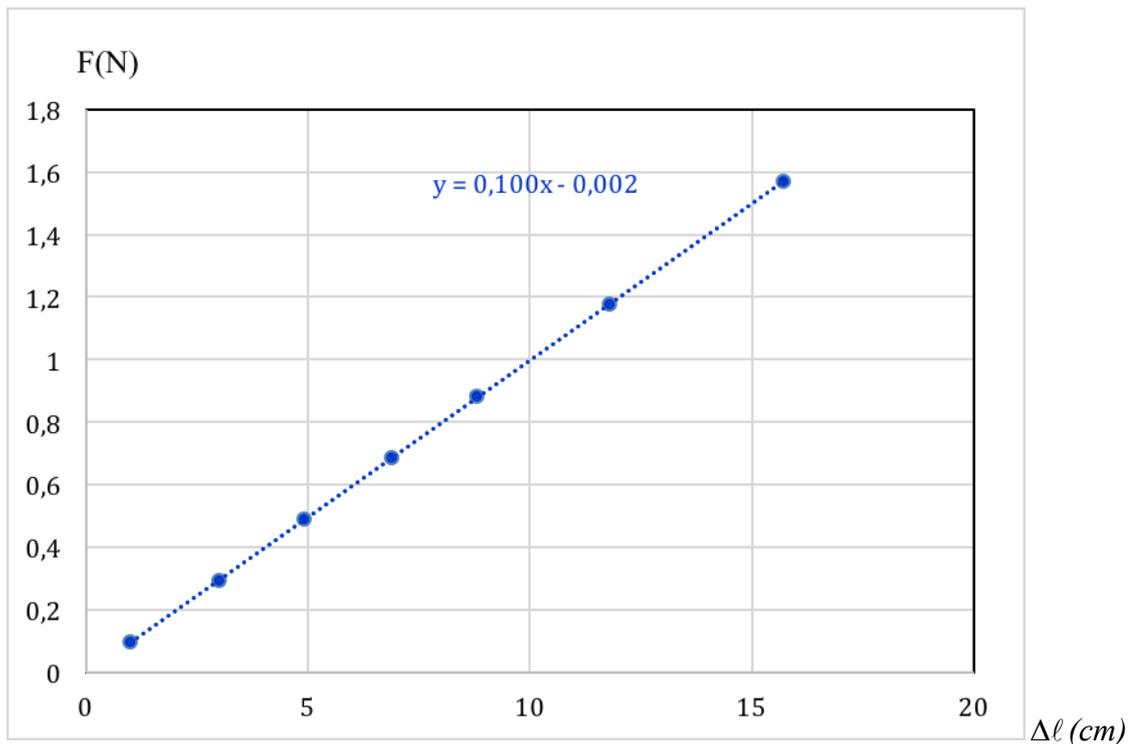
Tableau 1 : Etude statique du ressort 1

Question I-4 : Dans le repère suivant placer les points de coordonnées $(\Delta\ell ; F)$. Tracer la courbe de variation de la force de rappel \vec{F} en fonction l'allongement $\Delta\ell$ du ressort.



Courbe de variation de la force de rappel F en fonction de $\Delta\ell$

Réponse I-4 : Graphe de la variation de la force de rappel $F = f(\Delta\ell)$ du ressort K_1



Question I-5 : Quelle relation mathématique peut-on établir entre F et $\Delta\ell$. En déduire la constante de raideur du ressort K_1 .

Réponse I-5 :

Constante de raideur K_1	<p>Il y a une variation linéaire entre la force F et l'allongement $\Delta\ell$ du ressort avec un coefficient de proportionnalité K_1.</p> <p>On peut calculer la pente P_1 de la courbe d'étalonnage :</p> $P_1 = \frac{\Delta y}{\Delta x} = 0,1 \text{ N/cm}$ <p>ce qui donne une raideur $K_1 = 0,1 \times 100 = 10 \text{ N/cm}$</p>
----------------------------	---

INVESTIGATION II

Détermination de la constante de raideur d'un ressort en mode dynamique

1- Activité II-1 :

a- Oscillateur harmonique vertical en régime dynamique

Dans cette partie, on utilise le même dispositif de l'investigation I et on cherche à vérifier par simulation la formule théorique donnant la période propre des oscillations en fonction de la masse suspendue, ainsi que la détermination de la constante de raideur d'un ressort K_1 .

Pour cela, On accroche une masse m à l'extrémité d'un ressort et on fait osciller le dispositif en écartant la masse légèrement de sa position d'équilibre.

On note ℓ_0 : Longueur à vide du ressort

ℓ : Longueur du ressort en charge

$\Delta\ell = \ell - \ell_0$: Allongement du ressort

b- Protocol expérimental :

Dans le référentiel supposé galiléen, déplacer à l'aide de votre souris la masse m verticalement de sa position d'équilibre vers le bas *et* lâcher sans vitesse initiale au moment du déclenchement du chronomètre.

Afin d'améliorer la précision de mesure, on mesure la durée d'une dizaine d'oscillations et on calcule la valeur moyenne de la période propre T *pour les différentes masses*.

Masses: 30g – 50g – 70g – 90g – 120g – 160 g.

The diagram shows a vertical spring-mass system. A ruler on the left indicates displacement. The spring's natural length is ℓ_0 . The displacement from equilibrium is $\Delta \ell$. A mass m is shown in two states: at equilibrium with force \vec{F} (up) and weight \vec{P} (down), and at a displacement z from equilibrium. Below the diagram are icons for a calculator, ruler, magnifying glass, stopwatch, and battery.

Jouer l'animation !

Question II-1 : Faire le *bilan des forces* qui s'exercent sur la *masse* marquée et les représenter sur un schéma.

Réponse II-1 : *Bilan des forces* qui s'exercent sur la *masse* m.

A l'équilibre on a : $m\vec{g} + \vec{F} = \vec{0}$ mais en projetant sur l'axe du mouvement on obtient :
 $mg - F = 0$ donc $mg = K(\ell - \ell_0)$

A un instant t l'équilibre du mouvement s'écrit :

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow m\vec{g} + \vec{F} = m\vec{a} \text{ avec } F = K(\Delta \ell + z) \Rightarrow ma = -Kz$$

Avec a l'accélération du point m ($a = \frac{dz^2}{dt^2}$) d'où : $\frac{dz^2}{dt^2} + \frac{K}{m}z = 0$

The diagram is identical to the one above, showing the spring-mass system with ruler, displacement labels (ℓ_0 , $\Delta \ell$, z), and force vectors (\vec{F} , \vec{P}) on the mass m .

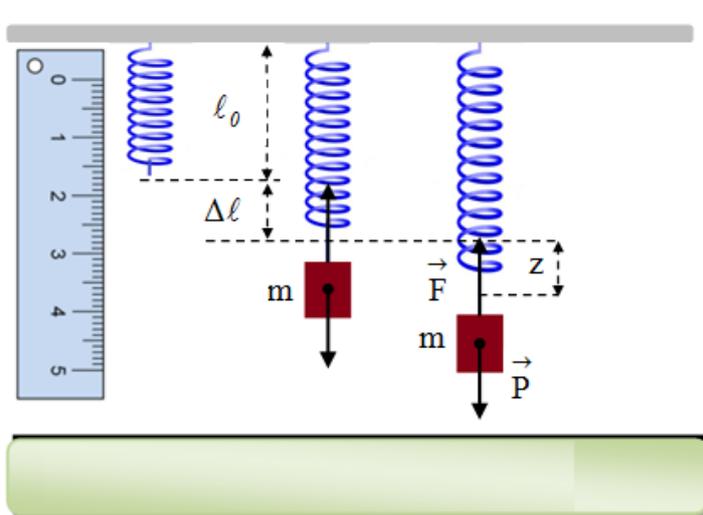
Question II-2 : Dans le régime dynamique, Décrire comment peut-on déterminer expérimentalement la raideur d'un ressort ?

Réponse II-2 :

Le ressort de longueur ℓ_0 à vide est suspendu à une potence, ensuite on accroche une masse m à l'extrémité du ressort et faire osciller le dispositif en écartant la masse de sa position d'équilibre en la lâchant sans vitesse initial au moment du déclenchement du chronomètre. on mesure la durée de 10 oscillations. On refait l'expérience pour les différentes masses et à l'aide d'un tableur grapheur on trace la courbe $T^2 = f(m)$. On constate que l'ensemble des points sont alignés. Il y a proportionnalité entre la période T et la racine carrée de la masse m . On peut donc modéliser la courbe par une droite passant par l'origine car pour une masse nulle la période est également nulle.

1- Activité II-2 :

- a- Manipulation : Déterminer la constante de raideur du ressort K_1 en mode dynamique.
- b- Protocol expérimental : La masse m est accrochée au ressort de raideur K_1 étant disposés comme précédemment (**Activité I-1**), écarter la masse m légèrement de sa position d'équilibre (essayer de garder le même étirement pour toutes les mesures). Lâcher sans vitesse initiale et cliquer sur chronomètre pour mesurer 10 périodes.



Mesurer pour chaque masse le temps t de 10 oscillations
(Faites une dizaine de mesure entre 10 g et 250 g)

Question II-3 : Faites varier la masse m et remplir le tableau 3 ci-dessous en relevant la valeur de la période propre T correspondant à chacune des masses. Calculer le carré de la période propre T^2 . On prendra $g = 9,81 \text{ N/kg}$.

Tableau 3 : Etude dynamique du ressort 1

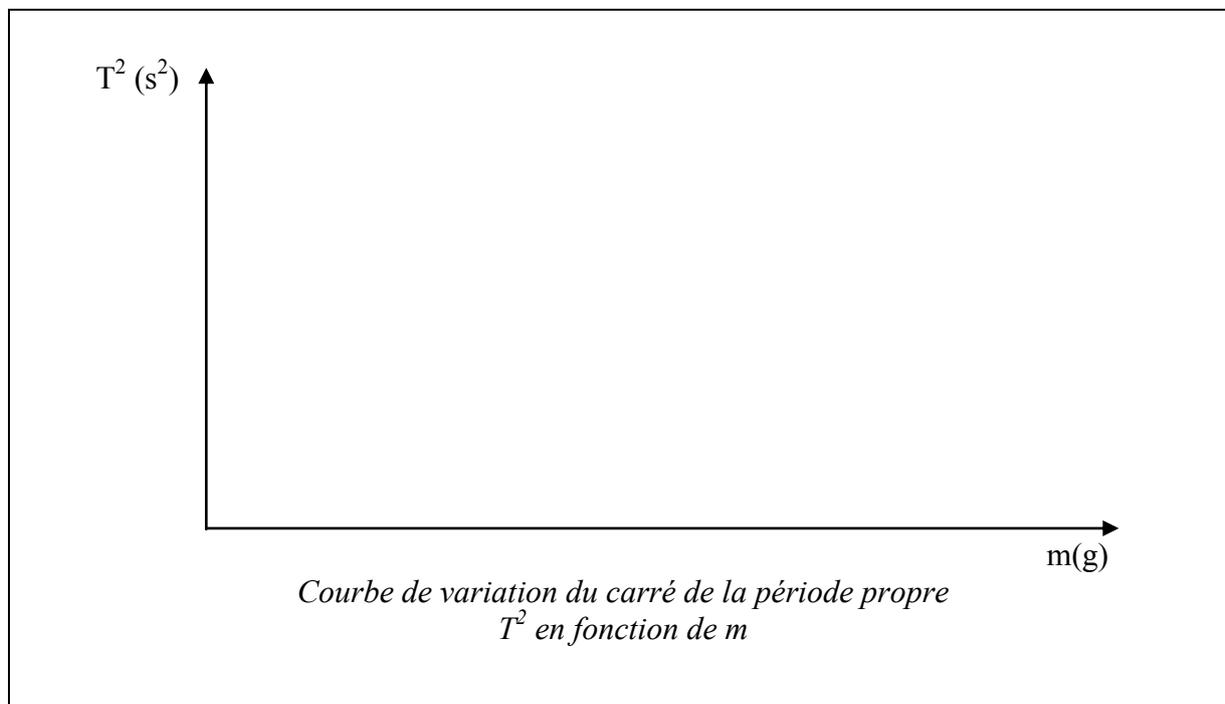
m (g)	30	50	70	90	120	160
$10 T$ (s)						
T (s)						
T^2 (s ²)						

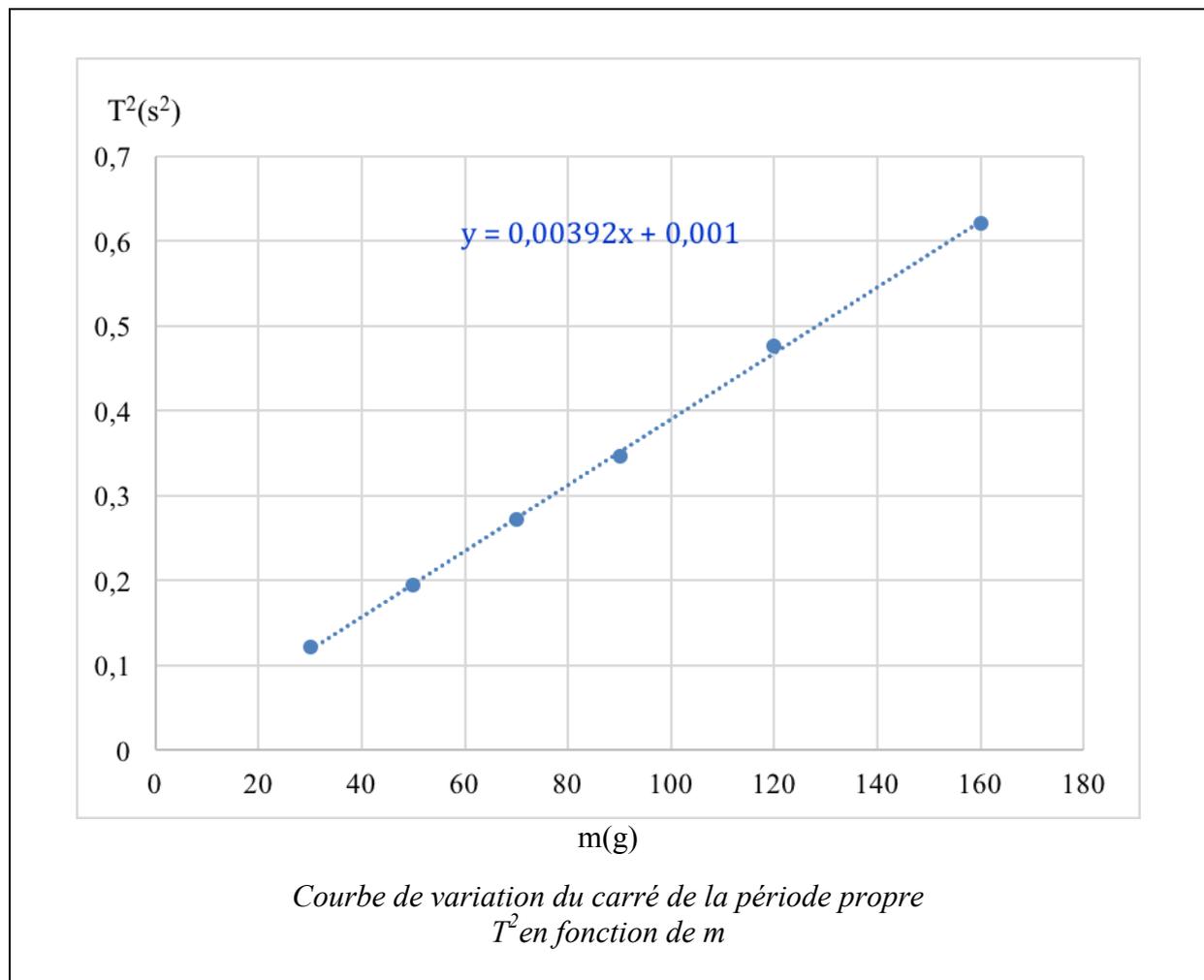
Réponse II-3 : On prendra $g = 9,81$ N/kg.

m (g)	30	50	70	90	120	160
$10 T$ (s)	3,49	4,41	5,21	5,88	6,9	7,88
T (s)	0,349	0,441	0,521	0,588	0,69	0,788
T^2 (s ²)	0,122	0,194	0,271	0,346	0,476	0,621

Tableau 3 : Etude dynamique du ressort 1

Question II-4 : Dans le repère suivant placer les points de coordonnées ($m ; T^2$). Tracer la courbe de variation du carré de la période en fonction de la masse $T^2 = f(m)$ (ressort 1).



Réponse II-4 : Représentation graphique $T^2 = f(m)$ 

Question II-5 : Quelle relation mathématique peut-on établir entre m et T^2 . En déduire la constante de raideur du ressort K_1 .

Réponse II-5 : Calcul de la constante de raideur du ressort K_1 .

Constante de raideur K_1	<p>Le mouvement est périodique de pulsation $\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{K}{m}}$ (en rad/s), T est la période d'oscillations exprimée en (s), on obtient :</p> $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}} \quad \Rightarrow \quad T^2 = \frac{4\pi^2 m}{K}$ <p>Il y a proportionnalité entre la période T^2 et la masse m : c'est une droite de pente : $P = \frac{4\pi^2}{K}$. Dans notre cas : $P_1 = \frac{4\pi^2}{K_1} = 0,00392 \text{ s}^2 / \text{g}$</p> <p>Ce qui donne une raideur $K_1 = \frac{4\pi^2}{P_1} = 10,06 \text{ N/m}$</p>
----------------------------	--

Question II-6 : Comparer cette valeur à celle trouvée par la méthode statique. Commenter.

Réponse II-6 : Comparaison des deux valeurs trouvées en régimes statique et dynamique.

Pour le ressort 1, nous avons trouvé une raideur de 10 N/m en régime statique et 10,06 N/m en régime dynamique avec un écart : 0,6 %.

INVESTIGATION III

*Association de ressorts en mode statique :
(a) Ressorts en parallèle (b) Ressorts en série*

1- Activité III-1 :

a- Dispositif expérimental : Association de deux ressorts en parallèle

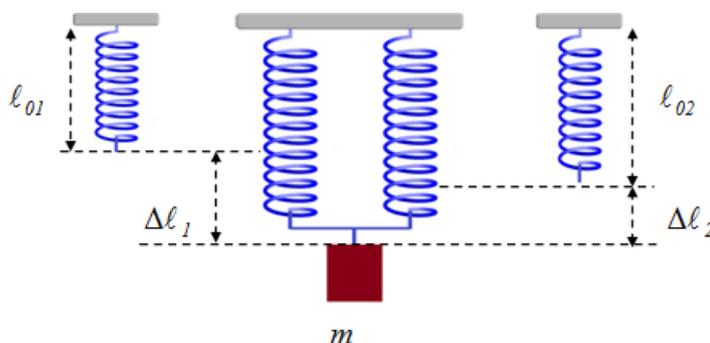
Dans cette partie, on cherche à vérifier expérimentalement la formule théorique l'allongement en fonction de la masse suspendue, ainsi que la constante de raideur de deux ressorts différents associés en parallèle.

Dans le dispositif ci-dessous, on prend deux ressorts associés en parallèle, de masses négligeables et de raideur K_1 et K_2 puis on accroche à leurs extrémités une masse marquée.

On note ℓ_{01} : Longueur à vide du ressort 1, ℓ_{02} : Longueur à vide du ressort 2

ℓ_1 : Longueur du ressort 1 en charge, ℓ_2 : Longueur du ressort 2 en charge

$\Delta\ell_1 = \ell_1 - \ell_{01}$: Allongement du ressort 1, $\Delta\ell_2 = \ell_2 - \ell_{02}$: Allongement du ressort 2

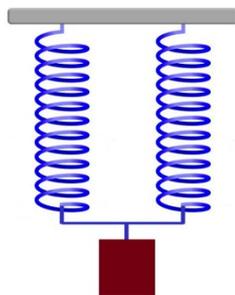


b- Protocol expérimental : Ressorts associés en parallèle

Procédez par déplacement de votre souris pour ramener une masse marquée m et l'accrocher à l'extrémité de deux ressorts placés en parallèle sur un support.

Dans le référentiel du laboratoire, supposé galiléen, Choisir l'axe vertical descendant positif du pour pouvoir faire l'inventaire des forces mises en jeu sur la masse m et mesurer l'allongement $\Delta\ell$ pour les différentes masses.

Masses : 10g - 30g - 70g - 90g - 120g - 160g.



Jouez l'animation !



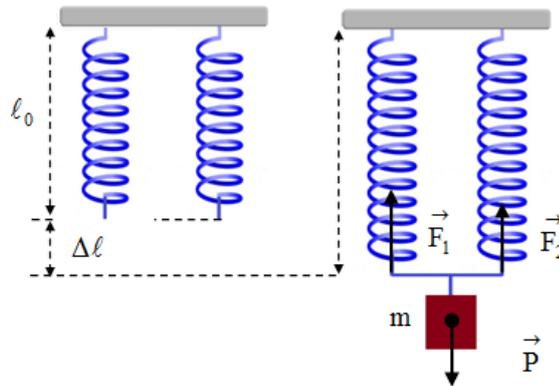
Question III-1 : Faire le bilan des forces qui s'exercent sur la masse marquée et les représenter sur un schéma.

Réponse III-1 : Bilan des forces qui s'exercent sur la masse marquée

Les ressorts 1 et 2, de masses négligeables, sont montés en parallèle. On suspend une masse m à l'extrémité des ressorts (figure (3)). Ce système se comporte comme un seul ressort de raideur équivalente K_p auquel on a accroché la même masse m . On remarque que les deux ressorts ont le même allongement $\Delta\ell$.

Nous avons $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$, $F = K_p\Delta\ell = mg$, $F_1 = K_1\Delta\ell_1$ et $F_2 = K_2\Delta\ell_2$

Donc $K_p\Delta\ell = K_1\Delta\ell_1 + K_2\Delta\ell_2$. Et puisque $\Delta\ell = \Delta\ell_1 = \Delta\ell_2$, On obtient $K_p = K_1 + K_2$



Question III-2 : Dans le régime statique décrire comment peut-on déterminer expérimentalement la raideur d'un ressort ?

Réponse III-2 : Dans le régime statique décrire comment peut-on déterminer expérimentalement la raideur d'un ressort ?

Pour cela on mesure la longueur ℓ_0 à vide des 2 ressorts en parallèle ($K_1 = 5$ N/m et $K_2 = 10$ N/m) suspendues à une potence, ensuite on accroche une masse m aux extrémités des 2 ressorts et on mesure l'allongement $\Delta\ell = \ell - \ell_0$ correspondant. On refait l'expérience pour les différentes masses et à l'aide d'un tableur grapheur on trace la courbe $F = f(\Delta\ell)$.

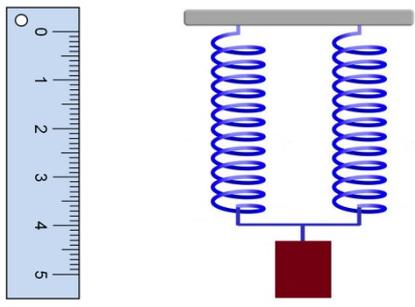
On constate qu'il y a proportionnalité entre la force F et l'allongement $\Delta\ell$ du ressort. On peut donc modéliser la courbe par une droite passant de coefficient directeur de la droite correspondra à la constante de raideur K_p des 2 ressorts en parallèle.

2- Activité III-2 :**a- Manipulation :**

Déterminer la constante de raideur K_p du système (ressort 1 & ressort 2 en parallèle) en mode statique

b- Protocol expérimental :

La masse m est accrochée aux extrémités des deux ressorts étant disposés comme précédemment (**Activité I-1**). En utilisant la règle graduée, mesurer l'allongement $\Delta\ell$.



Faites varier la masse m et mesurer l'allongement $\Delta\ell$ correspondant (Faire l'expérience en prenant quelques masses entre 10 g et 160 g)



Question III-3 : Faites varier la masse m et remplir le tableau 5 ci-dessous en relevant la valeur de l'allongement $\Delta\ell$ correspondant à chacune des masses. Calculer le poids P et la tension F . On prendra $g = 9,81 \text{ N/kg}$.

Tableau 5 : Etude statique de deux ressorts en parallèle

$m \text{ (g)}$	10	30	50	70	90	120	160
$\Delta\ell \text{ (cm)}$							
$F \text{ (N)}$							

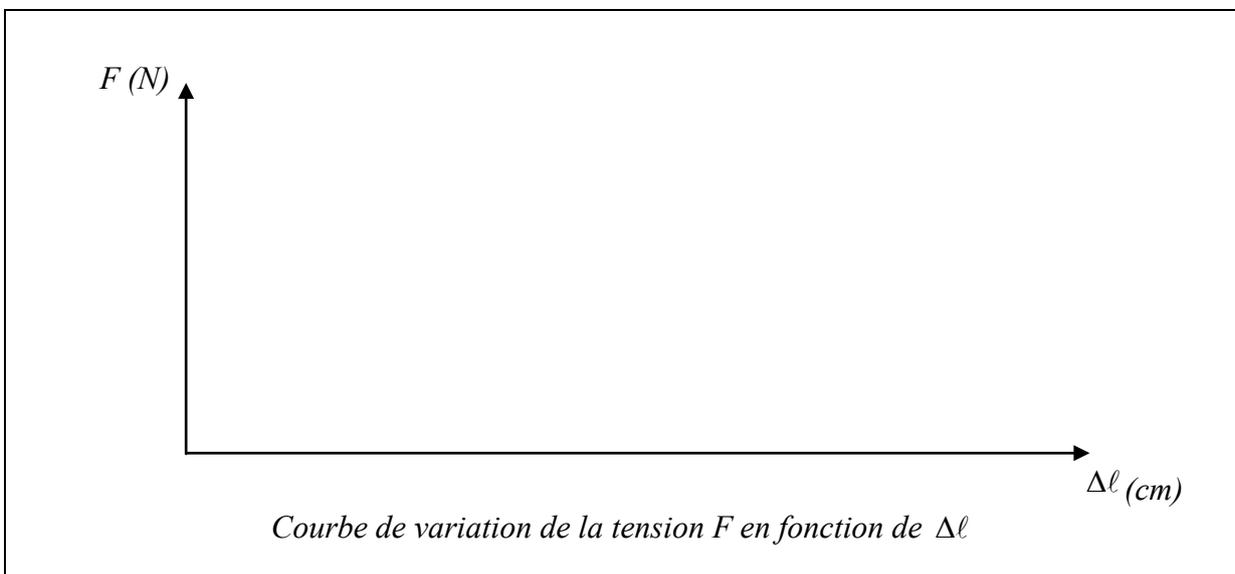
Réponse III-3 : Tableau des résultats relatif à deux ressorts en parallèle.

On prendra $g = 9,81 \text{ N/kg}$.

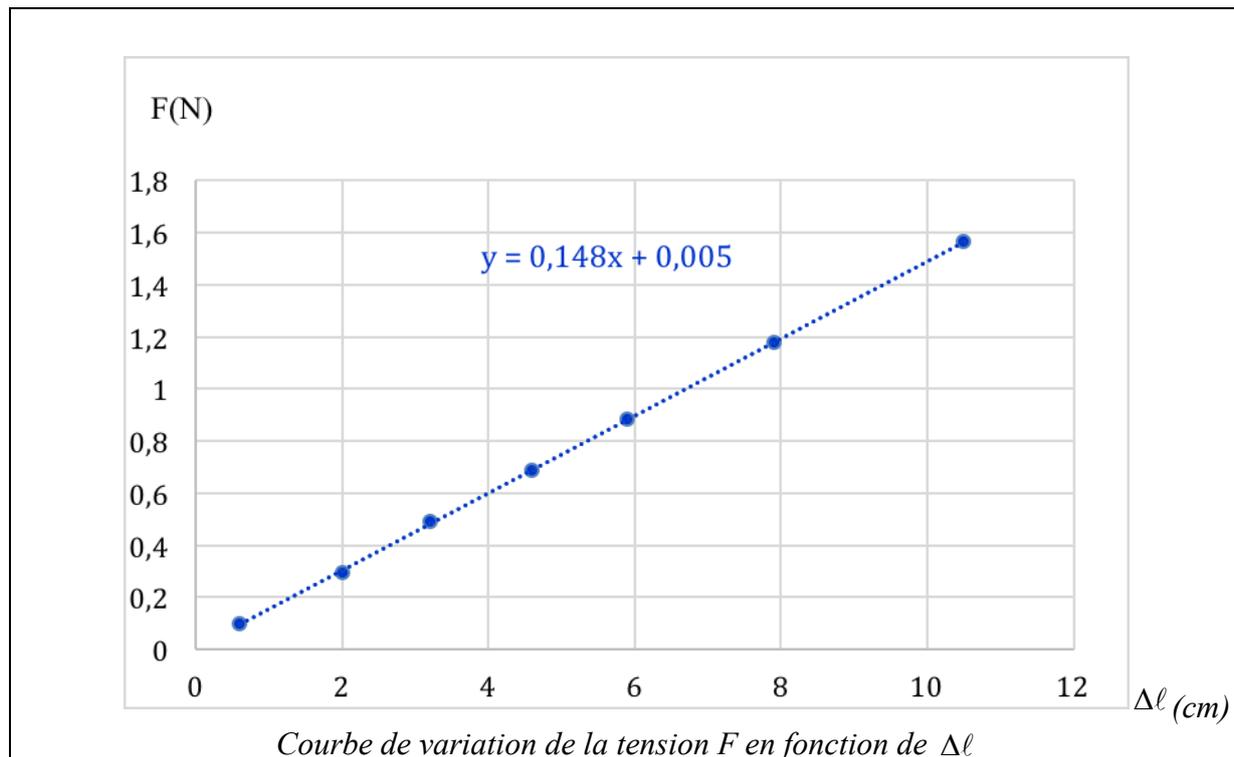
$m \text{ (g)}$	10	30	50	70	90	120	160
$\Delta\ell \text{ (cm)}$	0,006	2	3,2	4,6	5,9	7,9	10,5
$F \text{ (N)}$	0,098	0,294	0,491	0,687	0,883	1,177	1,570

Tableau 5 : Etude statique de deux ressorts en parallèle

Question III-4 : Dans le repère suivant placer les points de coordonnées $(\Delta\ell ; F)$. Tracer la courbe de variation de la force de rappel \vec{F} en fonction l'allongement $\Delta\ell$ (ressorts en parallèle)



Réponse III-4 : Graphe de la variation de la force de rappel $F = f(\Delta\ell)$ des 2 ressorts en parallèle



Question III-5 : Quelle relation mathématique peut-on établir entre F et $\Delta\ell$. En déduire la constante de raideur K_p du système (ressorts 1 & 2 en parallèle) en mode statique.

Réponse III-5 : Calcul de la constante de raideur K_p du système (ressorts 1 & 2 en parallèle).

Constante de raideur K_p	<p>Nous avons $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$, $F = K_p \Delta\ell = mg$, $F_1 = K_1 \Delta\ell_1$ et $F_2 = K_2 \Delta\ell_2$</p> <p>Donc $K_p \Delta\ell = K_1 \Delta\ell_1 + K_2 \Delta\ell_2$. Et puisque $\Delta\ell = \Delta\ell_1 = \Delta\ell_2$,</p> <p>Il y a une variation linéaire entre la force F et l'allongement $\Delta\ell$ du système avec un coefficient de proportionnalité K_p.</p> <p>On peut calculer la pente P de la courbe d'étalonnage :</p> $P = \frac{\Delta y}{\Delta x} = 0,1485 \text{ N/cm}$ <p>ce qui donne une raideur $K_p = 0,1485 \times 100 = 14,85 \text{ N/cm}$</p>
----------------------------	--

Question III-6 : Comparer cette valeur de K_p à la valeur théorique. Conclure.

Réponse III-6 : Comparaison des valeurs théorique et expérimentale.

La valeur théorique de deux ressorts montés en parallèle est $K_p = K_1 + K_2 = 5 + 10 = 15 \text{ N/m}$ et la valeur expérimentale donnée par la courbe $F = K_p \Delta\ell$ est égale à $14,85 \text{ N/m}$ avec un écart de 1%.

3- Activité III-3 :

a- Dispositif expérimental : Association de deux ressorts en série

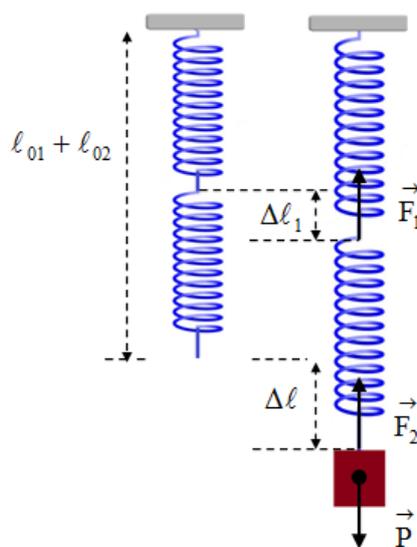
Dans ce cas on fait pratiquement la même chose que l'activité III-1 sauf que dans ce cas les deux ressorts sont placés en série.

Dans le dispositif ci-dessous, on prend deux ressorts associés en série, de masses négligeables et de raideur K_1 et K_2 puis on accroche une masse marquée m à l'extrémité.

On note ℓ_{01} : Longueur à vide du ressort 1, ℓ_{02} : Longueur à vide du ressort 2

ℓ_1 : Longueur du ressort 1 en charge, ℓ_2 : Longueur du ressort 2 en charge

$\Delta\ell_1 = \ell_1 - \ell_{01}$: Allongement du ressort 1, $\Delta\ell_2 = \ell_2 - \ell_{02}$: Allongement du ressort 2



b- Protocol expérimental : Ressorts associés en série

Procédez par déplacement de votre souris pour ramener une masse marquée m et l'accrocher à l'extrémité de deux ressorts placés en série sur un support.

Dans le référentiel du laboratoire, supposé galiléen, Choisir l'axe vertical descendant positif du pour pouvoir faire l'inventaire des forces mises en jeu sur la masse m et mesurer l'allongement $\Delta\ell$ pour les différentes masses.

Masses : 10g - 30g - 50g - 70g - 90g - 120g.

The screenshot shows a virtual experiment interface. On the left is a vertical ruler with markings from 0 to 5. In the center is a blue spring-mass system hanging from a grey support. Below the spring-mass system is the text "Jouez l'animation !". At the bottom of the interface are several icons: a blue box, a ruler, a magnifying glass, a vertical scale, a stopwatch, a small gold cylinder, and a battery.

Question III-7 : Faire le *bilan des forces* qui s'exercent sur la *masse m* et les représenter sur un schéma.

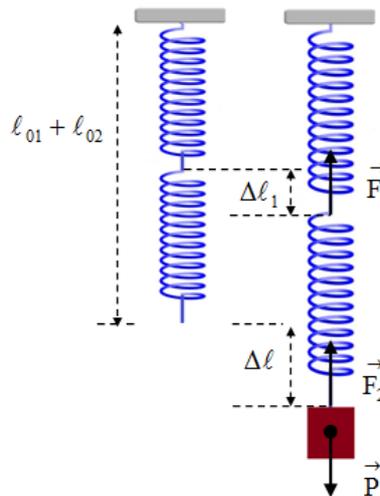
Réponse III-7 : Faire le *bilan des forces* qui s'exercent sur la *masse m* et les représenter sur un schéma.

Les ressorts 1 et 2, sont montés en série. On suspend une masse m au système. Les deux ressorts s'allongent respectivement de $\Delta\ell_1$ et $\Delta\ell_2$.

On a d'une part $F_1 = F_2 = F$ avec $F_1 = mg \Rightarrow K_1(\ell - \ell_{01}) = K_1\Delta\ell_1 = mg \Rightarrow \ell_1 - \ell_{01} = \frac{mg}{K_1}$,

De même on a : $F_2 = mg \Rightarrow K_2(\ell - \ell_{02}) = K_2\Delta\ell_2 = mg \Rightarrow \ell_2 - \ell_{02} = \frac{mg}{K_2}$

L'équation précédente devient : $F = mg \Rightarrow K_s\Delta\ell = mg \Rightarrow F = K_s\Delta\ell = mg$



Question III-8 : Dans le régime statique décrire comment peut-on déterminer expérimentalement la raideur d'un ressort ?

Réponse III-8 :

Pour cela on mesure la longueur ℓ_0 à vide des 2 ressorts en série ($K_1 = 30 \text{ N/m}$ et $K_2 = 20 \text{ N/m}$) suspendues à une potence, ensuite on accroche une masse m à l'extrémité du 2 ressorts et on mesure l'allongement $\Delta\ell = \ell - \ell_0$ correspondant. On refait l'expérience pour les différentes masses et à l'aide d'un tableur grapheur on trace la courbe $F = f(\Delta\ell)$.

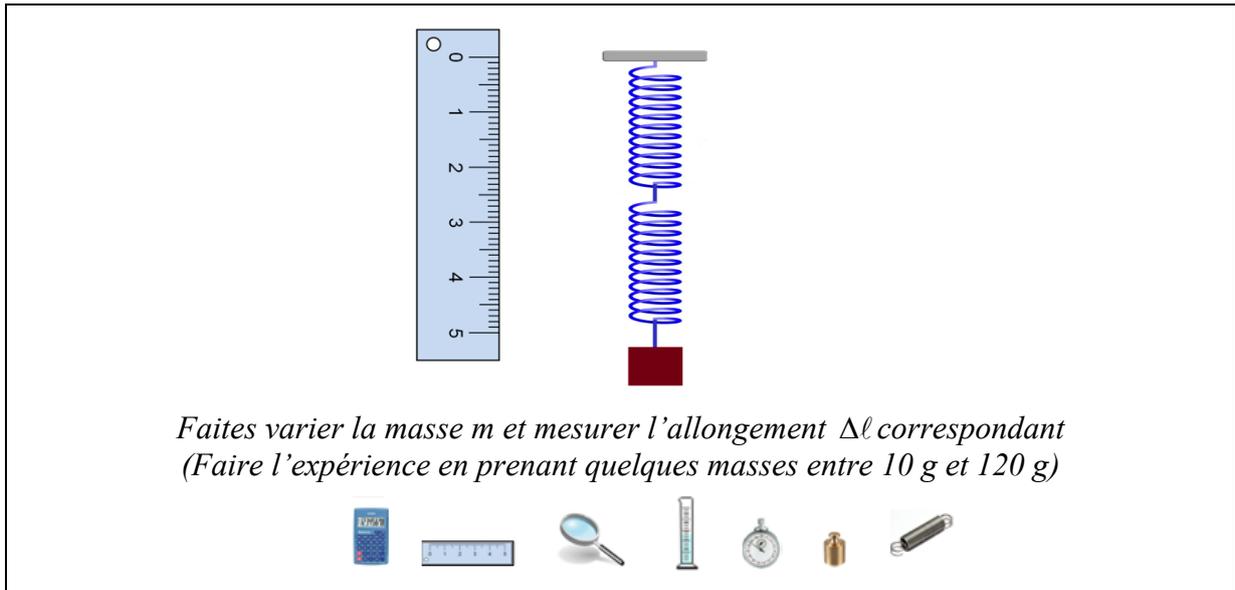
On constate qu'il y a proportionnalité entre la force F et l'allongement $\Delta\ell$ du ressort. On peut donc modéliser la courbe par une droite passant de coefficient directeur de la droite correspondra à la constante de raideur K_s des 2 ressorts en série.

4- Activité III-4 :

a- Manipulation – Etude statique : Déterminer la constante de raideur K_s du système (ressort 1 & ressort 2 en série).

b- Protocol expérimental :

La masse m est accrochée aux extrémités des deux ressorts étant disposés comme précédemment (**Activité I-1**). En utilisant la règle graduée, mesurer l'allongement $\Delta\ell$.



Question III-9 : Faites varier la masse m et remplir le tableau 6 ci-dessous en relevant la valeur de l'allongement Δl correspondant à chacune des masses. Calculer le poids P et la tension F . On prendra $g = 9,81 \text{ N/kg}$.

Tableau 6 : Etude statique de deux ressorts en série

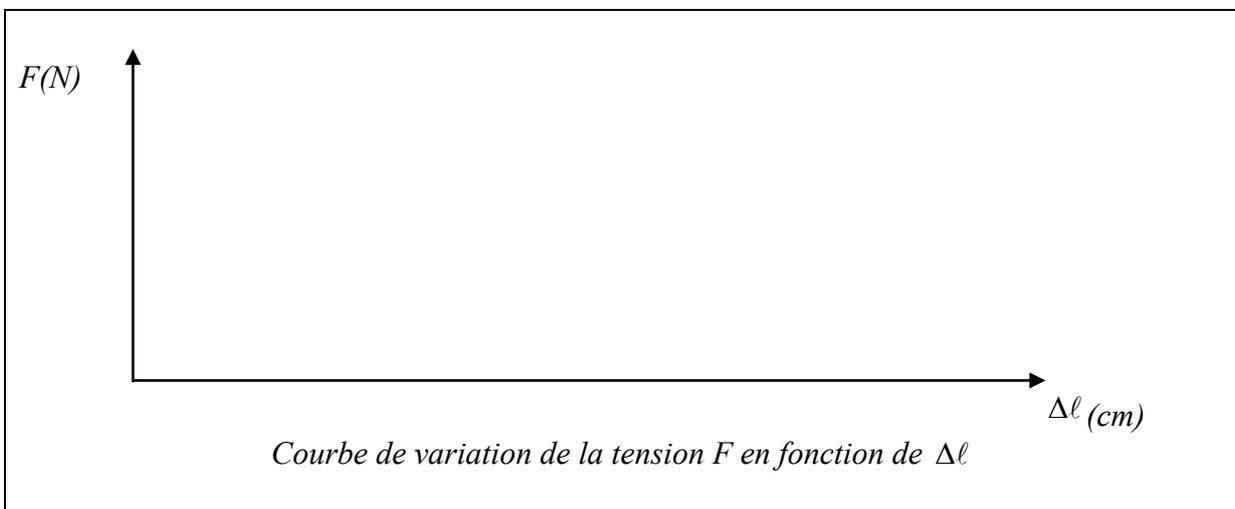
$m \text{ (g)}$	10	30	50	70	90	120
$\Delta l \text{ (cm)}$						
$F \text{ (N)}$						

Réponse III-9 : Tableau des résultats relatif à deux ressorts en série. On prendra $g=9,81 \text{ N/kg}$.

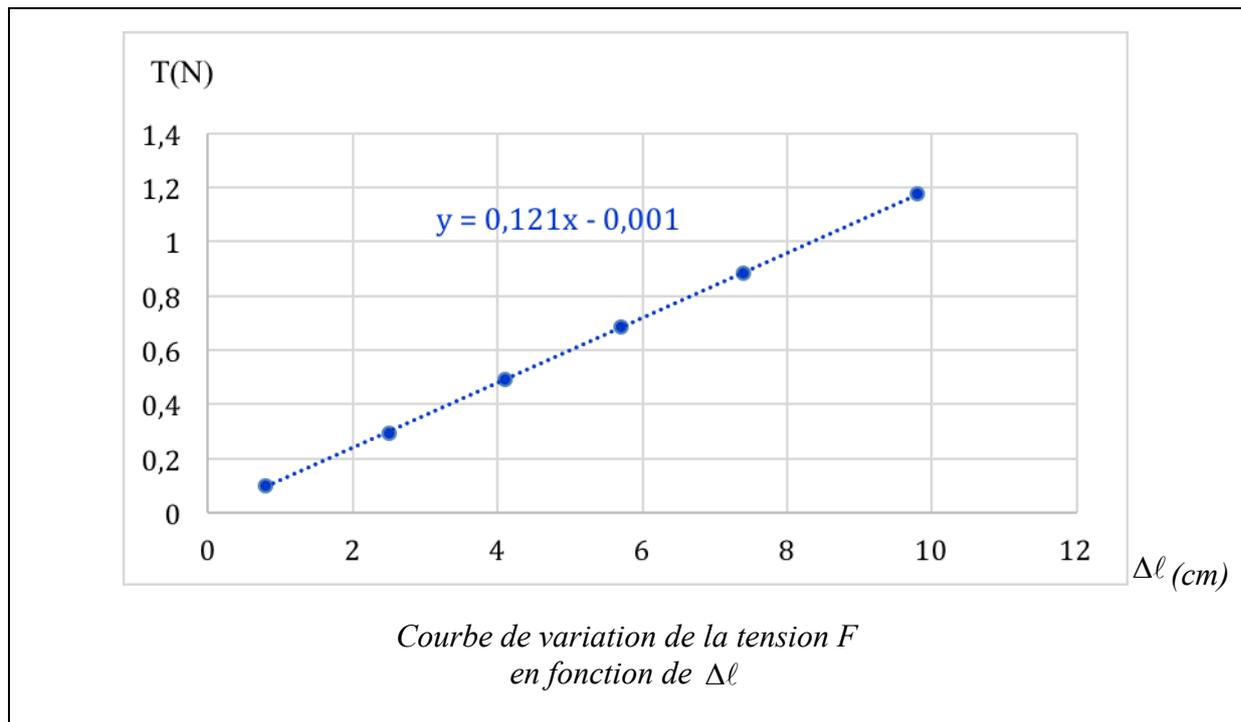
$m \text{ (g)}$	10	30	50	70	90	120
$\Delta l \text{ (cm)}$	0,8	2,5	4,1	5,7	7,4	9,8
$F \text{ (N)}$	0,0981	0,2943	0,4905	0,6867	0,8829	1,1772

Tableau 6 : Etude statique de deux ressorts en série

Question III-10 : Dans le repère suivant placer les points de coordonnées $(\Delta l ; F)$. Tracer la courbe de variation de la force de rappel F en fonction l'allongement Δl (ressorts en série).



Réponse III-10 : Graphe de la variation de la force de rappel $F = f(\Delta\ell)$ des 2 ressorts en série



Question III-11 : Quelle relation mathématique peut-on établir entre F et $\Delta\ell$. En déduire la constante de raideur K_s du système (ressorts 1 & 2 en série).

Réponse III-11 : Calcul de la constante de raideur K_p du système (ressorts 1 & 2 en série).

Constante de raideur K_s	<p>L'équation précédente devient :</p> $F = mg \Rightarrow K_s \Delta\ell = mg \Rightarrow \Delta\ell = \frac{mg}{K_s}$ <p>Il y a une variation linéaire entre la force F et l'allongement $\Delta\ell$ du système avec un coefficient de proportionnalité K_p.</p> <p>On peut calculer la pente P de la courbe d'étalonnage :</p> $P = \frac{\Delta y}{\Delta x} = 0,121 \text{ N/cm}$ <p>ce qui donne une raideur $K_s = 0,121 * 100 = 12,1 \text{ N/cm}$</p>
----------------------------	--

Question III-12 : Comparer cette valeur de K_s à la valeur théorique. Conclure.

Réponse III-12 : Comparer cette valeur de K_s à la valeur théorique. Conclure.

La valeur théorique de deux ressorts montés en série ($K_1 = 30 \text{ N/m}$ et $K_2 = 20 \text{ N/m}$) est :

$$K_s = \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2} = \frac{30 * 20}{30 + 20} = \frac{600}{50} = 12 \text{ N/m}$$

et la valeur expérimentale donnée par la courbe $F = K_p \Delta\ell$ est égale à $12,1 \text{ N/m}$ avec un écart très faible de l'ordre de $0,8\%$ entre les deux valeurs.

INVESTIGATION IV

Mise en évidence de la poussée d'Archimède

4- Activité IV-1 :

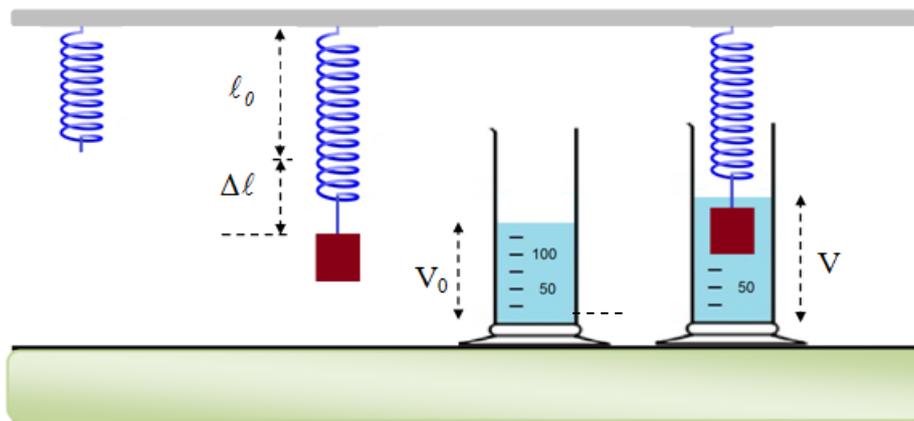
a- Dispositif expérimental :

Dans cette partie, il s'agit d'étudier par simulation la poussée d'Archimède. Dans le dispositif ci-dessous, une masse marquée est suspendue à un ressort de masse négligeable et de raideur K connue.

On note ℓ_0 : Longueur à vide du ressort ℓ : Longueur du ressort en charge

$\Delta\ell = \ell - \ell_0$: Allongement du ressort dans l'air

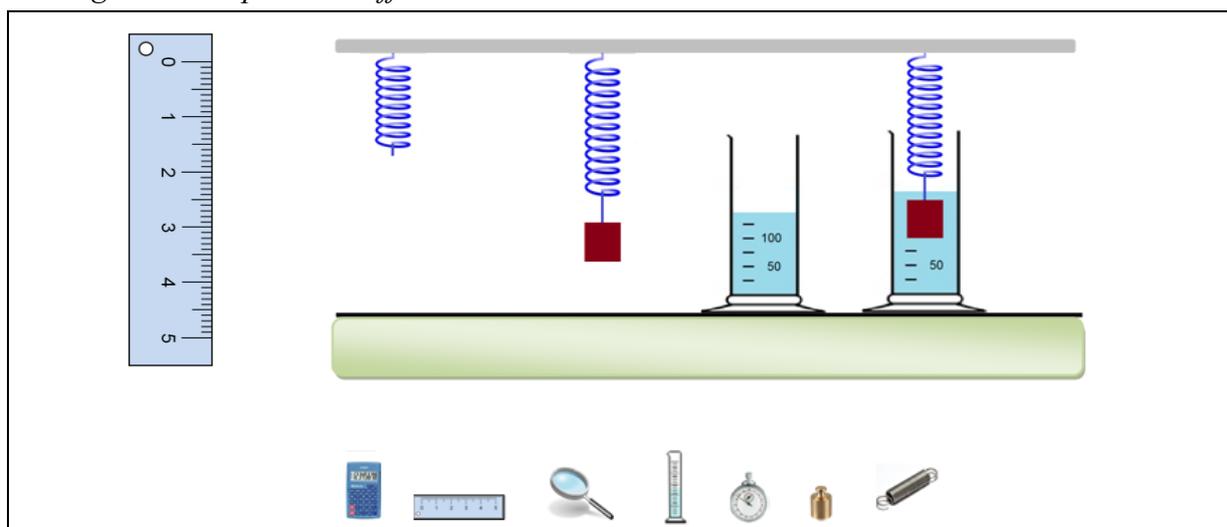
V_0 est le volume initial du liquide et V est le volume du liquide avec la masse m.



b- Protocol expérimental :

Procédez par déplacement de votre souris pour ramener une masse marquée m et l'accrocher à l'extrémité un ressort placer verticalement sur un support.

Dans le référentiel du laboratoire, supposé galiléen, Choisir l'axe vertical descendant positif du pour pouvoir faire l'inventaire des forces mises en jeu sur la masse m et mesurer l'allongement $\Delta\ell$ pour les différentes masses.



Question IV-1 : Choisir un ressort de raideur connue $K=40$ N/m. Mesurer la longueur du ressort à vide ℓ_0 . Ensuite accrocher une masse $m = 100$ g et mesurer l'allongement $\Delta\ell_1$ (masse dans l'air). (Utiliser le zoom pour plus de précision). Calculer le poids P et la tension F_1 . On prendra $g = 9,81$ N/kg.

Réponse IV-1 :

La longueur du ressort à vide $\ell_0 = 3 \text{ cm}$ et la longueur du ressort à charge $\ell_1 = 5,45 \text{ cm}$, ce qui donne un allongement $\Delta\ell_1 = 2,45 \text{ cm}$.

Le poids $P = mg = 0,981 \text{ N}$ et à l'équilibre $F_1 = P = 0,981 \text{ N}$

Activité IV-2 :

a- Manipulation *Etude de la poussée d'Archimède dans l'eau au repos*

b- Protocol expérimental :

La masse m est accrochée au ressort de raideur K calculé précédemment (**Activité 1**).

- ✓ Choisir un liquide de masse volumique ρ (dans ce cas on prend l'eau) et mesurer le niveau de son volume initial V_0
- ✓ A l'aide de la souris déplacez l'ensemble masse-ressort de façon à immerger entièrement la masse m dans l'éprouvette contenant le liquide.

Question IV-2 : Quel est le phénomène observé lors de l'immersion de la masse m dans l'eau.

Réponse IV-2 : Phénomène observé lors de l'immersion de la masse m dans l'eau.

Lorsque la masse m est entièrement immergée dans un liquide en équilibre, elle subit de la part de celui-ci une poussée verticale dirigée de bas en haut et une augmentation du niveau du liquide.

Question IV-3 : Relevez à nouveau valeur de l'allongement $\Delta\ell_2$ sur la règle graduée. Déplacer si nécessaire la position de la règle pour mesurer l'allongement du ressort avec précision. Calculer la tension F_2 du ressort. On prendra $g = 9,81 \text{ N/kg}$.

Réponse IV-3 : Calcul de la tension F_2 du ressort après immersion totale de la masse m .

L'allongement après l'immersion totale de la masse m dans l'eau est $\Delta\ell_2 = 2,2 \text{ cm}$. La tension F_2 du ressort est alors : $F_2 = K\Delta\ell_2 \Rightarrow F_2 = 0,88 \text{ N}$

Question IV-4 : Faire le bilan des forces exercées sur la masse m . En déduire les caractéristiques de la poussée d'Archimède \vec{F}_A .

Réponse IV-4 : Bilan des forces exercées sur la masse m et les caractéristiques de la poussée d'Archimède \vec{F}_A .

Le système est en équilibre. D'après la première loi de Newton, la masse m est soumise à des forces dont les effets se compensent : $\vec{P} + \vec{F}_2 + \vec{F}_A = 0$

Comme les vecteurs \vec{P} et \vec{F}_2 sont verticales, la forces \vec{F}_A est verticale et la valeur de la Poussée d'Archimède : $F_A = P - F_2 = mg - K(\ell_2 - \ell_0) = 0,981 - 0,88 = 0,101 \text{ N}$

Question IV-5 : Relever la valeur le volume d'eau déplacé $V_e = V - V_0$ par lecture sur l'éprouvette graduée. Utilisez la loupe pour plus de précision.

RéponseIV-5 : Valeur le volume d'eau déplacé V_e

Le volume initial du liquide $V_0 = 64 \text{ cm}^3$. Après immersion totale de la masse m dans l'eau de masse volumique $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, le volume du liquide est $V = 75 \text{ cm}^3$

Le volume d'eau déplacé par lecture sur l'éprouvette graduée :

$$V_e = V - V_0 = 75 - 64 = 11 \text{ cm}^3$$

Question IV-6 : Calculez la valeur de la masse d'eau m_e correspondante au déplacement du liquide. En déduire le poids du volume déplacé P_e .

Réponse IV-6 : Calcul de la masse m_e de l'eau correspondante au déplacement du liquide et le poids du volume déplacé P_e .

La masse de l'eau déplacée m_e est : $m_e = \rho V_e = 11 \text{ g}$ ($\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g/cm}^3$)

Le poids du volume d'eau déplacé : $P_e = m_e g = 0,108 \text{ N}$

Question IV-7 : Comparez P_e et F_A et conclure.

Réponse IV-7 : Comparaison du poids apparent avec la poussée d'Archimède.

Nous avons trouvé la poussée d'Archimède $F_A = 0,101 \text{ N}$ et le poids du volume d'eau déplacé : $P_e = 0,108 \text{ N}$

La poussée d'Archimède F_A est pratiquement égale au poids du volume d'eau déplacé P_e avec un écart de 7%.

3- Activité IV-3 : Les facteurs qui influencent la poussée d'Archimède

Question IV-8 : La profondeur d'immersion du corps

- ✓ Accrocher la masse en cuivre (masse = 160 g) à un dynamomètre
- ✓ Plonger l'objet dans l'éprouvette contenant du glycérine.
- ✓ Mesurer la poussée d'Archimède à deux profondeurs différentes.

Lire le curseur du dynamomètre (Utiliser le dynamomètre de calibre 2 N) :

Le poids de la masse en cuivre : $P =$

Position 1 : Indication dynamomètre $F_1 =$; Poussée d'Archimède $F_{A1} = P - F_1 =$

Position 2 : Indication dynamomètre $F_2 =$; Poussée d'Archimède $F_{A2} = P - F_2 =$

Que peut-on conclure ?

Réponse IV-8 : La profondeur d'immersion du corps (utiliser le dynamomètre de calibre 2 N)

Le poids de la masse en cuivre : $P = mg = 1,57 \text{ N}$,

Position 1 : Indication dynamomètre $F_1 = 1,4 \text{ N}$; Poussée d'Archimède $F_{A1} = P - F_1 = 0,17 \text{ N}$

Position 2 : Indication dynamomètre $F_2 = 1,4 \text{ N}$; Poussée d'Archimède $F_{A2} = P - F_2 = 0,17 \text{ N}$

Conclusion : La poussée d'Archimède ne dépend pas de la profondeur de la masse complètement immergée dans l'eau.

Question IV-9 : Le volume d'immersion du corps

- ✓ Utiliser deux corps (un en Cu et l'autre en Al) de même masse ($m = 60 \text{ g}$) et de volumes différents.
- ✓ Soit V_{Cu} le volume de la masse en cuivre et V_{Al} le volume de la masse en aluminium ($V_{\text{Cu}} < V_{\text{Al}}$)
- ✓ Plonger successivement les deux masses dans l'eau, et noter l'indication F du dynamomètre (Utiliser le dynamomètre de calibre 1 N). Déduire la poussée d'Archimède F_A relative à chaque masse.

Masse en Cu : Indication du dynamomètre $F_{\text{Cu}} =$; $F_A(\text{Cu}) =$
 Masse en Al : Indication du dynamomètre $F_{\text{Al}} =$; $F_A(\text{Cu}) =$
 Comparer ces deux forces :
 Conclusion :

Réponse IV-9 : Le volume d'immersion du corps

Le poids est le même pour les deux corps : $P_{\text{Cu}} = P_{\text{Al}} = 0,589 \text{ N}$
 Masse en Cu : Indication du dynamomètre $F_{\text{Cu}} = 0,52 \text{ N}$; $F_A(\text{Cu}) = P_{\text{Cu}} - F_{\text{Cu}} = 0,069 \text{ N}$
 Masse en Al : Indication du dynamomètre $F_{\text{Al}} = 0,34 \text{ N}$; $F_A(\text{Cu}) = P_{\text{Al}} - F_{\text{Al}} = 0,249 \text{ N}$
 - On constate que les *indications du dynamomètre* sont différentes. La poussée d'Archimède agissant sur la masse d'aluminium (Al) est supérieure à celle exercée sur la masse de cuivre (Cu).
 - On peut donc conclure que le volume a une influence sur la poussée d'Archimède. En effet plus le corps immergé est volumineux, plus la poussée d'Archimède sera grande.

Question IV-10 : La densité de l'objet

- ✓ Prendre cette fois deux corps de même volume et de masses différentes (un en Cu et l'autre en Al).
- ✓ Soit $m_{\text{Cu}} = 200 \text{ g}$ la masse du cuivre et $m_{\text{Al}} = 60 \text{ g}$ la masse de l'aluminium.
- ✓ Plonger successivement les deux corps dans l'eau, et noter l'indication F du dynamomètre (Utiliser le dynamomètre de calibre 2 N). Déduire la poussée d'Archimède F_A relative à chaque masse.

Masse en Cu : Indication du dynamomètre $F_{\text{Cu}} =$; $F_A(\text{Cu}) =$
 Masse en Al : Indication du dynamomètre $F_{\text{Al}} =$; $F_A(\text{Cu}) =$
 Comparer ces deux forces : -----

 Conclusion : -----

Réponse IV-10 : Influence de la densité du corps

Le poids des deux corps : (Cuivre) $P_{\text{Cu}} = 1,962 \text{ N}$ et (Aluminium) $P_{\text{Al}} = 0,589 \text{ N}$
 Masse en Cu : Indication du dynamomètre $F_{\text{Cu}} = 1,76 \text{ N}$; $F_A(\text{Cu}) = P_{\text{Cu}} - F_{\text{Cu}} = 0,202 \text{ N}$
 Masse en Al : Indication du dynamomètre $F_{\text{Al}} = 0,38 \text{ N}$; $F_A(\text{Cu}) = P_{\text{Al}} - F_{\text{Al}} = 0,209 \text{ N}$
 Les indications du dynamomètre sont pratiquement identiques pour les deux corps en Cu et en Al avec un écart de 3%. On remarque que la valeur de la poussée ne change pas.
 Conclusion : Pour des corps de même volume, la poussée d'Archimède ne dépend pas de leurs densités.

Question IV-11 : Masse volumique du liquide

- ✓ Prendre une masse de cuivre ($m = 80 \text{ g}$)

- ✓ immerger cette masse successivement dans 3 liquides de masse volumique différentes : l'eau ($\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g/cm}^3$); glycérine ($\rho_{\text{glycérine}} = 1,26 \text{ g/cm}^3$); brome ($\rho_{\text{brome}} = 3,09 \text{ g/cm}^3$)
- ✓ Noter l'indication du dynamomètre F pour chaque liquide (Utiliser le dynamomètre de calibre 1 N).
- ✓ Calculer la poussée d'Archimède F_A relative à chaque liquide.

Cas de l'eau : Indication du dynamomètre $F_{\text{Cu}} =$
 Poussée d'Archimède $F_A =$

Cas de glycérine : Indication du dynamomètre $F_{\text{Cu}} =$
 Poussée d'Archimède $F_A =$

Cas de brome: Indication du dynamomètre $F_{\text{Cu}} =$
 Poussée d'Archimède $F_A =$

Comparer la poussée d'Archimède pour les 3 liquides :

Conclusion :

.....

-

Réponse IV-11 : Influence de la masse volumique du liquide

Le poids de la masse (Cuivre) $P_{\text{Cu}} = 0,785 \text{ N}$
 Masse volumique : l'eau ($\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g/cm}^3$);
 glycérine ($\rho_{\text{glycérine}} = 1,26 \text{ g/cm}^3$);
 brome ($\rho_{\text{brome}} = 3,1 \text{ g/cm}^3$)

Cas de l'eau : Indication du dynamomètre $F_{\text{Cu}} = 0,7 \text{ N}$
 Poussée d'Archimède $F_A = P_{\text{Cu}} - F_{\text{Cu}} = 0,85 \text{ N}$

Cas de glycérine : Indication du dynamomètre $F_{\text{Cu}} = 0,68 \text{ N}$
 Poussée d'Archimède $F_A = P_{\text{Cu}} - F_{\text{Cu}} = 0,105 \text{ N}$

Cas de brome : Indication du dynamomètre $F_{\text{Cu}} = 0,52 \text{ N}$
 Poussée d'Archimède $F_A = P_{\text{Cu}} - F_{\text{Cu}} = 0,265 \text{ N}$

La poussée d'Archimède est plus importante lorsque la masse de cuivre est immergée dans du brome. On peut donc en conclure que la nature du fluide a une influence sur la poussée d'Archimède. En effet plus la masse volumique du liquide est importante, plus la poussée d'Archimède sera grande.

III.4

TP3 : Pendule simple

(Fiche de scénarisation)

A. Oscillations libres

A-1) Objectifs :

- ✓ Mettre en évidence le mouvement d'un pendule simple.
- ✓ Etudier l'influence de la masse m et les longueurs du fil L sur la période des oscillations, en déduire l'accélération de la pesanteur et la masse de la Terre.

a) Grandeurs étudiées

- ✓ La masse suspendue au fil (en kg)
- ✓ La longueur du fil (en m)
- ✓ Période d'oscillations T
- ✓ Angle de départ Θ_0 (en $^\circ$)
- ✓ La valeur de l'accélération du champ de pesanteur à l'endroit de l'étude (en $m\ s^{-2}$.)

b) Matériel utilisé :

Simulation en ligne via la plateforme pédagogique de l'université.

Le système offre une interface utilisateur permettant à l'étudiant de manipuler et commander un pendule simple virtuel identique au réel (figure 1).

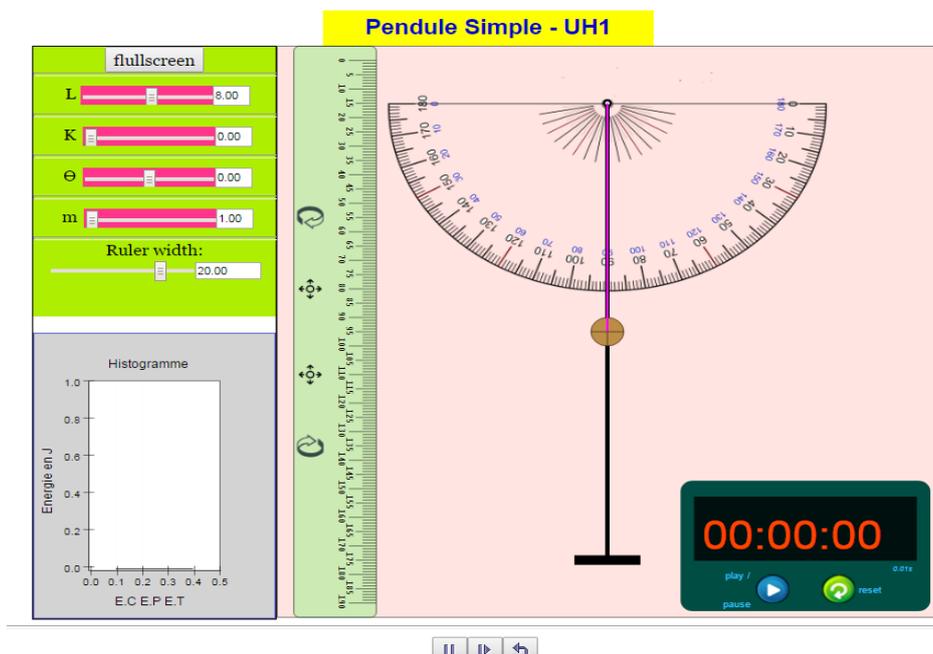


Figure 1 : Interface utilisateur

A-2) Etude théorique :

Un pendule simple est constitué d'un fil inextensible et de masse négligeable (devant celle de la masse) auquel est accroché une masse de petite dimension (devant la longueur du fil). Sa position est caractérisée par l'écart angulaire Θ (figure 2).

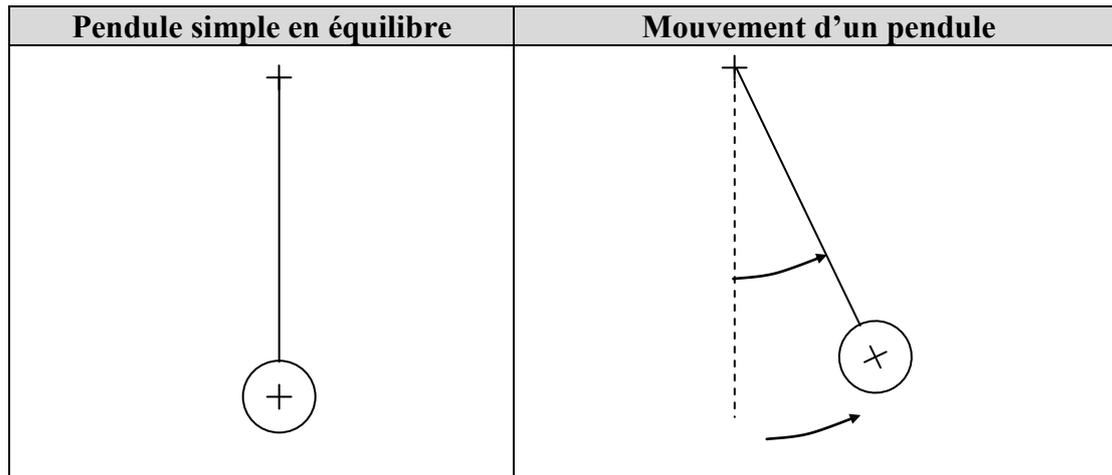


Figure 2 : Pendule simple en équilibre et en mouvement

Questions :

1. Représenter les différentes forces appliquées à la masse m .

Réponse 1 :

Les forces appliquées à la masse m sont :

- 1) La force appliquée par le fil sur la masse m :
 - Direction : (OM).
 - Sens : de M vers O.
- 2) Le poids :
 - Direction : verticale.
 - Sens : Vers le bas.

2. Quelle est la nature du mouvement du pendule ?

Réponse 2 :

Puisque le frottement est négligeable, la nature du mouvement est sinusoïdale libre. Le pendule réalise des oscillations libres non amorties.

3. Comment mesurer de façon précise la période d'oscillation du pendule ?

Réponse 3 :

Pour mesurer la période d'une façon précise, il faut répéter l'expérience plusieurs fois et calculer la moyenne.

4. Quels sont les paramètres dont peut dépendre a priori la période d'oscillation du pendule ?

Réponse 4 :

A priori, pour un angle d'écartement fixe, la période peut dépendre de la longueur du fil, du frottement et de l'accélération.

A-3) Manipulations :

Manipulation 1 : Mesure de la période T du pendule simple

On prend la longueur du fil fixe, soit 1,20 m, et on reprend la mesure 3 fois pour avoir des résultats plus précis.

Mode opératoire :

- ✓ Écarter l'objet et le fil tendu de façon à ce que l'angle α entre le fil et la verticale soit d'environ 10° .
- ✓ Lâcher l'objet et laisser osciller.
- ✓ Mesurer avec le chronomètre la durée Δt de 10 oscillations (une oscillation correspond à un aller-retour).
- ✓ En déduire la valeur de la période T du pendule puis sa fréquence f .

	Δt	Période	Fréquence
Mesure 1			
Mesure 2			
Mesure 3			

Manipulation 2 : Influence de la longueur du fil sur la période

Soit $\theta = 10^\circ$, l'angle initial que fait le pendule avec la verticale avant de le lâcher, et soit la masse $m = 50$ g. Mesurer la durée de 10 périodes $t = 10 T$ pour différentes valeurs de la longueur L et compléter le tableau ci-dessous.

Mode opératoire :

- ✓ Varier la longueur du fil suivant les valeurs indiquées sur le tableau.
- ✓ Recommencer et compléter le tableau.

Remarque :

Le pendule sera lâché sans vitesse initiale

L (en m)	0.2	0.4	0.7	0.8	1	1.4	1.6
Durée de 10 oscillations Δt s							
T (en s)							
T^2 (en s)							

Mesure :

1. Tracer le graphe : $T^2 = f(L)$ sur papier millimètre.
2. Quelle est l'allure de ce graphe ? Conclure.

Réponse 2 :

La courbe obtenue est une droite. On en déduit que la période varie proportionnellement avec la longueur du fil.

3. Déduire, du graphe, la valeur de l'accélération de la pesanteur terrestre g .

Réponse 3 :

La courbe étant une droite linéaire et à partir de sa pente on déterminera l'accélération de la pesanteur.

4. Que peut-on dire de T^2 et de L ?

Réponse 4 :

T^2 et de L varient proportionnellement.

Manipulation 3 : Influence de la masse du pendule sur la période

Dans cette manipulation, prenez soin de conserver la longueur du pendule constante $L = 1.40 \text{ m}$ et l'angle initial $\theta = 10^\circ$ puis mesurez la période pour différentes masses.

Mode opératoire :

- ✓ Écarter l'objet et le fil tendu de façon à ce que l'angle α entre le fil et la verticale soit d'environ 10° .
- ✓ Appuyer sur Démarrer.
- ✓ Laisser le système osciller.
- ✓ Mesurer avec le chronomètre la durée Δt de 10 oscillations (une oscillation correspond à un aller-retour).
- ✓ Refaire l'expérience pour les différentes masses.

m [g]	20	30	40	50	60	80
t [s] pour 10 périodes						
T [s]						

1. Quel est l'effet de la masse du pendule sur la période ?

Réponse 1 :

La période ne dépend pas de la masse.

2. Conclusion.

Réponse 2 :

En oscillations libres et en l'absence du frottement, la période ne dépend que de la longueur du fil, de l'angle d'écartement et de l'accélération.

III.4

TP4 : Loi d'Ohm – Mesure des résistances

(Fiche de scénarisation)

Investigation 1 : La Mesure en Physique

Lorsqu'on mesure une grandeur quelconque (intensité du courant ou longueur d'un meuble par exemple), on ne peut jamais obtenir une valeur exacte.

On appelle erreur la différence entre la valeur mesurée et la valeur exacte. Mais comme on ignore la valeur exacte, on ne peut pas connaître l'erreur commise. Le résultat est donc toujours incertain : on parle alors d'incertitude de mesure.

Dans cette première partie l'étudiant devra comprendre l'objectif des travaux pratique et en particulier celui-ci. Il devra s'imprégner du fait que la mesure d'une grandeur physique est toujours entachée d'une erreur qu'on nomme « incertitude ». Cette erreur est aussi liée à l'appareil de mesure.

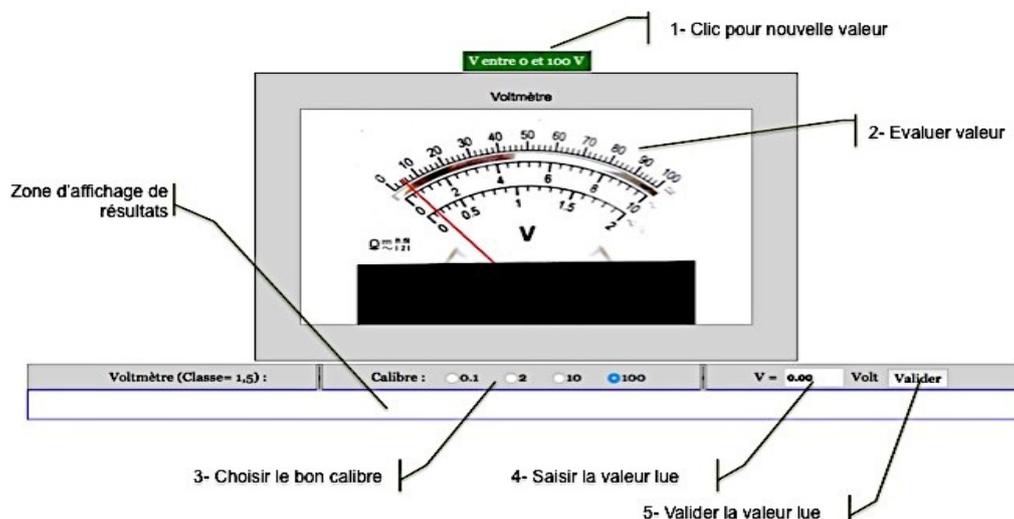
A l'issue de cette première partie il pourra évaluer une mesure physique en prenant compte le type d'appareil qu'il utilisera.

Investigation 2 : Les appareils

Dans cette deuxième partie, l'étudiant comprendra le fonctionnement des deux appareils de mesure qu'il utilisera : le voltmètre et l'ampèremètre. Il devra apprendre à les placer dans un circuit pour relever une mesure cohérente. Il devra aussi réaliser un petit test de lecture sur un voltmètre virtuel avant d'avancer dans ce TP.

Pour cela il devra utiliser l'environnement suivant :

- ✓ Il lancera l'expérimentation dans son environnement Moodle
- ✓ Il cliquera sur le bouton vert central du haut « V compris entre 0 et 100 V »
- ✓ Il lira la valeur sur le cadran en utilisant le bon calibre. Pour cela on lui affichera si le calibre choisi est correct ou pas.
- ✓ Il saisira la valeur lue et validera sa proposition en cliquant sur le bouton « Valider » en bas à droite.
- ✓ Il pourra répéter cette opération autant de fois qu'il le souhaitera.



Investigation 3 : La loi d'ohm

Cette partie comporte uniquement un petit rappel théorique sur la loi d'Ohm qu'il utilisera le long de ses expérimentations.

La loi d'Ohm est une loi de base de la physique dans le domaine électrique. Cette loi met en relation 3 grandeurs : la valeur d'une résistance (en ohms), le courant qui la traverse (en ampère) et la tension entre ses bornes (en volt).

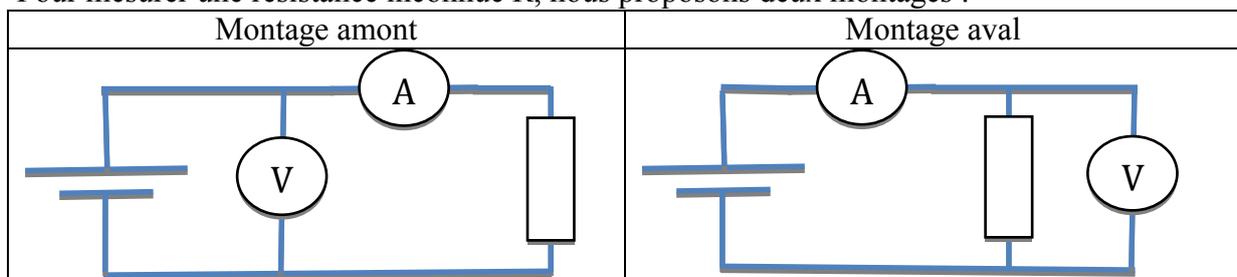
Investigation 4 : Expérimentations**OBJECTIFS :**

Ce TP a trois objectifs :

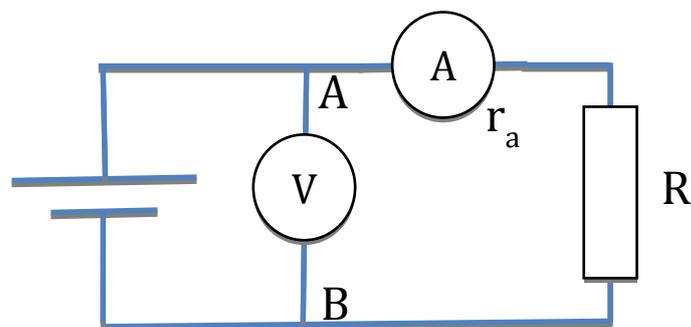
1. Démontrer par l'expérience la loi d'Ohm.
2. Tracer graphiquement la caractéristique $V = f(I)$ de la résistance.
3. Mesurer deux résistances R_1 et R_2 et vérifier les lois de leur association en série et en parallèle.

CHOIX DU MONTAGE :

Pour mesurer une résistance inconnue R , nous proposons deux montages :



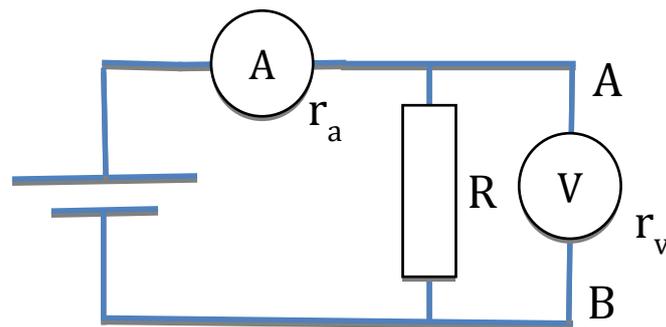
Montage amont :



- V_1 est la différence de potentiel entre les points A et B. I_1 est le courant qui traverse l'Ampèremètre. Si on désigne par r_a la résistance interne de l'ampèremètre, nous avons :

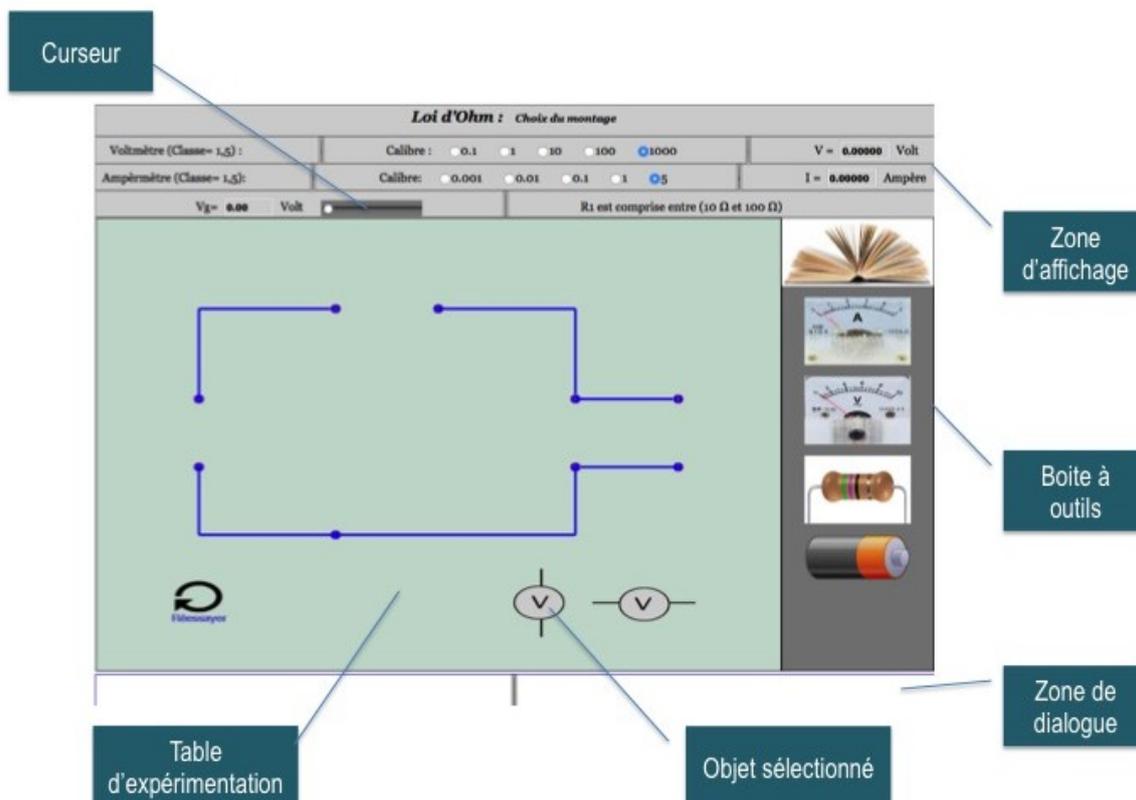
$$V_1 / i_1 = R + r_a$$
- Ce montage n'est donc valable que dans le cas où R est très grande devant r_a ($R \gg r_a$).

Montage aval:



- V_1 est la différence de potentiel entre A et B. i_1 le courant qui traverse l'ampèremètre. Si on désigne par r_v la résistance interne du voltmètre, et par R_p la résistance équivalente de (R et r_v) en parallèle, nous pouvons écrire : $R_p = V_1 / i_1$. Comme $R_p = (R \cdot r_v) / (R + r_v)$ ce montage n'est donc valable que pour R très petit devant r_v ($R \ll r_v$).

Dans cette quatrième partie, l'étudiant devra lancer sur la plateforme Moodle quatre expérimentations pour les quatre activités suivantes. La plateforme de travail est représentée ci dessous :



Pour ce faire :

1. Clic sur l'objet situé dans la boîte à outil. Il apparaît sur la table d'expérimentation (en bas à droite).
2. Prendre l'objet avec clic puis le faire glisser à sa place sur la table d'expérimentation.
3. Répéter l'opération pour compléter le montage.
4. A l'aide du curseur faire varier la tension.

ACTIVITE 1 : LOI D'OHM**Travail à réaliser :**

- En fonction de la résistance aléatoirement établie par le système, l'étudiant devra choisir le montage qu'il utilisera. Sur un tableau il reportera les valeurs relevées de V_1 et i_1 , puis il tracera la courbe $V_1 = f(i_1)$.

Réponses :

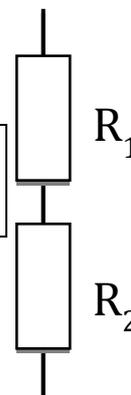
Les valeurs des résistances étant générées aléatoirement pour chaque expérimentation virtuelle, les résultats seront donnés au fur et à mesure du déroulement ou en fin d'expérimentation.

ACTIVITE 2 : MESURE D'UNE RESISTANCE**Travail à réaliser :**

- Sachant que la valeur de la résistance R_1 est comprise entre (10 Ω et 100 Ω), l'étudiant choisira le montage qu'il utilisera, puis :
- Il représentera graphiquement $V_1 = f(i_1)$.
- A partir du graphe il déterminera R_1 et ΔR_1 .
- Sachant que la valeur de la résistance R_1 est comprise entre (10 k Ω et 100 k Ω), l'étudiant choisira le montage qu'il utilisera, puis :
- Il représentera graphiquement $V_1 = f(i_1)$.
- A partir du graphe il déterminera R_1 et ΔR_1 .

Réponses :

Les valeurs des résistances étant générées aléatoirement pour chaque expérimentation virtuelle, les résultats seront donnés au fur et à mesure du déroulement ou en fin d'expérimentation.

**ACTIVITE 3 : MESURE D'UNE RESISTANCE : MONTAGE EN SERIE****Travail à réaliser :**

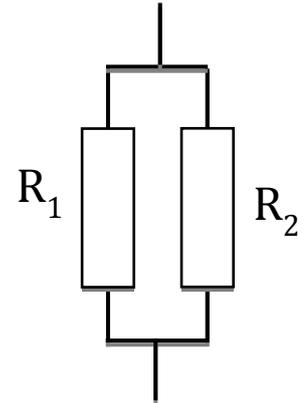
- Sachant que la valeur de la résistance R_1 est comprise entre (10 Ω et 100 Ω), l'étudiant choisira à l'aide du code des couleurs une résistance R_2 et le montage qu'il utilisera puis :
- Il représentera graphiquement $V_1 = f(i_1)$.
- A partir du graphe il déterminera R_s et ΔR_s .
- Il donnera ensuite la valeur de R_1 et ΔR_1 .

Réponses :

Les valeurs des résistances étant générées aléatoirement pour chaque expérimentation virtuelle, les résultats seront donnés au fur et à mesure du déroulement ou en fin d'expérimentation.

ACTIVITE 4 : MESURE D'UNE RESISTANCE : MONTAGE EN PARALLELE**Travail à réaliser :**

- Sachant que la valeur de la résistance R_1 est comprise entre ($1 \text{ k}\Omega$ et $100 \text{ k}\Omega$), l'étudiant choisira à l'aide du code des couleurs une résistance R_2 et le montage qu'il utilisera puis :
- Il représentera graphiquement $V_1 = f(i_1)$.
- A partir du graphe il déterminera R_p et ΔR_p .
- Il donnera la valeur de R_1 et ΔR_1

**Réponses :**

Les valeurs des résistances étant générées aléatoirement pour chaque expérimentation virtuelle, les résultats seront donnés au fur et à mesure du déroulement ou en fin d'expérimentation.

III.5

TP5 : Le pont de Wheatstone

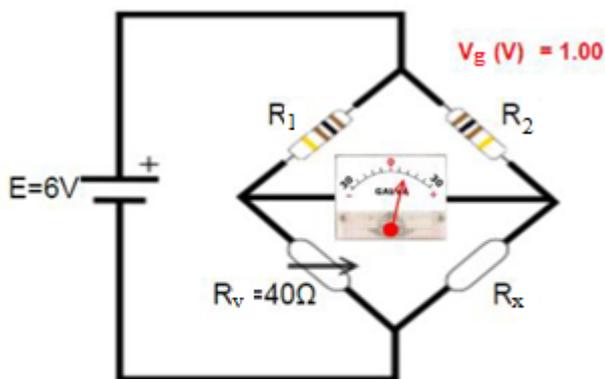
Outils nécessaires

- ✓ 1 générateur de tension continue
- ✓ 4 résistances, dont une inconnue R_x et une autre variable R_v
- ✓ 1 galvanomètre
- ✓ Des fils

Disposition des objets :

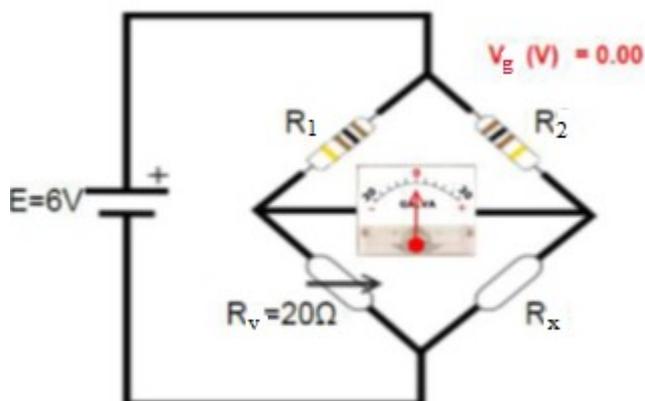
Ces objets ont la disposition suivante :

Pont de Wheatstone



Un curseur est mis en place pour faire varier R_v jusqu'à l'équilibre (c'est-à-dire jusqu'à ce que la différence de potentiel dans le galvanomètre soit nulle $V_g=0$)

Pont de Wheatstone



On propose d'étudier trois cas de pont de Wheatstone correspondant à trois valeurs différentes du rapport R_2/R_1

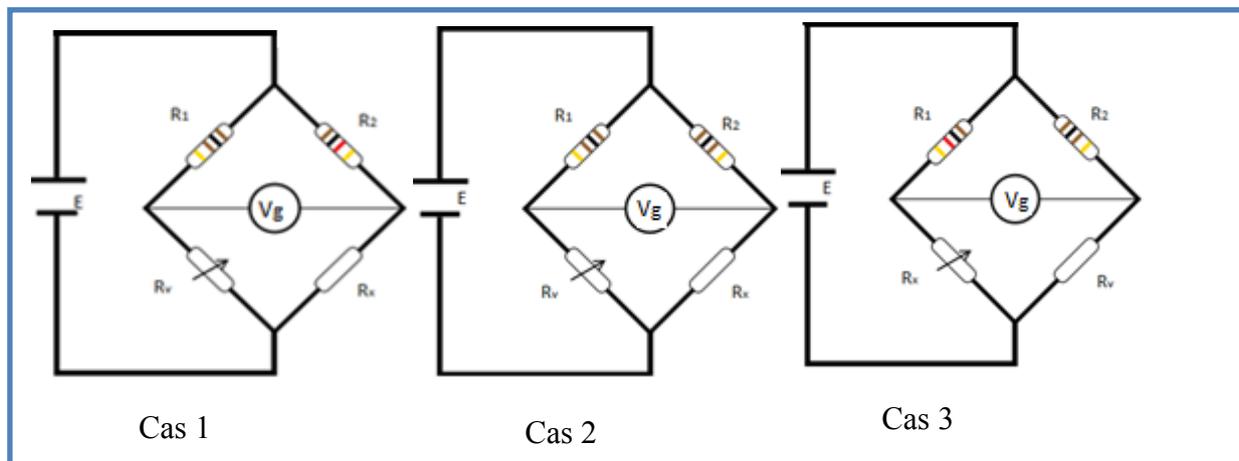


Figure 1 : Les trois cas de pont de Wheatstone à réaliser

1- Activité 1 :

Observations :

Question 1.1 : Pour un pont en déséquilibre (voir figure 2) et en appliquant les lois de Kirchhoff ou le théorème de Thévenin, donner l'expression de $V_B - V_D$ en fonction de E , R_1 , R_2 , R_v et R_x

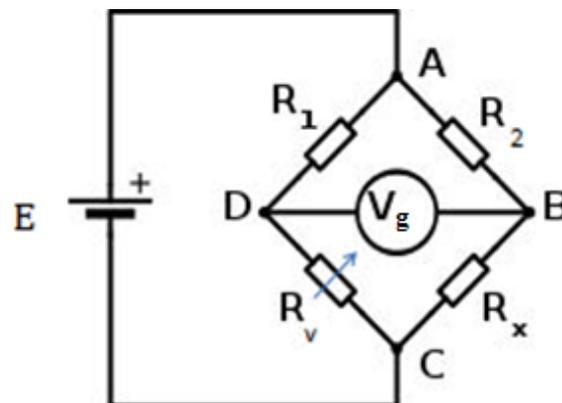
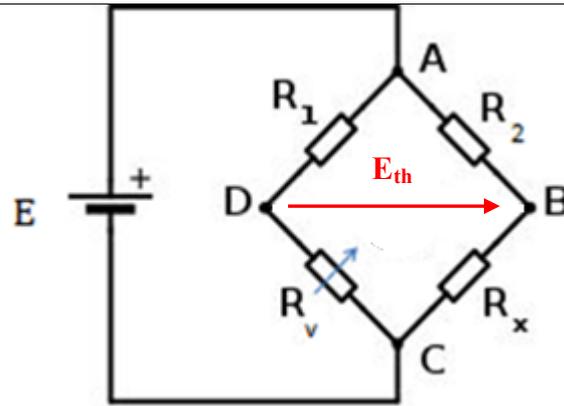


Figure 2

Réponse 1.1

La méthode la plus simple pour étudier le pont hors équilibre est de chercher l'équivalent Thévenin du circuit entre les bornes B et D.

On retire la branche BD (le galvanomètre) du circuit :



On aura donc :

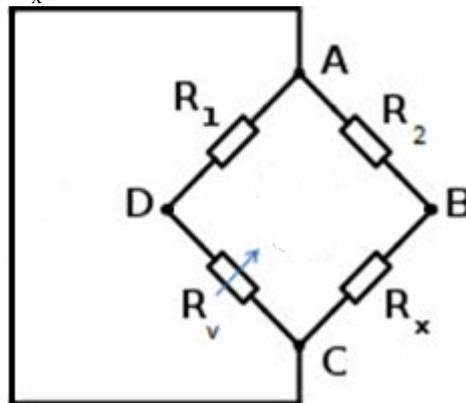
$$V_{BC} = V_B - V_C = \frac{E R_x}{R_x + R_2}$$

$$V_{DC} = V_D - V_C = \frac{E R_v}{R_v + R_1}$$

On déduit alors :

$$E_{th} = V_B - V_D = E \left(\frac{R_x}{R_x + R_2} - \frac{R_v}{R_v + R_1} \right)$$

Si la résistance interne du générateur E est négligeable, la résistance du générateur équivalent est égale à R_1/R_v en série R_2/R_x :



$$R_{th} = R_{BD} = \frac{R_1 R_v}{R_v + R_1} + \frac{R_2 R_x}{R_x + R_2}$$

Donc hors équilibre, la tension aux bornes du galvanomètre est :

$$V_g = E_{th} - R_{th} I_g$$

avec I_g le courant qui circule dans la branche BD

La résistance du galvanomètre est suffisamment grande pour que I_g soit négligeable, on peut écrire alors que :

$$V_g = V_B - V_D = E \left(\frac{R_x}{R_x + R_2} - \frac{R_v}{R_v + R_1} \right)$$

Question 1.2 : Montrer qu'à l'équilibre du pont $R_2/R_1 = R_x/R_v$

Réponse 1.2 :

On dit que le pont est équilibré lorsqu'il ne passe aucun courant ($V_B = V_D$) dans le galvanomètre V_G par suite du réglage des éléments étalonnés : R_1 , R_2 et R_v . Il s'ensuit que si $I_g = 0$, le courant i_1 traverse R_1 et R_v , et le courant i_2 traverse R_2 et R_x . La différence de potentiel entre les points B et D est nulle. L'application de la loi d'ohm aux

différentes bornes conduit à :

$$V_A - V_D = R_1 i_1$$

$$V_A - V_B = R_2 i_2$$

$$V_D - V_C = R_v i_1$$

$$V_B - V_C = R_x i_2$$

Il vient :

$$R_1 i_1 = R_2 i_2$$

$$R_v i_1 = R_x i_2$$

Soit enfin :

$$\frac{R_x}{R_v} = \frac{R_2}{R_1}$$

2- Activité 2 :

Mesures

Dans cette partie on réalise « une simulation » de l'expérience en travaillant sur 3 cas de différents rapport R_2/R_1 , tout en fixant la tension du générateur à 6V.

Protocol expérimental :

Ouvrir successivement les 3 cas de simulation Cas 1, Cas 2 et Cas 3.

Pour chaque cas :

- ✓ Fixer E à 6V
- ✓ Donner les valeurs de R_1 et R_2 des trois cas de figures proposés (le rapport R_2/R_1),
- ✓ Equilibrer le pont à l'aide du curseur pour faire varier la résistance R_v de précision 1%.

Question 2.1 : remplir le tableau 1 suivant

Tableau 1

$K=R_2/R_1$	Cas 1	Cas 2	Cas 3
$R_1(\Omega)$			
$\Delta R_1 (\Omega)$			
$R_2(\Omega)$			
$\Delta R_2 (\Omega)$			
$R_v(\Omega)$			
$\Delta R_v (\Omega)$			
$1/K$			
$\Delta(1/K)$			

Réponse 2.1 :

$K=R_2/R_1$	Cas 1	Cas 2	Cas 3
$R_1(\Omega)$	100	100	1000
$\Delta R_1(\Omega)$	5	5	50
$R_2(\Omega)$	1000	100	100
$\Delta R_2(\Omega)$	50	5	5
$R_v(\Omega)$	2	20	200
$\Delta R_v(\Omega)$	0.02	0.2	2
$1/K$	0.1	1	10
$\Delta(1/K)$	0.01	0.1	1

Question 2.2 : Détailler le calcul des incertitudes**Réponse 2.2 :**

On a

$$\frac{1}{K} = \frac{R_1}{R_2}$$

On aura donc

$$\ln\left(\frac{1}{K}\right) = \ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)$$

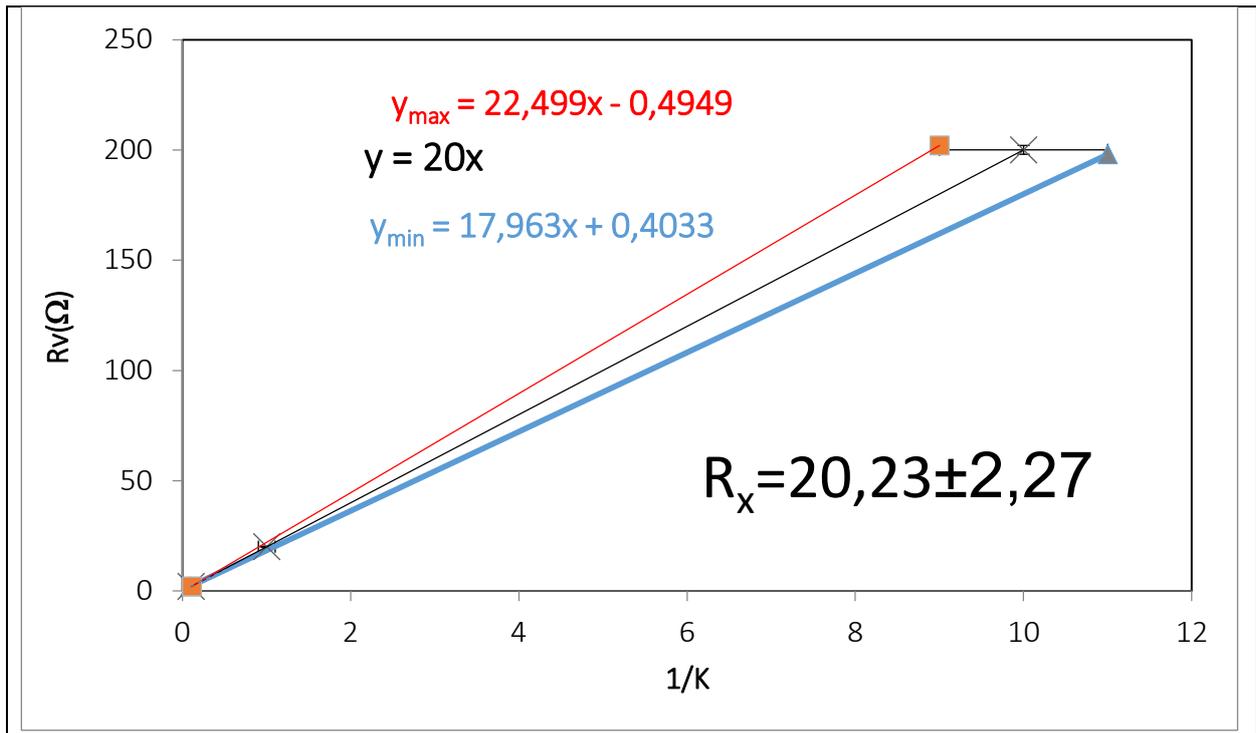
$$\frac{\Delta\left(\frac{1}{K}\right)}{\frac{1}{K}} = \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2}$$

Ce qui donne

$$\Delta\left(\frac{1}{K}\right) = \frac{1}{K} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} \right)$$

Question 2.3 : Tracer la courbe $R_v=f(1/K)$ **Réponse 2.3 :**

On utilisera le tableur EXCEL pour tracer la courbe de tendance avec les incertitudes sur les valeurs mesurées (voir procédure sur l'annexe 2).



Question 2.4 : A partir de cette courbe, déduire la valeur de R_x et ΔR_x

Réponse 2.4

D'après la courbe on déduit que $R_x \pm \Delta R_x = 20,23 \pm 2,2 \ \Omega$

3- Activité 3 :

Comparaison :

Dans cette partie on réalise « une simulation » de l'expérience en travaillant sur 3 cas de différents rapport R_2/R_1 , tout en fixant la tension du générateur à 12V.

Protocol expérimental :

Ouvrir successivement les 3 cas de simulation Cas 1, Cas 2 et Cas 3.

Pour chaque cas :

- ✓ Fixer E à 12V
- ✓ Donner les valeurs de R_1 et R_2 des trois cas de figures proposés (le rapport R_2/R_1),
- ✓ Equilibrer le pont à l'aide du curseur pour faire varier la résistance R_v de précision 1%.

Question 3.1 : remplir le tableau 2 suivant

Tableau 2

$K=R_2/R_1$	Cas 1	Cas 2	Cas 3
$R_1(\Omega)$			
$\Delta R_1(\Omega)$			
$R_2(\Omega)$			
$\Delta R_2(\Omega)$			
$R_v(\Omega)$			
$\Delta R_v(\Omega)$			
$1/K$			
$\Delta(1/K)$			

Réponse 3.1 :

$K=R_2/R_1$	Cas 1	Cas 2	Cas 3
$R_1(\Omega)$	100	100	1000
$\Delta R_1(\Omega)$	5	5	50
$R_2(\Omega)$	1000	100	100
$\Delta R_2(\Omega)$	50	5	5
$R_v(\Omega)$	2	20	200
$\Delta R_v(\Omega)$	0.02	0.2	2
$1/K$	0.1	1	10
$\Delta(1/K)$	0.01	0.1	1

Question 3.2 Comparer ce résultat avec celui choisi pour $E=6\text{ V}$. Que peut-on conclure ?

Réponse 3.2 :

Dans le cas où $E=12\text{V}$, on retrouve les mêmes résultats que dans le cas de $E=6\text{ V}$ puisque à l'équilibre la résistance R_x est indépendante de la tension du générateur elle s'écrit uniquement en fonction de R_1 , R_2 et R_v

III.6

TP6 : Oscilloscope cathodique

1- Activité I : Mesure de tension continue

L'oscilloscope permet de mesurer une tension continue, et à ce titre il peut remplacer un Voltmètre. On commence à régler le spot au centre de l'écran. Si on applique une tension aux plaques horizontales, on provoque un déplacement vertical du spot. Ce déplacement est proportionnel à la tension appliquée. Si la tension est multipliée par 2, 3, 4, ..., le déplacement est lui-même multiplié par 2, 3, 4, On a alors :

$$V_{Max} = K \times Y$$

Avec

V_{Max} : Tension appliquée exprimée en Volts "V".

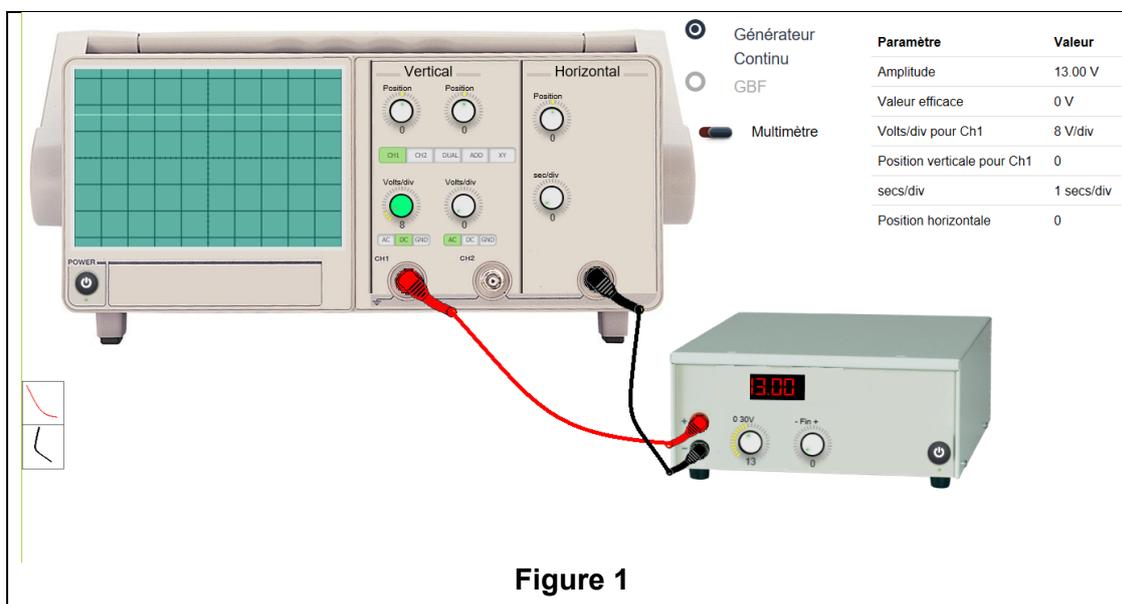
Y: Déplacement du spot exprimé en "cm".

K: Coefficient de proportionnalité (ou encore sensibilité) exprimé en "V/cm".

Activité expérimentale :

Pour varier les valeurs des différents boutons rotatoires, on utilisera soit la souris (en maintenant la touche gauche enfoncée et en déplaçant le curseur sur le bouton rotatoire) soit à l'aide des touches P et M du clavier (P(+)) pour augmenter les valeurs à afficher et M(-) pour les abaisser)

- ✓ Réaliser le montage de la figure 1 (tout en maintenant la touche gauche de la souris enfoncée, faire glisser l'image du fil pour la placer au niveau de la voix CH1 et faire de même pour la masse).
- ✓ Cliquer sur le bouton Marche/Arrêt de l'oscilloscope
- ✓ Mettre à zéro le sélecteur de position verticale de l'oscilloscope pour centrer le balayage horizontal du spot lumineux continu.
- ✓ Cliquer sur le bouton DC de l'oscilloscope
- ✓ Cliquer sur « Générateur continu » pour choisir le type de générateur à utiliser (sélectionné par défaut)
- ✓ Cliquer sur le bouton Marche/Arrêt du générateur choisi
- ✓ Fixer la tension continue du générateur à la valeur 5Volts.



Exécuter les instructions suivantes et cocher les bonnes réponses du QCM suivant :

Question 1-1 : Placez le sélecteur de réglage de la sensibilité verticale sur la valeur $K = 5V/div$. Le nombre de division vertical de tension sur l'oscilloscope est :

<input type="checkbox"/>	1div
<input type="checkbox"/>	2div
<input type="checkbox"/>	3div
<input type="checkbox"/>	4div

Réponse 1-1 :

<input checked="" type="checkbox"/>	1div
-------------------------------------	------

Question 1-2 : La tension V_{Max} et son incertitude absolue de lecture commise sur sa mesure est :

<input type="checkbox"/>	$(5 \pm 1)V$
<input type="checkbox"/>	$(5 \pm 2)V$
<input type="checkbox"/>	$(5 \pm 3)V$
<input type="checkbox"/>	$(5 \pm 4)V$

Réponse 1-2

<input checked="" type="checkbox"/>	$(5 \pm 1)V$
-------------------------------------	--------------

Question 1-3 : Placez le sélecteur de réglage de la sensibilité verticale sur la valeur $K = 2V/div$. Le nombre de division vertical de tension sur l'oscilloscope est :

<input type="checkbox"/>	1div
<input type="checkbox"/>	1.5div
<input type="checkbox"/>	2div
<input type="checkbox"/>	2.5div

Réponse 1-3 :

<input checked="" type="checkbox"/>	2.5div
-------------------------------------	--------

Question 1-4 : La tension V_{Max} et son incertitude absolue de lecture commise sur sa mesure est :

<input type="checkbox"/>	$(5 \pm 0.1)V$
<input type="checkbox"/>	$(5 \pm 0.2)V$
<input type="checkbox"/>	$(5 \pm 0.3)V$
<input type="checkbox"/>	$(5 \pm 0.4)V$

Réponse 1-4 :

<input checked="" type="checkbox"/>	$(5 \pm 0.4)V$
-------------------------------------	----------------

Question 1-5 : Lorsqu'on diminue la sensibilité verticale alors la déviation :

<input type="checkbox"/>	Baisse
<input type="checkbox"/>	Augmente
<input type="checkbox"/>	Ne varie pas

Réponse 1-5 :

<input checked="" type="checkbox"/>	Augmente
-------------------------------------	----------

Question 1-6 : Cliquer sur « Multimètre ». La valeur de La tension affichée par le multimètre est :

<input type="checkbox"/>	2V
<input type="checkbox"/>	3V
<input type="checkbox"/>	4V
<input type="checkbox"/>	5V

Réponse 1-6 :

<input checked="" type="checkbox"/>	5V
-------------------------------------	----

Question 1-7 : Les deux valeurs de tension continue calculée par l'oscilloscope et le multimètre sont :

<input type="checkbox"/>	Identiques
<input type="checkbox"/>	Proportionnelles
<input type="checkbox"/>	Différentes

Réponse 1-7 :

<input checked="" type="checkbox"/>	Identiques
-------------------------------------	------------

2- Activité 2 : Mesure d'une tension sinusoïdale délivrée par un G.B.F

Activité expérimentale :

- ✓ Cliquer sur « GBF » pour choisir le type de générateur à utiliser.
- ✓ Cliquer sur le bouton Marche/Arrêt du générateur choisi
- ✓ Cliquer sur le bouton du signal sinusoïdal (sélectionnée par défaut).
- ✓ Cliquer sur le bouton AC de l'oscilloscope

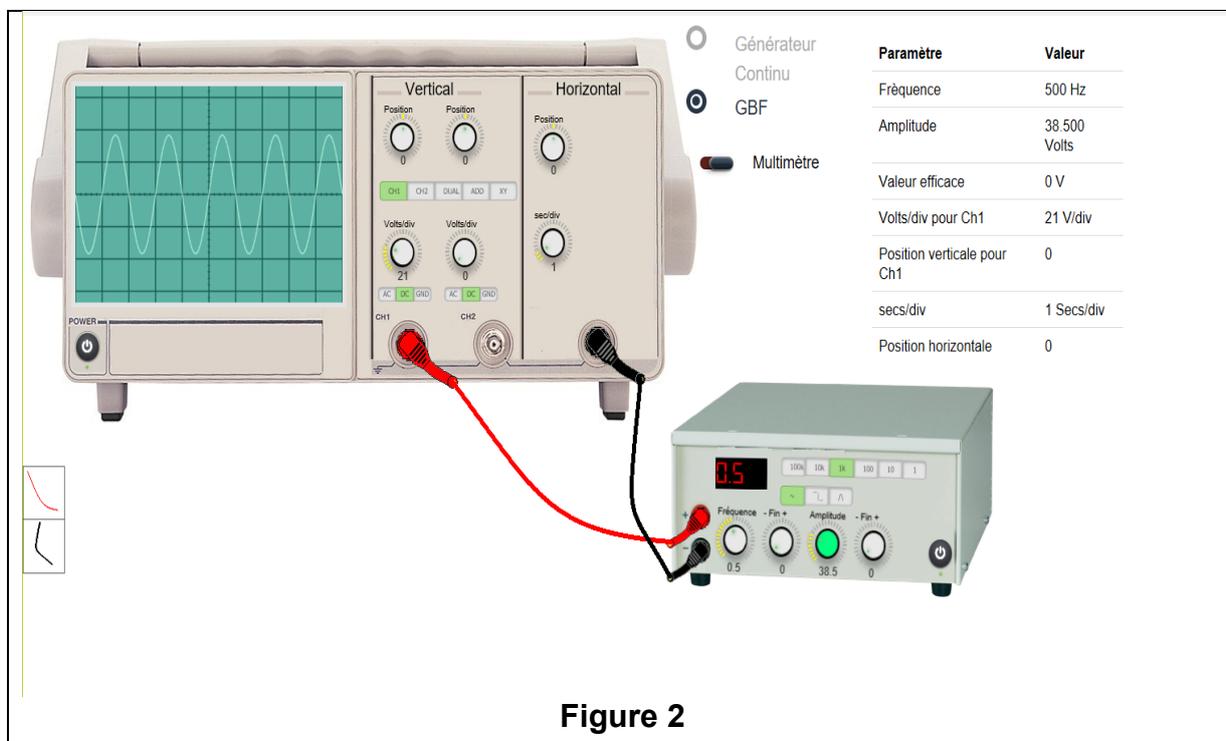


Figure 2

Fixer la tension alternative sinusoïdale du GBF à la valeur **3 V** et la fréquence à la valeur **f = 0.5 kHz**.

Question 2-1 : La valeur de la sensibilité horizontale choisie permettant de déterminer la fréquence de tension sur l'oscilloscope est :

	1ms/div
	2ms/div
	5ms/div
	10ms/div

Réponse 2-1 :

✓	1ms/div
---	---------

Question 2-2 : La valeur de la sensibilité verticale choisie permettant de déterminer l'amplitude de tension sur l'oscilloscope est :

	1V/div
	2V/div
	5V/div
	10V/div

Réponse 2-2 :

✓	1V/div
---	--------

Question 2-3 : Le nombre de division crête à crête de tension sur l'oscilloscope est :

	4.5
	5
	5.5
	6

Réponse 2-3 :

✓	6
---	---

Question 2-4 : La tension $V_e = V_{cc}$ crête à crête de tension sur l'oscilloscope est :

	$(5 \pm 0.1)V$
	$(6 \pm 0.2)V$
	$(7 \pm 0.3)V$
	$(8 \pm 0.4)V$

Réponse 2-4 :

✓	$(6 \pm 0.2)V$
---	----------------

Question 2-5 : La tension $V_{Max} = \frac{V_{cc}}{2}$ et son incertitude absolue de lecture commise sur sa mesure est :

	$(3 \pm 0.1)V$
	$(3 \pm 0.2)V$
	$(3 \pm 0.2)V$
	$(3 \pm 0.2)V$

Réponse 2-5 :

✓	$(3 \pm 0.2)V$
---	----------------

Question 2-6 : Cliquer sur « Multimètre » (sélectionnée par défaut). La valeur de La tension affichée par le multimètre est :

<input type="checkbox"/>	2.121V
<input type="checkbox"/>	2.122V
<input type="checkbox"/>	2.123V
<input type="checkbox"/>	2.124V

Réponse 2-6 :

<input checked="" type="checkbox"/>	2.121V
-------------------------------------	--------

Fixer la tension du GBF à la valeur **10 V** et la fréquence à la valeur $f = 0.5 \text{ kHz}$.

Question 2-7 : La valeur de la sensibilité horizontale choisie permettant de déterminer la fréquence de tension sur l'oscilloscope est :

<input type="checkbox"/>	1ms/div
<input type="checkbox"/>	2ms/div
<input type="checkbox"/>	5ms/div
<input type="checkbox"/>	10ms/div

Réponse 2-7 :

<input checked="" type="checkbox"/>	1ms/div
-------------------------------------	---------

Question 2-8 : La valeur de la sensibilité verticale choisie pour déterminer l'amplitude de tension sur l'oscilloscope est :

<input type="checkbox"/>	1V/div
<input type="checkbox"/>	2V/div
<input type="checkbox"/>	5V/div
<input type="checkbox"/>	10V/div

Réponse 2-8 :

<input checked="" type="checkbox"/>	5V/div
-------------------------------------	--------

Question 2-9 : Le nombre de division crête à crête de tension sur l'oscilloscope est :

<input type="checkbox"/>	4
<input type="checkbox"/>	4.5
<input type="checkbox"/>	5
<input type="checkbox"/>	5.5

Réponse 2-9 :

<input checked="" type="checkbox"/>	4
-------------------------------------	---

Question 2-10 : La tension $V_e = V_{cc}$ crête à crête de tension sur l'oscilloscope est :

<input type="checkbox"/>	$(18 \pm 0.8)V$
<input type="checkbox"/>	$(20 \pm 1)V$
<input type="checkbox"/>	$(22 \pm 1.2)V$
<input type="checkbox"/>	$(24 \pm 1.4)V$

Réponse 2-10 :

<input checked="" type="checkbox"/>	$(20 \pm 1)V$
-------------------------------------	---------------

Question 2-11 : La tension $V_{Max} = \frac{V_{cc}}{2}$ et son incertitude absolue de lecture commise sur sa mesure est :

<input type="checkbox"/>	$(10 \pm 0.4)V$
<input type="checkbox"/>	$(10 \pm 0.6)V$
<input type="checkbox"/>	$(10 \pm 0.8)V$
<input type="checkbox"/>	$(10 \pm 1)V$

Réponse 2-11 :

<input checked="" type="checkbox"/>	$(10 \pm 1)V$
-------------------------------------	---------------

Question 2-12 : Cliquer sur « Multimètre » (sélectionnée par défaut). La valeur de La tension affichée par le multimètre est :

<input type="checkbox"/>	7.07V
<input type="checkbox"/>	7.071V
<input type="checkbox"/>	7.072V
<input type="checkbox"/>	7.073V

Réponse 2-12 :

<input checked="" type="checkbox"/>	7.071V
-------------------------------------	--------

Question 2-13 : Les deux valeurs de tension alternative calculée par l'oscilloscope et le multimètre sont :

<input type="checkbox"/>	Identiques
<input type="checkbox"/>	Proportionnelles
<input type="checkbox"/>	Différentes

Réponse 2-13 :

<input checked="" type="checkbox"/>	Proportionnelles
-------------------------------------	------------------

Question 2-14 : Un multimètre en mode « alternatif » mesure la tension efficace notée V_{eff} d'une tension alternative sinusoïdale. La relation entre la tension efficace et la tension maximale est :

<input type="checkbox"/>	$V_{eff} = \frac{V_{Max}}{2}$
<input type="checkbox"/>	$V_{eff} = \frac{V_{Max}}{\sqrt{2}}$

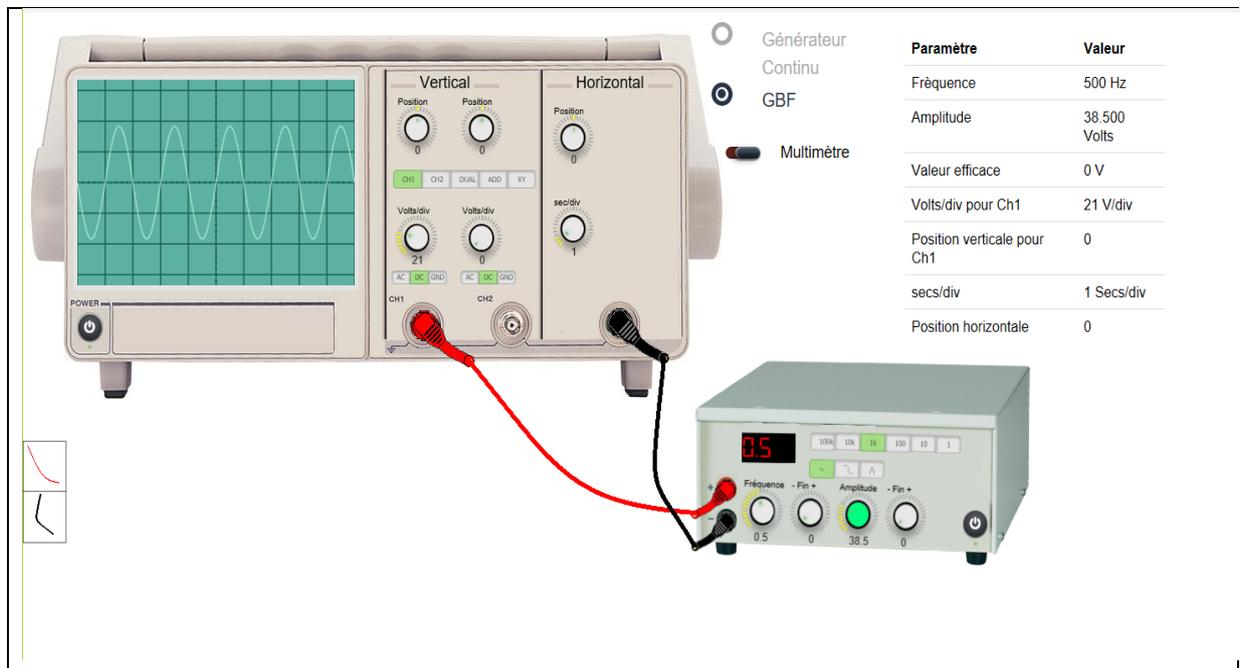
Réponse 2-14 :

<input checked="" type="checkbox"/>	$V_{eff} = \frac{V_{Max}}{\sqrt{2}}$
-------------------------------------	--------------------------------------

3- Activité 3 : Mesure de fréquence

Activité expérimentale :

On gardera le même montage utilisé dans l'activité 2.



Cliquer sur le bouton du signal sinusoïdal et fixer la tension du GBF à la valeur $V=4\text{ V}$ et la fréquence à la valeur $f = 100\text{ Hz}$.

Question 3-1 : La valeur de la sensibilité horizontale choisie permettant de déterminer la fréquence de tension sur l'oscilloscope est :

<input type="radio"/>	1ms/div
<input type="radio"/>	2ms/div
<input type="radio"/>	5ms/div
<input type="radio"/>	10ms/div

Réponse 3-1 :

<input checked="" type="radio"/>	5ms/div
----------------------------------	---------

Question 3-2 : La valeur de la sensibilité verticale choisie pour déterminer l'amplitude de tension sur l'oscilloscope est :

<input type="radio"/>	1V/div
<input type="radio"/>	2V/div
<input type="radio"/>	5V/div
<input type="radio"/>	10V/div

Réponse 3-2 :

<input checked="" type="radio"/>	2V/div
----------------------------------	--------

Question 3-3 : Le nombre de division sur période est :

<input type="radio"/>	1
<input type="radio"/>	1.5
<input type="radio"/>	2
<input type="radio"/>	2.5

Réponse 3-3 :

✓	2
---	---

Question 3-4 : La valeur de la période de $T(ms)$ de la tension lue sur l'oscilloscope est :

	$(8 \pm 0.8)ms$
	$(9 \pm 0.9)ms$
	$(10 \pm 1)ms$
	$(11 \pm 1.1)ms$

Réponse 3-4 :

✓	$(10 \pm 1)ms$
---	----------------

Cliquer sur le bouton du signal **carré** et fixer la tension du GBF à la valeur **5 V** et la fréquence à la valeur **$f = 200 Hz$** .

Question 3-5 : La valeur de la sensibilité horizontale choisie permettant de déterminer la fréquence de tension sur l'oscilloscope est :

	$1ms/div$
	$2ms/div$
	$5ms/div$
	$10ms/div$

Réponse 3-5 :

✓	$2ms/div$
---	-----------

Question 3-6 : La valeur de la sensibilité verticale choisie pour déterminer l'amplitude de tension sur l'oscilloscope est :

	$1V/div$
	$2V/div$
	$5V/div$
	$10V/div$

Réponse 3-6 :

✓	$2V/div$
---	----------

Question 3-7 : Le nombre de division sur période est :

	1
	1.5
	2
	2.5

Réponse 3-7 :

✓	2.5
---	-----

Question 3-8 : La valeur de la période $T(ms)$ de tension sur l'oscilloscope est :

	$(3 \pm 0.2)ms$
	$(5 \pm 0.4)ms$
	$(7 \pm 0.6)ms$
	$(9 \pm 0.8)ms$

Réponse 3-8 :

✓	$(5 \pm 0.4)ms$
---	-----------------

Cliquer sur le bouton du signal en dents de scie et fixer la tension du GBF à la valeur **6 V** et la fréquence à la valeur **$f = 500 \text{ Hz}$** .

Question 3-9 : La valeur de la sensibilité horizontale choisie permettant de déterminer la fréquence de tension sur l'oscilloscope est :

	$1ms/div$
	$2ms/div$
	$5ms/div$
	$10ms/div$

Réponse 3-9 :

✓	$1ms/div$
---	-----------

Question 3-10 : La valeur de la sensibilité verticale choisie pour déterminer l'amplitude de tension sur l'oscilloscope est :

	$1V/div$
	$2V/div$
	$5V/div$
	$10V/div$

Réponse 3-10 :

✓	$2V/div$
---	----------

Question 3-11 : Le nombre de division sur période est :

	1
	1.5
	2
	2.5

Réponse 3-11 :

✓	2
---	---

Question 3-12 : La valeur de la période **$T(ms)$** de la tension lue sur l'oscilloscope est :

	$(2 \pm 0.2)ms$
	$(4 \pm 0.4)ms$
	$(6 \pm 0.6)ms$
	$(8 \pm 0.8)ms$

Réponse 3-12 :

✓	$(2 \pm 0.2)ms$
---	-----------------

Question 3-13 : La relation entre la fréquence et la période d'une tension alternative est :

	$f = \frac{1}{T}$
	$f = T$

Réponse 3-13 :

✓	$f = \frac{1}{T}$
	$f = T$

4- Activité 4 : Mesure de déphasage

I. Méthode directe

Activité expérimentale :

(L'utilisation des touches **P** et **M** du clavier est en cours de mise au point)

- ✓ Cliquer sur le bouton Marche/Arrêt du générateur.
- ✓ Cliquer sur le bouton du signal sinusoïdal (sélectionnée par défaut).
- ✓ Fixer la tension alternative du GBF à la valeur **6 V** et la fréquence à la valeur **f = 200 Hz**.
- ✓ Cliquer sur le bouton Marche/Arrêt de l'oscilloscope
- ✓ Cliquer sur le bouton DUAL qui, une fois actionnée, permet de visualiser simultanément sur l'écran de l'oscilloscope deux signaux périodiques appliqués aux deux entrées de l'oscilloscope.

Paramètre	Valeur
Fréquence	390 Hz
Amplitude	72.5 Volts
Déphasage	$\pi/3$
Vots/div pour Ch1	24 Volts/div
Vots/div pour Ch2	26 Volts/div
Position verticale pour Ch1	0
Position verticale pour Ch2	0
secs/div	1 secs/div
Position horizontale	0

Question 4-1 : La valeur de la sensibilité horizontale choisie permettant de déterminer la fréquence des deux tensions sur l'oscilloscope est :

	1ms/div
	2ms/div
	5ms/div
	10ms/div

Réponse 4-1 :

✓	1ms/div
---	---------

Question 4-2 : La valeur de la sensibilité verticale choisie permettant de déterminer l'amplitude de tension sur l'oscilloscope est :

	1V/div
	2V/div
	5V/div
	10V/div

Réponse 4-2 :

✓	2V/div
---	--------

Question 4-3 : Le décalage temporel (ms) entre les deux signaux sur l'oscilloscope est :

	0.1ms
	0.2ms
	0.3ms
	0.4ms

Réponse 4-3 :

✓	0.4ms
---	-------

Question 4-4 : La valeur de la période (ms) de tension sur l'oscilloscope est :

	4.6ms
	4.8ms
	5ms
	5.2ms

Réponse 4-4 :

✓	4.8ms
---	-------

Question 4-5 : Le déphasage en degrés entre les deux signaux sur l'oscilloscope est :

	30°
	40°
	50°
	60°

Réponse 4-5 :

✓	30°
---	-----

Question 4-6 : Le déphasage en degrés est obtenu à l'aide de la relation suivante :

	$\varphi = \frac{t}{T} \times 360^\circ$
	$\varphi = \frac{T}{t} \times 360^\circ$

Réponse 4-6 :

✓	$\varphi = \frac{t}{T} \times 360^\circ$
---	--

Question 4-7 : Le déphasage en radian entre les deux signaux sur l'oscilloscope est :

	0.51rad
	0.52rad
	0.53rad
	0.54rad

Réponse 4-7 :

✓	0.52rad
---	---------

Question 4-8 : Le déphasage en radian est obtenu à l'aide de la relation suivante :

	$\varphi = \frac{t}{T} \times 2\pi$
	$\varphi = \frac{T}{t} \times 2\pi$

Réponse 4-8 :

✓	$\varphi = \frac{t}{T} \times 2\pi$
---	-------------------------------------

II. Méthode de Lissajous

Activité expérimentale :

On élimine la base de temps, en cliquant sur le bouton XY, pour visualiser une ellipse inscrite dans un rectangle dont les côtés sont parallèles aux axes X et Y et ayant pour longueurs a et b (a > b):

Paramètre	Valeur
Fréquence	390 Hz
Amplitude	140.625 Volts
Déphasage	$\pi/3$
Vots/div pour Ch1	44 Volts/div
Vots/div pour Ch2	44 Volts/div
Position verticale pour Ch1	0
Position verticale pour Ch2	0
secs/div	1 secs/div
Position horizontale	0

Question 4-9 : La valeur du grand axe a est :

	4div
	5div
	6div
	7div

Réponse 4-9 :

✓	6div
---	------

Question 4-10 : La valeur du petit axe b est :

	1div
	2div
	3div
	4div

Réponse 4-10 :

✓	3div
---	------

Question 4-11 : Le déphasage en degrés entre les deux signaux sur l'oscilloscope est :

	30°
	40°
	50°
	60°

Réponse 4-11 :

✓	30°
---	-----

Question 4-12 : Le déphasage en radian entre les deux signaux sur l'oscilloscope est :

	0.51rad
	0.52rad
	0.53rad
	0.54rad

Réponse 4-12 :

✓	0.52rad
---	---------

Question 4-13 : Le déphasage est donné par la relation suivante :

	$\varphi = \text{Arcsin}\left(\frac{b}{a}\right)$
	$\varphi = \text{Arcsin}\left(\frac{a}{b}\right)$

Réponse 4-13 :

✓	$\varphi = \text{Arcsin}\left(\frac{b}{a}\right)$
---	---

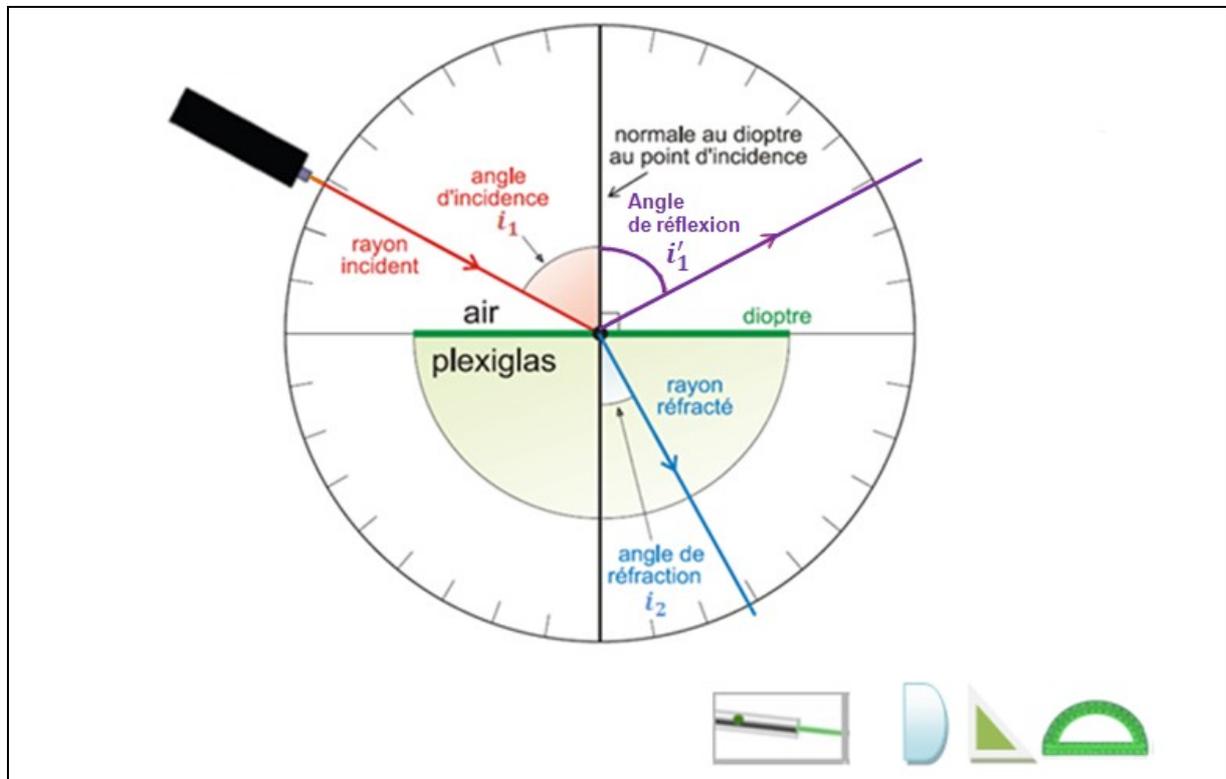
III.7.

TP7 : Dioptre

(Fiche de scénarisation)

Outils nécessaires :

- ✓ Un milieu transparent qui représente le vide d'indice 1 (un cadran au milieu de l'écran)
- ✓ Source de lumière avec fente
- ✓ Demi-disque sur plate-forme avec possibilité de choisir le type de matériau
- ✓ Un outil pour tracer des droites (Normales)
- ✓ Un rapporteur pour mesurer des angles
- ✓ Un outil de calcul (calculatrice)



Scénarisation souhaitée

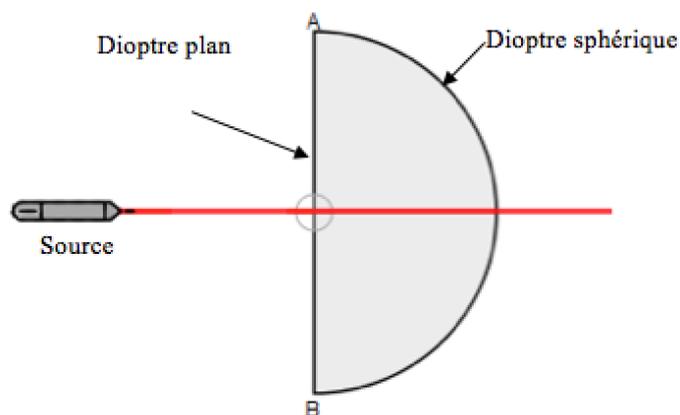
Préparer l'enchaînement des différentes séquences pour réaliser les activités proposées et écrire un script pour rendre l'activité pratique accessible à travers l'interface sur plateforme. Sur un disque vertical muni d'une graduation d'angle on dispose, en son centre, un demi-disque en plexiglas. On dirige un faisceau laser tangentiellement au plan du disque vers le centre de celui-ci sur le côté plan du demi-disque. Cette surface de séparation entre deux milieux transparents différents constituera le dioptre.

INVESTIGATION I

Marche d'un rayon lumineux passant de l'air vers le plexiglas

Travail à faire

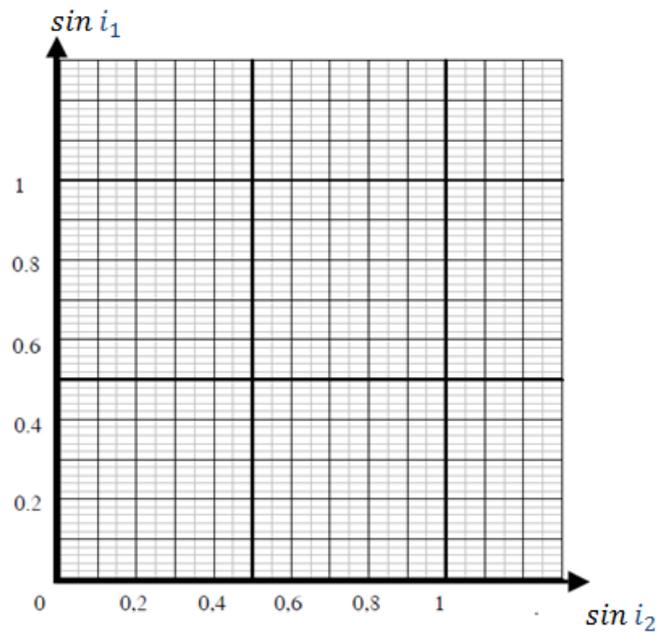
1. Choisir un dioptre sphérique en plexiglas.
2. Placer ce dioptre de telle sorte que sa face plane soit en regard avec la source et que le rayon incident passe par le centre de la face plane du dioptre comme le montre la figure ci-dessous.



3. Tracer la normale au point d'intersection du rayon incident avec la face plane du dioptre.
4. Faire pivoter le dioptre et observer la réflexion et la réfraction que subit le rayon incident sur la face plane du dioptre.
5. Repérer les angles d'incidence « i_1 », de réflexion « i_1' » et de réfraction « i_2 ».
6. Vérifier qu'il n'y a pas de réfraction si la lumière incidente vient perpendiculairement au dioptre
7. Vérifier l'absence d'une deuxième réfraction à la sortie du dioptre quelque soit l'angle d'incidence $i_1 \neq 0$. Justifier la réponse.
8. Vérifier que l'angle de réfraction est plus petit que l'angle d'incidence : le rayon réfracté se rapproche de la normale.
9. Vérifier que la réfraction est d'autant plus prononcée que l'angle d'incidence est plus grand.
10. Mesurer l'angle de réfraction « i_2 » pour différents angles d'incidence « i_1 » et compléter le tableau des relevés ci-dessous :

i_1 (°)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85
i_2 (°)										
$\sin i_1$										
$\sin i_2$										
$\frac{\sin i_1}{\sin i_2}$										

11. Tracer la courbe représentant le sinus de l'angle d'incidence en fonction du sinus de l'angle de réfraction.



12. Vérifier qu'il n'y a pas de proportionnalité entre i_1 et i_2 , mais entre $\sin i_1$ et $\sin i_2$.

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = cte = \dots\dots\dots$$

Cette constante est appelée *indice de réfraction relatif* du plexiglas par rapport à l'air. Elle dépend des caractéristiques du plexiglas et de l'air.

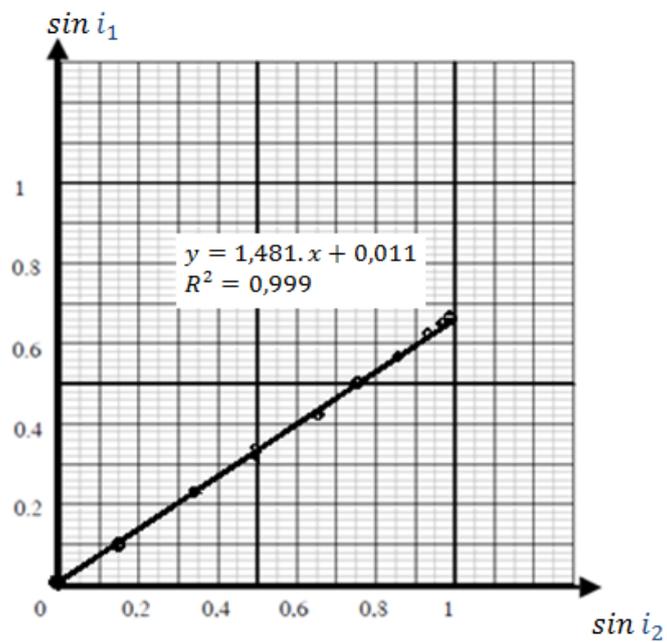
En déduire sa valeur et la comparer à la valeur théorique.

Réponse :

Tableau des relevés :

i_1 (°)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85
i_2 (°)	0	6	13	19	25	30	35	40	41	41,5
$\sin i_1$	0	0,105	0,225	0,326	0,423	0,5	0,574	0,643	0,656	0,663
$\sin i_2$	0	0,174	0,342	0,5	0,643	0,766	0,866	0,94	0,985	0,996
$\frac{\sin i_1}{\sin i_2}$	--	1,661	1,52	1,536	1,521	1,532	1,51	1,462	1,501	1,503

Courbe représentant $\sin i_1 = f(\sin i_2)$



Il n'y a pas de proportionnalité entre i_1 et i_2 , mais entre $\sin i_1$ et $\sin i_2$.

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = 1,481$$

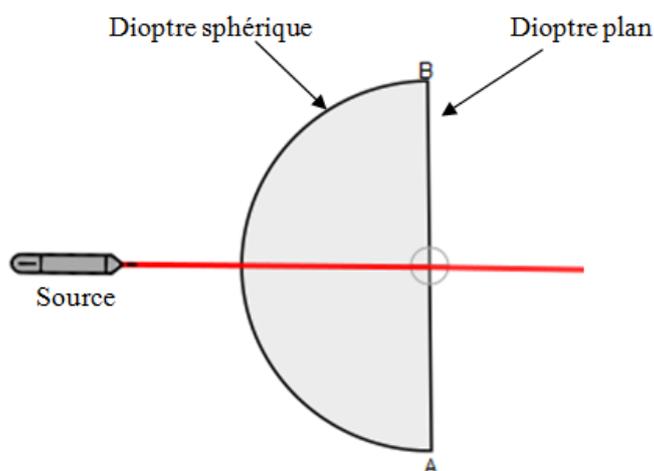
d'où l'indice de réfraction : $n = 1,481 \approx n_{\text{plexiglas}} = 1,49$

INVESTIGATION II

Rayon lumineux passant du plexiglas vers l'air - Loi du retour inverse et réflexion totale de la lumière

Travail à faire

1. Choisir un dioptre sphérique en plexiglas.
2. Placer ce dioptre de telle sorte que sa face ronde soit en regard avec la source et que le rayon incident passe par le centre de la face plane du dioptre comme le montre la figure ci-dessous.



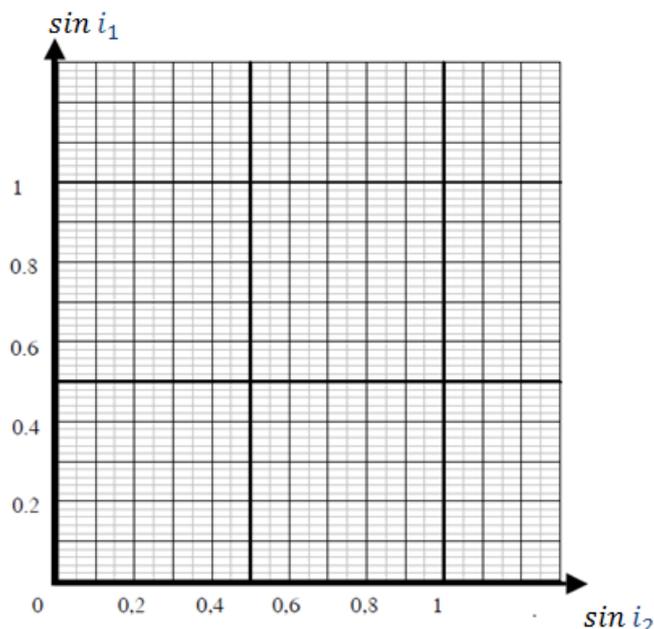
Dans cette expérience la lumière passe d'un milieu plus réfringent dans un milieu moins réfringent.

3. Tracer la normale au point d'intersection du rayon incident puis repérer les angles d'incidence « i_1 », de réflexion « i'_1 » et de réfraction « i_2 » sur la face plane du dioptre.
4. Faire pivoter le dioptre et observer la réflexion et la réfraction que subit le rayon incident à l'entrée et à la sortie du dioptre.
5. Vérifier et justifier l'absence de réfraction sur la face ronde du dioptre quelque soit l'angle d'incidence « i_1 ».
6. Choisir comme valeurs de l'angle d'incidence « i_1 » successivement les valeurs de l'angle de réfraction « i_2 » de l'expérience précédente (*Investigation I*).

Compléter le tableau des relevés ci-dessous :

i_1 (°)										
i_2 (°)										
$\sin i_1$										
$\sin i_2$										
$\frac{\sin i_1}{\sin i_2}$										

7. Tracer la courbe représentant le sinus de l'angle d'incidence en fonction du sinus de l'angle de réfraction.



8. Comparer les angles de réfraction avec les angles d'incidence respectifs de l'expérience précédente et en déduire que d'une manière générale, entre deux points A₁ et A₂ de milieux quelconques, le trajet du rayon lumineux est indépendant du sens du parcours de la lumière : C'est le principe du retour inverse de la lumière.

9. Réflexion interne totale :

Vérifier qu'au delà d'une valeur de l'angle d'incidence (*angle d'incidence limite*), la lumière ne sort plus de dioptre.

Donner la valeur maximale de l'angle d'incidence correspondant à la limite de la réfraction :

$$i_{1max} = \dots\dots\dots (^\circ)$$

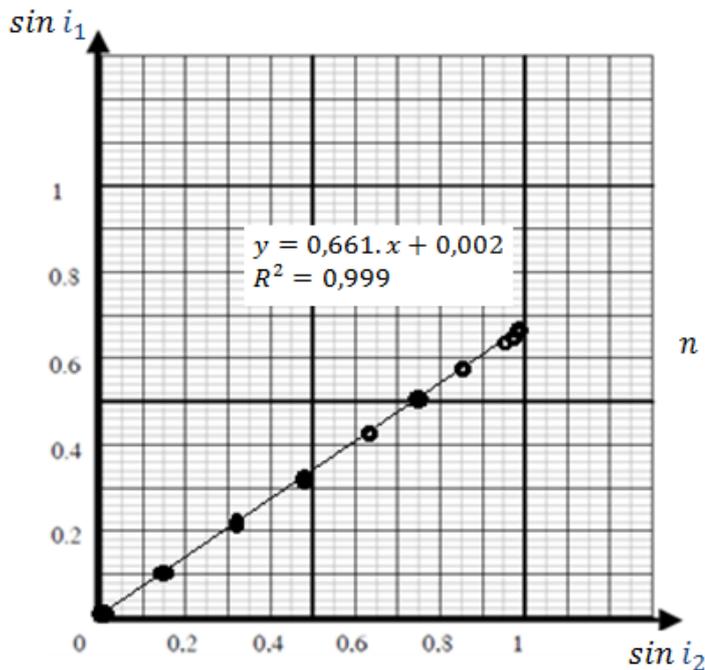
Si $i_1 = i_{1max}$, alors $i_2 = 90^\circ$; si $i_1 > i_{1max}$, alors la lumière ne peut plus passer dans le second milieu: elle est totalement réfléchiée par la face plane : Le dioptre agit alors comme un miroir parfait.

Réponses :

Tableau des relevés:

$i_1 (^\circ)$	0	6	13	19	25	30	35	40	41	41,5
$i_2 (^\circ)$	0	9	19	29	40	49	60	75	81	85,5
$\sin i_1$	0	0,105	0,225	0,326	0,423	0,500	0,574	0,643	0,656	0,663
$\sin i_2$	0	0,156	0,326	0,485	0,643	0,755	0,866	0,966	0,988	0,997
$\frac{\sin i_1}{\sin i_2}$	--	0,668	0,691	0,672	0,657	0,663	0,662	0,665	0,664	0,665

Courbe représentant $\sin i_1 = f(\sin i_2)$:



$$n = \frac{1}{0,661} = 1,512 \approx n_{\text{plexiglas}} = 1,49$$

Loi du retour inverse de la lumière :

Dans cette deuxième manipulation, les angles de réfraction sont quasiment identiques aux angles d'incidence de l'expérience précédente, on en déduit que le trajet du rayon lumineux est indépendant du sens du parcours de la lumière : C'est le principe du retour inverse de la lumière.

Réflexion totale :

Au delà d'une valeur de l'angle d'incidence (*angle d'incidence limite*), la lumière ne sort plus de dioptre. La valeur maximale de l'angle d'incidence correspondant à la limite de la réfraction est:

$$i_{1\max} = 42^\circ$$

INVESTIGATION III

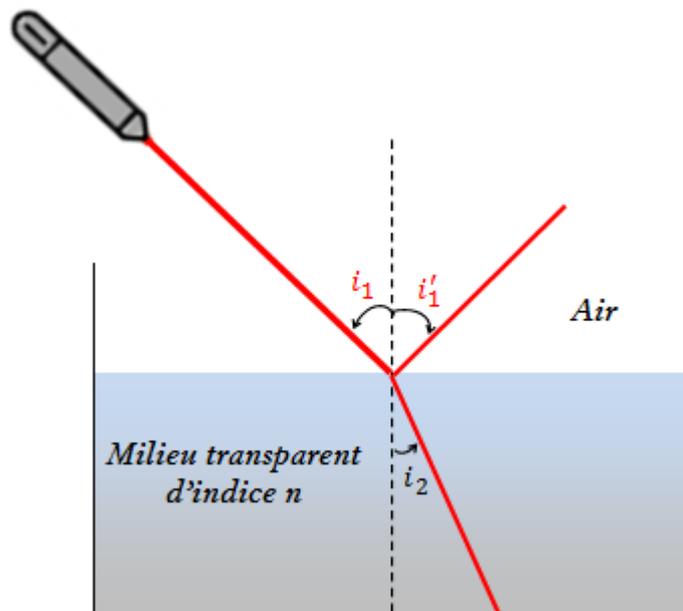
Mesure de l'indice de réfraction d'un milieu transparent

Objectif

Mesurer, en utilisant la loi de Descartes sur la réfraction, l'indice de réfraction de divers milieux transparents placés dans l'air et comparer les résultats de mesure aux valeurs théoriques préalablement fixées.

Travail à faire

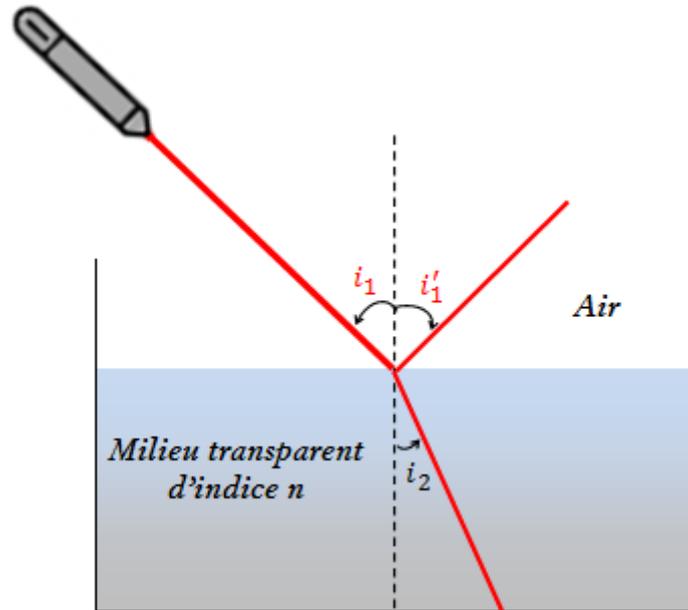
1. Parmi la liste des matériaux proposés (eau, plexiglas, verre, diamant), choisir un type de matériau donné, ou choisir le type « personnalisé » en précisant la valeur théorique de son indice de réfraction.
2. Placer ce matériau (forme dioptre) devant la source comme le montre la figure ci-dessous.



3. Rappeler l'expression littérale de l'indice de réfraction du milieu transparent en fonction de n_{air} , $\sin i_1$ et $\sin i_2$.
4. Sachant que l'indice de réfraction de l'air est environ égal à 1, mesurer l'angle d'incidence et de réfraction du faisceau lumineux et en déduire la valeur de l'indice de réfraction du milieu n_{milieu} .
5. Comparer la valeur obtenue à celle préalablement réglé et évaluer les erreurs et la précision de la mesure.

Réponse :

Parmi la liste des matériaux proposés dans la plate forme, on choisit par exemple : l'eau, le plexiglas puis le verre. On place successivement l'un de ces matériaux devant la source et on mesure son indice de réfraction noté : n_{milieu}



L'expression littérale de l'indice de réfraction du milieu transparent

$$n_{milieu} = \frac{\sin i_1}{\sin i_2} \cdot n_{air}$$

. Tableau des mesures

Matériau	eau	plexiglas	verre
	$n = 1,33$	$n = 1,49$	$n = 1,5$
i_1 (°)	80	70	60
i_2 (°)	48	38,5	35,5
$\sin i_1$	0,985	0,940	0,866
$\sin i_2$	0,743	0,623	0,581
$n_{milieu} = \frac{\sin i_1}{\sin i_2} \cdot n_{air}$	1,325	1,510	1,491
$\frac{\Delta n}{n}$ (%)	0,36 %	1,31 %	0,58 %

III.8.

TP08 : Prisme

(Fiche de scénarisation)

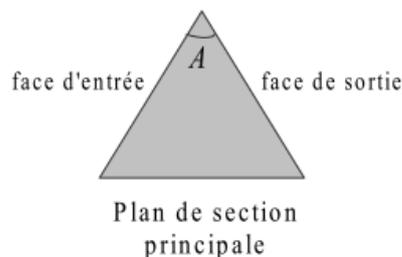
1. Objets graphiques nécessaires à la simulation

- ✓ Un milieu transparent qui représente le vide (ou l'air) d'indice 1 (Cadran au milieu de l'écran)
- ✓ Une source (S) de lumière, avec λ variable : bleu, vert, jaune et rouge (Laser, par exemple) + source de lumière blanche.
- ✓ On peut choisir le type de source de lumière (monochromatique, blanche ou spectrale) avec des « boutons » à gauche, en bas de l'écran
- ✓ Un disque gradué en degrés d'angle, en guise de rapporteur
- ✓ Un prisme (P) d'angle A (un triangle, à deux dimensions) et qui peut pivoter autour d'un point (point d'incidence qui sera précisé plus bas)
- ✓ Deux droites (en pointillées) en guise de « Normales » N_1 et N_2
- ✓ Deux droites en pointillées en guise de prolongement des rayons incident et émergent respectivement
- ✓ Un écran (E) pouvant recevoir le ou les rayons émergents du prisme

Disposition des objets

Conventionnellement : ces objets auront la disposition suivante : le prisme (supposé en verre, est placé au centre de l'espace dédié à la manipulation sur le disque gradué en degrés d'angle. La source de lumière est placée à gauche du prisme et l'écran à sa droite.

Caractéristiques optiques et géométriques du prisme : indice de réfraction $n = 1,5$ (mais aussi variable) et d'angle : $A = 60^\circ$ (mais aussi variable).



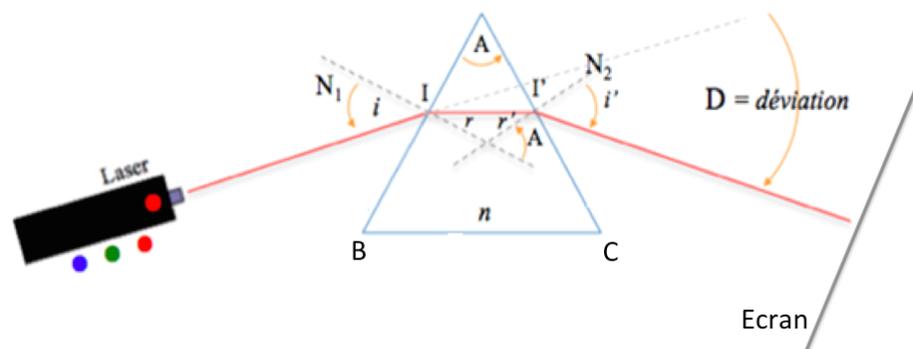
- ✓ La source laser est dotée d'un « bouton poussoir » sur lequel on clique pour l'allumer ou l'éteindre.
- ✓ Le prisme est ramené et est posé sur le point I au centre du disque gradué.
- ✓ La source est placée à gauche du prisme de telle sorte que le rayon lumineux qui en sort (un segment de droite) est confondu avec la graduation zéro du disque.
- ✓ Le rayon lumineux tombe en un point « I » au dessus du milieu de la face d'entrée, (AB) du prisme. C'est le point d'incidence.
- ✓ L'écran (un segment de droite) est ramené, avec la souris, à droite du prisme de telle sorte à intercepter le rayon émergent, lorsqu'on en aura besoin.
- ✓ Le prisme devrait tourner (en cliquant dessus à l'aide de la souris) autour du point d'incidence « I ».
- ✓ On active les normales, N_1 , sur le point « I » et N_2 sur le point « I' » en cochant la case « normales » : celles-ci se placeront de manière automatique.
- ✓ 1^{ère} réfraction : air/verre. Le rayon est réfracté sur la face d'entrée du prisme et arrive sur la face de sortie du prisme en un point « I' ».
- ✓ La position du point « I' » est déterminée par l'angle de réfraction (r) telle que :

$$\checkmark 1 \sin(i) = n \sin(r) \text{ (voir figure 1, ci dessous)}$$

- ✓ 2^{ème} réfraction : verre/air. Le rayon II' est de nouveau réfracté sur la face de sortie du prisme.
- ✓ La direction du rayon émergent est déterminée par l'angle de réfraction (i') tel que :

$$n \sin r' = 1 \sin i' \text{ (voir figure ci-dessous)}$$

Schéma de principe :



2. Scénarisation (Préparer l'enchaînement des différentes séquences pour réaliser les activités proposées et écrire un script pour rendre l'activité pratique accessible à travers l'interface sur plateforme).

INVESTIGATION I

Marche des rayons lumineux à travers le prisme – Détermination de ses quatre relations

1- Activité 1-1 :

Observation :

En optique géométrique, la lumière qui se propage dans l'espace est représentée par des lignes droites appelés *rayons*, dessinés dans la direction de propagation des ondes lumineuses. Les rayons provenant d'un laser sont essentiellement parallèles, ils divergent difficilement. Ils sont appelés rayons parallèles et la lumière est dite composée d'ondes planes.

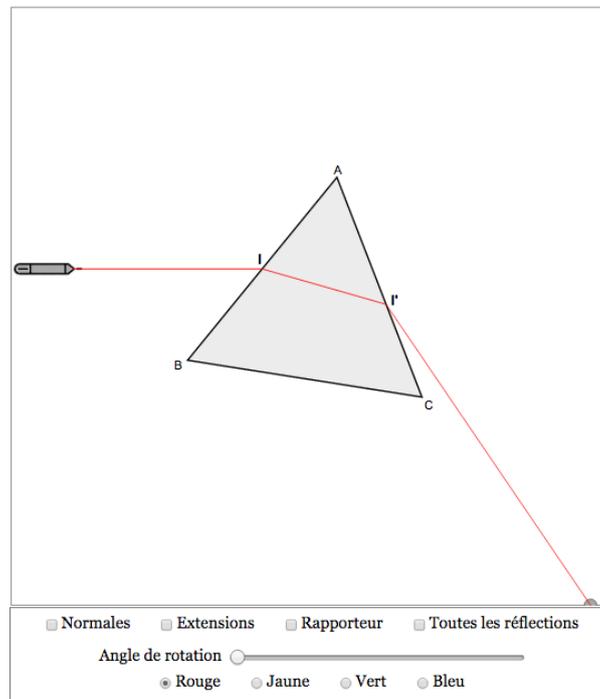
On considère un prisme d'angle $A=60^\circ$, de base BC, de faces AB et AC et d'indice $n=1,5$. Le prisme est placé dans le vide d'indice de réfraction égal à 1.

Protocole expérimental :

Cliquer sur le lien ci-dessous, choisir une normale à AB au point d'incidence I et faire varier l'angle d'incidence entre 0° et 90° en faisant tourner le prisme.

Simulation JavaScript

<http://experes.unileon.es/moodle/mod/lesson/view.php?id=643&pageid=886>



Question 1-1.a : Décrire la trajectoire du rayon lumineux à travers les faces AB et AC.

Réponse 1-1.a :

Le rayon incident se réfracte sur AB une première fois et arrive sur AC pour se réfracter une seconde fois.

Question 1-1.b : Obtenez-vous une situation où le rayon incident n'émerge à travers le prisme ? Commentez.

Réponse 1-1.b :

Oui, selon l'incidence choisie on voit apparaître une réflexion totale interne sur AC

2- Activité 1-2 :

Manipulation :

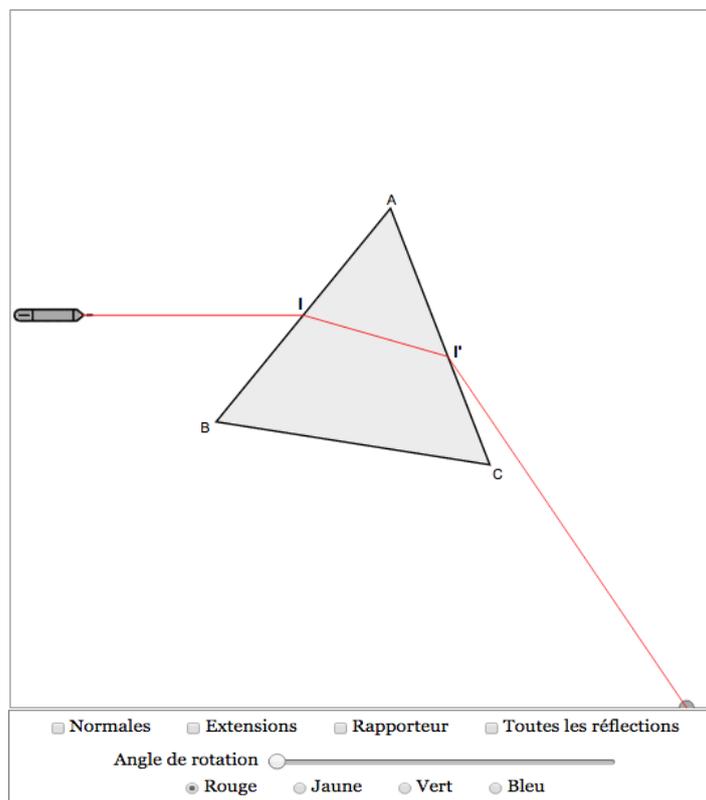
1^{ère} Relation du prisme.

Protocol expérimental :

Le prisme et le laser étant disposés comme précédemment (**Activité 1.1**). Choisir un angle d'incidence i et déterminer l'angle de réfraction r sur la face AB. On rappellera que l'angle d'incidence i est celui qui se trouve entre la normale et le rayon incident au point d'incidence. L'angle A étant toujours égale à 60° et $n = 1,5$.

Simulation JavaScript

<http://experes.unileon.es/moodle/mod/lesson/view.php?id=643&pageid=886>



Question 1-2.a : Faire varier i et remplir le tableau ci-dessous en mesurant l'angle r de réfraction sur la face AB.

Tableau 1 :

i (degré)	30	40	50	60	70	80
r (degré)						
$\sin i$						
$n \sin r$						

Solution :

i (degré)	30	40	50	60	70	80
r (degré)	19,5	25	30	34	38	41
$\sin i$	0,50	0,64	0,76	0,86	0,93	0,98
$n \sin r$	0,50	0,637	0,75	0,84	0,924	0,98

Question 1-2.b : Vérifier à l'aide de la loi de Snell-Descartes et une calculatrice les valeurs mesurées par le rapporteur sur le tableau ci-dessus. Qu'en pensez-vous ? Observez-vous des écarts dans les résultats ? Si oui, expliquez.

Réponse 1-2.b :

Ce sont des valeurs proches et ces petites différences peuvent être expliquées par le fait que nous utilisons un rapporteur et les mesures directes sur écran peuvent générer des petites différences.

Question 1-2.c : Ecrire la loi de Descartes sous sa forme littéraire en fonction des angles i et r et l'indice n du prisme. On appellera cette relation la première équation du prisme.

1^{ère} Relation du prisme

Réponse 1-2.c :

$$\sin i = n \sin r$$

3- Activité 1-3 :Manipulation :2^{ème} Relation du prisme

A sa sortie de la face AB du prisme, le rayon lumineux arrive sur la face AC du prisme pour se réfracter, se réfléchir et poursuivre sa trajectoire. Considérer le cas où le rayon lumineux se réfracte sur AC.

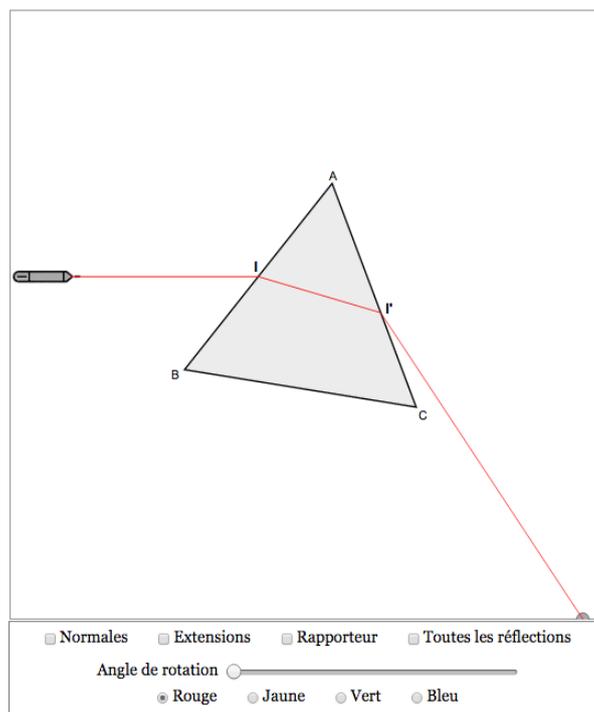
Protocole expérimental :

Le prisme et le laser étant disposés comme précédemment (**Activité 1.1**). Choisir un angle d'incidence r' sur la face AC et déterminer l'angle de réfraction i' permettant au rayon lumineux d'émerger à la sortie du prisme.

L'angle A étant toujours égale à 60° et $n = 1,5$. On ne s'intéresse pas à la réflexion totale interne sur la face AC du prisme.

Simulation JavaScript

<http://experes.unileon.es/moodle/mod/lesson/view.php?id=643&pageid=886>



Question 1-3.a : Ecrire la loi de Descartes sous sa forme littérale en fonction des angles r' et i' et l'indice n du prisme. On appellera cette relation la deuxième relation du prisme.

2^{ème} Relation du prisme

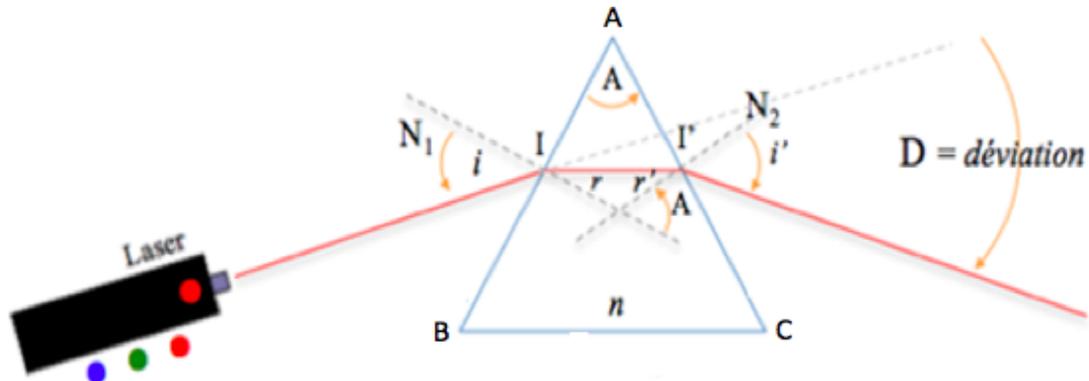
.....

Réponse 1-3.a :

$$n \sin r' = \sin i'$$

4- Activité 1-4 :Manipulation :3^{ème} Relation du prismeProtocol expérimental :

Le prisme et le laser étant disposés comme précédemment (**Activité 1.1**). Choisir un angle d'incidence i sur la face AB et choisir une situation qui vous permet d'obtenir un rayon émergent sur AC.



Question 1-4.a : A l'aide d'une simple astuce géométrique retrouver la relation qui lie l'angle A du prisme aux angles r et r' . On rappelle que la somme des angles dans un triangle est 180° .

3 ^{ème} Relation du prisme	A =
-------------------------------------	-----

Réponse 1-4.a :

$A = r + r'$

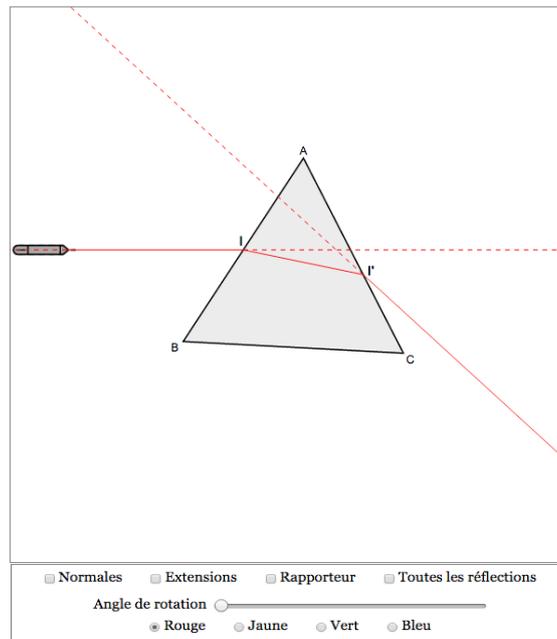
5- Activité 1-5 :Manipulation :4^{ème} Relation du prismeProtocol expérimental :

Le prisme et le laser étant disposés comme précédemment (**Activité 1.1**). Choisir un angle d'incidence i sur la face AB et choisir une situation qui vous permet d'obtenir un rayon émergent sur AC.

Dans cette partie on souhaite déterminer la déviation D. Cette déviation est la somme des deux déviations D_1 et D_2 sur la face AB et sur la face BC respectivement.

Simulation JavaScript

<http://experes.unileon.es/moodle/mod/lesson/view.php?id=643&pageid=886>



Question 1-5.a : Calculer la déviation D_1 et D_2 à travers AB et AC respectivement. En déduire la déviation D totale à travers le prisme.

4 ^{ème} Relation du prisme	$D = ?$
-------------------------------------	---------

Réponse 1-5.a :

$D = i + i' - A$

INVESTIGATION II

Détermination de l'angle de déviation minimum (D_m)

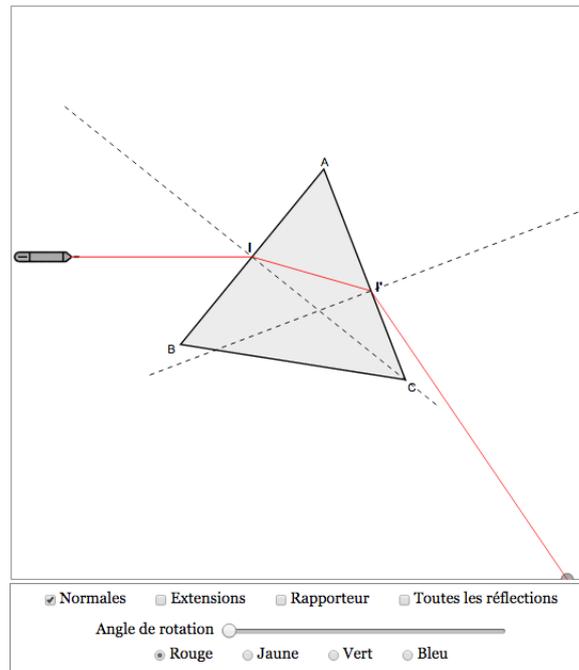
I- Détermination de l'angle de déviation minimale (D_m)

Dans cette partie on réalise « une simulation » de l'expérience mettant en évidence le minimum de déviation d'un rayon lumineux.

Cliquer sur le lien ci-dessous pour observer la simulation dédiée à cette investigation:

Simulation JavaScript

<http://experes.unileon.es/moodle/mod/lesson/view.php?id=643&pageid=892>



1- Activité 2.1 : Observation

- ✓ Dans cette partie on utilise une source monochromatique
- ✓ Le rayon laser étant sur la graduation zéro du disque, orienter (avec la souris) le prisme de manière à ce que le rayon issu de la source de lumière (Laser) arrive sur la face d'entrée du prisme au point « I » sous une grande incidence ($\approx 85^\circ$).
- ✓ Le rayon émergent tombe sur l'écran E ; l'impact du rayon émergent sur l'écran devrait être matérialisé par un point « visible » (une petite tache lumineuse).
- ✓ On fait tourner (avec la souris) le prisme dans le sens à diminuer l'angle d'incidence et on suit le point d'impact (tache lumineuse) du rayon émergent sur l'écran:

Lorsque l'on suit ce point (le bout du rayon), on devrait constater, en tournant toujours le prisme dans le même sens, que le rayon dévié se déplace dans un sens puis **s'arrête** avant de repartir dans l'autre sens. Cet **arrêt** correspond au minimum de déviation (figure 1).

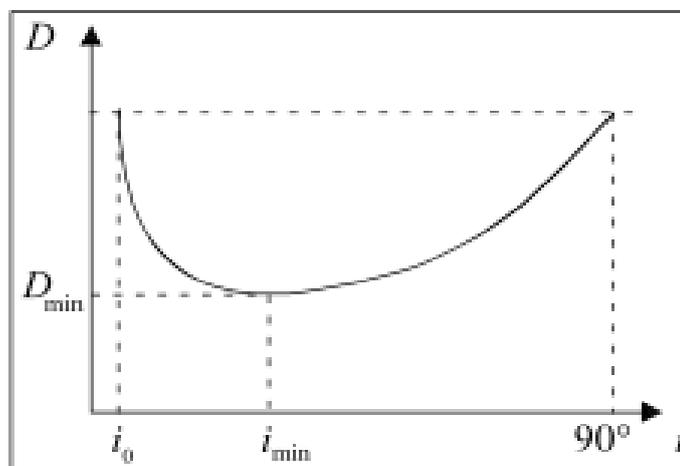


figure 1

Question 2-1.a : Le prisme et le laser étant disposés comme précédemment (**Activité 1**). Choisir un grand angle d'incidence ($i \approx 85^\circ$). Faites tourner (avec la souris) le prisme dans le

sens à diminuer l'angle d'incidence et suivre le point d'impact ? Que constate t-on ?

Réponse 2-1.a :

Lorsqu'on suit ce point, on constate, en tournant toujours le prisme dans le même sens, que le rayon dévié se déplace dans un sens puis **s'arrête** avant de repartir dans l'autre sens. Cet **arrêt** correspond au minimum de déviation.

Question 2-1.b : A quoi correspond la position où le point d'impact sur l'écran change de sens ?

Réponse 2-1.b :

La position où le point d'impact sur l'écran change de sens correspond au minimum de déviation.

2- Activité 2.2 : Mesure de D_m

On reprend les mêmes opérations qu'en activité 2.1, mais cette fois dans le but de faire des mesures quantitatives des angles :

- ✓ Orienter le prisme de manière à ce que le rayon Laser incident arrive sur la face d'entrée du prisme au point « I » sous une incidence de 85° .
- ✓ En appuyant sur "extension", en bas de la simulation, le prolongement des droites s'affichent automatiquement
- ✓ Ces droites se coupent et définissent donc un angle « D »
- ✓ On fait tourner (avec la souris) le prisme dans le sens à diminuer l'angle d'incidence et on relève les valeurs des angles d'incidence. Grâce au disque gradué, l'angle d'incidence est facilement repérable.
- ✓ A l'aide du rapporteur et on mesure l'angle « D »
- ✓ On répète cette opération pour les valeurs du tableau ci-dessous de l'angle d'incidence.
- ✓ On remplit un tableau (Excel par exemple) préalablement préparé par la simulation, comme suit :

Tableau :

<i>i</i> ($^\circ$) <i>Nominal</i>	80	70	60	55	50	45	40
<i>i'</i> ($^\circ$) <i>relevé</i>							
<i>D</i> ($^\circ$) <i>relevé</i>							

Solution :

<i>i</i> ($^\circ$) <i>Nominal</i>	80	70	60	55	50	45	40
<i>i'</i> ($^\circ$) <i>relevé</i>	39,9	43,5	49,5	54	60	66,5	78
<i>D</i> ($^\circ$) <i>relevé</i>	60	54	50	50	50	52	58

Un programme informatique (sous jacent), exploitera ce tableau des mesures et permettra de « ploter » automatiquement, les points (i, D) sur un diagramme, la variation de « D » en fonction de « i ».

- ✓ On doit donc prévoir une instruction pour demander le graphe de $D = f(i)$;
(Point par point)

- ✓ A l'aide de la fonction *régression linéaire*, par exemple, le programme informatique tracera la courbe « ajustée » de $D = f(i)$ et déterminera les coordonnées de la position du minimum (dérivée nulle) de la courbe, (i_m, D_m) .
- ✓ On doit donc prévoir une instruction pour demander le graphe de $D = f(i)$; (courbe lissée ou ajustée).
- ✓ Les valeurs de (i_m, D_m) , coordonnées du minimum sont affichés sur une fenêtre insérée dans le diagramme.
- ✓ Au minimum de déviation, on devrait constater que l'angle d'incidence i ($^\circ$) est égale à l'angle d'émergence i' ($^\circ$).

Question 2-2.a : Comment varie la déviation D lorsque i varie entre 80° et 30° ?

Réponse 2-2.a :

Lorsque i varie entre 80° et 30° , la déviation D décroît passe par un minimum puis croît de nouveau.

Question 2-2.b : Comparer les valeurs des angles d'incidence i et d'émergence i' , au minimum de déviation.

Réponse 2-2.b :

On constate, qu'au minimum de déviation, l'angle d'incidence i est égale à l'angle d'émergence i' aux erreurs de mesures près. ($i=i' \approx 54 \pm 0,5^\circ$).

INVESTIGATION III

La dispersion de la lumière par un prisme

Introduction à la dispersion de la lumière

Le prisme est l'élément qui est à la base de la spectroscopie optique par réfraction. Le prisme est éclairé par une lumière parallèle. Chaque rayon lumineux qui tombe sur le prisme est (éventuellement) réfracté deux fois. La déviation subie par le rayon émergent dépend de l'indice de réfraction, fonction lui-même de la longueur d'onde de la lumière incidente, c'est le phénomène de dispersion de la lumière.

L'indice de réfraction est modélisé par la formule (ou loi) de Cauchy :

$$n = \alpha + \frac{\beta}{\lambda^2} \quad (1)$$

où α et β sont des coefficients positifs caractéristiques de chaque milieu transparent. Ce phénomène (dispersion de la lumière) est utilisé en spectroscopie pour analyser la composition spectrale d'une lumière émise par une source.

1- Activité 3.1 : Calcul de la valeur de l'indice du prisme

Connaissant la valeur de l'angle A du prisme et celle de D_m on peut évaluer la valeur de l'indice « n » du verre du prisme, pour deux lumières monochromatiques choisies, à partir de la relation :

$$n(\lambda) = \frac{\sin\left(\frac{D_{min}+A}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}. \quad (2)$$

Pour un prisme en flint (verre optique) d'angle $A = 60^\circ$, On mesure expérimentalement le minimum de déviation du prisme pour 2 rayons monochromatiques et on trouve les résultats suivants :

Longueur d'onde	Angle D_m
$\lambda_1 = 768 \text{ nm}$	$D_m = 47^\circ 24'$
$\lambda_2 = 434 \text{ nm}$	$D_m = 50^\circ 46'$

Question 3-1.a. Calculer la valeur de l'indice « n » du verre du prisme, pour les deux lumières monochromatiques choisies. Que constate-on ?

$$n_1 = n(\lambda_1) = \dots$$

$$n_2 = n(\lambda_2) = \dots$$

Réponse 3-1.a :

$$n_1 = \frac{\sin\left(\frac{47,24+60}{2}\right)}{\sin 30} = 1,6102 \quad , \quad n_2 = \frac{\sin\left(\frac{50,46+60}{2}\right)}{\sin 30} = 1,6429$$

On constate que la valeur de l'indice « n » du verre du prisme, dépend de la valeur de la longueur d'onde de la lumière utilisée.

Question 3-1.b. Comment déterminer les valeurs des coefficients α et β , à partir des résultats expérimentaux de $n(\lambda)$.

Réponse 3-1.b :

D'après la loi de Cauchy : $n = \alpha + \frac{\beta}{\lambda^2}$

$$n_1 = \alpha + \frac{\beta}{\lambda_1^2} = 1,6102 \quad , \quad n_2 = \alpha + \frac{\beta}{\lambda_2^2} = 1,6424$$

Ce qui permet de calculer les valeurs: $\beta = 8910,6 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$ et $\alpha = 1,595$

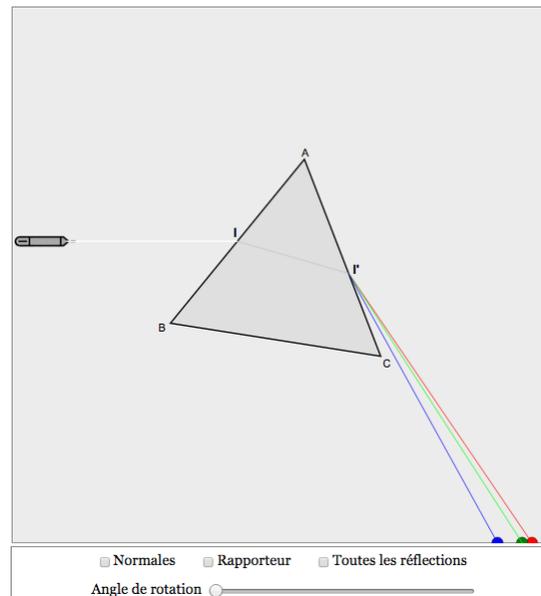
2- Activité 3.2 : Observation de la dispersion de la lumière

- ✓ La source de lumière, dans cette partie, est supposée envoyer un faisceau de lumière assez large qui traverse une fente d'épaisseur faible.
- ✓ On peut choisir le type de source de lumière (blanche)
- ✓ On Choisit un prisme avec un angle $A = 60^\circ$.
- ✓ Choisir la source de lumière blanche et observer le spectre de lumière obtenue qui doit être un spectre continue du rouge jusqu'au violet (voir tableau 2) et image 2, ci-dessous.
- ✓ Choisir la source de lumière : lampe spectrale, et observer le spectre de lumière obtenue qui doit être un spectre de raies

Cliquer sur le lien ci-dessous pour observer la simulation dédiée à cette investigation :

Simulation JavaScript

<http://experes.unileon.es/moodle/mod/lesson/view.php?id=643&pageid=893>



Question 3-2.a. Décrire l'aspect de la lumière, observée, à la sortie du prisme lorsque on utilise une lumière blanche.

Réponse 3-2.a :

La lumière, observée, à la sortie du prisme est décomposée en plusieurs couleurs qui s'étalent entre le violet et le rouge constituant un spectre continu (dans le cas réel).

Question 3-2.b. Pourquoi la lumière violette ($\lambda = 400 \text{ nm}$) est plus déviée que la lumière rouge ($\lambda = 750 \text{ nm}$) ? Justifier votre réponse.

Réponse 3-2.b :

La déviation augmente quand l'indice de réfraction augmente. L'indice de réfraction diminue quand la longueur d'onde augmente, alors la lumière rouge ($\lambda = 750 \text{ nm}$) est donc moins déviée que la lumière violette ($\lambda = 400 \text{ nm}$).

Question 3-2.c. Décrire l'aspect de la lumière, observée, à la sortie du prisme lorsque on utilise une lumière issue de lampe spectrale de Cadmium.

Réponse 3-2.c :

On observe, à la sortie du prisme que la lumière est décomposée en 4 couleurs : bleu, bleu ciel, vert et rouge constituant un spectre discret.

Question 3-2.d. Faites varier l'angle A du prisme et décrire comment varie la déviation D.

Réponse 3-2.d :

On constate que lorsque l'angle du prisme croît, la déviation change aussi.

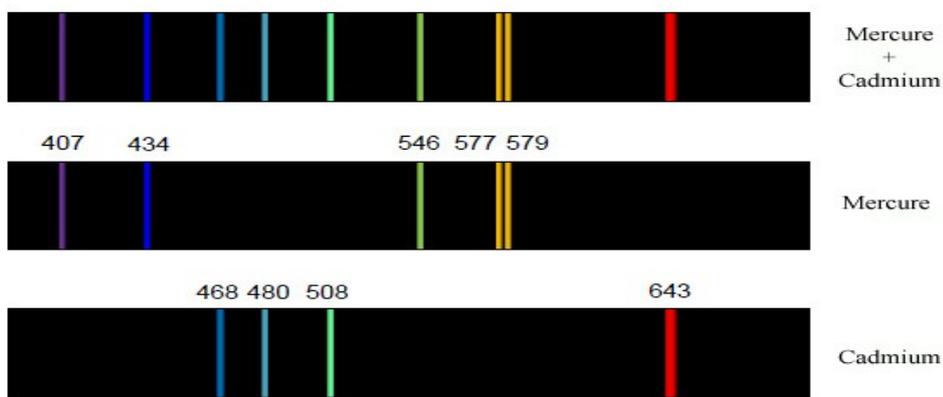
Données didactiques utiles pour le programmeur**Tableau**

<u>Longueur d'onde (nm)</u>	<u>Champ chromatique</u>	<u>Couleur</u>
380 — 449	<u>Violet</u>	445
449 — 466	Violet-bleu	455
466 — 478	Bleu-violet	470
478 — 483	<u>Bleu</u>	480
483 — 490	Bleu-vert	485
490 — 510	Vert-bleu	500
510 — 541	<u>Vert</u>	525
541 — 573	Vert-jaune	555
573 — 575	Jaune-vert	574
575 — 579	<u>Jaune</u>	577
579 — 584	Jaune-orangé	582
584 — 588	Orangé-jaune	586
588 — 593	<u>Orangé</u>	590
593 — 605	Orangé-rouge	600
605 — 622	Rouge-orangé	615
622 — 750	<u>Rouge</u>	650

Image 1
Spectre continu de la lumière visible



Image 2
Spectre de raies de trois lampes, Cadmium, Mercure et mélange des deux vapeurs



III.9.

TP9 : Focométrie (Fiche de scénarisation)

Équipements principaux nécessaires pour la manipulation

Sur la plateforme, il doit y avoir une fenêtre, avec un menu qui permet de naviguer entre les ressources citées ci-avant avec chronologie obligatoire, sur laquelle on trouve les éléments suivants pour la partie simulation:

- ✓ un banc optique de 2m et quatre supports « cavalier »
- ✓ une lanterne d'éclairage en lumière blanche ou monochromatique ça dépend du choix de l'utilisateur (alimentation 12V)
- ✓ un objet « trou circulaire » : diaphragme de diamètre réglable
- ✓ un objet « étalon » que l'étudiant peut choisir.
- ✓ une lentille convergente f' environ 100 à 200 mm de focale et son support
- ✓ un porte-lentille
- ✓ un écran plexi quadrillé

L'étudiant va s'amuser à placer, et de se familiariser avec tout le matériel de la manipulation. Si l'étudiant ne respecte pas l'ordre du matériel ou le sens conventionnel de propagation de la lumière, etc... ; un message d'erreur peut s'afficher pour corriger ou orienter l'étudiant.

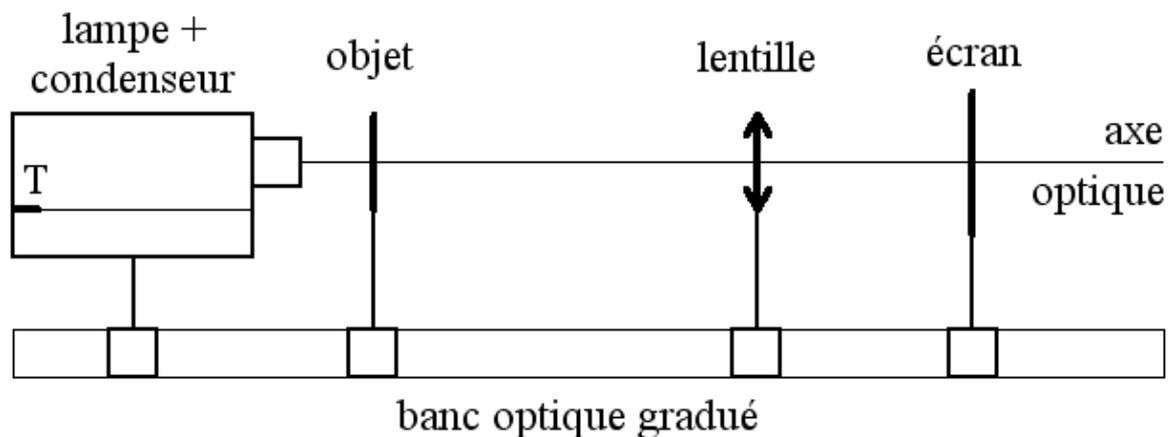


Figure 1 : Matériels utilisés en focométrie

INVESTIGATIONS

1. Activité 1 : Observation critique

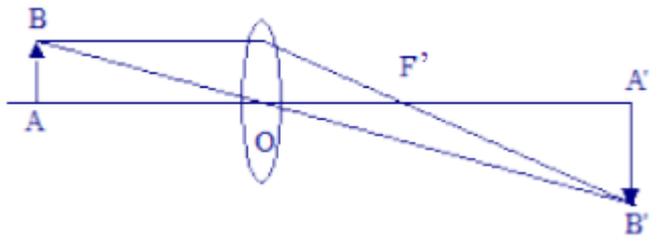
- ✓ Visualiser le faisceau lumineux.
- ✓ Commencer par obtenir un « objet à l'infini » et visualiser le rôle du plan focal image contenant F'
- ✓ Rechercher les cas où l'objet est « réel » (en avant de la lentille), faire le lien avec la relation de conjugaison.
- ✓ Recommencer la recherche des trois cas avec un objet fixe mais en changeant la longueur focale (en la gardant cependant positive car la lentille est convergente).

2. Activité 2 : Vérification de la relation de conjugaison d'une lentille convergente

Faire varier la position de l'objet et chercher l'image correspondant et pour chaque mesure on doit la valider pour qu'elle s'enregistre automatiquement dans la partie résultats. À la fin on compare la différence des rapports $1/\overline{OA'}$ et $1/\overline{OA}$ pour les différentes mesures par rapport à $1/f'$ où f' est la distance focale de la lentille.

test	\overline{OA}	$\overline{OA'}$	$1/\overline{OA'}$	$1/\overline{OA}$	$1/\overline{OA'} - 1/\overline{OA}$
1					
2 ...					

Exemple de réponse : On donne $f'=20$ mm



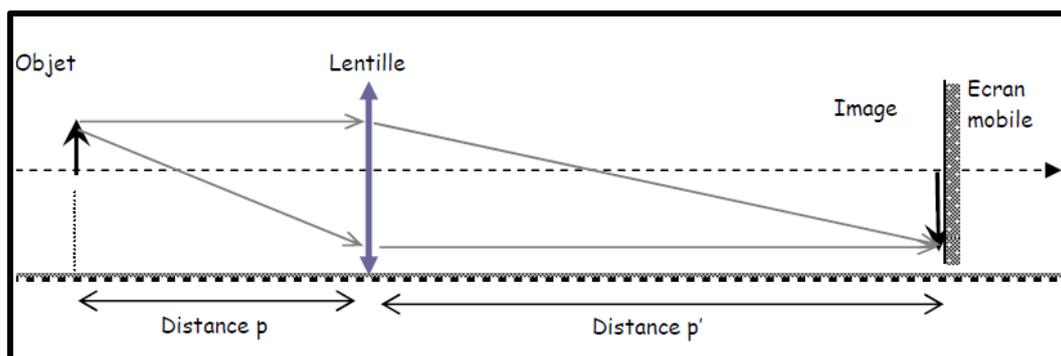
La relation à vérifier est : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$

test	\overline{OA}	$\overline{OA'}$	$1/\overline{OA'}$	$1/\overline{OA}$	$1/\overline{OA'} - 1/\overline{OA}$	$1/f'$	f'
1	-2,7 cm	7,7 cm	0,129	-0,370	0,499	0,499	2,004 cm
2	-2,5 cm	10 cm	0,1	-0,4	0,5	0,5	2 cm
3	-2,3 cm	15,3 cm	0,065	-0,434	0,499	0,499	2,004 cm

La distance focale moyenne est donc $f'_{\text{moyenne}} = 2,002$ cm soit 20,02 mm

3. Activité 3 : détermination de la distance focale d'une lentille convergente

a- Méthode de points conjugués



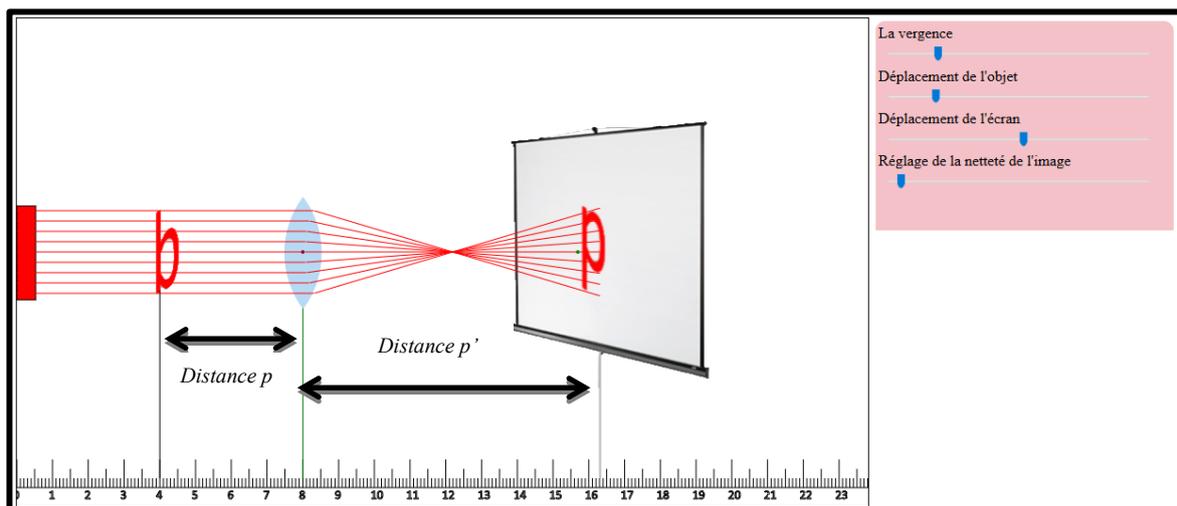


Figure 2 : Simulation de la méthode des points conjugués

On peut faire varier:

- la distance focale de la lentille,
- la position de l'objet, il est possible de l'envoyer à l'infini
- la position de l'écran.

Les valeurs des positions et du grandissement peuvent être affichées

Protocole :

- ✓ Faire varier la position de l'objet et pour chaque mesure on doit la valider pour qu'elle s'enregistre automatiquement dans la partie résultats.

test	$p = \overline{OA}$	$p' = \overline{OA'}$	$1/\overline{OA'}$	$1/\overline{OA}$	$1/\overline{OA'} - 1/\overline{OA}$
1					
2 ...					

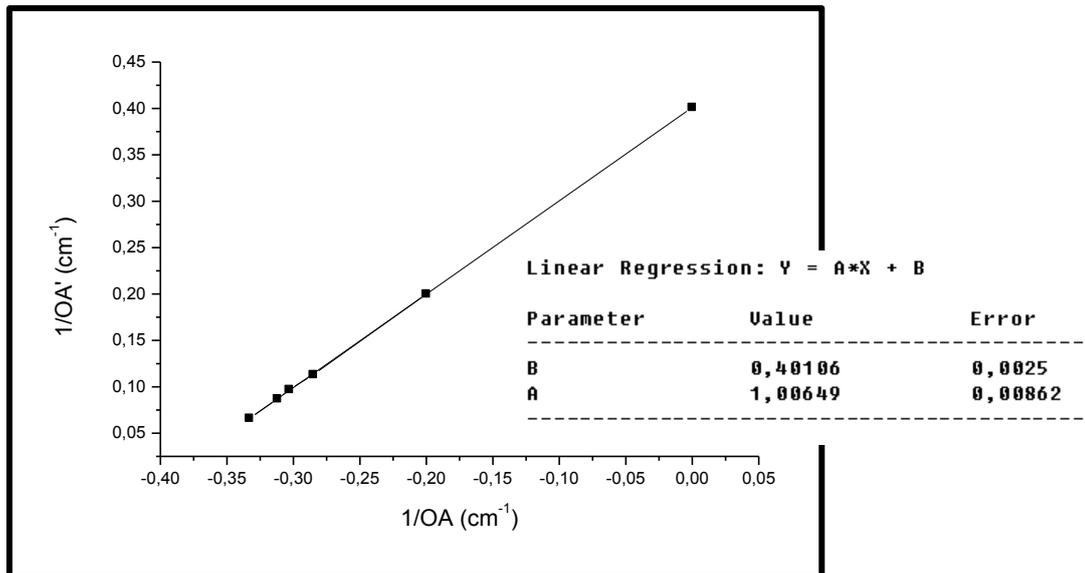
- ✓ Tracer la variation du rapport $1/\overline{OA'}$ en fonction du rapport $1/\overline{OA}$.
- ✓ Déterminer la pente de la courbe et le point d'intersection de cette courbe avec l'axe des y.
- ✓ Déterminer la distance focale.

Exemple de réponse :

test	$p = \overline{OA}$	$p' = \overline{OA'}$	$1/\overline{OA'}$	$1/\overline{OA}$
1	-5 cm	5 cm	0,2 cm ⁻¹	-0,2 cm ⁻¹
2	-3,5 cm	8,8 cm	0,113 cm ⁻¹	-0,285 cm ⁻¹
3	-3,3 cm	10,3 cm	0,097 cm ⁻¹	-0,303 cm ⁻¹
4	-3,2 cm	11,4 cm	0,087 cm ⁻¹	-0,312 cm ⁻¹
5	-3 cm	15 cm	0,066 cm ⁻¹	-0,333 cm ⁻¹

On obtient une fonction affine de coefficient directeur $A = 1$ et d'ordonnée à l'origine $B = 1/f$

La distance focale est déterminée à partir de l'ordonnée à l'origine de la courbe $1/p' = f(1/p)$:



On a donc $B=0,40106 = 1/f'$ d'où $f'=2,49$ cm

b- Méthode d'auto-collimation

Protocole :

- ✓ Réaliser l'auto-collimation sur la lentille étudiée : On accole un miroir à la lentille convergente à laquelle on veut déterminer sa distance focale de nouveau avec la méthode d'auto-collimation, et on les met devant l'écran.

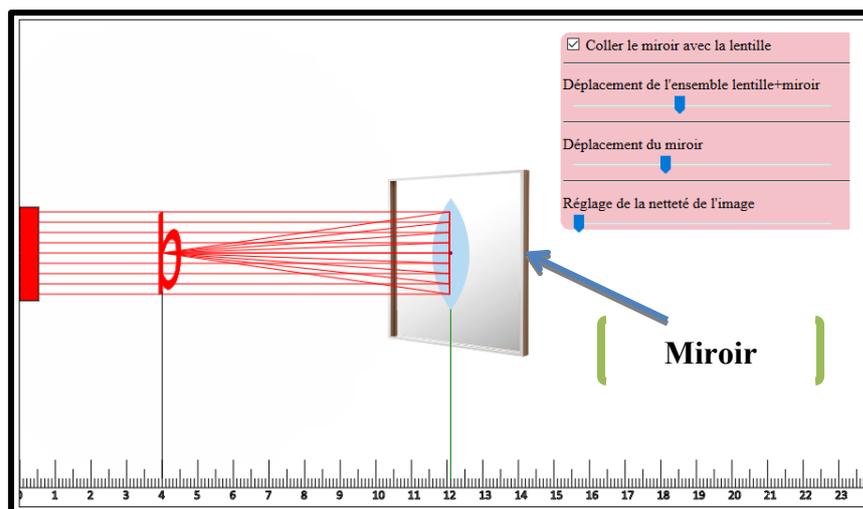
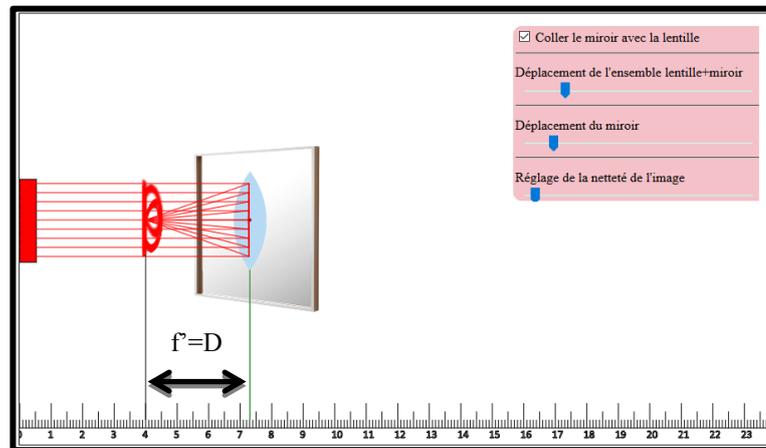


Figure 3 : Simulation de la méthode d'auto collimation

- ✓ On fait varier la position de l'ensemble lentille-miroir jusqu'à ce qu'on obtient une image nette et renversée sur l'écran (l'image est à la même position que l'objet).
- ✓ $f'=D$

Exemple de réponse



$$f' = 3,3 \text{ cm}$$

c- *Méthode de Bessel*Protocole :

- ✓ Placer l'écran assez loin de l'objet. Soit D la distance entre l'objet et l'écran (cette distance doit être supérieure à 4 fois la distance focale de la lentille).
- ✓ Placer la lentille près de l'objet
- ✓ Déplacer la lentille vers l'écran jusqu'à obtenir une image nette
- ✓ Noter la position d_1 de la lentille
- ✓ Déplacer la lentille de manière à obtenir une deuxième image nette
- ✓ Noter la deuxième position d_2 de la lentille
- ✓ Soit d la distance entre les deux positions $d = d_2 - d_1$
- ✓ En déduire la distance focale $f' = \frac{D^2 - d^2}{4D}$

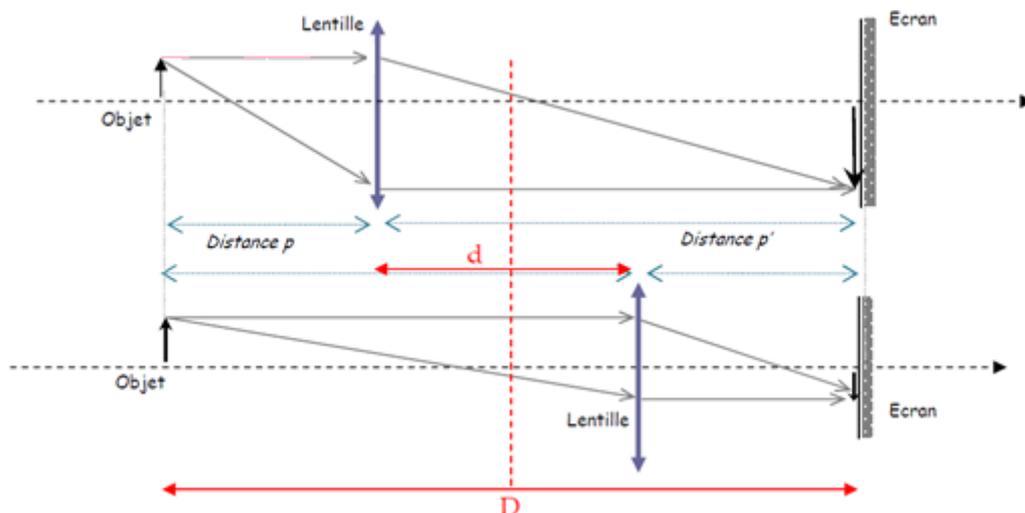
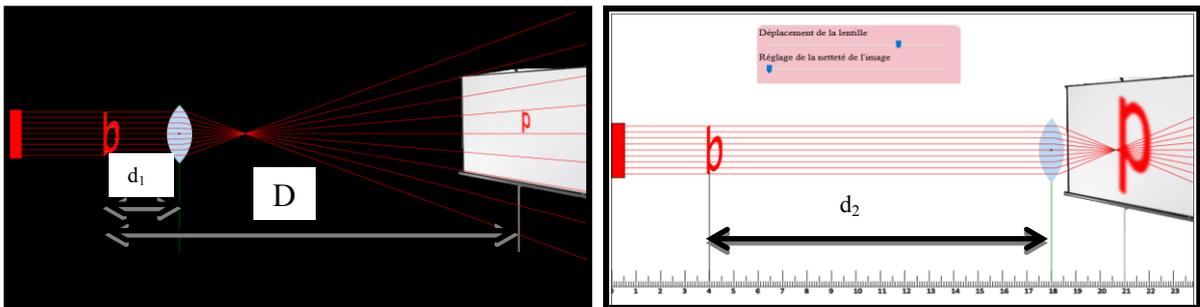


Figure 4 : Détermination de la distance focale d'une lentille par la méthode de Bessel

La fenêtre de simulation peut contenir les éléments suivants :

- ✓ un bouton qui permet d'afficher/cacher le faisceau lumineux
- ✓ un deuxième bouton qui permet de changer la distance focale de la lentille
- ✓ un troisième bouton qui permet de déplacer la lentille
- ✓ un quatrième bouton qui permet de régler la netteté de l'image
- ✓ un cinquième bouton qui permet d'afficher le mode d'emploi.

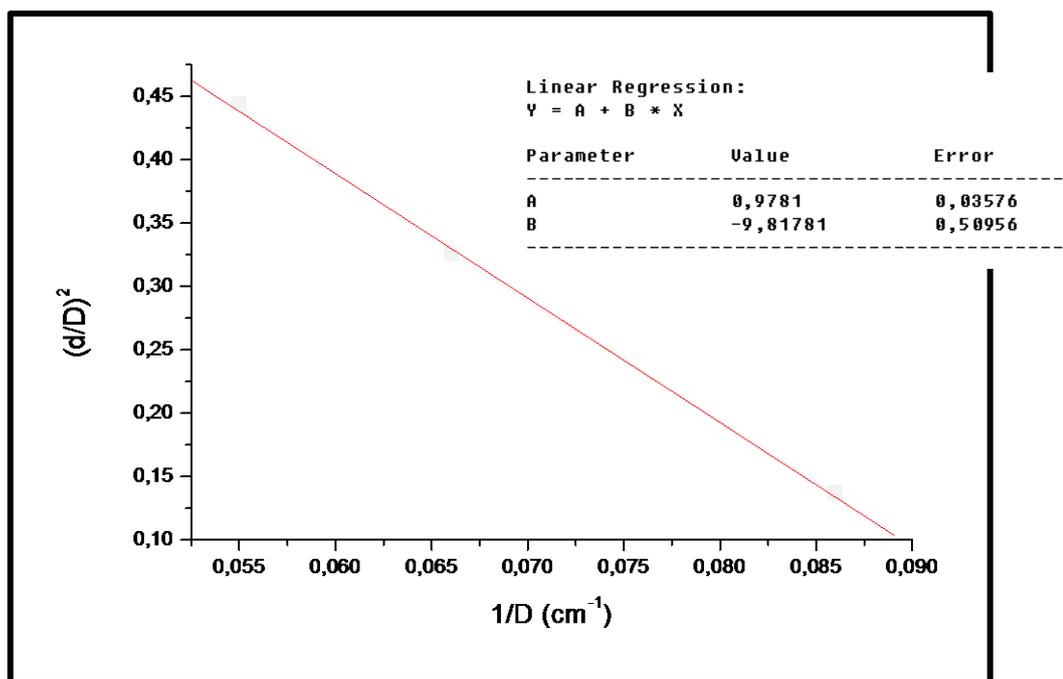
Exemple de réponse



d_1	d_2	$d = d_2 - d_1$	D	f'	$(d/D)^2$	$1/D$
3 cm	15 cm	12 cm	18 cm	2,5 cm	0,444	$0,055 \text{ cm}^{-1}$
3,2 cm	11,7 cm	8,5 cm	15 cm	2,545 cm	0,321	$0,066 \text{ cm}^{-1}$
3,6 cm	7,9 cm	4,3 cm	11,6 cm	2,501 cm	0,137	$0,086 \text{ cm}^{-1}$

$f'_{\text{moyenne}} = 2,51 \text{ cm}$

On peut aussi déterminer f' en traçant le graphe $(d/D)^2$ en fonction de $1/D$. La pente permet de déterminer la valeur de f' .



$B = -9,81781 = -4f'$ d'où $f' = 2,45 \text{ cm}$

III.10.

TP10 : Machines thermiques

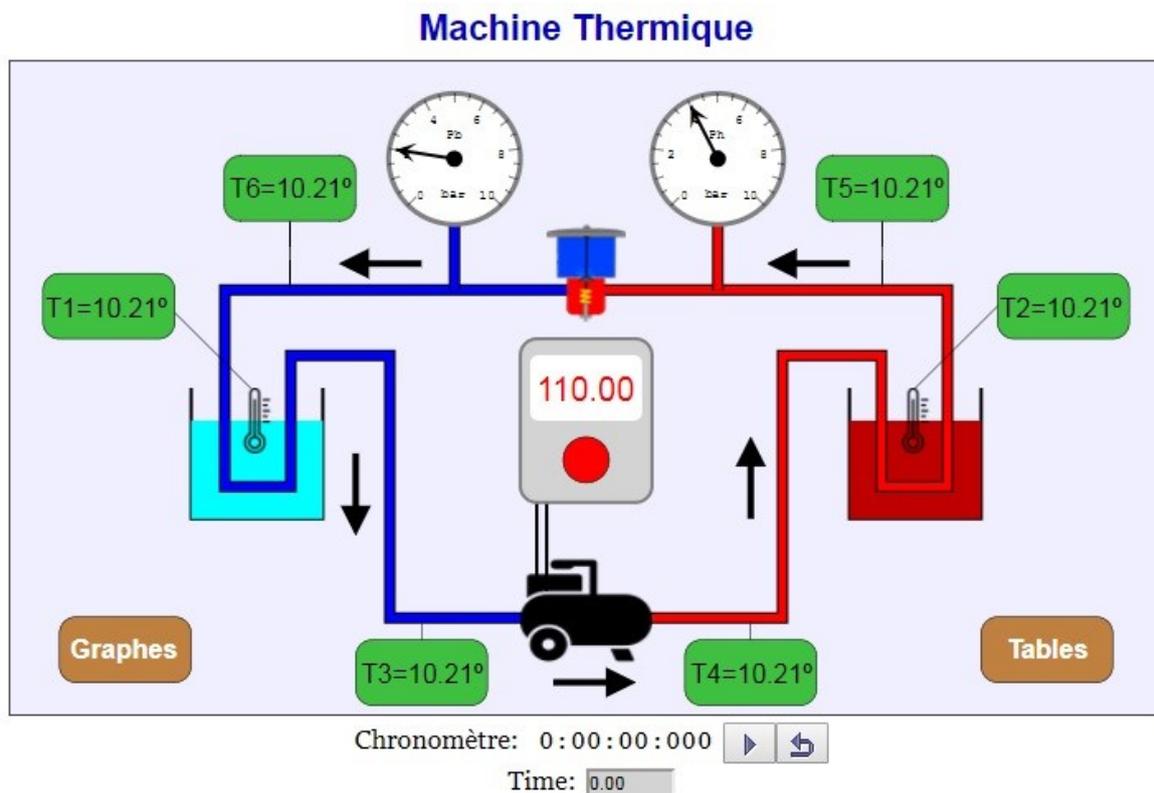
(Fiche de scénarisation)

1. Objets graphiques nécessaire à la simulation :

- ✓ Des thermomètres indiquant la variation des différentes températures.
- ✓ Deux manomètres affichant la variation de la pression.
- ✓ Un bouton pour mettre en marche / Arrêt du compresseur
- ✓ un chronomètre
- ✓ Une touche pour avoir les tableaux de mesures
- ✓ Une touche pour avoir les courbes de variation des températures et des pressions

2. Disposition des objets :

Schéma de principe :



3. Scénarisation (Préparer l'enchaînement des différentes séquences pour réaliser les activités proposées et écrire un script pour rendre l'activité pratique accessible à travers l'interface sur plateforme).

Démarrer le compresseur en cliquant sur la touche . Le chronomètre (en bas de l'écran) s'enclenche automatiquement.

La flèche indiquée sur le circuit, montre le sens de déplacement du fluide réfrigérant.

- **Vérifier** le bon fonctionnement du dispositif :

- Les afficheurs **T=.** des sondes de mesure des températures doivent indiquer une variation de température au niveau de chaque organe du circuit.
- On doit constater également la variation des pressions (Basse) $P_B(t)$ et (Haute) $P_H(t)$ sur les manomètres (déviation de l'aiguille).

Les mesures de $T_1(t)$, $T_2(t)$, $T_3(t)$, $T_4(t)$, $T_5(t)$, $T_6(t)$, $P_H(t)$, $P_B(t)$ sont effectuées et enregistrées automatiquement dans des tableaux. Ces tableaux peuvent être consultés pendant le fonctionnement du système en cliquant sur Tables.

Attendre l'arrêt du compresseur. Celui-ci s'arrêtera automatiquement au bout de 44 min.

1- Activité 1 : Tracé des graphes $T_1(t)$ et $T_2(t)$ (sources)

En cliquant sur **Tables** puis sur Sources, relever les valeurs mesurées des températures (en °C) de $T_1(t)$ et $T_2(t)$ aux instants t indiqués dans le tableau :

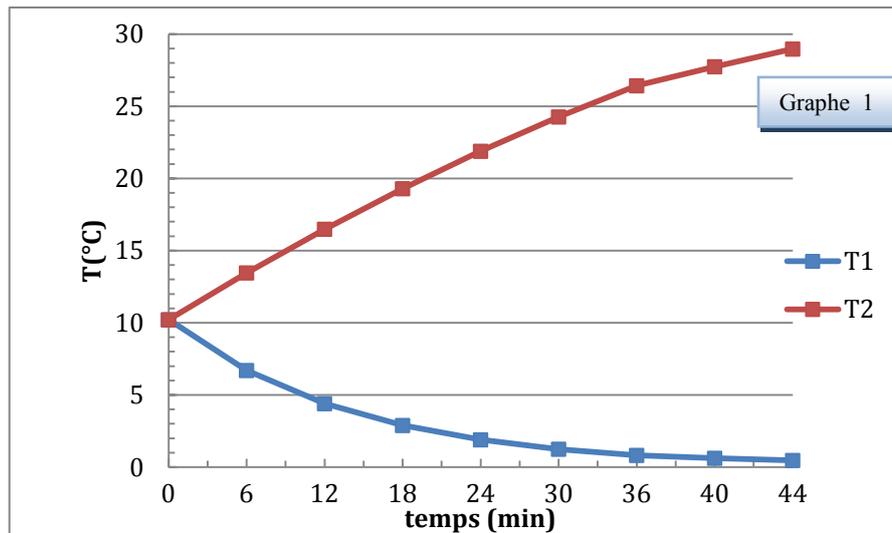
t (min)	0	6	12	18	24	30	36	40	44
Source froide $T_1(t)$ (°C)									
Source chaude $T_2(t)$ (°C)									

- ✓ Tracer sur un même graphe, $T_1(t)$ et $T_2(t)$. Interpréter.
- ✓ La température d'équilibre est-elle atteinte ? justifier votre réponse.
- ✓ En déduire les temps τ_1 et τ_2 (τ_1 et τ_2 correspondent respectivement temps à partir duquel l'équilibre est atteint).
- ✓ Comparer τ_1 et τ_2 .

Réponses :

t (min)	0	6	12	18	24	30	36	40	44
Source froide $T_1(t)$ (°C)	10.21	6.70	4.40	2.89	1.90	1.25	0.82	0.62	0.47
Source chaude $T_2(t)$ (°C)	10.21	13.46	16.50	19.30	21.89	24.26	26.42	27.75	28.97

- L'équilibre est atteint à partir de $t=40$ min (T devient quasi-constant)
- $\tau_1 \approx \tau_2 \approx 40$ min,



2- Activité 2 : Tracé des graphes $T_3(t)$ et $T_4(t)$ (Compresseur)

En cliquant sur **Tables** puis sur Sources relever les valeurs mesurées des températures (en °C) de $T_1(t)$ et $T_2(t)$ aux instants t indiqués dans le tableau :

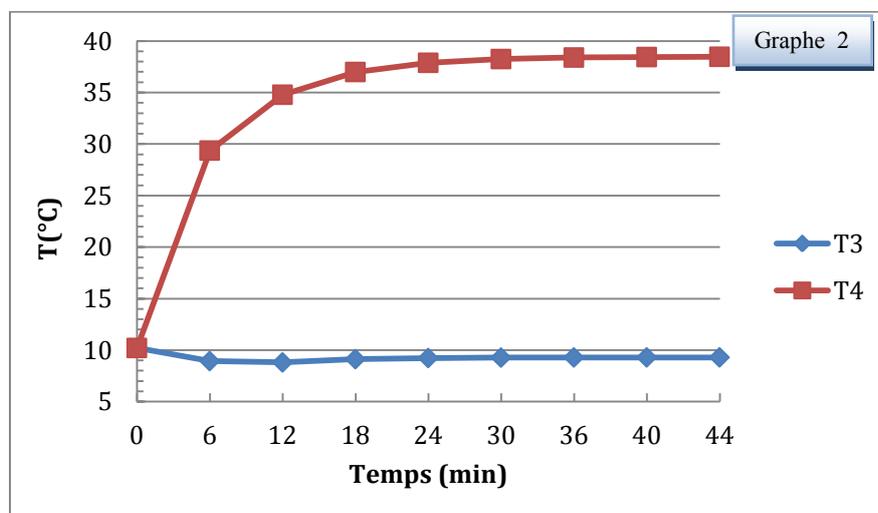
t (min)	0	6	12	18	24	30	36	40	44
Entrée compresseur T_3 (°C)									
Sortie compresseur T_4 (°C)									

✓ Tracer sur un même graphe, $T_3(t)$ et $T_4(t)$.

Réponses :

t (min)	0	6	12	18	24	30	36	40	44
Entrée compresseur T_3 (°C)	10,21	8,94	8,81	9,13	9,24	9,28	9,29	9,30	9,30
Sortie compresseur T_4 (°C)	10,21	29,37	34,79	36,99	37,89	38,25	38,40	38,44	38,47

✓ La température à l'entrée du compresseur diminue alors que celle à la sortie augmente.



3- Activité 3: Tracé des graphes $T_5(t)$ et $T_6(t)$ (Détendeur)

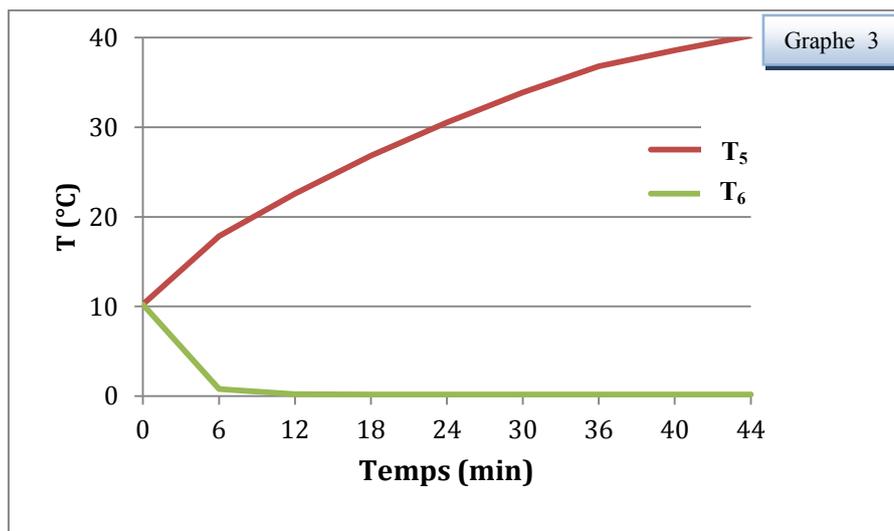
En cliquant sur puis **Tables** sur détendeur relever les valeurs mesurées de $T_5(t)$ et $T_6(t)$ aux instants t indiquées dans le tableau suivant :

t (min)	0	6	12	18	24	30	36	40	44
Entrée détendeur T_5 (°C)									
Sortie détendeur T_6 (°C)									

✓ Tracer sur un même graphe 3, $T_5(t)$ et $T_6(t)$. Interpréter.

Réponses :

t (min)	0	6	12	18	24	30	36	40	44
Entrée détendeur T_5 (°C)	12,8	14,1	16,1	18,7	20	22,2	23,6	24,6	25,7
Sortie détendeur T_6 (°C)	12	1,1	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2



La température à l'entrée du détendeur augmente alors que celle à la sortie diminue.

4- Activité 4: Tracé des graphes $P_H(t)$ et $P_B(t)$ (Détendeur)

$P_H(t)$ est mesuré à l'entrée du détendeur alors que $P_B(t)$ est mesurée à sa sortie.

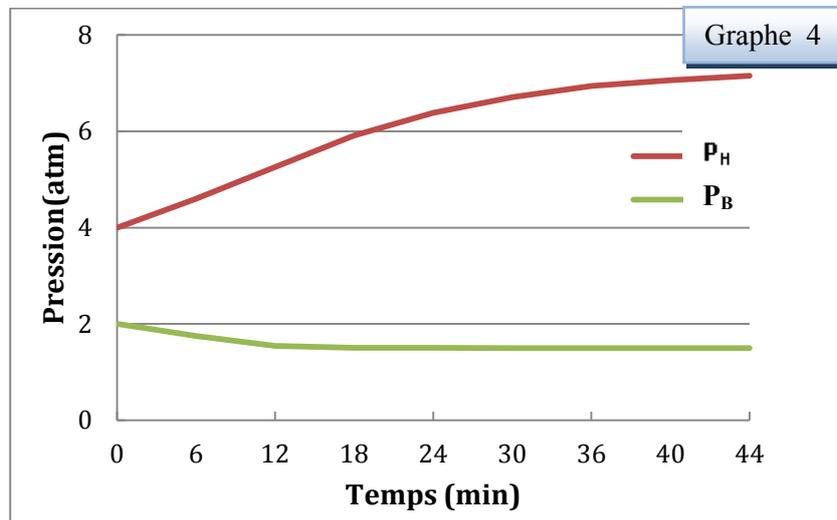
✓ En cliquant sur **Tables** puis **Pression** relever les valeurs mesurées de $P_H(t)$ et $P_B(t)$ aux instants t indiqués dans le tableau suivant :

t (min)	0	6	12	18	24	30	36	40	44
Entrée détendeur P_H (atm)									
Sortie détendeur P_B (atm)									

✓ Tracer sur **un même graphe 4**, $P_H(t)$ et $P_B(t)$.

Réponses :

t (min)	0	6	12	18	24	30	36	40	44
Entrée détenteur P_H (atm)	4.00	4.61	5.26	5.92	6.38	6.71	6.94	7.06	7.15
Sortie détenteur P_B (atm)	2.00	1.75	1.54	1.51	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50



La pression à l'entrée du détenteur augmente alors que celle à la sortie diminue.

5- Activité 5 : Quantités de chaleur échangées avec les sources froide et chaude

- * Q_{Feau} la quantité de chaleur cédée par l'eau du bac 1 au liquide réfrigérant.
- * Q_{Ceau} la quantité de chaleur cédée par le liquide réfrigérant à l'eau du bac 2.

✓ Calculer les chaleurs échangées entre le fluide et les sources de chaleur **toutes les 6 minutes**, sachant que par exemple pour $t = 12$ min,

$$Q = M c |T_1(t=12\text{min}) - T_1(t=6\text{min})| \text{ avec } c = 4180 \text{ J/kg K, masse d'eau } M = 4 \text{ kg}$$

Reporter les résultats dans le tableau suivant :

t (min)	0	6	12	18	24	30	36	40	44
T_1 (K)	283								
T_2 (K)	283								
Q_{Feau} (kJ)									
Q_{Ceau} (kJ)									

Réponse :

t (min)	0	6	12	18	24	30	36	40	44
T_1 (K)	283	6.70	4.40	2.90	1.90	1.25	0.82	0.620	0.47
T_2 (K)	283	13.46	16.48	19.30	21.89	24.26	26.42	27.75	28.97
Q_{Feau} (kJ)		55.16	38.44	25.25	16.58	10.90	7.16	3.34	2.54
Q_{Ceau} (kJ)		57.85	50.59	46.97	43.34	39.74	36.11	22.09	20.46

Travail fourni par le compresseur

Calculer le travail **W** fourni par le compresseur au fluide pour une durée de fonctionnement de **6 minutes** sachant que sa puissance est de **110 Watts**. **W restera constant** pour tout intervalle de temps de 6 min.

Réponse :

$$W = 110 \cdot 6 \cdot 60 = 39.6 \text{ kJ}$$

6- Activité 6 : Calcul des coefficients de performance

- ✓ Calculer les coefficients de performance (ou efficacité), COP_F (de la machine frigorifique) et COP_C (de la pompe à chaleur) **toutes les 6 minutes**.

$$COP_F = \frac{Q_F}{W} \quad COP_C = \frac{|Q_C|}{W}$$

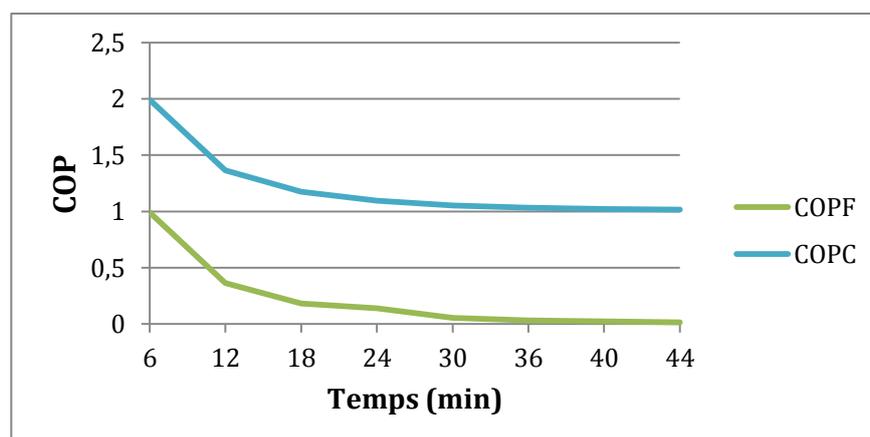
- ✓ Reporter les valeurs dans le tableau suivant :

t (min)	6	12	18	24	30	36	40	44
Q _{Feau} (kJ)								
Q _{Ceau} (kJ)								
W(kJ)								
COP _F								
COP _C								

- ✓ Représenter graphiquement COP_F (t) et COP_C (t) (**graphe 5**) à des intervalles de temps de **6 min**. Interpréter.
- ✓ Que peut-on conclure quant à la performance des réfrigérateurs domestiques en été et en hiver ?

Réponses :

t (min)	6	12	18	24	30	36	40	44
Q _{Feau} (kJ)	55.18	38.46	25.25	16.58	10.90	7.16	3.34	2.54
Q _{Ceau} (kJ)	57.85	50.59	46.97	43.34	39.74	36.11	22.09	20.46
W(kJ)	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6
COP _F	1.39	0.97	0.63	0.41	0.28	0.18	0.08	0.06
COP _C	1.46	1.27	1.19	1.09	1.00	0.91	0.56	0.52



Les COP_F et COP_C diminuent d'une part avec le temps et d'autre part lorsque l'écart entre les températures des sources devient important.

Les réfrigérateurs sont plus performants en hiver ; ceci est dû au faible écart entre les températures des deux sources en hiver ; alors que cet écart est grand en été.

Calcul des coefficients de performance (cycle de Carnot)

– Pour le cycle de Carnot (cycle idéal) calculer les valeurs de $COP_{F(carnot)}$ et $COP_{C(carnot)}$ **toutes les 6 minutes**. Reporter les résultats dans le tableau suivant :

t (min)	6	12	18	24	30	36	40	44
T ₁ (K)								
T ₂ (K)								
COP _{F(Carnot)}								
COP _{C(Carnot)}								

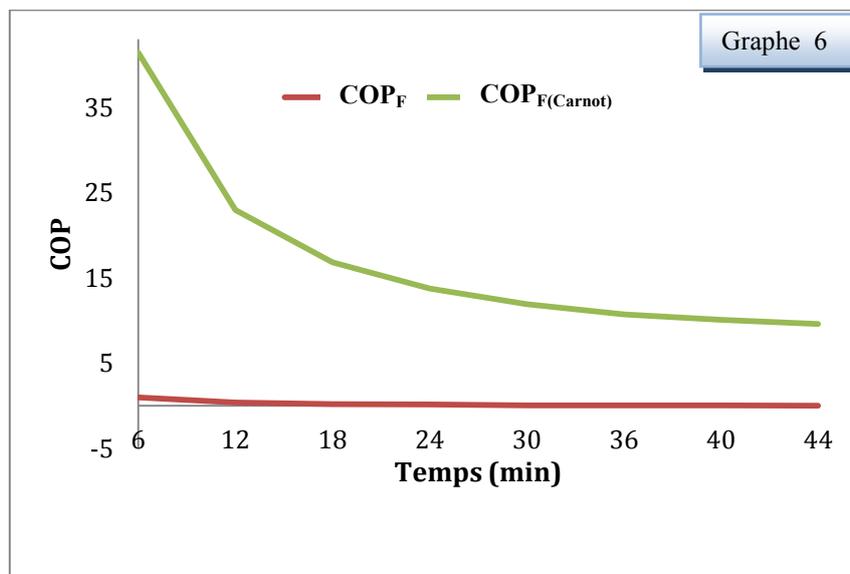
✓ $COP_{c(Carnot)} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$; $COP_{F(Carnot)} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$ (Les températures sont en °K)

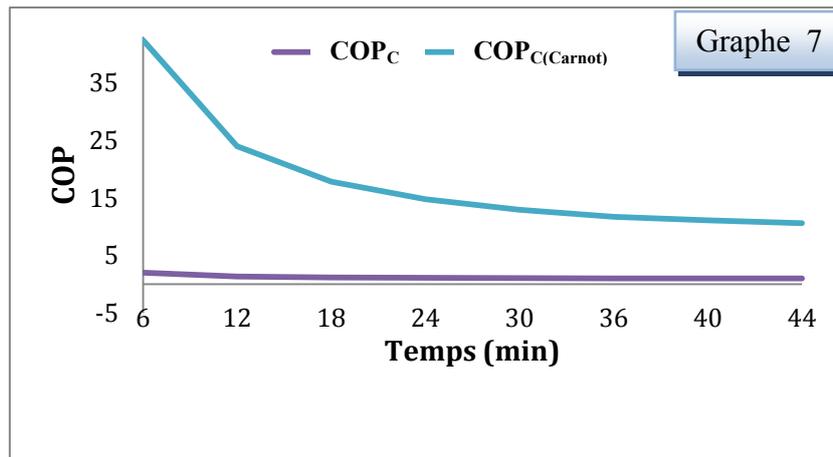
Représenter **en fonction du temps** sur un même graphe :

- ✓ COP_F et COP_{F(Carnot)} : graphe 6
- ✓ COP_C et COP_{C(Carnot)} : graphe 7

Réponses :

t (min)	6	12	18	24	30	36	40	44
T ₁ (K)	279.85	277.55	276.04	275.05	274.40	273.97	273.77	273.62
T ₂ (K)	286.61	289.64	292.445	295.04	297.41	299.57	300.90	302.12
COP _{F(Carnot)}	49,40	22,96	16,83	13,76	11,93	10,70	10,10	9,60
COP _{C(Carnot)}	42,40	23,96	17,83	14,76	12,93	11,70	11,09	10,60





Pour $t = 12$ min, comparer le produit $T_1 T_2$ et T_0^2 (les températures doivent être exprimées en K).

Réponse:

$$T_1 T_2 = 80524.06 \text{ K}^2$$

$$T_0^2 = 80207.90 \text{ K}^2$$

$$T_1 T_2 \neq T_0^2$$

III.11.

TP11 : Mesure du coefficient adiabatique γ d'un gaz

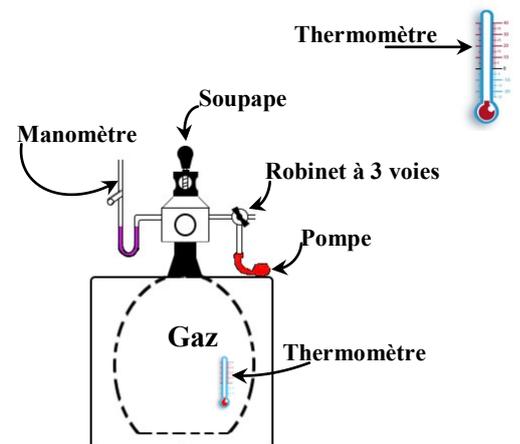
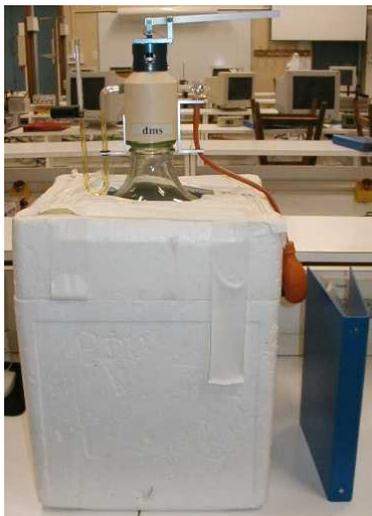
(Fiche de scénarisation)

1. Objets graphiques nécessaires à la simulation :

- ✓ Une pompe à vélo ou une poire en caoutchouc, dotée d'un levier qui peut être actionné.
- ✓ Un « ballon » muni d'un goulot, représentant un récipient.
- ✓ Un carré enveloppant le ballon/bonbonne.
- ✓ Un levier en haut du goulot du ballon/bonbonne, muni d'un clapet qui peut être actionné.
- ✓ Tube en U à l'air libre et contenant un « liquide » coloré.
- ✓ Une règle graduée (en *mm*), munie le cas échéant d'une loupe (oculaire).
- ✓ Un disque désignant le Robinet à trois voies.
- ✓ Un thermomètre, pour indiquer la température du gaz dans le récipient.
- ✓ Un thermomètre, pour indiquer la température ambiante.

Disposition des objets

Les divers objets graphiques seront disposés comme indiqué sur les figures, images et illustrations ci-après.



Nous donnons ci-après un inventaire des *objets graphiques* présents sur *l'interface* de la manipulation virtuelle. Il sera vivement recommandé aux étudiants de bien repérer préalablement chacun de ces objets graphiques avant d'effectuer la manipulation. Il s'agit d'un/une :

- ✓ « ballon », au centre de l'interface, et dans lequel se trouve le gaz dont on désire déterminer le coefficient adiabatique γ .
- ✓ « Clapet », se trouvant sur le goulot du ballon. Il permet au gaz de s'échapper vers l'extérieur. En *cliquant* dessus, la vanne s'ouvre ou se referme. Initialement la vanne est fermée.
- ✓ « Thermomètre », au centre du ballon, et indiquant la température du gaz dans le ballon.

- ✓ « Pompe », à droite de l'interface. En cliquant dessus, on comprime le gaz dans le ballon.
- ✓ « Thermomètre », à droite de l'interface, et indiquant la température ambiante.
- ✓ « Manomètre », à gauche de l'interface. Il s'agit d'un tube en U rempli d'un liquide (coloré).
- ✓ « Règle graduée », à gauche de l'interface. En *cliquant* sur l'une des encoches de la règle, on peut la déplacer ; en plus, elle est munie d'une fonction « zoom/loupe » : il suffit pour cela d'effectuer un *clique* sur la partie de la règle (les graduations) que l'on désire agrandir.

2. Scénarisation :

Préparer l'enchaînement des différentes séquences pour réaliser les activités proposées et écrire un script pour rendre l'activité pratique accessible à travers l'interface sur plateforme). En attendant un script détaillant la scénarisation, ci-après un descriptif sommaire du mode opératoire :

- ✓ *Cliquez* 1, 2 ou 3 fois sur la « Pompe » pour comprimer le gaz du récipient. Limiter la surpression à une hauteur de 20 cm de liquide du manomètre (de l'eau en l'occurrence dans notre cas).
- ✓ *Attendre* l'équilibre thermique : la température du gaz dans le récipient atteignant la température ambiante.
- ✓ *Déplacer* la règle graduée (en *cliquant* sur l'une de ses encoches) vers le manomètre (tube en U) et ajuster la pour mesurer la hauteur du liquide. Si nécessaire, cliquez sur la partie de la règle à zoomer afin de faciliter la lecture et avoir une meilleure précision.
- ✓ *Notez* la valeur de la dénivellation h_1 .
- ✓ *Double-Cliquez* sur le clapet se trouvant sur le goulot du récipient : un premier *clique* permet d'ouvrir la vanne. *Attention*, il faut aussitôt cliquer une seconde fois pour refermer la vanne, sinon tout le gaz dans le ballon va s'échapper !
- ✓ *Attendre* l'équilibre thermique : la température du gaz doit atteindre la température ambiante.
- ✓ *Déplacer* la règle graduée (en *cliquant* sur l'une de ses encoches) vers le manomètre (tube en U) et ajuster la pour mesurer la hauteur du liquide. Si nécessaire, cliquez sur la partie de la règle à zoomer afin de faciliter la lecture et avoir une meilleure précision.
- ✓ *Notez* la valeur de la dénivellation h_3 .

3. Programmation :

Un dossier complet relatif à la simulation du présent TP sera disponible sur le site du projet EXPERES. Ainsi, une fois installé sur une machine/PC, la manipulation (virtuelle) peut être effectuée par l'étudiant.

INVESTIGATION I

Gaz parfait subissant une suite de transformations thermodynamiques réversibles

1- Activité 1-1 :

Manipulation – Transformation isotherme réversible.

Le gaz placé initialement dans le récipient subit une première transformation : une compression isotherme c.à.d. à température constante (T_0). Le gaz passe de la pression P_0 à la pression P_1 , telle que : $P_1 = P_0 + \Delta P_1$ où ΔP_1 est la **surpression** ($\Delta P_1 > 0$).

$$\text{état } (0) = (P_0, T_0) \rightarrow \text{état } (1) = (P_1, T_0)$$

Protocol expérimental :

- ✓ Cliquez 1, 2 ou 3 fois sur la « Pompe » pour comprimer le gaz du récipient. Limiter la surpression à une hauteur de 20 cm d'eau (liquide du manomètre).
- ✓ Attendre l'équilibre thermique : la température du gaz dans le récipient atteignant la température ambiante.
- ✓ Déplacer la règle graduée vers le manomètre (tube en U) et ajuster la pour mesurer la hauteur du liquide. Si nécessaire, cliquez sur la partie de la règle à zoomer afin de faciliter la lecture et/ou pour avoir une meilleure précision.
- ✓ Notez la valeur de la dénivellation h_1 .

Question 1-1.a : Donner la relation entre la surpression ΔP_1 et la hauteur h_1 et déduire la valeur de la pression P_1 du gaz dans le récipient en ce moment ; sachant que le liquide du manomètre est l'eau, de densité : $\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g/cm}^3$? On donne l'accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Réponse 1-1.a :

La relation entre la surpression ΔP_1 (exprimée en Pa) et la hauteur de la dénivellation h_1 (exprimée en m) de l'eau s'écrit : $\Delta P_1 = 1\,000 \times 9,81 \times h_1$.
Sachant que : $\Delta P_1 = P_1 - P_0$, où $P_0 = 1 \text{ atm} = 101\,300 \text{ Pa}$, on déduit alors la valeur de P_1 .

Question 1-1.b : Que devient cette hauteur si le liquide dans le manomètre était du mercure ? On donne : $\rho_{\text{mercure}} = 13,55 \text{ g/cm}^3$.

Réponse 1-1.b :

La hauteur du mercure dans le manomètre sera dans ce cas égale à : $h'_1 = h_1/13,55$.

2- Activité 1-2 :

Manipulation – Transformations, adiabatique et isochore, réversibles

Le gaz dans le récipient subit maintenant, successivement :

- ✓ une détente adiabatique réversible qui le ramène de P_1 à la pression ambiante P_0 et, au cours de laquelle sa température diminue légèrement ($T_0 \rightarrow T_0 + \delta T$, où $\delta T < 0$) :

$$\text{Etat } (1) = (P_1, T_0) \rightarrow \text{Etat } (2) = (P_0, T_0 + \delta T)$$

- ✓ un échauffement isochore qui le ramène à la température ambiante (initiale) T_0 .

$$\text{Etat } (2) = (P_0, T_0 + \delta T) \rightarrow \text{Etat } (3) = (P_3 = P_0 + \Delta P_3, T_0)$$

Protocol expérimental :

- ✓ Double-Cliquez sur le clapet se trouvant sur le goulot du récipient : un premier clique permet d'ouvrir la vanne. Attention, il faut aussitôt cliquer une seconde fois pour refermer la vanne sinon tout le gaz dans le ballon va s'échapper !
- ✓ Attendre l'équilibre thermique : la température du gaz doit atteindre la température ambiante.
- ✓ Déplacer la règle graduée vers le manomètre (tube en U) et ajuster la pour mesurer la hauteur du liquide. Si nécessaire, cliquez sur la partie de la règle à zoomer afin de faciliter la lecture et/ou pour avoir une meilleure précision.
- ✓ Notez la valeur de la dénivellation h_3 .

Question 1-2.a : Sachant que le coefficient γ est constant (avec, $\gamma > 1$) montrer que la pente en un point d'une adiabatique est supérieure, **en valeur absolue**, à celle d'une isotherme.

Réponse 1-2.a :

Pour une adiabatique (réversible) on a : $PV^\gamma = cte \Rightarrow d \ln(PV^\gamma) = \frac{dP}{P} + \gamma \frac{dV}{V} = 0$.
D'où,

$$\left(\frac{dP}{dV} \right)_{\text{adiabatique}} = -\gamma \frac{P}{V}$$

- Pour une isotherme on a : $PV = cte \Rightarrow d \ln(PV) = \frac{dP}{P} + \frac{dV}{V} = 0$. D'où,

$$\left(\frac{dP}{dV} \right)_{\text{isotherme}} = -\frac{P}{V}$$

Ainsi on a :

$$\left| \left(\frac{dP}{dV} \right)_{\text{adiabatique}} \right| = \gamma \times \left| \left(\frac{dP}{dV} \right)_{\text{isotherme}} \right|$$

Et, puisque $\gamma > 1$ on déduit alors que :

$$\left| \left(\frac{dP}{dV} \right)_{\text{adiabatique}} \right| > \left| \left(\frac{dP}{dV} \right)_{\text{isotherme}} \right|$$

Question 1-2.b : Lors de la détente adiabatique, déterminer l'expression de la variation de température du gaz du récipient et montrer qu'il en résulte une diminution de température.

Réponse 1-2.b :

Pour une adiabatique on a :

$$T^\gamma P^{1-\gamma} = cte \Rightarrow d \ln(T^\gamma P^{1-\gamma}) = \gamma \frac{dT}{T} + (1-\gamma) \frac{dP}{P} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{dT}{T} + \left(\frac{1-\gamma}{\gamma} \right) \times \frac{dP}{P} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\delta T}{T_0} + \left(\frac{1-\gamma}{\gamma} \right) \times \frac{(-\Delta P_1)}{P_0} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\delta T}{T_0} = \left(\frac{1-\gamma}{\gamma} \right) \times \frac{\Delta P_1}{P_0}$$

$$\Delta P_1 = \rho g h_1 > 0 \text{ \& } \gamma > 1 \Rightarrow \delta T < 0$$

AUTREMENT,

$$T^\gamma P^{1-\gamma} = cte \quad \Rightarrow \quad T_0^\gamma P_1^{1-\gamma} = (T_0 + \delta T)^\gamma P_0^{1-\gamma} \quad \text{avec, } P_1 = P_0 + \Delta P_1$$

$$\left(1 + \frac{\Delta P_1}{P_0}\right)^{1-\gamma} = \left(1 + \frac{\delta T}{T_0}\right)^\gamma$$

Comme $\Delta P_1 \ll P_0$ et $\delta T \ll T_0$, en effectuant un D.L. à l'ordre 1, il vient alors :

$$(1 - \gamma) \times \frac{\Delta P_1}{P_0} = \gamma \times \frac{\delta T}{T_0} \quad \Rightarrow$$

$$\frac{\delta T}{T_0} = \left(\frac{1 - \gamma}{\gamma}\right) \times \frac{\Delta P_1}{P_0}$$

Or, $\Delta P_1 = \rho g h_1 > 0 \text{ \& } \gamma > 1$, d'où :

$$\delta T < 0$$

3- Activité 1-3 :

Observation – Equilibre thermique

Après avoir subi une détente adiabatique réversible, le gaz du récipient est soumis à un chauffage isochore qui le ramène à la température initiale (ambiante) T_0 . Il s'agit d'une phase d'équilibre thermique :

$$\text{Etat (2)} = (P_0, T_0 + \delta T) \rightarrow \text{Etat (3)} = (P_3 = P_0 + \Delta P_3, T_0)$$

Question 1-3.a : Trouver l'expression reliant la variation de température à celle de la pression du gaz du récipient lors de cette transformation isochore.

Réponse 1-3.a :

Pour une transformation isochore on a :

$$\frac{P}{T} = Cte \quad \Rightarrow \quad \frac{P_0}{T_0 + \delta T} = \frac{P_0 + \Delta P_3}{T_0} \quad \Rightarrow \quad 1 + \frac{\Delta P_3}{P_0} = \left(1 + \frac{\delta T}{T_0}\right)^{-1}$$

Comme $\Delta P_3 \ll P_0$ et $\delta T \ll T_0$, il vient donc :

$$\frac{\delta T}{T_0} = -\frac{\Delta P_3}{P_0}$$

Question 1-3.b : A l'aide des réponses 1-2.b & 1-3.a, déduire l'expression du coefficient adiabatique γ en fonction des surpressions ΔP_1 et ΔP_3 .

Réponse 1-3.b :

En égalisant les deux résultats obtenus préalablement, soit :

$$\frac{\delta T}{T_0} = \left(\frac{1 - \gamma}{\gamma}\right) \times \frac{\Delta P_1}{P_0} \quad \& \quad \frac{\delta T}{T_0} = -\frac{\Delta P_3}{P_0}$$

Il vient :

$$(1 - \gamma) \times \frac{\Delta P_1}{P_0} = -\gamma \times \frac{\Delta P_3}{P_0}$$

Soit,

$$\gamma = \frac{\Delta P_1}{\Delta P_1 - \Delta P_3}$$

Or, $\Delta P_1 = \rho g h_1$ et $\Delta P_3 = \rho g h_3$ d'où :

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_3}$$

On retrouve ainsi l'expression établie précédemment du coefficient adiabatique γ .

4- Activité 1-4 :

Manipulation

Refaire **5 fois** les manipulations relatives aux activités **1-1 & 1-2**.

INVESTIGATION II

Détermination de la valeur du coefficient adiabatique γ du gaz

Dans cette partie on commence par reporter les résultats obtenus lors de l'investigation 1. Ensuite, on abordera leur exploitation, et notamment l'évaluation des incertitudes des « mesures ». Finalement, on déduira une évaluation de la valeur du coefficient adiabatique γ du gaz placé dans le récipient.

1- Activité 2.1 : Tableau de mesures

Remplir le Tableau de mesures suivant :

Mesure n°	Dénivellation h_1 (cm)	Surpression ΔP_1 (Pa)	Dénivellation h_3 (cm)	Surpression ΔP_3 (Pa)	γ
1					
2					
3					
4					
5					

2- Activité 2.2 : Estimation des incertitudes

Rappelons de prime abord la relation liant la surpression ΔP_i à la hauteur de la dénivellation h_i ; et, qui s'écrit : $\Delta P_i = \rho \times g \times h_i$.

Question 2-2.a : En supposant que les valeurs de ρ et g ne sont soumises à aucune imprécision, donner l'incertitude sur la surpression ΔP_i en fonction de celle de la hauteur de la dénivellation h_i .

Réponse 2-2.a :

De la relation : $\Delta P_i = \rho \times g \times h_i$, et en supposant que ρ et g ne sont pas entachées d'imprécisions, il vient immédiatement :

$$\Delta(\Delta P_i) = |\rho \times g| \times \Delta h_i = \rho \times g \times \Delta h_i$$

Question 2-2.b : A partir de l'équation : $\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_3}$, déterminer l'expression de l'incertitude $\Delta\gamma$ en fonction de Δh_1 et Δh_3 .

Réponse 2-2.b :

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{h_1}{h_1 - h_3} \Rightarrow \ln \gamma = \ln h_1 - \ln(h_1 - h_3) \\ \Rightarrow \frac{d\gamma}{\gamma} &= \frac{dh_1}{h_1} - \frac{d(h_1 - h_3)}{h_1 - h_3} = \frac{dh_1}{h_1} - \frac{dh_1}{h_1 - h_3} + \frac{dh_3}{h_1 - h_3} \\ \Rightarrow \frac{d\gamma}{\gamma} &= \left[\frac{1}{h_1} - \frac{1}{h_1 - h_3} \right] dh_1 + \frac{dh_3}{h_1 - h_3} \\ \Rightarrow \frac{\Delta\gamma}{\gamma} &= \left| -\frac{h_3}{h_1 \times (h_1 - h_3)} \right| \Delta h_1 + \frac{\Delta h_3}{|h_1 - h_3|} \end{aligned}$$

Il vient en multipliant par γ :

$$\Delta\gamma = \left| \frac{-h_3}{(h_1 - h_3)^2} \right| \Delta h_1 + \left| \frac{h_1}{(h_1 - h_3)^2} \right| \Delta h_3$$

Soit,

$$\Delta\gamma = \frac{h_3}{(h_1 - h_3)^2} \Delta h_1 + \frac{h_1}{(h_1 - h_3)^2} \Delta h_3$$

3- Activité 3 : Calcul des incertitudes

Question 2-3.a : Calculer la valeur de l'incertitude de la surpression (ΔP_i) pour $\Delta h_i = 0,25 \text{ cm}$ et, sachant que le liquide du manomètre est l'eau ($\rho_{eau} = 1 \text{ g/cm}^3$). On donne : $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Réponse 2-3.a :

$$\Delta(\Delta P_i) = \rho \times g \times \Delta h_i = 1\,000 \times 9,81 \times (0,25 \times 10^{-2}) = 24,5 \text{ Pa.}$$

Question 2-3.b : Donner l'expression de l'incertitude $\Delta\gamma$ pour $\Delta h_1 = \Delta h_3 = \Delta h$.

Réponse 2-3.b :

Pour $\Delta h_1 = \Delta h_3 = \Delta h$, de l'expression de $\Delta\gamma$ établie à la question 2-2.b, il vient immédiatement :

$$\Delta\gamma = \frac{h_1 + h_3}{(h_1 - h_3)^2} \times \Delta h$$

4- Activité 4 : Calcul de la valeur du coefficient adiabatique γ

Question 2-4.a : Rappeler l'expression de la moyenne arithmétique $X_{moyenne}$ de k valeurs (X_i) d'une variable X .

Réponse 2-4.a :

$$X_{moyenne} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k X_i$$

Question 2-4.b : Calculer la moyenne arithmétique γ_{moyen} des 5 valeurs de γ obtenues au cours de l'activité 2.1.

Réponse 2-4.b :

$\gamma_{moyen} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \gamma_i$. Faire l'application numérique avec les valeurs trouvées dans l'activité 2.1.

Question 2-4.c : Calculer les incertitudes $\Delta\gamma$, tenant compte des valeurs obtenues au cours de l'activité 2.1. On donne : $\Delta h_1 = \Delta h_3 = \Delta h = 0,25 \text{ cm}$.

Réponse 2-4.c :

Il s'agit de l'application numérique de l'expression :

$$\Delta\gamma = \frac{h_1 + h_3}{(h_1 - h_3)^2} \times \Delta h$$

Question 2-4.d : Indiquer la valeur du coefficient adiabatique obtenu à travers cette expérience $\gamma_{expérience}$, sans oublier de préciser son incertitude $\Delta\gamma$: $\gamma_{expérience} = \gamma_{moyen} \pm \Delta\gamma$.

N.B. : On retiendra pour $\Delta\gamma$ la valeur la plus *défavorable* (autrement dit, la plus grande) parmi celles obtenue à la question 2-4.c.

Réponse 2-4.d :

$\gamma_{expérience} = \gamma_{moyen} \pm \Delta\gamma$, où $\Delta\gamma$ est la plus *grande* valeur obtenue à la réponse 2-4.c.

Question 2-4.e : Sachant que le gaz dans cette expérience est l'*air*. Comparer la valeur obtenue expérimentalement, $\gamma_{expérience}$, avec celle théoriquement admise pour un gaz parfait diatomique, à savoir : $\gamma_{Théorique} = 1,4$. Commenter.

Réponse 2-4.e :

En supposant que $\gamma_{Théorique}$ n'est soumise à aucune imprécision ($\Delta\gamma_{Théo} = 0$), il faut comparer $|\gamma_{expérience} - \gamma_{Théorique}|$ à $\Delta\gamma$ (et sinon, à « $\Delta\gamma + \Delta\gamma_{Théo}$ », pour $\Delta\gamma_{Théo} \neq 0$).
Si $|\gamma_{expérience} - \gamma_{Théorique}| < \Delta\gamma$ alors on peut affirmer que la différence entre $\gamma_{expérience}$ et $\gamma_{Théorique}$ n'a pas de signification physique, autrement dit que nous obtenons expérimentalement une valeur de même ordre de grandeur que celle théoriquement admise.

Question 2-4.f : Formuler vos remarques éventuelles quant à l'expérience de Clément-Desormes et notamment sur la précision de cette méthode.

Réponse 2-4.f :

Virtuellement, la méthode est d'une bonne précision. Mais en présentiel et dans un laboratoire, on se retrouve confronter à certaines contraintes telles que des fuites de gaz inhérentes lors de la manipulation ce qui est source d'une dégradation des résultats obtenus lors de manipulation réelle par la méthode de Clément-Desormes.

III.12.

TP12 : Calorimétrie

(Fiche de scénarisation)

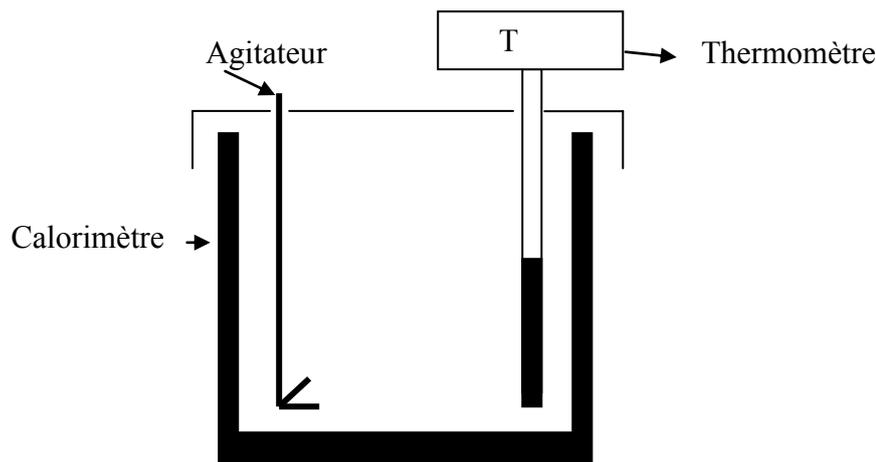
1. Objets graphiques nécessaire à la simulation :

- ✓ Un calorimètre à méthode des mélanges avec accessoires (agitateur thermomètre ou sonde de température),
- ✓ Un calorimètre à méthode électrique avec accessoires (agitateur thermomètre ou sonde de température, résistance chauffante), générateur de tension (0-12 V) et de courant (1-5 A),
- ✓ Une balance pour les pesés de masses,
- ✓ Une bouilloire pour chauffer l'eau,
- ✓ Un four pour chauffer les solides,
- ✓ Un chronomètre.

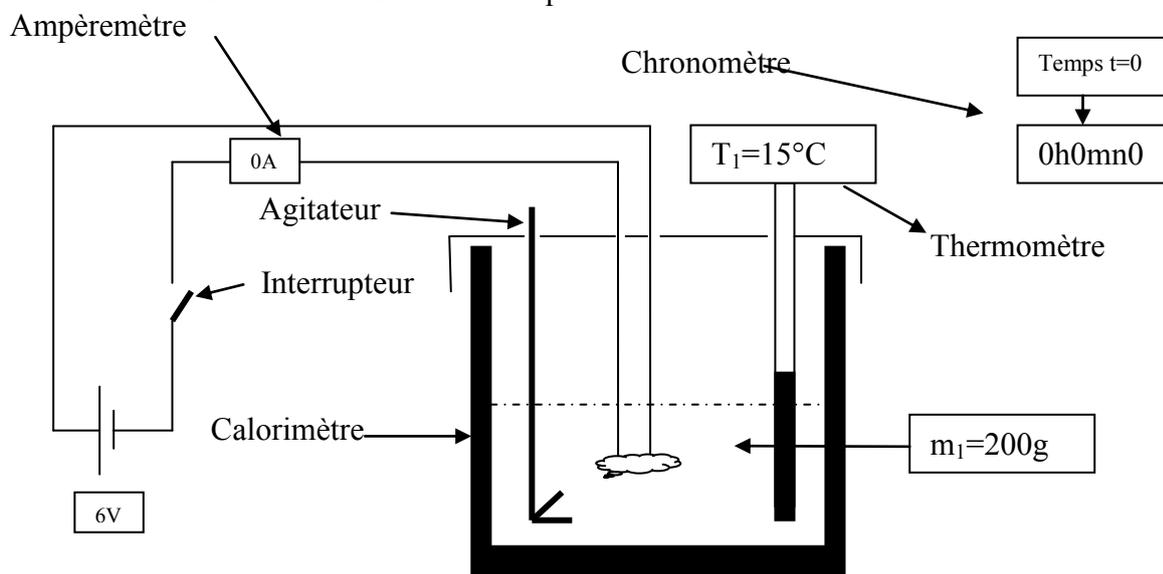
2. Disposition des objets :

Schéma de principe :

- ▶ Calorimètre à méthode des mélanges



- ▶ Calorimètre à méthode électrique



3. Scénarisation (Préparer l'enchaînement des différentes séquences pour réaliser les activités proposées et écrire un script pour rendre l'activité pratique accessible à travers l'interface sur plateforme).

A- Détermination de la capacité calorifique du calorimètre et de la chaleur massique d'un solide en acier par la méthode des mélanges

INVESTIGATION I

Détermination de la capacité calorifique du calorimètre

1- Activité 1 :

Capacité calorifique k du calorimètre :

Dans un calorimètre de volume d'environ 1 l, on verse une quantité d'eau froide de masse $m_1 = 200$ g et on note la température d'équilibre T_1 . On ajoute rapidement une quantité d'eau chaude de masse $m_2 = 150$ g et de température T_2 . On agite pour atteindre l'équilibre et on note la température finale T_3 du mélange.

Protocol expérimental :

Simulation JavaScript

<http://experes.unileon.es/moodle/mod/lesson/view.php?id=688&pageid=1008>

Question 1.1 : Écrire l'équation calorimétrique d'échanges de chaleur.

Réponse 1.1 :

$$(m_1 C_e + k)(T_3 - T_1) + m_2 C_e (T_3 - T_2) = 0$$

Question 1.2 : En déduire l'expression littérale de la capacité thermique k du calorimètre (valeur en eau du calorimètre).

Réponse 1.2 :

$$k = \frac{m_1 C_e T_1 + m_2 C_e T_2 - (m_1 + m_2) C_e T_3}{T_3 - T_1}$$

Question 1.3 : Noter les mesures de m_1 , m_2 , T_1 , T_2 , et T_3 et calculer la valeur numérique de la capacité calorifique k du calorimètre. $C_e = 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Réponse 1.3 :

$$m_1 = 0.2 \text{ kg}, m_2 = 0.15 \text{ kg}, T_1 = 16 \text{ }^\circ\text{C}, T_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}, \text{ et } T_3 = 42.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

On trouve :

$$k = 51.26 \text{ J }^\circ\text{C}^{-1}$$

INVESTIGATION II*Détermination de la chaleur massique d'un solide (acier)***2- Activité 2 :**Chaleur massique C_s du solide en acier :

Dans le même calorimètre de volume d'environ 1 l et de capacité calorifique k , on verse une quantité d'eau froide de masse $m_l = 200$ g et on note la température d'équilibre T_1 . Après mesure de la masse m_s et de la température T_2 du solide chaud, on le plonge rapidement dans l'eau du calorimètre. On agite pour atteindre l'équilibre et on note la température finale T_3 du mélange.

Protocol expérimental :

Question 2.1 : Écrire l'équation calorimétrique d'échanges de chaleur.

Réponse 2.1 :

$$(m_1 C_e + k)(T_3 - T_1) + m_s C_s (T_3 - T_2) = 0$$

Question 2.2 : En déduire l'expression littérale de la chaleur massique C_s de l'acier.

Réponse 2.2 :

$$C_s = \frac{(m_1 C_e + k)(T_3 - T_1)}{m_s (T_2 - T_3)}$$

Question 2.3 : Noter les mesures de m_1 , m_s , T_1 , T_2 , et T_3 et calculer la valeur numérique de la chaleur massique C_s de l'acier.

Réponse 2.3 :

$$m_1 = 0.2 \text{ kg}, m_s = 0.08 \text{ kg}, T_1 = 16^\circ\text{C}, T_2 = 90^\circ\text{C}, \text{ et } T_3 = 19^\circ\text{C}$$

$$C_s = 473 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

B-Détermination de la capacité calorifique du calorimètre et de la chaleur massique d'un liquide (alcool) par la méthode électrique.

INVESTIGATION III*Détermination de la capacité calorifique du calorimètre***3- Activité 3 :** Capacité calorifique k du calorimètre à méthode électrique

Dans un calorimètre à méthode électrique, de volume d'environ 1 l, on verse une quantité d'eau froide de masse $m_e = 200$ g et on note la température d'équilibre T_1 . On démarre le chauffage en fermant le circuit (tension U et intensité I), on agite pour homogénéiser et on note la température T en fonction du temps t .

Question 3.1: Compléter le tableau ci-dessous en notant la température T tous les deux minutes :

Tableau 1 :

Temps t en min	0	2	4	6	8	10	12
Température T en $^\circ\text{C}$							

Simulation JavaScript

<http://experes.unileon.es/moodle/mod/lesson/view.php?id=688&pageid=1034>

Question 3.2 : Écrire l'équation calorimétrique en considérant le dispositif comme adiabatique.

Réponse 3.2 :

$$UIt = (m_e C_e + k)(T - T_1)$$

Question 3.3 : En déduire l'expression littérale de la température T en fonction du temps t.

Réponse 3.3 :

$$T = \frac{UI}{m_e C_e + k} t + T_1$$

Question 3.4 : Déterminer alors son coefficient directeur $\frac{dT}{dt}$.

Réponse 3.4 :

$$\frac{dT}{dt} = \frac{UI}{m_e C_e + k}$$

Question 3.5 : Tracer la courbe T en fonction du temps t et déterminer sa pente (Courbe sur ordinateur).

Réponse 3.5 :

$$\frac{dT}{dt} = \text{pente} = 0.013 \text{ } ^\circ\text{C/s}$$

Question 3.6 : Exprimer la capacité k du calorimètre en fonction de la pente

Réponse 3.6 :

La courbe est une droite. Sa pente est égale à son coefficient directeur. On obtient donc :

$$k = \frac{UI}{\frac{dT}{dt}} - m_e C_e$$

Question 3.7 : Noter les mesures de U, I, m_e et en déduire la valeur numérique de k

Réponse 3.7 :

U = 6 V, I = 2 A, $m_e = 0.2 \text{ kg}$ et $C_e = 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$:

$$k = 70 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

INVESTIGATION IV*Détermination de la chaleur massique d'un liquide (alcool)***4- Activité 4 : Chaleur massique C_l d'un liquide (alcool)**

Dans un calorimètre à méthode électrique, de volume d'environ 1 l, on verse une quantité d'alcool froide de masse $m_l = 200$ g et on note la température d'équilibre T_1 . On démarre le chauffage en fermant le circuit (tension U et intensité I), on agite pour homogénéiser et on note la température T en fonction du temps t .

Question 4.1 : Compléter le tableau ci-dessous en notant la température T tous les deux minutes:

Tableau 1 :

Temps t en min	0	2	4	6	8	10	12
Température T en °C							

Simulation JavaScript

<http://experes.unileon.es/moodle/mod/lesson/view.php?id=688&pageid=1034>

Question 4.2 : Écrire l'équation calorimétrique en considérant le dispositif comme adiabatique.

Réponse 4.2 :

$$UIt = (m_l C_l + k)(T - T_1)$$

Question 4.3 : En déduire l'expression littérale de la température T en fonction du temps t .

Réponse 4.3 :

$$T = \frac{UI}{m_l C_l + k} t + T_1$$

Question 4.4 : Déterminer alors son coefficient directeur $\frac{dT}{dt}$.

Réponse 4.4 :

$$\frac{dT}{dt} = \frac{UI}{m_l C_l + k}$$

Question 4.5 : Tracer la courbe T en fonction du temps t et déterminer sa pente.
(Courbe sur ordinateur)

Réponse 4.5 :

$$\frac{dT}{dt} = \text{pente} = 0.0213 \text{ °C/s}$$

Question 4.6 : Exprimer la chaleur massique C_l de l'alcool en fonction de la pente

Réponse 4.6 :

La courbe est une droite. Sa pente est égale à son coefficient directeur. On obtient donc :

$$C_l = \frac{1}{m_l} \left(\frac{UI}{\frac{dT}{dt}} - k \right)$$

Question 4.7 : Noter les mesures de U, I et m_l et en déduire la valeur numérique de C_l

Réponse 4.7 :

U = 6 V, I = 2 A et $m_l = 0.2$ kg

$$C_l = 2466.9 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

IV CONCLUSION

VI. Conclusion

Ce manuel de conceptualisation et de scénarisation des travaux pratiques de physique a été conçu dans le cadre du projet EXPERES « les TICE appliquées à l'expérimentation scientifique », un projet Erasmus plus financé par le programme de l'Union Européenne. Il comprend un lot de 12 TP qui ont été conceptualisés et scénarisés pour permettre leur programmation sur une plateforme de type LMS.

Basés sur des simulations virtuelles à l'aide des logiciels de Java Script, les travaux pratiques de physique programmés seront accessibles en ligne à un large public d'apprenants des universités marocaines. L'objectif étant d'accompagner les apprentissages théoriques avec des simulations en ligne des activités pratiques.

La visée principale de ce travail, à l'issue de ce projet, est de faciliter le transfert de la démarche adoptée dans ce manuel pour créer des activités pratiques virtuels pour d'autres disciplines. Les concepteurs de nouveaux programmes de TP doivent planifier et structurer les contenus proposés dès la phase de démarrage. Ils devront se baser sur les principes méthodologiques utilisés dans ce manuel.

Au cours de l'élaboration de ce manuel, un consensus a été nécessaire pour homogénéiser les approches proposées et permettre d'adopter une structure cohérente pour un travail réussi. En effet, le présent manuel propose des fiches de conceptualisation et de scénarisation des travaux pratiques afin de guider les acteurs et utilisateurs potentiels à produire un travail correspondant aux meilleures pratiques en la matière. Parmi les étapes programmées, figure celle relative à la conceptualisation des travaux pratiques. Cette étape consiste en l'élaboration d'un modèle de fiche de conceptualisation comme feuille de route à suivre pour renseigner les différentes rubriques composant cette fiche. Par la suite, l'étape de scénarisation s'est avérée indispensable pour faciliter la programmation de la partie dédiée à la simulation des travaux pratiques. La même approche méthodologique est suivie en définissant un certain nombre de techniques et de méthodes pédagogiques rédigées sous forme d'une fiche appelée fiche de scénarisation. Enfin, un rappel théorique a été rajouté en annexe pour apporter un complément scientifique aux TP proposés.

L'équipe projet souhaite à travers ce manuel élargir le champs d'application des travaux pratiques virtuels en Sciences et technologie. Une diffusion plus large de ce manuel pourra aboutir à des interrogations quant à l'amélioration de cet outil de travail.

-V-
ANNEXES
RESSOURCES THEORIQUES

V.1

TP01 : Conservation de l'énergie mécanique (Ressources théoriques)

Quelques définitions utiles

Système : c'est un corps ou un ensemble de corps délimités par une surface appelée frontière.

Energie : L'énergie (du grec : force en action) est la capacité d'un système à produire du mouvement, de la lumière, de la chaleur, ... Cela signifie qu'elle est stockée dans les systèmes sous différentes formes : mécanique, chimique, électrique, nucléaire, ... L'énergie est caractérisée principalement par sa capacité de se transformer d'une forme à une autre forme. Par exemple, une pile emmagasine de l'énergie sous forme chimique. Quand la pile est utilisée dans un circuit électrique, cette énergie est libérée sous forme électrique qui est, de son tour, transformée en chaleur dans les conducteurs ohmiques.

Parmi toutes ces formes, l'énergie mécanique occupe une place importante dans le monde entier du fait que l'on la trouve dans les différents domaines de la vie quotidienne.

Unité de l'énergie : dans le Système international d'unités (SI), l'énergie s'exprime en joules (J). Les spécialistes, dans le domaine énergétique, utilisent la tonne d'équivalent pétrole (tep) pour comparer les énergies entre elles. Dans la consommation domestique ou industrielle, on utilise le kilowatt-heure (kWh). 1 kWh correspond à l'énergie consommée par un appareil d'une puissance de 1 kW pendant une durée d'une heure ($1 \text{ kW} \times 1 \text{ h}$).

Notre étude portera seulement sur l'évolution de l'énergie mécanique d'un système. Cette énergie peut être définie comme une quantité d'énergie emmagasinée dans un système sous forme d'énergie cinétique liée à son mouvement et d'énergie potentielle qui dépend de sa position.

L'énergie cinétique : comme nous le savons ce type d'énergie est lié à la vitesse du système en mouvement. Soit un point matériel M, de masse m , animé d'une vitesse \vec{V} par rapport à un référentiel supposé Galiléen R. Par définition, l'énergie cinétique de ce point matériel M, dans son mouvement par rapport au repère R, est :

$$E_c = \frac{1}{2} m \vec{V}^2$$

Elle s'exprime en joule (J) si m et V sont exprimés respectivement en Kilogramme (kg) et en mètre par seconde(s).

Théorème de l'énergie cinétique

Le travail W de la résultante F des forces qui s'exercent sur un point matériel entre deux instants t_0 et t_1 , est égal à la variation de l'énergie cinétique de ce point matériel entre ces deux mêmes instants :

$$W_{t_0}^{t_1} = E_c(t_1) - E_c(t_0)$$

En effet, le principe fondamental de la dynamique, pour un point matériel M, de masse m , animé d'une vitesse \vec{V} soumis à un ensemble de forces de résultante F , s'écrit :

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{V}}{dt}$$

En multipliant cette équation par la quantité $\vec{V} dt$, on obtient :

$$\begin{aligned}\vec{F} \cdot \vec{V} dt &= m \vec{V} \cdot d\vec{V} \\ dE_c &= dW\end{aligned}\quad (1)$$

Soit

$$dW = \vec{F} \cdot \vec{V} dt \quad \text{et} \quad dE_c = m \vec{V} \cdot d\vec{V}$$

Avec dW le travail élémentaire développé par la résultante des forces conservatives.

L'énergie potentielle : il s'agit de l'énergie emmagasinée dans un système quand ce dernier occupe une position quelconque par rapport à la terre. Autrement dit, ce type d'énergie appelée aussi potentiel mécanique, notée E_p , est une grandeur qui n'est définie qu'à une constante additive près. Elle caractérise l'énergie de position d'un corps.

Dans le cas d'un champ de forces F conservatif, ce champ dérive d'une énergie potentielle E_p telle que:

$$\vec{F} = -\overrightarrow{\text{grad}} E_p$$

Le signe (-) montre que le champ de forces F est dirigé suivant les potentiels décroissants.

Théorème de la variation de l'énergie potentielle

Si un champ de forces est conservatif alors le travail du champ de force est égal à la variation de l'énergie potentielle :

$$W = E_p(t_0) - E_p(t_1)$$

Où $E_p(t_0)$ et $E_p(t_1)$ sont respectivement les énergies potentielles initiale et finale.

Energie mécanique :

a) Cas où toutes les forces mises en jeu sont conservatives

L'énergie mécanique E est égale à la somme de l'énergie potentielle E_p et de l'énergie cinétique E_c , soit :

$$E = E_c + E_p$$

L'énergie mécanique E d'un point matériel, soumis à des forces conservatives, est une constante du mouvement appelée intégrale première du mouvement. En effet, si la résultante F des forces est conservative alors il existe une énergie potentielle E_p telle que :

$$\vec{F} = -\overrightarrow{\text{grad}} E_p$$

En multipliant cette équation par un déplacement élémentaire $d\overrightarrow{OM}$ du point matériel M , on obtient :

$$dW = \vec{F} \cdot d\overrightarrow{OM} = -\overrightarrow{\text{grad}} E_p \cdot d\overrightarrow{OM} = -dE_p. \quad (2)$$

D'après les équations (1) et (2), nous déduisons alors:

$$d(E_c + E_p) = 0$$

Il en découle que :

$$E_c + E_p = \text{constante.}$$

L'énergie mécanique se conserve au cours du temps ($\frac{dE}{dt} = 0$).

Conclusion :

Il y a conservation de l'énergie mécanique d'un système.

✓ Si le corps a perdu une quantité d'énergie potentielle ($\Delta E_p < 0$), il gagne une quantité d'énergie cinétique ($\Delta E_c > 0$) ;

✓ Si le corps a perdu une quantité d'énergie cinétique ($\Delta E_c < 0$), il gagne une quantité d'énergie potentielle ($\Delta E_p > 0$).

b) Dans le cas où toutes les forces mises en jeu ne sont pas conservatives

S'il y a des forces de frottements, l'énergie mécanique du système ne se conserve pas. Elle diminue et sa variation correspond au travail $W(F_{NC})$ effectué par cette force dissipative F_{NC} .

Remarque :

L'énergie perdue par le système est transférée à l'extérieur sous forme de chaleur. L'agitation des molécules, donc l'énergie microscopique de l'environnement augmente.

Théorème de l'énergie mécanique

La variation de l'énergie mécanique ΔE d'un système de masse m entre deux points M_1 et M_2 est égale au travail des forces non conservatives $W(F_{NC})$ agissant sur ce système:

$$\Delta E = E_{M_1} - E_{M_2} = W(F_{NC})$$

Applications

Il s'agit d'étudier l'évolution des énergies cinétiques, potentielles et totales en fonction du temps dans les cas suivants :

1/Chute d'un corps :

a/ Chute libre : on dit qu'un corps de masse m est en chute libre s'il est soumis uniquement à l'action de son poids $P = mg$ où g est l'accélération de la pesanteur. Considérons la chute libre d'un corps lâché sans vitesse initiale d'une hauteur h par rapport au sol. L'objet se met en mouvement sous l'action de son poids.

Conditions initiales : vitesse initiale $V(0)=0$ et position initiale $z(0)=h$

Les équations horaires du mouvement :

$$\text{Position à l'instant } t \text{ est } z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + h$$

$$\text{Vitesse à l'instant } t \text{ est } V(t) = -gt$$

Energie potentielle de la pesanteur

$$E_p = mgz(t) = mg\left(-\frac{1}{2}gt^2 + h\right) = -\frac{1}{2}mg^2t^2 + mgh = -at^2 + c$$

Avec a et c sont des constantes telles que $a = \frac{1}{2}mg^2$ et $c = mgh$.

Energie cinétique :

$$E_c = \frac{1}{2}mV_{(t)}^2 = \frac{1}{2}m(-gt)^2 = \frac{1}{2}mg^2t^2$$

$$\text{Soit } E_c = at^2$$

Energie mécanique : $E_m = E_c + E_p = c = mgh = \text{constante}$.

b/ Chute dans un fluide

Les conditions initiales sont

A l'instant initial $t=0$ s, on a la vitesse initiale $V_z(0)=0$ et la position initiale $z(0)=h$

On se propose d'étudier la chute d'une bille dans un fluide f de masse volumique ρ_f .

En effet, une bille de masse m_b , de masse volumique ρ_b , de volume v_b et de rayon R_b , immergée dans un fluide, est soumise à trois forces :

- ✓ son poids \vec{P} : $\vec{P} = m_b \vec{g} = \rho_b v_b \vec{g}$
- ✓ la poussée d'Archimède \vec{F}_a exercée par le fluide :

$$\vec{F}_a = -m_f \vec{g} = -\rho_f v_b \vec{g}.$$

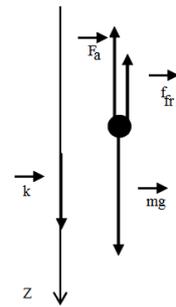
- ✓ la force \vec{f}_{fr} de frottement : Une bille chutant dans un fluide subit une force de frottement visqueux s'opposant au mouvement de la bille et dont l'intensité évolue avec la vitesse de la bille. Si la vitesse est faible, cette force sera donnée par la loi de Stokes: $\vec{f}_{fr} = -6\pi\eta R_b \vec{V}$, où η est la viscosité dynamique du fluide. Elle s'exprime en Pa s.

(À la simulation on dénote k_f le coefficient de la force de frottement visqueux, k_f , tel que $\vec{f}_{fr} = -k_f \vec{V}$.)

Le volume de la bille est donné par : $v_b = \frac{4}{3} \pi R_b^3$

La seconde loi de Newton donne : $(\rho_b - \rho_f) g v_b - 6\pi\eta R_b V_z = \rho_b v_b \frac{dV_z}{dt}$

Soit $g(1 - \alpha) - \frac{6\pi\eta R_b}{\rho_b v_b} V_z = \frac{dV_z}{dt}$ avec $\alpha = \frac{\rho_f}{\rho_b}$

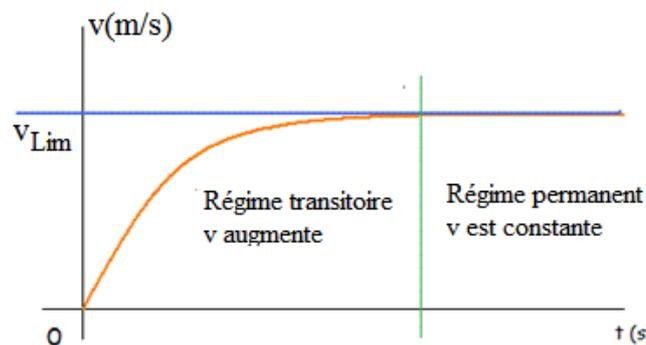


Solution pour la vitesse V_z

La solution de cette équation est $V_z = V_{Lim} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$,

avec $V_{Lim} = g\tau(1 - \alpha)$ et $\tau = \frac{\rho_b v_b}{6\pi\eta R_b}$

Nous constatons qu'il y a deux régimes : un régime transitoire et un régime permanent où la vitesse est constante.



Avec

L'énergie cinétique : $E_C = \frac{1}{2} m_b V_z^2 = \frac{1}{2} m_b V_{Lim}^2 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)^2$

Solution pour le déplacement z :

$$\frac{dz}{dt} = V_z = V_{Lim} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \text{ Soit } z(t) = V_{Lim} \left(t + \tau \left(e^{-\frac{t}{\tau}} - 1 \right) \right) + h.$$

L'énergie potentielle :

$$E_p = -\rho_b v_b g z(t) = -\rho_b v_b g V_{Lim} \left(t + \tau \left(e^{-\frac{t}{\tau}} - 1 \right) \right) - \rho_b v_b g h$$

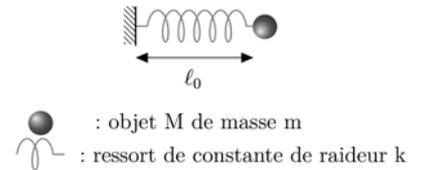
L'énergie totale :

$$E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2} \rho_b v_b V_{Lim}^2 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)^2 - \rho_b v_b g V_{Lim} \left(t + \tau \left(e^{-\frac{t}{\tau}} - 1\right)\right) - \rho_b v_b g h$$

2/ Etude du ressort

2.1/ Cas sans frottement : Oscillations libres :

Une particule M de masse m fixée à l'extrémité d'un ressort (disposé horizontalement) de masse négligeable, de constante de raideur k et de longueur l_0 . Si le corps est déplacé d'une faible distance et ensuite relâché, il entrera en oscillation harmonique simple. Les forces de frottements sont supposées négligeables.



Les conditions initiales :

A $t=0$ on a $x(0) = 0$ et $V(0)=V_0$

Elongation instantanée : $x(t) = x_m \sin(\omega_0 t)$

Avec
$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}$$

Sa dérivée donne la vitesse $V = \frac{dx(t)}{dt} = \omega_0 x_m \cos(\omega_0 t)$

Energie cinétique : $E_c = \frac{1}{2} m V^2 = \frac{1}{2} m \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = \frac{1}{2} m \omega_0^2 x_m^2 \cos^2(\omega_0 t) = \frac{1}{2} k x_m^2 \cos^2(\omega_0 t)$

Energie potentielle : $E_p = \frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} k x_m^2 \sin^2(\omega_0 t)$

Energie mécanique : $E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2} k x_m^2$

Lorsqu'il n'y a pas de frottements, les énergies E_c et E_p sont périodiques sinusoïdales et leurs amplitudes sont constantes durant le mouvement. Ce qui donne une énergie mécanique totale E_m constante.

2.2/ Cas avec frottement

Si on introduit une force de frottement visqueux: $\vec{f}_{fr} = -k_f \vec{V} = -k_f \frac{dx}{dt}$,

On obtient une équation de type : $\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\lambda \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$ (3)

Où $\lambda = k_f / 2m$ est le facteur d'amortissement et $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$ est la pulsation propre du système oscillant.

On cherche une solution de l'équation différentielle (1) sous la forme $x(t) = Ae^{rt}$:

L'équation caractéristique de l'équation du mouvement (1) est donnée par

$$r^2 + 2\lambda r + \omega_0^2 = 0$$

On distingue trois régimes selon le signe du discriminant : $\Delta = 4(\lambda^2 - \omega_0^2)$

Régime aperiodique où $\Delta > 0$ soit $\lambda > \omega_0$

L'équation caractéristique admet deux solutions réelles :

$$r_1 = -\lambda + \sqrt{\lambda^2 - \omega_0^2} \quad \text{et} \quad r_2 = -\lambda - \sqrt{\lambda^2 - \omega_0^2}$$

Le mouvement dans ce cas est sous la forme : $x(t) = e^{-\lambda t} (Ae^{-\sqrt{\lambda^2 - \omega_0^2} t} + Be^{\sqrt{\lambda^2 - \omega_0^2} t})$. Ce mouvement est apériodique.

Régime critique où $\Delta = 0$ soit $\lambda = \omega_0$

L'équation caractéristique admet une solution double $r = -\lambda$

La solution dans ce cas là est donnée par $x(t) = e^{-\lambda t} (At + B)$

Régime pseudopériodique où $\Delta < 0$ soit $\lambda < \omega_0$

L'équation caractéristique admet deux solutions complexes

$$r_1 = -\lambda + i\sqrt{\lambda^2 - \omega_0^2} \quad \text{et} \quad r_2 = -\lambda - i\sqrt{\lambda^2 - \omega_0^2}$$

La solution de l'équation du mouvement est : $x(t) = x_0 e^{-\lambda t} \sin(\omega_1 t)$

Avec $\omega_1 = (\omega_0^2 - \lambda^2)^{\frac{1}{2}}$ est la pseudo pulsation du mouvement

$$\text{Energie cinétique : } E_C = \frac{1}{2} m V^2 = \frac{1}{2} m \left(\frac{dx}{dt} \right)^2$$

$$\text{Energie potentielle : } E_P = \frac{1}{2} k x^2$$

$$E_m = E_C + E_P = \frac{1}{2} m \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} k x^2$$

Puissance mécanique

$$\frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} k x^2 \right) = -2 \lambda m \frac{dx}{dt} = -k_f \frac{dx}{dt}$$

3/ Etude d'un pendule simple dans un milieu visqueux

On se propose d'étudier l'évolution des énergies cinétique E_C , l'énergie potentielle E_P et l'énergie mécanique E_m du mouvement d'un pendule simple dans les deux cas suivants :

a/ Mouvement sans frottements

$$\text{Energie cinétique : } E_C = \frac{1}{2} m V^2, \quad \text{avec } V = L \frac{d\theta}{dt}. \quad \text{Soit } E_C = \frac{1}{2} m L^2 \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2$$

$$\text{Energie potentielle : } E_P = mgL(1 - \cos(\theta))$$

$$\text{Pour des petits angles on aura } \cos(\theta) \approx 1 - \frac{\theta^2}{2}. \quad \text{Soit } 1 - \cos(\theta) \approx \frac{\theta^2}{2}$$

$$\text{D'où : } E_P \approx mLg \frac{\theta^2}{2}$$

$$\text{Comme l'équation harmonique : } \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L}\theta = 0. \quad \text{Soit } \frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega_0^2\theta = 0$$

$$\text{Solution : } \theta(t) = \theta_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

$$\text{Et puisque } \frac{d\theta}{dt} = -\omega_0 \theta_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$$

$$\text{On obtient énergie mécanique : } E_m = E_C + E_P = \frac{1}{2} m g L \theta_0^2 = \text{constante.}$$

b/ Mouvement dans un liquide de visqueux

Si l'on considère que le pendule est soumis à un frottement visqueux de coefficient k , l'équation du mouvement devient

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2k \frac{d\theta}{dt} + \omega_0^2\theta = 0 \quad (4)$$

Nous constatons que les équations (3) et (4) sont de même nature. Il s'agit d'un système mécanique oscillant. Les solutions sont, donc, les mêmes.

V.2

TP2 : Etude statique et dynamique d'un ressort (Ressources théoriques)

Introduction

L'oscillateur harmonique est un concept important en physique car il permet notamment de décrire le comportement autour d'une position d'équilibre de nombreux systèmes physiques dans des conditions d'approximation à définir. Dans cette partie on présente le prototype le plus élémentaire d'un oscillateur harmonique : le système masse-ressort vertical non amorti, la mise en équation du mouvement de la masse et la résolution de l'équation différentielle harmonique qui résulte du principe fondamental de la dynamique.

L'objet de ce TP est l'étude des petits mouvements d'un point matériel au voisinage d'une position d'équilibre stable à l'aide du modèle d'un oscillateur harmonique. Lors de son évolution, les frottements sont nuls ou négligeables de sorte qu'il ne peut s'effectuer de transfert énergétique vers l'extérieur : leur énergie reste donc constante.

Etude d'un ressort en régime statique et dynamique

On désire déterminer par deux méthodes différentes, statiques et dynamiques, la constante de raideur K d'un ressort. Le ressort est à spires non jointives et est utilisé dans son domaine d'élasticité.

1) Etude statique

L'objectif est de vérifier que l'intensité de la force de tension F , exercée sur un ressort est proportionnelle à l'allongement du ressort $\Delta\ell$ et de déterminer sa constante de raideur K .

Le dispositif expérimental est un ressort suspendu verticalement, l'extrémité supérieure est fixée à une potence et à l'extrémité libre on accroche successivement des masses marquées de différentes valeurs (figure (1)). On appelle ℓ_0 la longueur du ressort à vide.

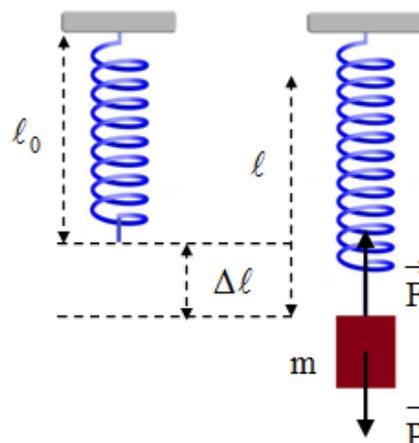


Figure 1 : Schéma représentant le régime statique

Quand on accroche à l'extrémité du ressort une masse m , celui-ci s'allonge d'une quantité $\Delta\ell = \ell - \ell_0$. Une règle graduée placée verticalement permet de lire la longueur du ressort.

A l'équilibre on a : $\vec{P} + \vec{F} = \vec{0}$;

$\vec{P} = m\vec{g}$ est le poids de la masse m et $F = K(\ell - \ell_0)$ la tension du ressort.

La projection de ces forces sur l'axe vertical dans le sens descendant donne :

$$mg - F = 0 \Rightarrow mg = F = K\Delta\ell$$

La raideur K est le rapport entre la tension F et l'allongement $\Delta\ell$: $K = \frac{mg}{\Delta\ell}$

2) Etude dynamique

Le but est d'étudier les oscillations libres d'un pendule élastique, constitué d'un ressort de raideur K auquel est accrochée une masse m , en reliant sa période aux paramètres m et K .

Le ressort précédent de constante de raideur K est utilisé pour réaliser un oscillateur élastique vertical à l'extrémité duquel est accrochée une masse m (figure (2)). A un instant choisi comme origine des temps, la masse est écartée de sa position d'équilibre et lâchée sans vitesse initiale : le système oscille. Soit ℓ_0 la longueur à vide du ressort, soit ℓ sa longueur en charge.

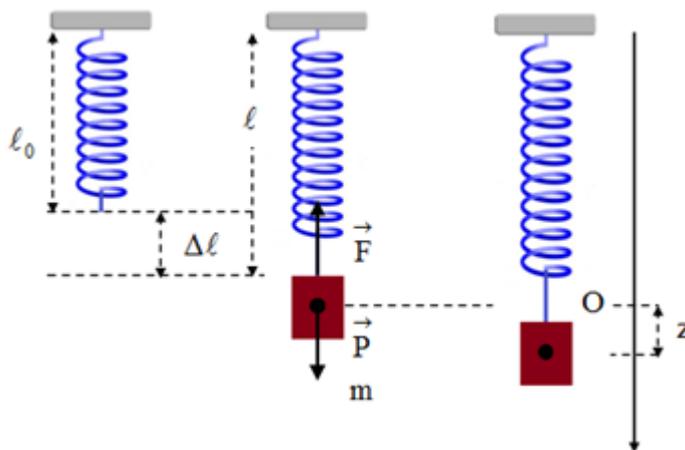


Figure 2 : Régime dynamique

A l'équilibre on a : $m\vec{g} + \vec{F} = \vec{0}$, mais en projetant sur l'axe du mouvement on obtient :
 $mg - F = 0$ donc $mg = K(\ell - \ell_0)$

On écarte la masse m de sa position d'équilibre vers le bas d'une distance z et on la lâche, elle effectue alors des oscillations autour de la position d'équilibre.

A un instant t l'équilibre du mouvement s'écrit :

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow m\vec{g} + \vec{F} = m\vec{a} \text{ avec } F = K(\Delta\ell + z) \text{ et } \vec{a} : \text{l'accélération de la masse } m$$

Si on note par $z(t)$ la position de la masse m à l'instant t par rapport à la position d'équilibre, la relation fondamentale de la dynamique donne en projetant sur la verticale :

$$mg - K(\ell - \ell_0 + z) = m \frac{d^2z}{dt^2}$$

$$mg - K(\Delta\ell + z) = ma \Rightarrow mg - K\Delta\ell - Kz = ma$$

Et puisque $mg - K\Delta\ell = 0$, après simplification on arrive à l'équation du mouvement

de la masse m: $-Kz = m \frac{dz^2}{dt^2}$ d'où $\frac{dz^2}{dt^2} + \frac{K}{m}z = 0$

Cette équation est une équation différentielle du second ordre et sa solution est de la forme : $z(t) = A \cos \omega t + B \sin \omega t \Rightarrow z(t) = z_m \cos(\omega t + \varphi)$

Le mouvement est périodique de pulsation $\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{K}{m}}$ (exprimée en rad/s), T est la période d'oscillations exprimée en (s), z_m est l'élongation maximale (toujours positive) de $z(t)$ et φ le déphasage. Les constantes z_m et φ sont calculées par les conditions initiales.

De ce que précède on obtient : $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}} \Rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2 m}{K}$

3) Couplage de deux pendules élastiques

Détermination de l'expression de la constante de raideur K en mode statique

La valeur de la constante de raideur K d'un ressort, exprimée en N/m, est généralement donnée par les constructeurs de ressort standard. Certains montages mécaniques nécessitent une constante de raideur particulière qui pourra être obtenue en effectuant des montages en série ou en parallèle de ressorts de raideurs différentes. Les schémas ci-dessous montre le principe de ces deux montages et donne la formule à utiliser pour calculer la raideur équivalente du groupement de ressort en fonction du montage.

a) Association en parallèle de deux ressorts de raideurs K_1 et K_2

Les ressorts 1 et 2, de masses négligeables, sont montés en parallèle. On suspend une masse m à l'extrémité des ressorts (figure (3)). Ce système se comporte comme un seul ressort de raideur équivalente K_p auquel on a accroché la même masse m. On remarque que les deux ressorts ont le même allongement $\Delta\ell$.

Nous avons $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$, $F = K_p\Delta\ell = mg$, $F_1 = K_1\Delta\ell_1$ et $F_2 = K_2\Delta\ell_2$

Donc $K_p\Delta\ell = K_1\Delta\ell_1 + K_2\Delta\ell_2$. Et puisque $\Delta\ell = \Delta\ell_1 = \Delta\ell_2$, On obtient

$K_p = K_1 + K_2$

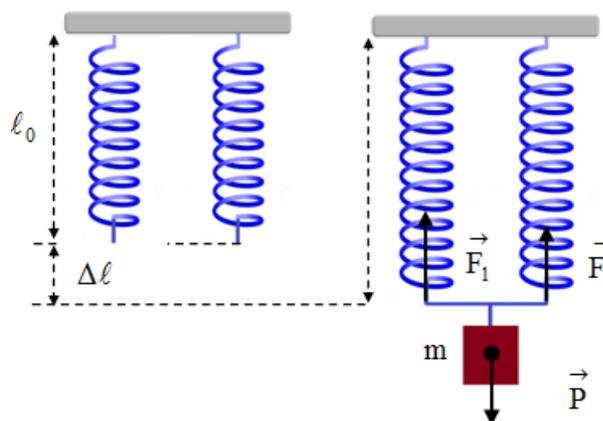


Figure 3 : Association de 2 ressorts en parallèle

b) Association en série de deux ressorts de raideur K_1 et K_2

Les ressorts 1 et 2, sont maintenant en série. On suspend une masse m au ressort 2 (figure (4)). Les deux ressorts s'allongent respectivement de $\Delta\ell_1$ et $\Delta\ell_2$.

Le système des deux ressorts est équivalent à un seul ressort de raideur K_s auquel on a accroché la même masse m et qui s'allonge d'une longueur $\Delta\ell$:

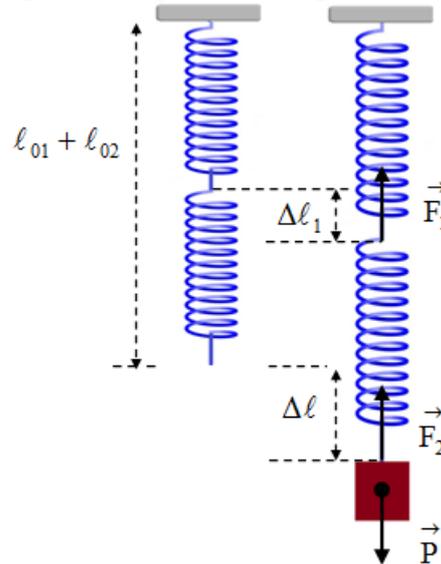


Figure 4: Association de 2 ressorts en série

✓ On a d'une part $F_1 = F_2 = F$ avec $F_1 = mg \Rightarrow K_1(\ell - \ell_{01}) = K_1\Delta\ell_1 = mg$

$$\Delta\ell_1 = \ell_1 - \ell_{01} = \frac{mg}{K_1} \quad (\ell_{01} \text{ est la longueur du ressort 1 à vide}).$$

De même on a : $F_2 = mg \Rightarrow K_2(\ell - \ell_{02}) = K_2\Delta\ell_2 = mg$

$$\Delta\ell_2 = \ell_2 - \ell_{02} = \frac{mg}{K_2} \quad (\ell_{02} \text{ est la longueur du ressort 2 à vide}).$$

L'équation précédente devient : $F = mg \Rightarrow K_s\Delta\ell = mg \Rightarrow \Delta\ell = \frac{mg}{K_s}$

✓ Et d'autre part $\Delta\ell = \Delta\ell_1 + \Delta\ell_2$ ce qui donne :

$$\frac{1}{K_s} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} \Rightarrow K_s = \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2}$$

c) Cas particulier $K_1 = K_2$

✓ Pour la première équation (ressorts en parallèle) $K_p = 2K_1$

✓ Pour la seconde équation (ressorts en série) $K_s = \frac{K_1}{2}$

4) Poussée d'Archimède

Introduction

Le principe d'Archimède : Tout corps solide complètement immergé dans un liquide en équilibre subit de la part de celui-ci une poussée verticale dirigée de bas en haut dont l'intensité est égale au poids du liquide déplacé par ce corps.

Le but de l'étude qui suit est de donner les caractéristiques de la Poussée d'Archimède que l'on désigne par \vec{F}_A .

Dans une première étape, on suspend une masse m à un ressort de constante de raideur K étudié précédemment, de longueur à vide ℓ_0 . On note la valeur de l'allongement $\Delta\ell_1 = \ell_1 - \ell_0$ du ressort ce qui permet de déterminer la valeur de la tension \vec{F}_1 exercée par le ressort sur la masse m (figure (5): $F_1 = K(\ell_1 - \ell_0)$ et $P = mg \Rightarrow F_1 = K\Delta\ell_1 = mg$

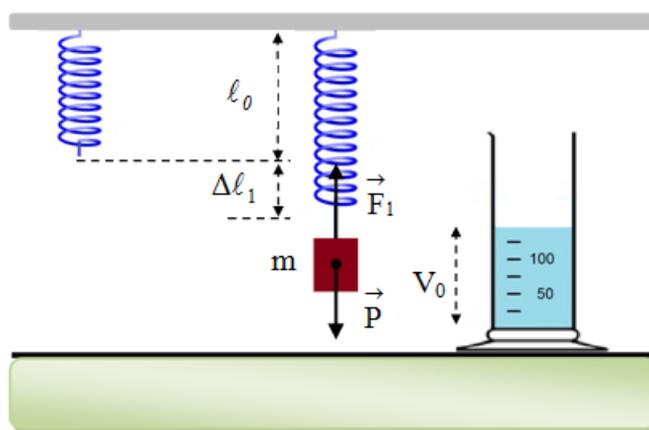


Figure 5 : Système ressort – masse dans le vide

Dans une deuxième étape on immerge la masse m suspendue au ressort, dans une éprouvette graduée contenant d'un liquide de masse volumique ρ . On constate que la masse introduite dans le liquide subit une poussée vers le haut qui serait proportionnelle au poids du fluide déplacé. Le liquide exerce une force, nommée «poussée d'Archimède», qui nous donne souvent l'impression que les objets sont moins lourds lorsqu'ils sont immergés dans un fluide.

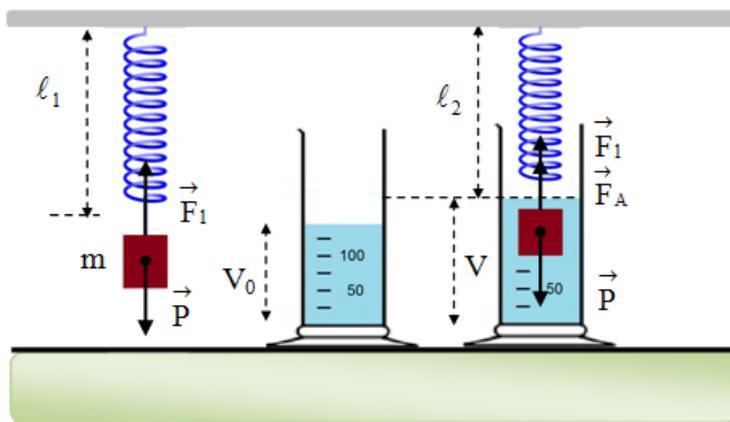


Figure 6 : Masse plongées dans le liquide

On remarque que :

- La longueur du ressort $\ell_2 < \ell_1$.
- la valeur de la tension diminue lorsque l'on immerge la masse m.
- L'action est exercée par le liquide sur le système S (ressort – masse).
- Comme le poids est inchangé et que la valeur de la tension exercée par le ressort diminue, le fluide exerce une force F_A sur l'objet. C'est la poussée d'Archimède qui n'est pas négligeable par rapport au poids dans l'eau.

a) **Bilan des forces exercées sur le système**

Le système est en équilibre. D'après le principe fondamental de la dynamique (PFD), la masse m est soumise à des forces dont les effets se compensent. $\vec{P} + \vec{F}_2 + \vec{F}_A = 0$

$\vec{P} = m \vec{g}$: Poids réel \vec{F}_2 : Poids apparent et \vec{F}_A : Poussée d'Archimède.

Comme les vecteurs forces, \vec{P} et \vec{F}_2 sont verticales, la force \vec{F}_A est verticale et la valeur de la Poussée d'Archimède :

$$F_A = P - F_2 = mg - K(\ell_2 - \ell_0)$$

La poussée d'Archimède F_A est égale au poids du volume d'eau déplacé P_e :

$$P_e = F_A = m_e g = \rho V_e g$$

- $V_e = V - V_0$ est le volume d'eau déplacé par lecture sur l'éprouvette graduée.
- V_0 est le volume initial du liquide et V est le volume du liquide après immersion de la masse m.
- m_e est la masse de l'eau déplacée et ρ est la masse volumique du liquide.

b) **Les facteurs qui influencent la poussée d'Archimède**

Dans les expériences suivantes, on peut changer les différents paramètres et grandeurs pour vérifier s'il y aura une influence sur la poussée d'Archimède. Parmi ces paramètres on cite :

- ✓ La profondeur d'immersion du corps
- ✓ Le volume d'immersion du corps
- ✓ La masse de l'objet
- ✓ La masse volumique du liquide.

1. **La profondeur d'immersion du corps**

Dans une première expérience on accroche un objet à un dynamomètre et on le plonge dans un long récipient. La mesure consiste à trouver la poussée d'Archimède à différentes profondeurs. On constate que l'intensité de la poussée d'Archimède est la même c.à.d. que la poussée d'Archimède ne dépend pas de la profondeur d'immersion de l'objet dans le liquide.

2. **Le volume d'immersion du corps**

On reprend l'expérience précédente, mais cette fois on immerge progressivement l'objet dans le liquide. On constate que l'intensité de la poussée d'Archimède est de plus en plus grande ce qui prouve que la poussée d'Archimède dépend du volume immergé de l'objet.

3. **La masse de l'objet :**

Avec la même expérience on mesure la poussée d'Archimède de 2 objets de même

volume mais composé de substances différentes. On constate que la poussée d'Archimède a la même mesure et par conséquent elle ne dépend pas de la densité de l'objet immergé.

4. La masse volumique du liquide du liquide

Même expérience, mais on plonge un même objet dans 2 liquides de masse volumique différente. La poussée d'Archimède a une intensité plus importante dans un liquide de masse volumique plus importante. La poussée d'Archimède dépend de la masse volumique du liquide.

Conclusion :

L'intensité de la poussée d'Archimède dépend de :

- du volume immergé de l'objet
- de la densité du liquide d'immersion.

V.3

TP03 : Pendule simple
(ressources théoriques)

I) Présentation générale

I-1) Tableau des grandeurs :

SYMBOLE	DENOMINATION	UNITÉ
θ	Angle d'inclinaison	degré
$\theta(t)$	L'élongation instantanée	
Γ	Accélération	m s^{-2}
E_c	Energie cinétique	J
E_p	Energie potentielle	J
E_t	Energie Totale	J
m	Masse M ponctuelle accrochée au bout du fil.	kg
ω	Pulsation	rad s^{-1}
ωl	Pseudo-pulsation	
g	Pesanteur	m s^{-2}
L	Langueur du fil inextensible et de masse négligeable	m
R	Tension du fil T	N
P	Poids	kg
OM	Distance entre le point o et la masse du pendule simple	m
λ	Coefficient d'amortissement	
T	Période d'oscillation	s
f	Fréquence, $T = 1/f$	Hz
(R)	Repère $R(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{k})$	-----

I-2) Définition du pendule simple

Un pendule simple est constitué d'une masse m , assimilée à une boule, suspendue à un fil inextensible fixé sur un support, exemples : balançoire, balancier d'une horloge.

La position du pendule est repérée par l'angle θ (compris entre $-\pi$ et $+\pi$) qui existe entre la tige et la verticale, voir figure 1.

La masse se déplace suivant une trajectoire circulaire de rayon L (longueur du fil).

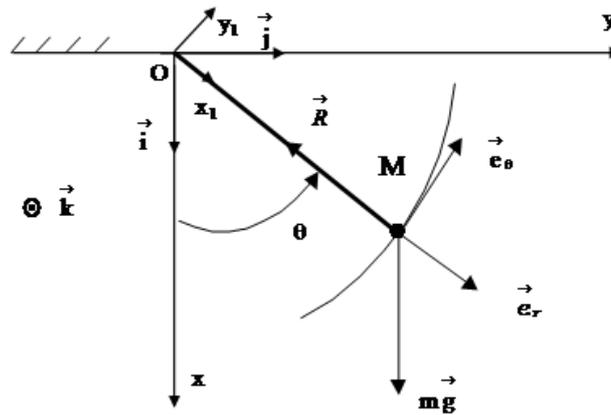


Figure 1 : Pendule simple

II) Oscillations libres

II-1) Détermination de l'équation différentielle du mouvement

Pour démontrer l'équation différentielle du mouvement, nous pouvons utiliser :

- * Le Principe Fondamental de la Dynamique.
- * Le théorème de l'énergie mécanique.
- * Le théorème du moment cinétique.

a) Méthode 1 : Principe Fondamental de la Dynamique

La masse m est soumise à son poids \vec{P} et à la tension \vec{R} du fil.

D'après le principe fondamental de la dynamique : $\vec{P} + \vec{R} = m \vec{\Gamma}$ (1)

On projette la relation (1) sur la base mobile $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta)$: (Voir figure 1)

$$\text{Projection de (1) sur } \vec{e}_r \rightarrow m g \cos(\theta) - |\vec{R}| = m \Gamma_r \quad (2)$$

$$\text{Projection de (1) sur } \vec{e}_\theta \rightarrow -m g \sin(\theta) = m \Gamma_\theta \quad (3)$$

Calcul de l'accélération $\vec{\Gamma}$

Dans le repère \mathcal{R} , le vecteur position \overrightarrow{OM} est donné par :

$$\overrightarrow{OM} = L \vec{e}_r$$

D'après l'expression du vecteur position, le vecteur accélération du point matériel est donné par :

$$\vec{\Gamma} = \frac{d\vec{V}}{dt}$$

Comme

$$\vec{V} = \frac{d\vec{OM}}{dt} = \frac{d(L \vec{e}_r)}{dt} = L \frac{d\vec{e}_r}{dt} = L \frac{d\theta}{dt} \frac{d\vec{e}_r}{d\theta}$$

Avec

$$\frac{d\theta}{dt} = \dot{\theta} \text{ et } \frac{d\vec{e}_r}{d\theta} = \vec{e}_\theta$$

On a alors

$$\vec{V} = L \dot{\theta} \vec{e}_\theta$$

$$\vec{\Gamma} = \frac{d(L\dot{\theta} \vec{e}_\theta)}{dt} = L \left(\ddot{\theta} \vec{e}_\theta + \dot{\theta} \frac{d\vec{e}_\theta}{dt} \right) = L \left(\ddot{\theta} \vec{e}_\theta + \dot{\theta} \frac{d\theta}{dt} \frac{d\vec{e}_\theta}{d\theta} \right)$$

Comme

$$\frac{d\vec{e}_\theta}{d\theta} = -\vec{e}_r$$

D'où

$$\vec{\Gamma} = L(-\dot{\theta}^2 \vec{e}_r + \ddot{\theta} \vec{e}_\theta) \quad (4)$$

Compte tenu des relations (2) et (4), on aura :

$$R = m g \cos \theta + m L \dot{\theta}^2$$

Et de (3) et (4), on aura,

$$- m g \sin \theta = m L \ddot{\theta}$$

d'où

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{L} \sin \theta = 0 \quad (5)$$

b) Méthode 2 : Théorème de l'énergie mécanique

L'énergie mécanique du système se conserve et est constante dans le temps : $\frac{dE_t}{dt} = 0$

L'énergie cinétique : $E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m (L\dot{\theta})^2$ avec $v = L\dot{\theta}$

En prenant comme référence pour l'énergie potentielle de pesanteur la position : $\theta = \frac{\pi}{2}$,

$$E_p = - mgL \cos \theta$$

d'où

$$E_t = \frac{1}{2} m (L\dot{\theta})^2 - mgL \cos \theta$$

Donc :

$$\frac{dE_t}{dt} = m L \dot{\theta} \ddot{\theta} + mgL \sin \theta \dot{\theta} = 0$$

On obtient donc l'équation différentielle du mouvement suivante :

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{L} \sin(\theta) = 0 \quad (5)$$

c). Méthode 3 : Théorème du moment cinétique

Rappel : Soit un point M de masse m, de vitesse \vec{v} et de quantité de mouvement $\vec{p} = m\vec{v}$.

Son moment cinétique en un point O est défini par :

$$\vec{L}_{O/M} = \vec{OM} \wedge \vec{p} = \vec{OM} \wedge m\vec{v}$$

Appliquons le théorème du moment cinétique au point d'attache fixe O du pendule : La dérivée du moment cinétique par rapport à O est égale à la somme des moments des forces extérieures par rapport à O.

Son moment cinétique en un point O est défini par :

$$\frac{d\vec{L}_O}{dt} = \sum \vec{M}_{F/O}$$

$$\vec{L}_{F/O} = \vec{OM}_{F/O} \wedge m\vec{v} = L\vec{e}_r \wedge mL\dot{\theta}\vec{e}_\theta = mL^2\dot{\theta}\vec{k}$$

$$\vec{M}_{R/O} = \vec{OM}_{R/O} \wedge \vec{R} \quad \text{Or } \vec{OA} \text{ et } \vec{R} \text{ sont colinéaires.}$$

$$\vec{M}_{R/O} = \vec{0}$$

$$\vec{L}_{P/O} = \vec{OM} \wedge \vec{P} = mgL \sin(\vec{OM}, \vec{P})\vec{k} = mgL \sin(-\theta)\vec{k} M_{P/O} = -mgL \sin \theta \vec{k}$$

$$\frac{d(mL^2 \dot{\theta})}{dt} \vec{k} = -mgl \sin \theta \vec{k}$$

$$mL^2 \ddot{\theta} = -mgL \sin \theta$$

D'où l'équation différentielle :

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{L} \sin(\theta) = 0 \quad (5)$$

II-2) Résolution de l'équation de mouvement pour θ petite.

Dans le cas où les oscillations sont de faibles amplitudes (θ petit), on peut faire l'approximation suivante : $\sin \theta \approx \theta$.

La solution de cette équation différentielle est du type :

$$\theta(t) = A \cos(\omega t + \phi)$$

Avec $\omega = 2\pi/T$: la pulsation propre des oscillations de période T.

a) Expression de ω :

$$\theta(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (6)$$

$$\dot{\theta}(t) = -A \omega \sin(\omega t + \phi)$$

$$\ddot{\theta}(t) = -A \omega^2 \cos(\omega t + \phi) = -\omega^2 \theta(t) \quad (7)$$

En injectant les expressions des équations (6) et (7) dans l'équation différentielle (5), on obtient :

$$A \cos(\omega t + \phi)(-\omega^2 + g/L) = 0$$

Pour être vraie à tout instant t , cette équation impose : $\omega^2 = g/L$

Soit $\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$

La période des oscillations s'écrit donc $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$.

b) Détermination des constantes A et ϕ dans l'expression de $\theta(t)$:

Ces constantes sont déterminées à partir des conditions initiales :

Le pendule est lâché d'une position $\theta(t=0) = \theta_0$ et $\dot{\theta}(t=0) = 0$.

$$\theta(t) = A \cos(\omega t + \phi) \Rightarrow \theta(t=0) = \theta_0 = A \cos \phi \quad (8)$$

$$\dot{\theta}(t) = -A \omega \sin(\omega t + \phi) \Rightarrow \dot{\theta}(t=0) = -A \omega \sin \phi \quad (9)$$

A partir de (9), on a $A \neq 0$ et $\omega \neq 0 \Rightarrow \sin \phi = 0 \Rightarrow \phi = k\pi$

Posons $\phi = 0$, l'équation (8) devient : $A = \theta_0$

Avec ces conditions initiales l'équation $\theta(t)$ s'écrit : $\theta(t) = \theta_0 \cos(\omega t)$

c) Calcul de la vitesse angulaire maximale :

$$\theta(t) = \theta_0 \cos(\omega t) \Rightarrow \dot{\theta}(t) = -\omega \theta_0 \sin(\omega t)$$

Et quand $\sin(\omega t) = \pm 1$, alors, $|\dot{\theta}(t)| = \omega \theta_0 = |\dot{\theta}_{max}|$ et $\theta(t) = 0$.

Le pendule atteint donc sa vitesse angulaire maximale lorsqu'il passe par sa position d'équilibre en $\theta = 0$:

En effet, la vitesse angulaire maximale est :

$$|\dot{\theta}_{max}| = \omega \theta_0 = \sqrt{\frac{g}{L}} \theta_0$$

III/ Oscillations amorties

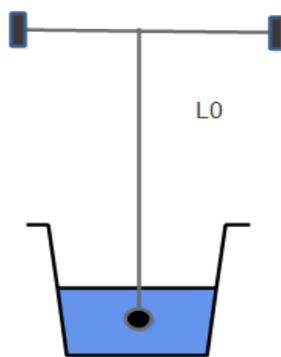
Un oscillateur réel est toujours AMORTI. Si cet amortissement est faible, le système oscille avec une amplitude décroissante : le mouvement est pseudopériodique. La période propre T_0 d'un oscillateur correspond à la période de ses oscillations libres en l'absence d'amortissement.

La pseudo-période T d'un oscillateur amorti est la durée qui s'écoule entre deux passages successifs de l'oscillateur par sa position d'équilibre, la trajectoire étant parcourue dans le même sens pour les deux passages. Si l'amortissement est faible, la pseudo-période et la période propre sont voisines.

$$\theta(t) = e^{-\lambda t} [C \cos \omega_1 t + D \sin \omega_1 t]$$

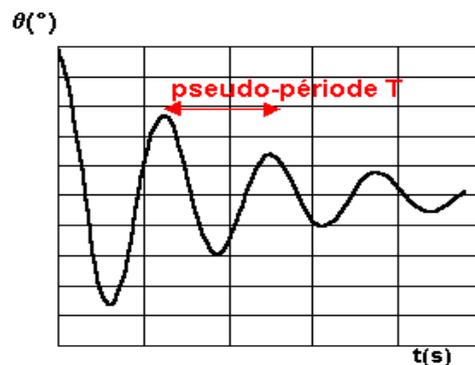
On place le pendule de masse m et de longueur L_0 , dans un fluide de faible viscosité (exemple l'eau) et on trace θ en fonction du temps t :

Le plan des oscillations est perpendiculaire à la figure.



Résonateur de période propre

Régime pseudo-périodique



Amortissement faible : Pseudo-période T voisine de T_0 (période propre).

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{L_0}{g}}$$

Le plan des oscillations est perpendiculaire à la figure

IV/ Oscillations amorties (entretenues) :

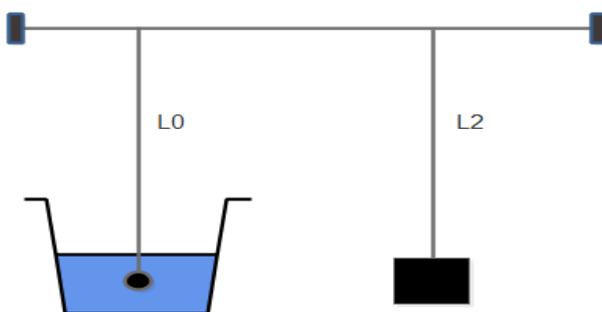
a) Définition

Un oscillateur, de fréquence propre $f_0=1/T_0$, subit des oscillations forcées s'il oscille à une fréquence f imposée par un oscillateur extérieur appelée excitateur.

b) Etude expérimentale :

L'oscillateur étudié est le résonateur léger de période propre T_0 . Il est amorti par des frottements λ avec le fluide.

Le plan des oscillations est perpendiculaire à la figure



Résonateur de période propre

Excitateur de période T réglable en agissant sur la longueur L_2 du fil

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{L_0}{g}}$$

V.4

TP04 : Loi d'Ohm - Mesure des résistances (Ressources théoriques)

I- la mesure en physique :

Lorsqu'on mesure une grandeur quelconque (intensité du courant ou longueur d'un meuble par exemple), on ne peut jamais obtenir une valeur exacte. On appelle *erreur* la différence entre la valeur mesurée et la valeur exacte. Mais comme on ignore la valeur exacte, on ne peut pas connaître l'erreur commise. Le résultat est donc toujours incertain : on parle alors d'incertitude de mesure.

I-1- Objectifs des Travaux Pratiques :

- La physique est la science qui étudie les propriétés de la matière et établit les lois qui rendent compte des phénomènes rencontrés dans la nature. Elle a été développée grâce à la méthode expérimentale qui implique que toute loi physique doit se vérifier par des expériences reproductibles.

- Dans les cours de physique (mécanique, électricité, thermodynamique, ...), de nombreuses lois physiques sont établies. Pour les vérifier, il faut effectuer des mesures expérimentales, en tenant compte des erreurs de mesures, puis comparer les résultats obtenus aux valeurs calculées.

I-2- Erreurs et incertitudes :

- Lorsqu'on mesure une grandeur quelconque (intensité du courant ou longueur d'un meuble par exemple), on ne peut jamais obtenir une valeur exacte.

- On appelle erreur la différence entre la valeur mesurée et la valeur exacte. Mais comme on ignore la valeur exacte, on ne peut pas connaître l'erreur commise. Le résultat est donc toujours incertain: on parle alors d'incertitude de mesure.

- Les trois causes d'incertitudes sont :

1. L'imperfection de l'appareil de mesure
2. Le défaut de la méthode de mesure
3. Les erreurs de lecture par l'homme des appareils de mesure

I-2.1 Incertitude absolue

Exemple : On mesure un meuble avec une règle dont la graduation minimale est 2mm

–longueur d'un meuble de 350 mm à 2 mm près.

–Cela signifie que le résultat de la mesure est 350 mm, mais les causes d'incertitudes (appareils, méthode, lecture...) nous conduisent à penser que la valeur exacte ne peut pas s'écarter de plus de 2 mm de cette valeur.

–2 mm représente l'incertitude absolue de la mesure.

–La valeur exacte est donc comprise entre 350 mm - 2 mm et 350 mm + 2 mm

–On peut alors écrire : $348 \text{ mm} < \text{longueur} < 352 \text{ mm}$ ou bien $\text{longueur} = 350 \pm 2 \text{ mm}$

I.2.2 Incertitude relative

- L'incertitude relative est le rapport entre l'incertitude absolue et la mesure.
- Exemple : Mesurer 350 mm à 2 mm près donne une incertitude relative de $2/350 = 0,005$ soit 0,5%
- L'incertitude relative nous donne une idée de la précision de la mesure.
- Mesurer à 2 mm près la longueur d'un objet de 35 cm est d'une précision normale (0,5%)
- Mesurer à 2 mm près la longueur d'une salle (10 m) est très précis: incertitude relative: (0,02 %)
- Mesurer à 2 mm près l'épaisseur d'un livre (20 mm) est peu précis: incertitude relative: (10 %)

I.3- Qualités des appareils de mesure :

- Fidélité
 - Un appareil est dit fidèle lorsqu'il donne toujours le même résultat pour une même mesure. C'est une qualité primordiale.
- Sensibilité – Résolution
 - La sensibilité d'un appareil est la plus petite variation de mesure qu'il peut déceler. Avec certains appareils on utilise le terme de résolution.
 - Ne pas confondre la résolution d'un appareil avec l'incertitude absolue. (Voir classe de précision)
- Justesse
 - Un appareil est juste si la différence entre la mesure qu'il indique et la valeur exacte (inconnue) ne dépasse pas l'incertitude prévue.
 - Ce n'est pas une qualité primordiale, parce que l'appareil faux provoque une erreur systématique qu'il est possible de corriger lorsqu'elle est connue.
 - Exemple : Si on mesure une longueur avec un règle trop petite, on peut, par calcul, corriger le résultat, dès que le défaut est connu.

I.4- Classe de précision des appareils de mesure :

- L'utilisateur d'un appareil de mesure (ampèremètre, voltmètre...) a besoin de savoir quelle confiance il doit accorder à son appareil. Le fabricant va lui indiquer, en guise de garantie, la classe de précision. L'erreur est donnée par $\text{Classe} \times \text{Calibre} / 100$.
- Exemple : Un ampèremètre de classe 1 est utilisé sur le calibre 500 mA donne erreur systématique de 5 mA.
- Classe 1 veut dire que l'incertitude relative sur une mesure égale au calibre (500 mA) est de 1%
- Soit une incertitude absolue de $500 \text{ mA} \times (1/100) = 5 \text{ mA}$
- Cette incertitude systématique va s'appliquer sur toutes les mesures effectuées sur ce calibre.
- La valeur exacte de la mesure est donc: $235 \text{ mA} < \text{intensité} < 245 \text{ mA}$
- On remarque que les mesures les plus précises sont celles qui sont les plus proches du calibre. On doit donc bien le choisir.
- Généralement les appareils électroniques et en particulier les appareils numériques ne sont pas plus précis que les appareils analogiques. (Classe de précision plus faible) : leur affichage peut faire illusion.
- Exemple : Pour une mesure de 125,3 mA effectuée sur un appareil numérique de classe 0,5 utilisé sur le calibre 200 mA l'incertitude absolue est $0,5 \times 200 \text{ mA} = 1 \text{ mA}$

- L'affichage des 1/10 est illusoire puisque la valeur exacte est comprise entre 124,3 mA et 126,3 mA
- Il ne faut pas confondre la résolution de l'appareil (0,1 mA) et l'incertitude absolue (1 mA)

I.5- Nombre de chiffres significatifs :

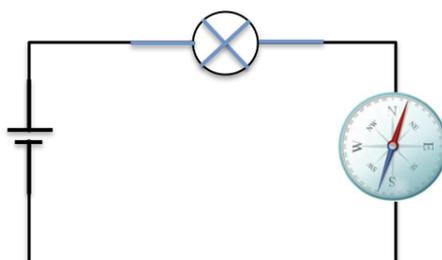
Écriture d'une valeur numérique Puisque les valeurs correspondant aux grandeurs étudiées en Physique ne sont jamais exactes, il convient de prêter attention au nombre de chiffres qui les expriment.

- Exemple : Si vous partagez en 3 parties égales un fil de 100 cm de longueur mesurée à 1 cm près, est-il correct de dire que chaque morceau mesure 33,33 cm ?
- La longueur du fil est comprise entre 99 cm et 101 cm, ce qui donne une fourchette de 33 cm à 33,7 cm pour chaque morceau. On écrira que la longueur de chaque partie est 33,3 cm.
- Le 4^{ème} chiffre a été supprimé car il n'est pas significatif. Il n'y a que 3 chiffres significatifs.
- Toute valeur numérique provenant d'une mesure ou d'un calcul (sur des grandeurs mesurées) doit être exprimé avec un nombre de chiffres significatifs tenant compte des incertitudes.
- Tous les chiffres non nuls sont significatifs
 - 1542,3 à 5 chiffres significatifs
 - 15,423 à 5 chiffres significatifs (la virgule n'intervient pas)
- Les zéros placés à l'intérieur du nombre ou à la fin du nombre, après la virgule, sont toujours significatifs
 - 2005 à 4 chiffres significatifs
 - 187,50 à 5 chiffres significatifs
 - 187,5 à 4 chiffres significatifs. Donc 187,50 et 187,5 ne sont pas identiques, le premier est plus précis.
- Les zéros placés au début du nombre ne sont jamais significatifs
 - 0,52 à 2 chiffres significatifs
 - 0,005 2 à 2 chiffres significatifs
- Les zéros placés à la fin d'un nombre sans virgule peuvent être ou ne pas être (là est la question) significatifs
 - 200 mA a 1 ou 2 ou 3 chiffres significatifs
 - Pour sortir de l'ambiguïté on peut changer d'unité et faire apparaître ainsi une virgule :
 - 0,20 A à 2 chiffres significatifs
 - 0,200 A à 3 chiffres significatifs
- Comment arrondir les nombres
 - Pour obtenir un nombre correct de chiffres significatifs il faut arrondir certains résultats : on garde le nombre de chiffres significatifs désiré ; si le premier chiffre délaissé est égal à 5, 6, 7, 8 ou 9 on ajoute une unité au dernier chiffre significatif (avec une retenue éventuelle) :
 - 527,397 5 s'arrondit à
 - 527,398 avec 6 chiffres significatifs
 - 527,40 avec 5 chiffres significatifs
 - 527,4 avec 4 chiffres significatifs
 - 527 avec 3 chiffres significatifs
 - 530 avec 2 chiffres significatifs
 - 500 avec 1 chiffre significatif

II- Les appareils :

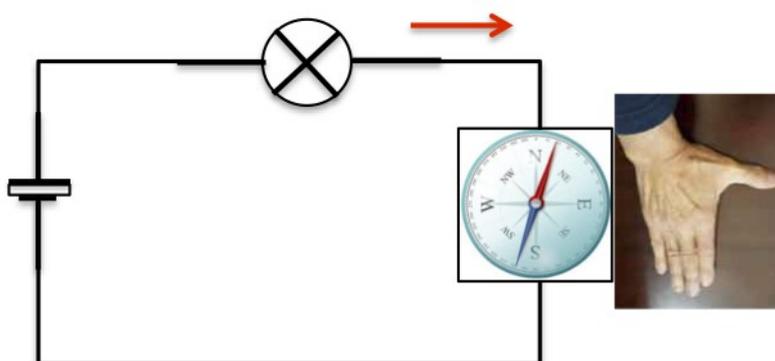
II.1- Effet magnétique du courant :

• Une aiguille aimantée posée sur un pivot (boussole) tourne son pôle nord vers le nord de la Terre. On place le fil d'un circuit électrique au dessus de la boussole, dans l'axe de l'aiguille. Lorsque le courant circule dans le fil, l'aiguille aimantée dévie. Elle a tendance à se placer perpendiculairement au fil.



II.2- Sens du courant :

• Si vous placez votre main droite le long du fil la paume vers le circuit, le courant circulant du poignet vers le bout des doigts, le pôle nord de l'aiguille dévie du côté du pouce.



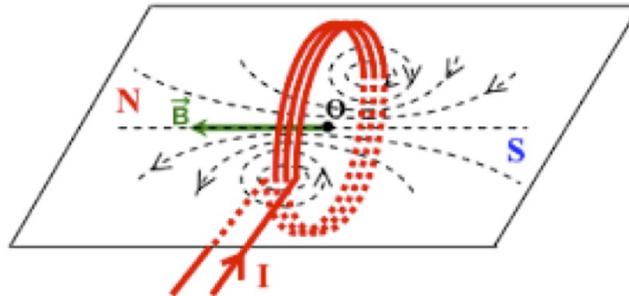
II.3- Bobine électromagnétique :

• Un faible courant ne peut pas provoquer un grand effet magnétique. Comment augmenter cet effet sans élever l'intensité ?

• Si on fait passer un courant dans un fil enroulé en boucle, et si on place sa main droite à l'extérieur de la boucle en suivant le sens du courant, on voit que le pouce est toujours placé du même côté. Toute la spire contribue au même effet magnétique. Pour multiplier cet effet, il suffit de placer un grand nombre de spires de fil isolé côte à côte. C'est le principe de la bobine électromagnétique.

II.4- Détecteur de courant :

- On peut réaliser facilement un détecteur de courant en enroulant un fil, sous forme de bobine plate, autour d'une boussole.

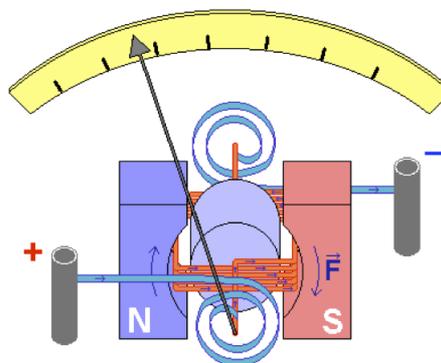


II.5- Le galvanomètre à cadre mobile :

Les appareils de mesure électrique analogique sont en général conçus à partir du galvanomètre à cadre mobile qui utilise l'effet magnétique du courant.

Une bobine rectangulaire (cadre) montée sur pivot et munie d'un noyau de fer doux est placée dans l'entrefer d'un aimant.

Une aiguille est fixée au cadre.



- En l'absence de courant, des ressorts spiraux maintiennent le cadre dans une position telle que l'aiguille indique zéro.
- Lorsqu'un courant traverse le cadre, un couple magnétique entraîne la rotation de "l'équipage mobile" (cadre, noyau et aiguille). Les ressorts spiraux s'opposent à cette rotation et le cadre atteint une position d'équilibre après avoir tourné d'un angle proportionnel à l'intensité du courant qui l'a traversé.
- En montant des résistors en série avec le galvanomètre on obtient un voltmètre
- En montant des résistors en dérivation (shunt) on obtient un ampèremètre.

II.6- L'ampèremètre :

- Il existe plusieurs types d'ampèremètres analogiques :
 – L'ampèremètre le plus répandu est magnéto-électrique, il utilise un galvanomètre à cadre mobile.

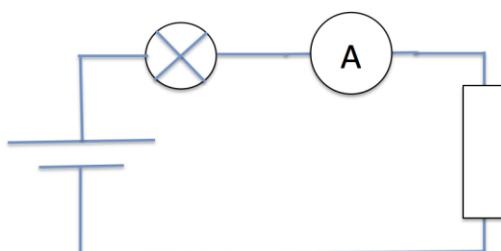
– Dans les ampèremètres magnétiques, c'est l'aimant qui est mobile, comme dans le détecteur de courant.

– L'ampèremètre ferromagnétique contient deux palettes de fer doux à l'intérieur d'une bobine. L'une des palettes est fixe, l'autre est montée sur pivot. Quand le courant passe dans la bobine, les deux palettes s'aimantent et se repoussent, quel que soit le sens du courant. Cet ampèremètre n'est donc pas polarisé.

– Dans l'ampèremètre thermique, le courant circule dans un fil. Ce fil s'échauffe et s'allonge, ce qui provoque la rotation de l'aiguille. Les appareils thermiques ne sont pas polarisés.

• Pour changer de calibre, on utilise des shunts. Ce sont des résistances additionnelles branchées en dérivation. Plus le calibre est grand, plus la résistance du shunt est faible ce qui permet de dériver une plus grande partie du courant.

• Montage: Un ampèremètre se branche en série dans le circuit. Cela veut dire qu'il faut couper le circuit et intercaler l'ampèremètre entre les deux points de coupe.



• Sens de branchement ou polarité :

– Les ampèremètres à effet magnétique et les ampèremètres numériques sont dissymétriques. Il faut les brancher dans le bon sens :

– Le courant doit entrer dans l'ampèremètre par la borne marquée A (ou mA ou +) et ressortir par la borne "commune" marquée COM (ou -)



II.6.1 Calibre :

– On appelle calibre la plus forte intensité que peut mesurer l'ampèremètre (aiguille en bout de course pour les appareils analogiques ou plus grand nombre de l'affichage numérique). Tous les appareils modernes sont multi calibres : On change de calibre en tournant un commutateur ou en déplaçant une fiche.

– Pour éviter de détériorer l'ampèremètre, on a intérêt à le brancher sur le plus fort calibre.

– Il ne faut pas oublier de baisser le calibre, si nécessaire, pour obtenir un affichage

suffisamment précis. Le bon calibre est le plus petit calibre possible, c'est-à-dire celui qui est immédiatement supérieur à l'intensité mesurée.

II.6.2 Lecture :

–Si la lecture d'un appareil numérique ne pose aucun problème, il en va tout autrement de l'appareil analogique.

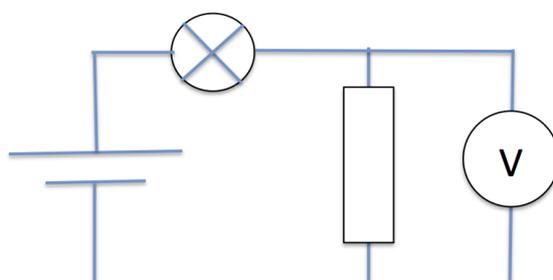
–L'aiguille se déplace devant une graduation commune à plusieurs calibres. L'indication lue ne représente qu'un nombre de divisions. Il faut déduire l'intensité à partir de ce nombre en tenant compte de la valeur du calibre

II.7- Le voltmètre :

•Montage:

–Un voltmètre se branche en dérivation dans le circuit.

–Pour mesurer la tension U_{AB} aux bornes A et B d'une lampe par exemple, il faut brancher le voltmètre entre les points A et B.



•Sens de branchement, polarité :

–La borne marquée V (ou +) doit être reliée au potentiel le plus haut (coté positif) et la borne "commune" marquée COM (ou -) au potentiel le plus faible (côté négatif).

–Pour mesurer U_{AB} , il faut relier A à la borne V et B à la borne COM.

–Remarque : $U_{BA} = - U_{AB}$



II.7.1 Calibre :

–On appelle calibre la plus forte tension que peut mesurer le voltmètre (aiguille en bout de course pour [les appareils](#) analogiques ou plus grand nombre de l'affichage numérique). Tous [les appareils](#) modernes sont multi calibres : On change de calibre en tournant un commutateur ou en déplaçant une fiche.

- Pour éviter de détériorer le voltmètre, on a intérêt à le brancher sur le plus fort calibre.
- Il ne faut pas oublier de baisser le calibre, si nécessaire, pour obtenir un affichage suffisamment précis. Le bon calibre est le plus petit calibre possible, c'est-à-dire celui qui est immédiatement supérieur à la tension mesurée.

II.7.2 Lecture :

–Si la lecture d'un appareil numérique ne pose aucun problème, il en va tout autrement de l'appareil analogique.

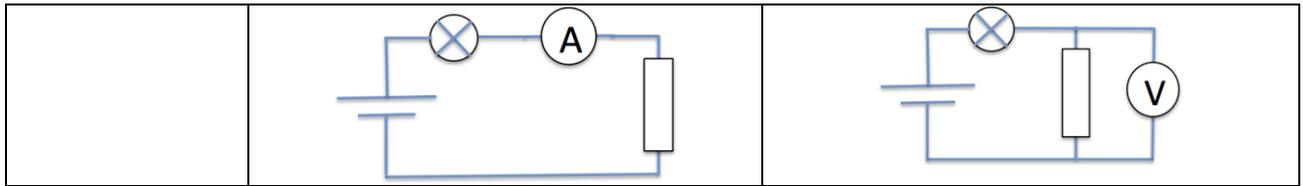
–L'aiguille se déplace devant une graduation commune à plusieurs calibres. L'indication lue ne représente qu'un nombre de divisions. Il faut déduire la tension à partir de ce nombre en tenant compte de la valeur du calibre.

II.8- Différence entre ampèremètre et voltmètre :

- Actuellement on utilise des multimètres, c'est à dire des appareils capables de se comporter soit en ampèremètre, soit en voltmètre, soit en ohmmètre et que ce soit en alternatif ou en continu en tournant simplement un commutateur ou en changeant une borne. Pourtant ampèremètre et voltmètre sont des appareils fondamentalement différents :



Résistance interne	Le plus faible possible (ne freine pas le courant dans le circuit)	Le plus grand possible (le courant dérivé négligeable)
Appareil analogique	A partir d'un galvanomètre en ajoutant des résistances de faible valeur en dérivation (shunts).	A partir d'un galvanomètre en ajoutant des résistances de forte valeur en série.
Appareil numérique	Par mesure de la tension aux bornes d'une résistance de faible valeur parcourue par le courant (shunt).	Appareil de base doté d'un amplificateur lui permettant d'avoir une résistance interne très grande.

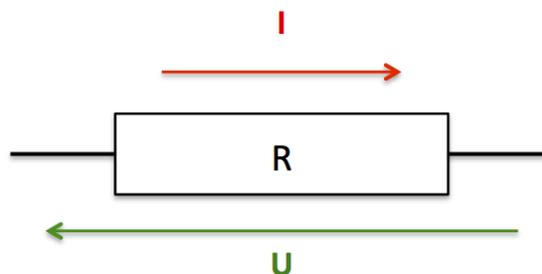


- Si on branche un ampèremètre en dérivation aux bornes d'un dipôle, le dipôle est court-circuité. Le courant qui passe dans le circuit peut être très intense et peut détériorer l'ampèremètre ou un autre élément du circuit.
- Si on branche un voltmètre en série dans un circuit, la grande résistance du voltmètre empêche le courant de passer normalement. Il passe toutefois un très faible courant et le voltmètre indique la tension aux bornes du générateur (circuit simple) ou la tension aux bornes de la branche dans laquelle il est placé (semblable à la tension aux bornes d'un interrupteur ouvert).

III-La loi d'Ohm :

III.1- Loi d'Ohm :

- La loi d'Ohm est une loi de base de la physique dans le domaine électrique. Cette loi met en relation 3 grandeurs : la valeur d'une résistance (en ohms), le courant qui la traverse (en ampère) et la tension entre ses bornes (en volt).
- Les trois éléments sont représentés généralement par les lettres R, I et U.
- Le schéma ci-dessous représente un dipôle (ici une résistance) parcouru par un courant électrique. La résistance électrique (R) est représentée par le rectangle noir, le courant (I) est représenté en rouge et la différence de potentiel (U) est en vert.



- Pour le montage ci-dessus, la formule de la loi d'Ohm est : $U = R \times I$
- A noter que cette dernière formule peut s'écrire en fonction du courant :

$$I = U / R$$

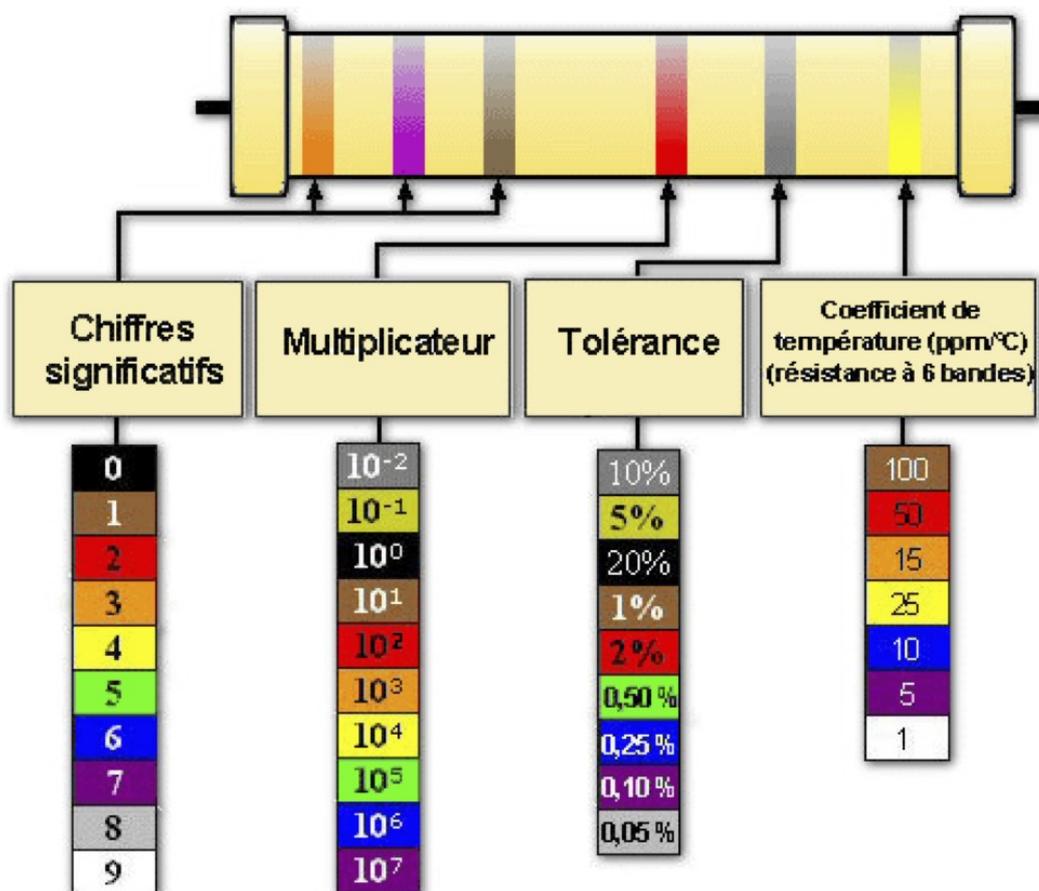
- Ou alors on peut l'écrire en fonction de la résistance :

$$R = U / I$$

Pour une petite démonstration :

(https://phet.colorado.edu/sims/html/ohms-law/latest/ohms-law_en.html)

III.2- Les résistances : Code de couleurs :



V.5

TP05 : Pont de Wheatstone (Ressources théoriques)

Un pont de Wheatstone est un instrument de mesure utilisé pour mesurer une résistance électrique inconnue par équilibrage de deux branches d'un circuit en pont, avec une branche contenant le composant inconnu (R_x) (voir figure 1).

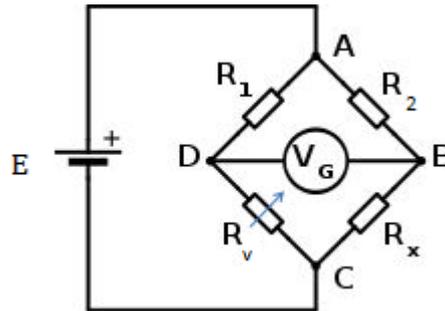


Figure 1 : pont de Wheatstone

Un tel montage peut apparaître ancien vu qu'il existe aujourd'hui d'excellents multimètres numériques pour la mesure de résistances avec une bonne précision.

Cependant, l'intérêt du pont de Wheatstone réside dans :

- d'une part, en mesure industrielle, le repérage des températures est, dans bien des cas, pratiqué à l'aide de "sondes de température à résistance" et la mesure est parfois faite au moyen d'un montage en pont de Wheatstone
- d'autre part, de nombreux appareils utilisent un pont de Wheatstone au niveau de leur système de détection : c'était le cas des anciens chromatographes en phase gazeuse.

1- Résistance électrique

La résistance électrique traduit la propriété d'un composant à s'opposer au passage d'un courant électrique (l'une des causes de perte en ligne d'électricité). Elle est souvent désignée par la lettre R et son unité de mesure est l'Ohm (symbole : Ω)

Dans les circuits électriques, on représente une résistance par son symbole normalisé :

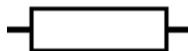


Figure 2 : Symbole d'une résistance électrique

Dans les circuits électriques et électroniques, il faut parfois limiter l'intensité du courant afin d'éviter l'endommagement de certaines composantes. On utilise à ces fins des résistances à une valeur bien déterminée. La résistance est indiquée à l'aide d'un système d'anneaux. Une résistance porte 4 anneaux de couleurs. Les deux premiers anneaux sont les chiffres significatifs et le troisième est le multiplicateur (la puissance de 10 avec laquelle il faut multiplier les chiffres significatifs). Le 4^{ème} anneau correspond à la tolérance, c'est à dire l'incertitude du constructeur, sur la valeur de cette résistance.

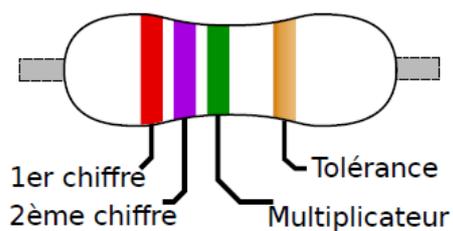


Figure 3 : Résistance à code couleur

La résistance du composant est indiquée en utilisant le code couleur suivant :

Couleur	chiffre
Noir	0
Marron	1
Rouge	2
Orange	3
Jaune	4
Vert	5
Bleu	6
Violet	7
Gris	8
Blanc	9

La tolérance sur la résistance du composant est indiquée en utilisant le code couleur suivant :

Couleur	Tolérance
Marron	1%
Rouge	2%
Vert	0.5%
Bleu	0.25%
Violet	0.1%
Gris	0.05%
Or	5%
Argent	10%

La résistance de la figure 2 est caractérisée par les anneaux : rouge violet vert or

On a donc : $R = 27 \cdot 10^5 \Omega \pm 5\%$

$R = 2.7 \text{ M}\Omega \pm 5\%$

2- Lois d'électricité

2.1- Lois de Kirchhoff

a. Loi des nœuds

La somme algébrique des courants entrant dans un nœud est égale à la somme algébrique des courants qui en sortent.

Cette loi exprime la conservation de la charge dans un circuit électrique.

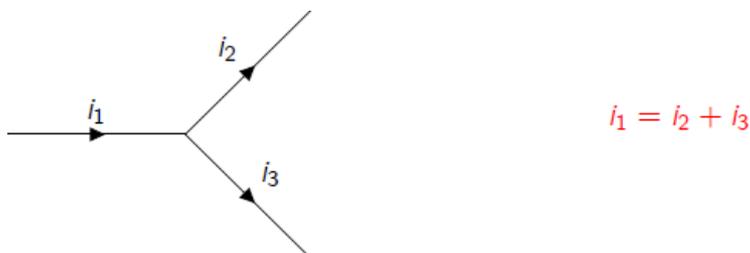


Figure 4 : Loi des nœuds

b. Loi des mailles

Le schéma de la figure 5 représente un circuit électrique fermé. Les différences de potentiel, aussi appelé tension, sont représentés en vert. La boucle rouge représente le sens dans lequel seront listées les tensions.

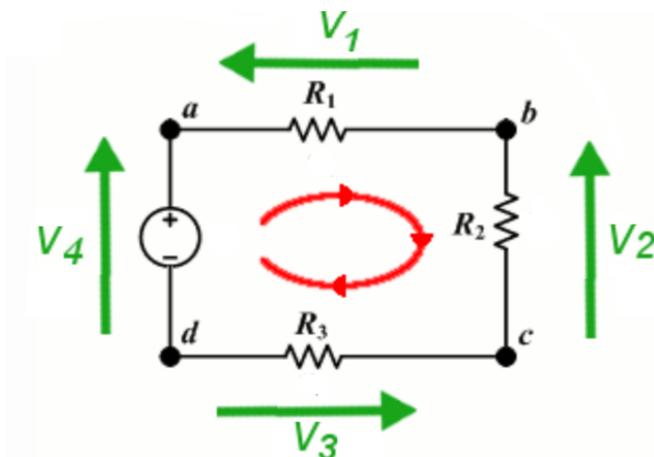


Figure 5 : loi des mailles

En suivant la boucle rouge et en faisant attention au sens, les tensions peuvent être listées comme ceci :

$$+V_4 + -V_1 + -V_2 + -V_3 = 0$$

De ce fait, la formule peut aussi être présentée comme ceci :

$$V_4 - V_2 - V_3 - V_1 = 0$$

2.2- Théorème de Thévenin

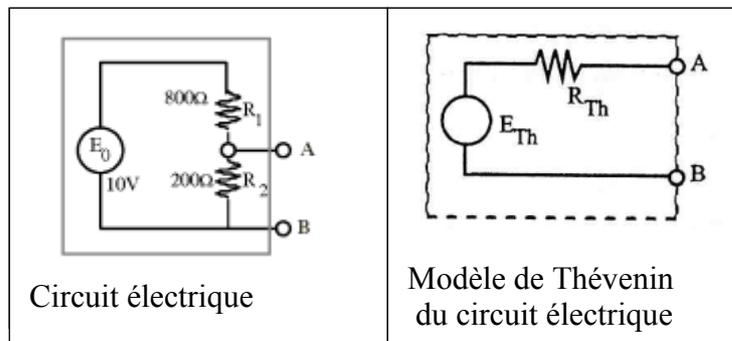
a. Enoncé du théorème

Soit un circuit linéaire constitué de plusieurs mailles. Ce circuit, vu entre deux points quelconques A et B, se comporte comme un générateur de tension E_{th} en série avec une résistance R_{th}

- Calcul de E_{th} (générateur de Thévenin) : c'est la tension qui apparait entre les bornes A et B lorsque le circuit est vide
- Calcul de R_{th} (résistance interne du générateur de Thévenin) : c'est la résistance vue entre les bornes A et B à circuit ouvert lorsque tous les générateurs du circuit sont éliminés.

b. Exemples

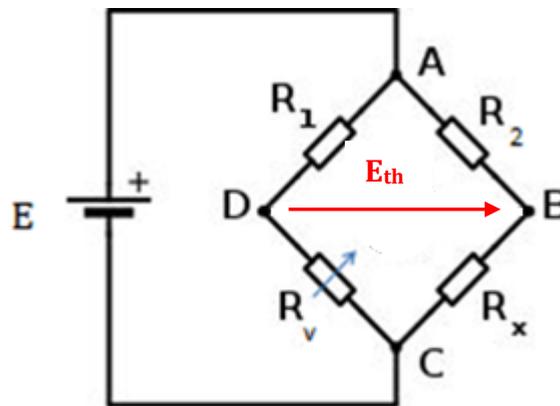
Exemple 1



Exemple 2

Dans le cas du pont de Wheatstone défini dans la figure 1, la méthode la plus simple pour étudier le pont hors équilibre est de chercher l'équivalent Thévenin du circuit entre les bornes B et D.

On retire la branche BD (le galvanomètre) du circuit :



On aura donc :

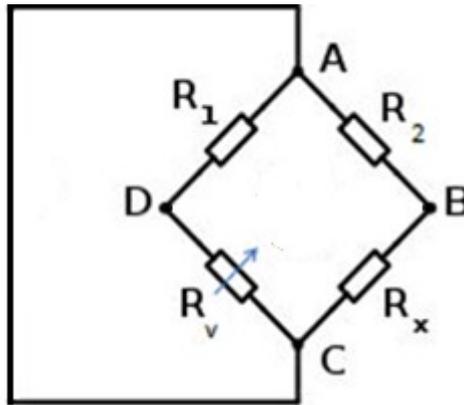
$$V_{BC} = V_B - V_C = \frac{E R_x}{R_x + R_2}$$

$$V_{DC} = V_D - V_C = \frac{E R_v}{R_v + R_1}$$

On déduit alors :

$$E_{th} = V_B - V_D = E \left(\frac{R_x}{R_x + R_2} - \frac{R_v}{R_v + R_1} \right)$$

Si la résistance interne du générateur E est négligeable, la résistance du générateur équivalent est égale à $R_1 // R_v$ en série $R_2 // R_x$:



$$R_{th} = \frac{R_1 R_v}{R_v + R_1} + \frac{R_2 R_x}{R_x + R_2}$$

Donc hors équilibre, la tension aux bornes du galvanomètre est :

$$V_g = E_{th} - R_{th} I_g$$

avec I_g le courant qui circule dans la branche BD

La résistance du galvanomètre est suffisamment grande pour que I_g soit négligeable, on peut écrire alors que :

$$V_g = V_B - V_D = E \left(\frac{R_x}{R_x + R_2} - \frac{R_v}{R_v + R_1} \right)$$

3- Calcul d'incertitudes

La mesure d'une grandeur physique ne donne jamais sa valeur exacte, mais juste une valeur approchée. Il existe toujours des erreurs de mesure. Ces erreurs ont plusieurs origines : les instruments utilisés, la méthode de mesure adoptée, l'opérateur lui-même ou bien les perturbations externes.

Pour qu'une mesure physique soit utilisable, il faut exprimer sans ambiguïté dans le résultat les trois facteurs suivants : la valeur résultante de la mesure, l'incertitude absolue et l'unité.

Dans le cas de la simulation, les incertitudes sur la mesure sont dues uniquement à l'incertitude due à l'appareil. Ce type d'erreurs est lié à la sensibilité de l'appareil donnée par sa classe de précision.

La classe de précision d'un appareil est un nombre qui indique l'incertitude absolue que l'on peut commettre sur la valeur lue.

Si la grandeur physique recherchée G est liée à différentes quantités mesurables a, b et c, chacune présentant une erreur absolue (Δa , Δb , Δc), le calcul de l'erreur absolue sur G dépend de la relation $G = f(a,b,c)$. Voici quelques exemples :

Relation	Erreur absolue
$G = a + b + c$	$\Delta G = \Delta a + \Delta b + \Delta c$
$G = a \cdot b \cdot c$	$(\Delta G/G) = (\Delta a/a) + (\Delta b/b) + (\Delta c/c)$
$G = \alpha a^\beta$	$(\Delta G/G) = \beta (\Delta a/a)$
$G = a \cdot b/c$	$(\Delta G/G) = (\Delta a/a) + (\Delta b/b) + (\Delta c/c)$

4- Réalisation des graphiques avec Microsoft EXCEL

EXCEL ajuste une droite à nos données par la méthode des moindres carrés (appelée souvent régression linéaire). Il s'agit d'une méthode statistique qui réduit le plus possible la somme des écarts verticaux entre la meilleure droite et chacun des points du nuage. La méthode permet donc d'obtenir la meilleure droite de façon directe, sans tâtonnement.

4.1- Disposition des données

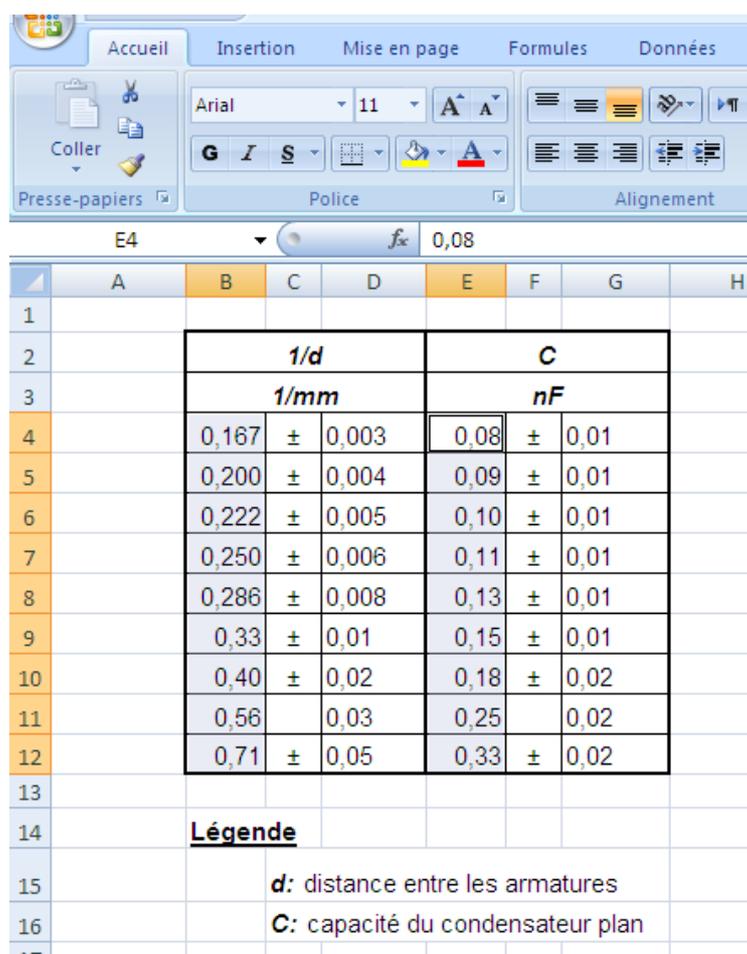
Les colonnes de données ne doivent contenir que des chiffres, écrits avec des virgules (aucun symbole, ni blanc), elles doivent être alignées et de même longueur.

4.2- Création du graphique

Sélectionnez la première colonne (abscisse) (valeurs sans incertitude) nécessaire au graphique. Appuyez sur la touche Ctrl et gardez-la enfoncée pour sélectionner la deuxième colonne (ordonnée).

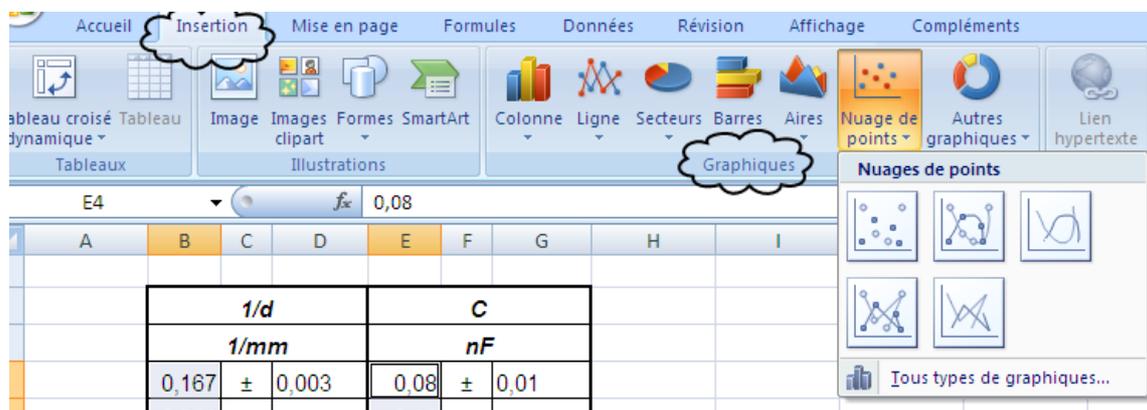
Ne sélectionnez pas les colonnes contenant les incertitudes, elles seront ajoutées plus tard.

La colonne la plus à gauche parmi les colonnes sélectionnées sera considérée par EXCEL comme étant celle des x (abscisses) peu importe l'ordre de sélection des colonnes. Ceci peut être modifié par la suite.

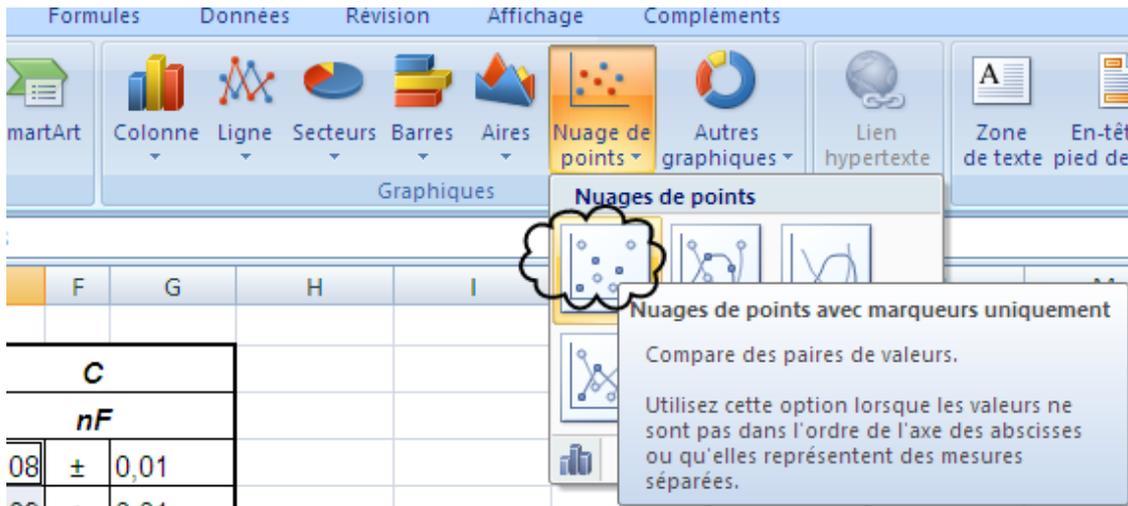


	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		1/d			C			
3		1/mm			nF			
4		0,167	± 0,003		0,08	± 0,01		
5		0,200	± 0,004		0,09	± 0,01		
6		0,222	± 0,005		0,10	± 0,01		
7		0,250	± 0,006		0,11	± 0,01		
8		0,286	± 0,008		0,13	± 0,01		
9		0,33	± 0,01		0,15	± 0,01		
10		0,40	± 0,02		0,18	± 0,02		
11		0,56	± 0,03		0,25	± 0,02		
12		0,71	± 0,05		0,33	± 0,02		
13								
14		Légende						
15		d : distance entre les armatures						
16		C : capacité du condensateur plan						
17								

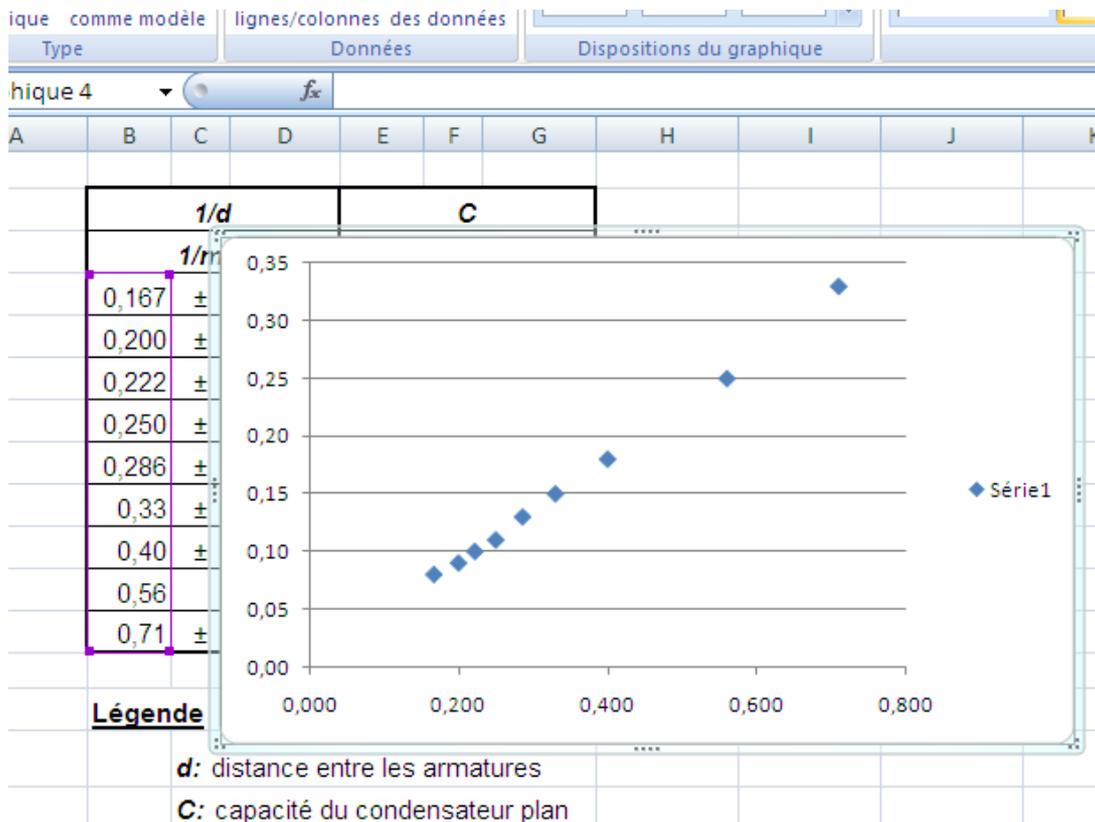
Cliquez sur le bouton de commande **Nuage de points** dans le groupe **Graphiques** de l'onglet **Insertion**.



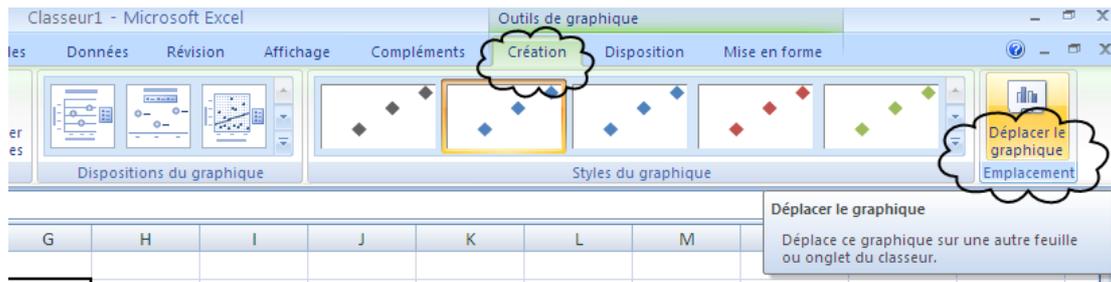
Dans le menu qui vient d'apparaître, sélectionnez **Nuage de points avec marqueurs uniquement** car celui-ci compare des valeurs et vous permettra d'insérer une courbe de tendance. Les autres sous-types de graphiques relient les points par des courbes ou des droites sans analyser la tendance générale de tous les points.



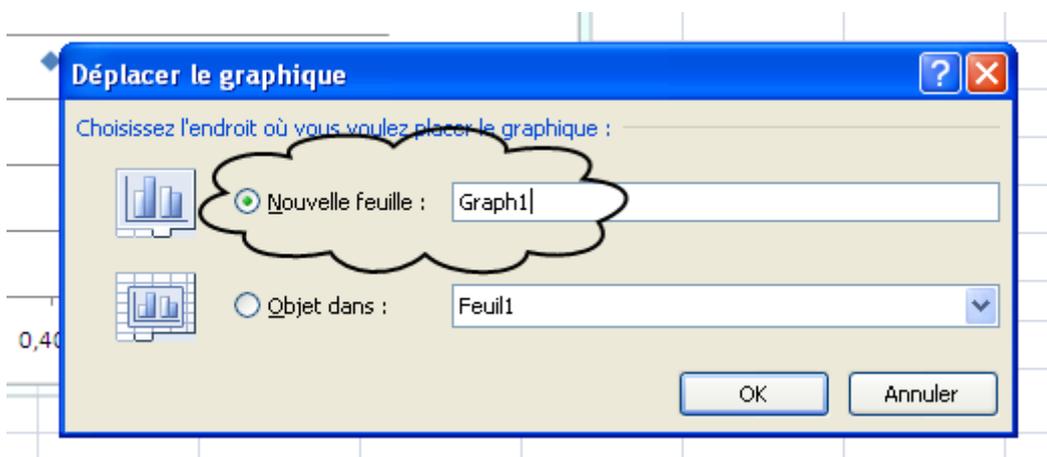
Votre graphique apparaît alors sur la feuille même où se trouvent vos données, le masquant même. Il vous faut le déplacer sur une nouvelle feuille pour qu'il puisse être le plus grand possible.



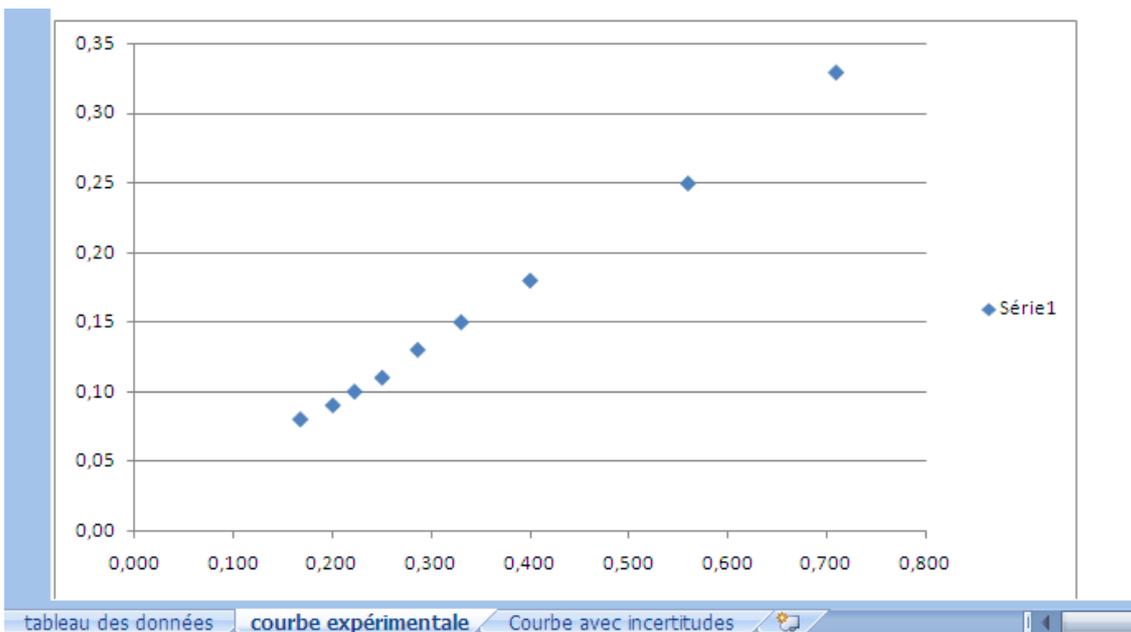
Dans l'onglet **Création** qui vient tout juste d'apparaître (de nouveaux onglets sont disponibles sous la rubrique Outils de graphique qui est disponible lorsqu'un graphique est sélectionné), cliquez sur le bouton de commande **Déplacer un graphique** du groupe **Emplacement**.



Dans la fenêtre Déplacer le graphique qui vient de s'ouvrir, sélectionnez **Nouvelle feuille** que vous pouvez nommer comme bon vous semble en remplaçant *Graph1* par ce que vous voulez.



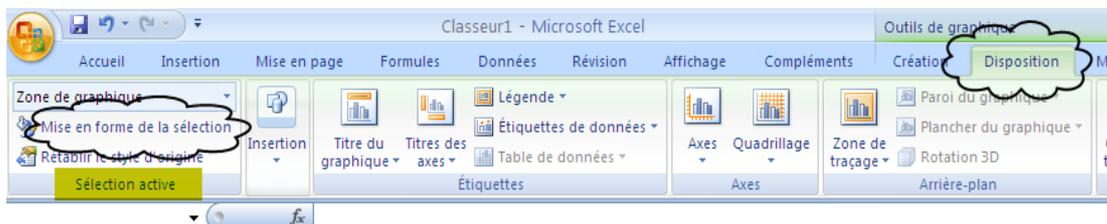
Une page graphique vous présente alors l'ensemble des points expérimentaux.



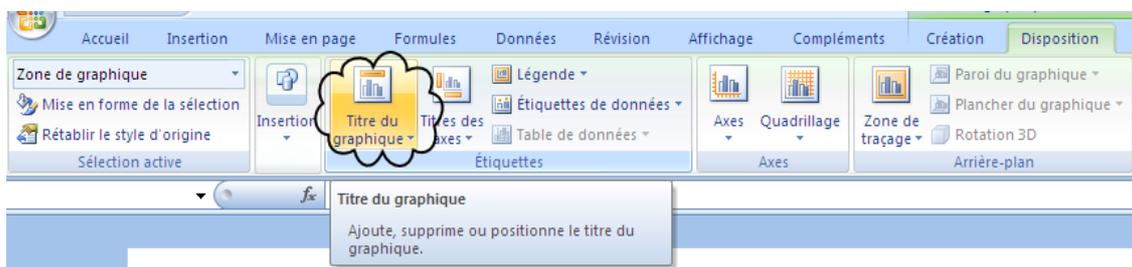
4.3- Apparence (format) du graphique

Avant de faire tracer la courbe, on peut améliorer la présentation du graphique et des points. Un principe de base demeure : il est toujours possible de modifier un item sur le

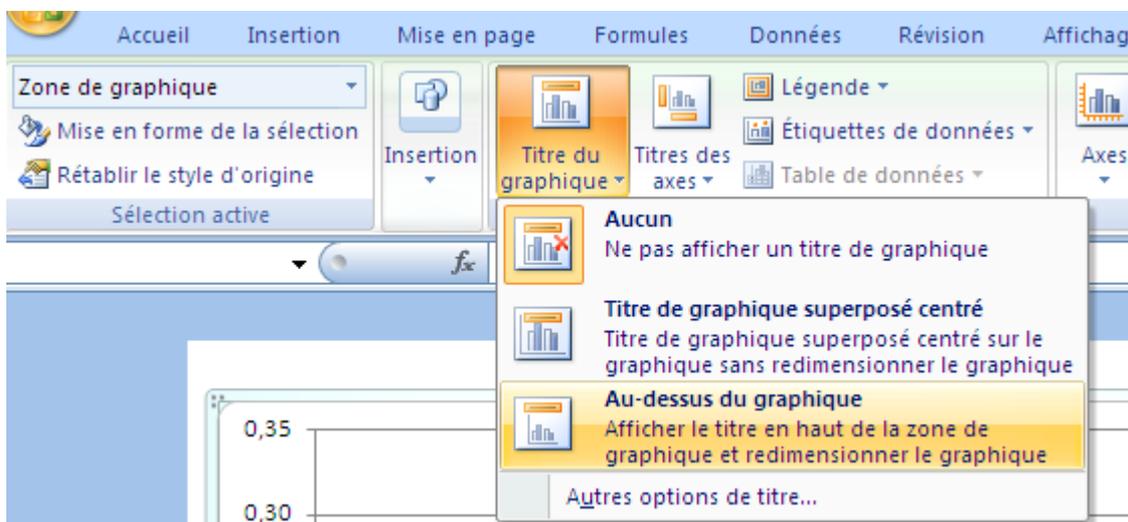
graphique en le sélectionnant à l'aide de la souris et en cliquant sur le bouton droit de la souris. Un menu contextuel apparaît alors et vous permet d'effectuer votre modification. Vous pouvez aussi, après avoir sélectionné un item du graphique, cliquer sur le bouton de commande **Mise en forme de la sélection** dans le groupe **Sélection active** de l'onglet **Disposition**.



4.4- Pour le titre du graphique

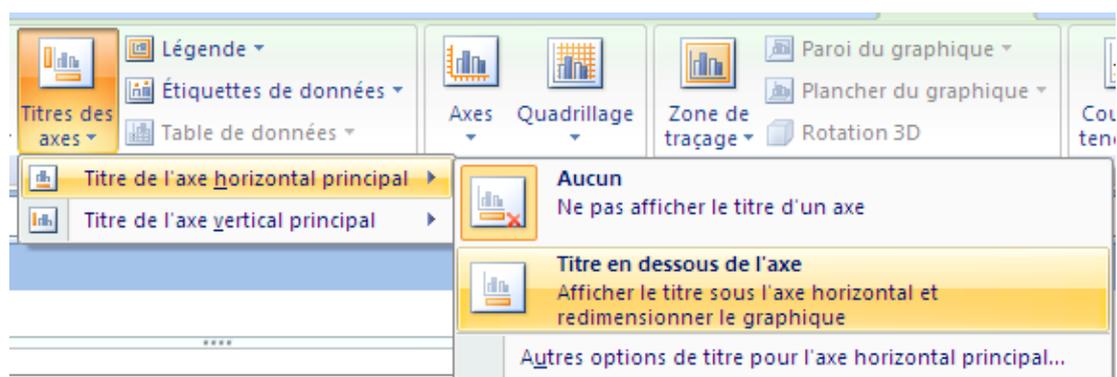


Pour insérer le titre du graphique, cliquez sur le bouton de commande **Titre du graphique** du groupe **Étiquettes** et sélectionnez **Au dessus du graphique** dans le menu déroulant. Tapez le titre de votre graphique dans la zone de texte (en identifiant le phénomène sans répéter le contenu des axes puisque cette information est déjà présente sur le graphique).

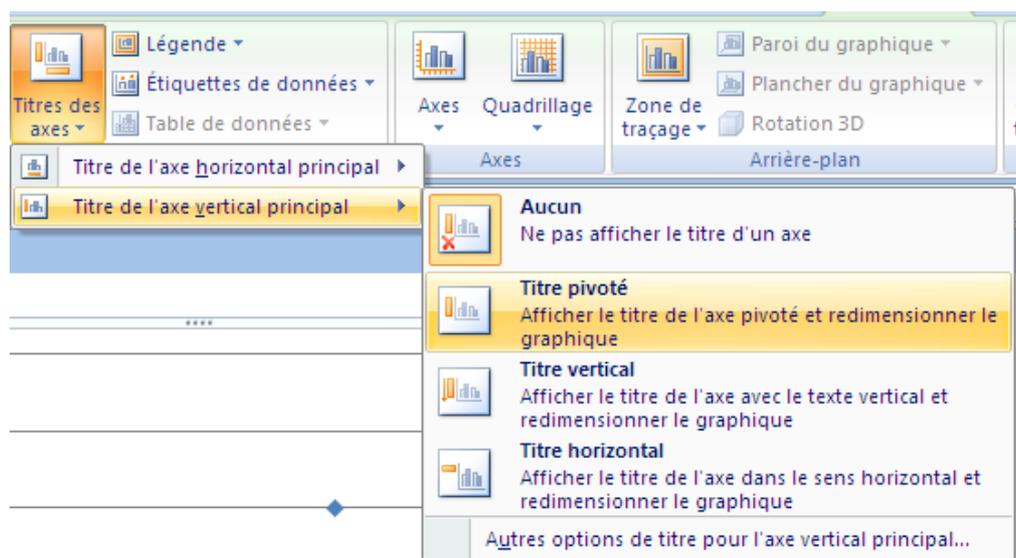


4.5- Pour les titres des axes

Pour insérer les titres des axes, cliquez sur le bouton de commande **Titre des axes** du groupe **Étiquettes**. Pour l'axe des x , sélectionnez **Titre de l'axe horizontal principal** puis **Titre en dessous de l'axe** dans le menu déroulant. Tapez par la suite le titre de l'axe dans les zones de texte appropriées.

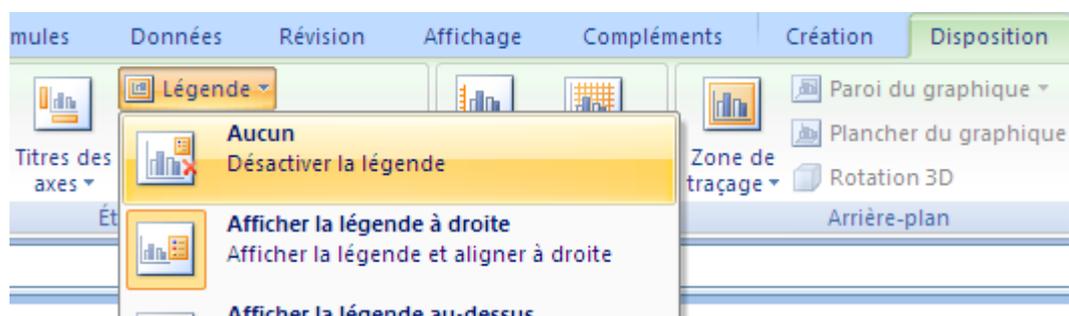


Pour l'axe des y, sélectionnez **Titre de l'axe vertical principal** puis **Titre pivoté** dans le menu déroulant. Tapez par la suite le titre de l'axe dans les zones de texte appropriée.



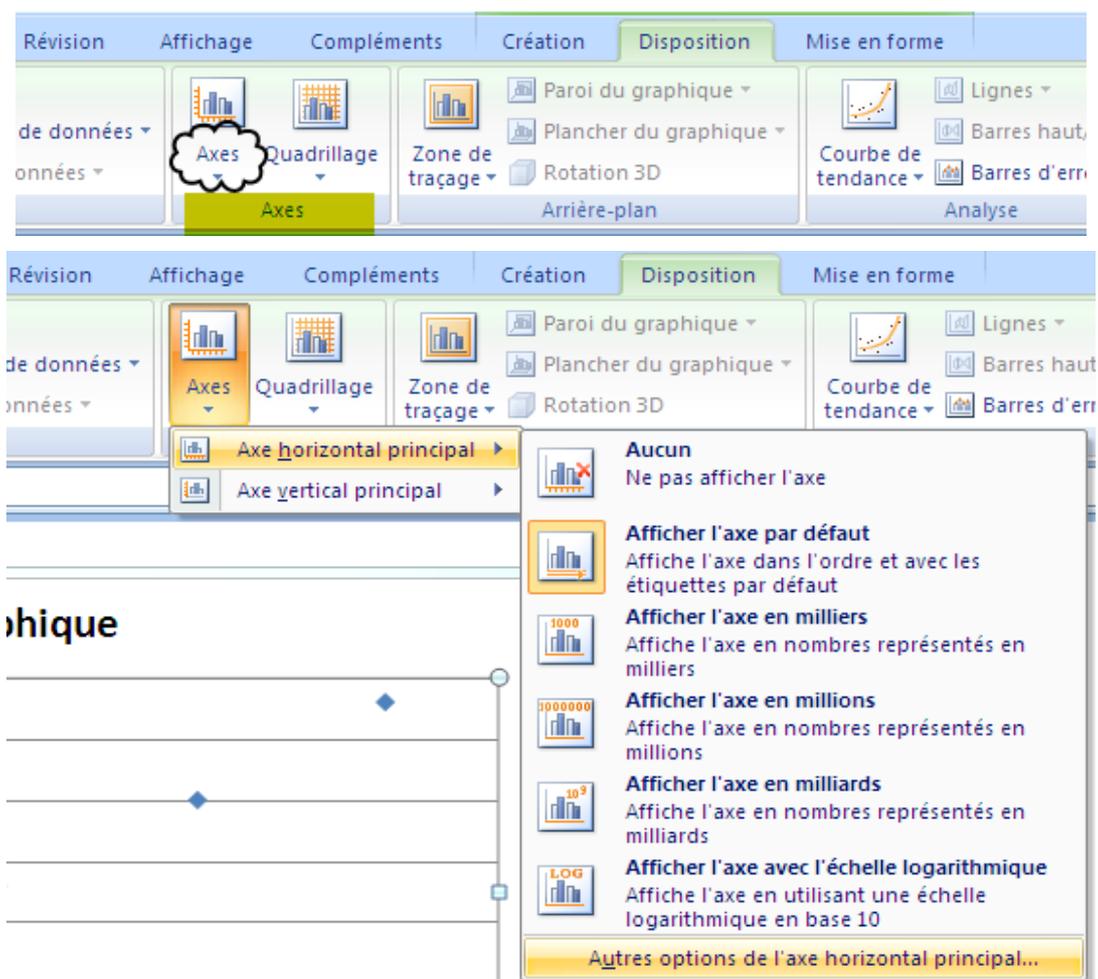
4.6- Suppression de la légende du graphique

Pour que le graphique puisse prendre le maximum d'espace sur la feuille, il faudrait supprimer la légende qui ne sert à rien dans notre cas. Cliquez sur le bouton de commande **Légende** du groupe **Étiquettes** et sélectionnez **Aucun** dans le menu déroulant. Vous pouvez aussi sélectionner **Serie1** sur le graphique et la supprimer.



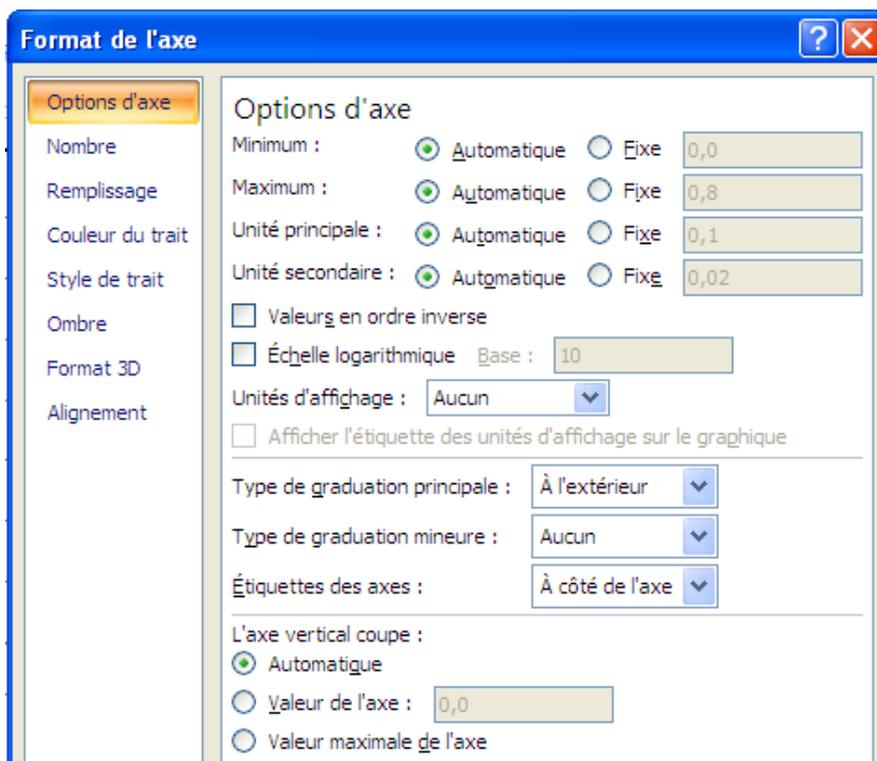
4.7- Pour l'apparence des axes

Dans l'onglet **Disposition**, cliquez sur le bouton de commande **Axes** du groupe **Axes** et sélectionnez **Axe horizontal principal** (axe des x) puis **Autres options de l'axe horizontal principal** dans le menu déroulant.



Dans la fenêtre **Format de l'axe** qui vient de s'ouvrir, vérifiez si les graduations (**unité principale** et **secondaire**) sont bien un multiple décimale de 1, 2 ou 5. Ajustez au besoin en décochant **Automatique**, en cochant **Fixe** et en inscrivant la valeur désirée dans la case.

Vous pouvez aussi choisir une origine autre que (0,0) en imposant à l'axe vertical de passer par une valeur bien précise, ajuster le nombre de chiffres significatifs (**Nombre**), couleur des traits, style des traits ...

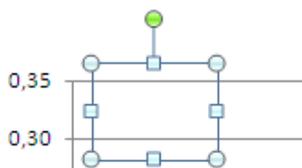


4.8- Pour insérer du texte

Pour ajouter le symbole de la variable (et son unité) au bout des axes, vous devez insérer une zone de texte, la redimensionner et la déplacer au bout des axes. Pour insérer une zone de texte dans le graphique, commencez par sélectionner ce dernier, puis cliquez sur le bouton de commande **Zone de texte** du groupe **Texte** de l'onglet **Insertion**.

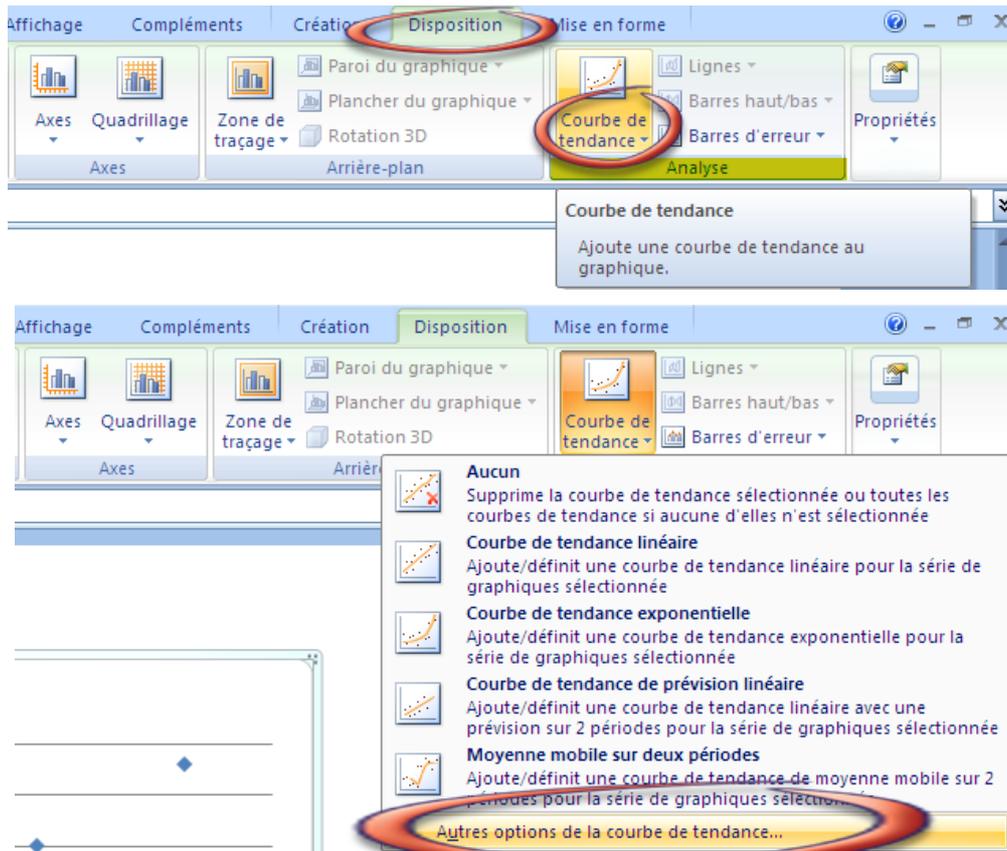


Placez ensuite le curseur à l'endroit approximatif où vous voulez insérer votre texte. Cliquez et une zone de texte apparaîtra dans laquelle vous pourrez écrire votre texte. Vous pourrez ensuite, en utilisant la souris (bouton de gauche maintenu enfoncé), la déplacer ou modifier sa forme et sa dimension.

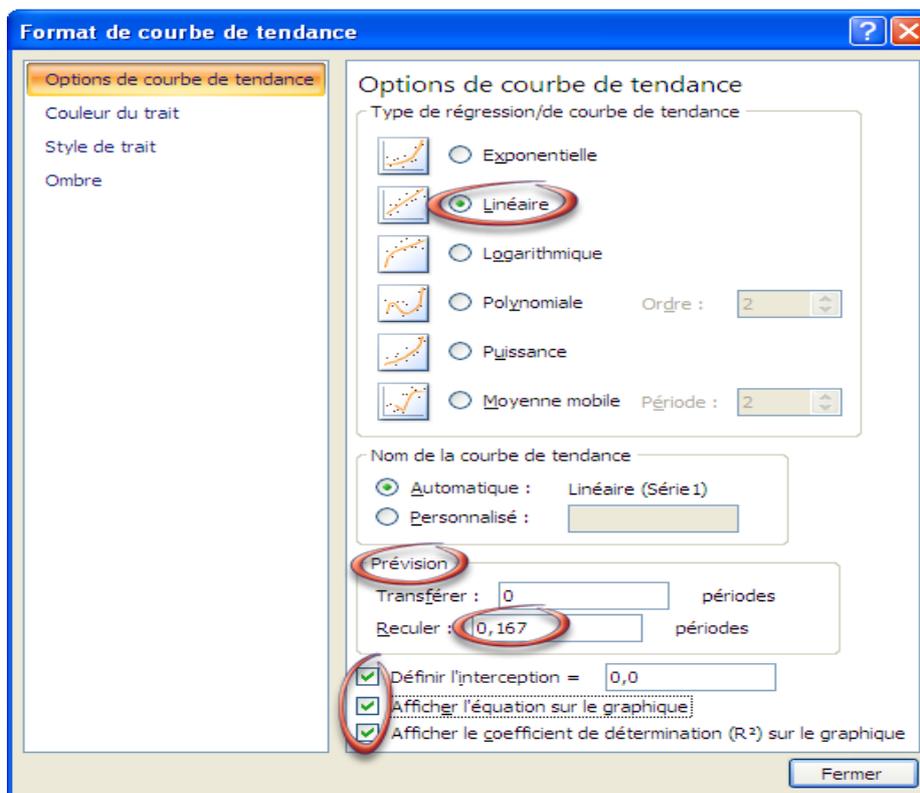


4.9- Insertion d'une courbe (ou droite) de tendance

Toujours dans l'onglet **Disposition**, cliquez sur le bouton de commande **Courbe de tendance** du groupe **Analyse** et sélectionnez **Autres options de la courbe de tendance...** Vous pouvez aussi choisir Courbe de tendance linéaire dans le menu mais vous aurez quand même à ajuster les autres options de votre courbe de tendance.



Dans la fenêtre **Format de courbe de tendance**, avec **Options de courbe tendance**, il vous est possible de choisir le type courbe que vous désirez, par exemple **Linéaire** (s'il s'agit d'une droite) ou **Polynomial** ...

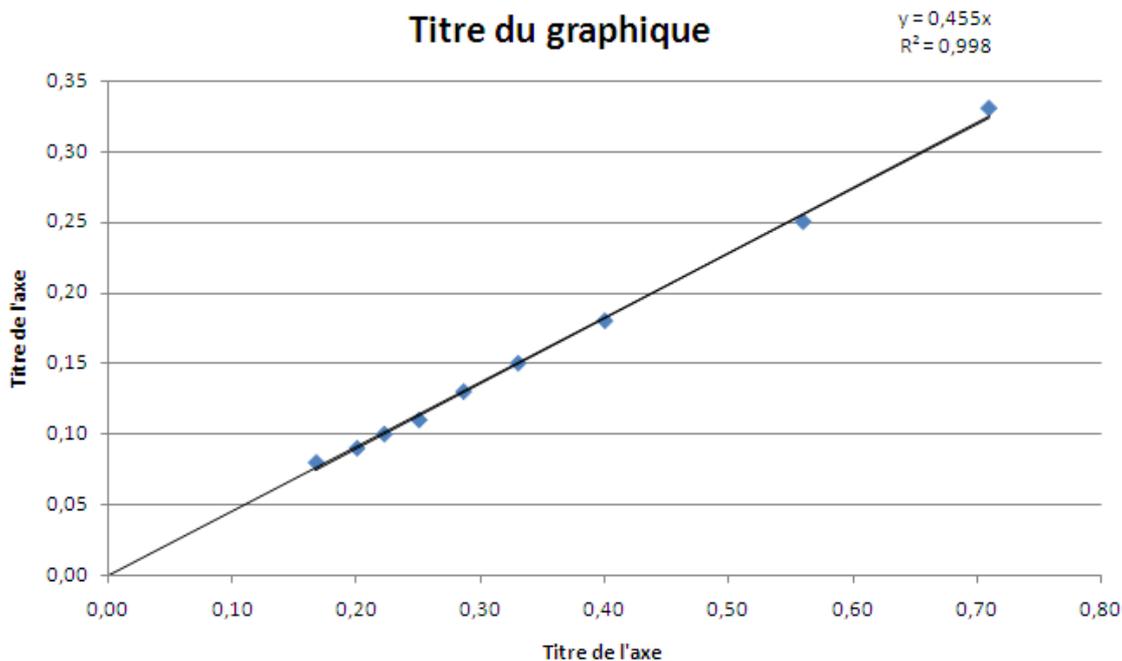


Pour prolonger la courbe jusqu'a l'axe des ordonnées, inscrivez, dans la case **Reculer de Prévission**, le nombre d'unités manquant à l'abscisse pour revenir a 0 (cela correspond a votre première donnée en x, dans notre cas c'est 0,167).

Si le point (0,0) est un point théorique, cocher **Définir l'interception = 0,0** pour obliger EXCEL à faire passer la droite par l'origine.

Puisqu'on veut obtenir l'équation mathématique de cette courbe, cochez **Afficher l'équation sur le graphique** et **Afficher le coefficient de détermination**.

EXCEL ajuste une droite a nos données par la méthode des moindres carres (appelée souvent régression linéaire). Il s'agit d'une méthode statistique qui réduit le plus possible la somme des écarts verticaux entre la meilleure droite et chacun des points du nuage. La méthode permet donc d'obtenir la meilleure droite de façon directe, sans tâtonnement. En comparant l'équation affichée (sur le graphique) par EXCEL a l'équation théorique, on peut associer les valeurs numériques aux grandeurs physiques correspondantes. Le coefficient de détermination R^2 nous donne une indication de la fiabilité de l'équation. Si le coefficient égale **1,00**, la corrélation est parfaite et tous les points sont exactement sur la droite. Avec de bonnes données expérimentales, vous obtiendrez très souvent des coefficients au dessus de 0,98.

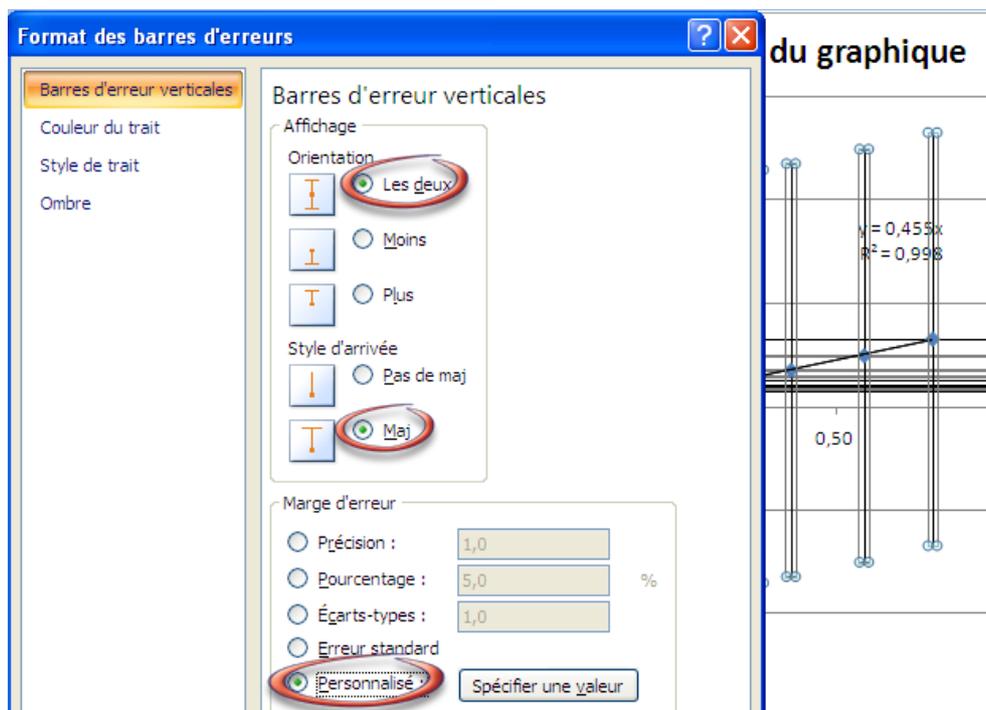


4.10- Ajout des incertitudes

Toujours dans l'onglet Disposition, cliquez sur le bouton de commande **Barres d'erreur** du groupe **Analyse** et sélectionnez **Autres options de barres d'erreurs...**

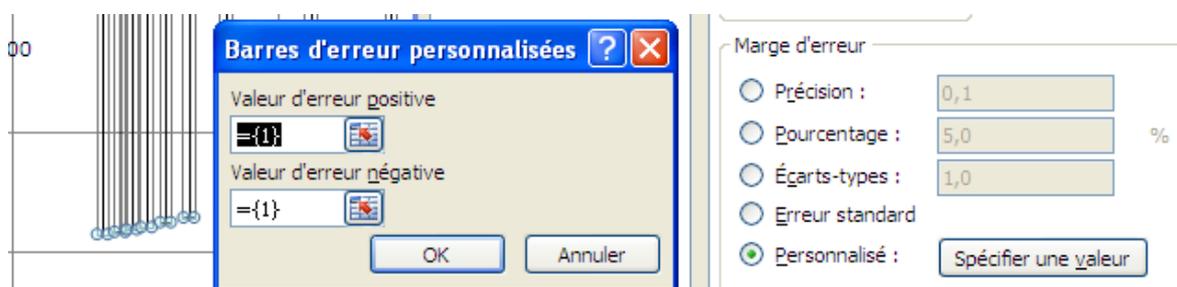


EXCEL ouvre alors la fenêtre Format des barres d'erreurs et insère des croix d'incertitudes ayant une précision d'une unité par défaut (c'est énorme). Vérifiez que **Les deux** dans **Orientation** et **Maj** dans **Style d'arrivée** sont cochés et choisissez **Personnalisé** dans la section **Marge d'erreur**.



Avant de cliquer sur **Spécifier une valeur**, déplacez la fenêtre **Format des barres d'erreurs** vers l'un des cotés de l'écran sinon elle risque de bloquer les cellules que vous voudrez sélectionner dans votre tableau de données.

Cliquez sur **Spécifier une valeur** et remplacez le **={1}** par les adresses de la colonne des incertitudes appropriées en la sélectionnant dans le tableau de données (incertitudes sur C car ce sont les barres d'erreurs verticales qui sont sélectionnées sur le graphique). Les adresses des cellules vont s'afficher automatiquement dans la fenêtre Valeur d'erreur positive.



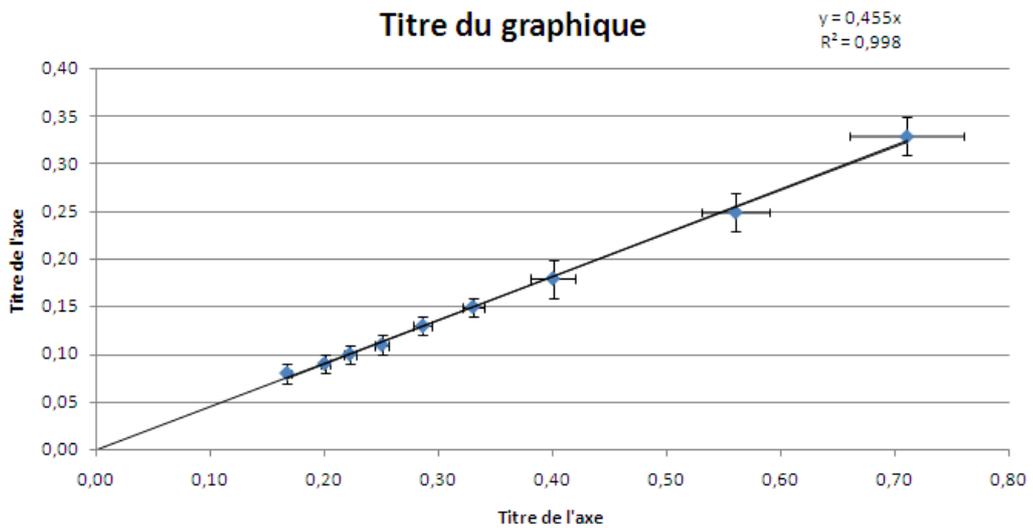
	E	F	G	H	I	J
	C					
	nF					
	0,08	±	0,01			
	0,09	±	0,01			
	0,10	±	0,01			
	0,11	±	0,01			
	0,13	±	0,01			
	0,15	±	0,01			
	0,18	±	0,02			
	0,25		0,02			
	0,33	±	0,02			

Barres d'erreur personnalisées ? X

= 'tableau des données'!\$G\$4:\$G\$12

Vous faites de même dans la fenêtre Valeur d'erreur négative (même colonne d'incertitudes) pour avoir une barre symétrique.

Cliquez sur une des barres d'erreurs horizontales et refaites toutes les étapes en sélectionnant les incertitudes appropriées bien sur (incertitudes sur 1/d).



V.6

TP06 : Oscilloscope cathodique (Ressources théoriques)

1. Rôle

Un oscilloscope est un instrument de mesures électrique qui permet d'observer, de mesurer et de comparer les tensions qui règnent dans un circuit électrique, et cela en affichant les courbes des tensions en fonction du temps. On dénombre deux types d'oscilloscopes : l'oscilloscope cathodique (qui est le sujet de notre séance de travaux pratiques) et l'oscilloscope numérique.

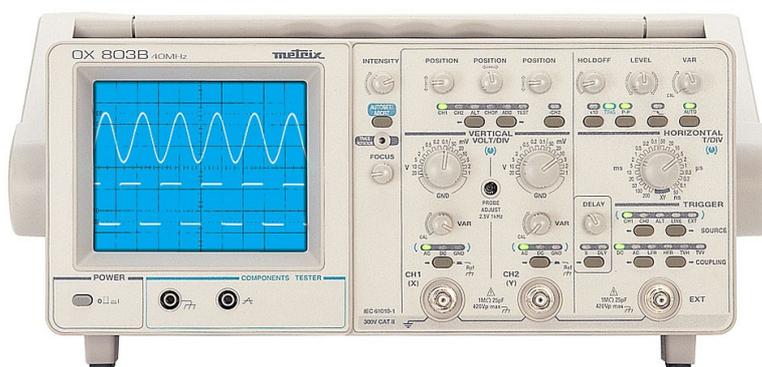


Figure 1 : Oscilloscope

Un oscilloscope comporte :

- un tube cathodique comprenant un canon à électrons, des systèmes de déflexion et un écran fluorescent
- des amplificateurs
- une base de temps
- un dispositif de synchronisation

Chacun de ces éléments fonctionne avec une alimentation interne à l'oscilloscope.

2. Principe de fonctionnement de l'oscilloscope cathodique

a. Production du faisceau électronique

Le tube cathodique dans lequel règne un vide poussé constitue l'organe de base de l'oscilloscope. Les électrons émis par une cathode chaude sont dosés par une grille de commande (wehnelt) puis focalisés et accélérés par des anodes A1 et A2 en direction d'un écran fluorescent : l'impact du faisceau d'électrons sur l'écran crée une petite tache lumineuse : le spot (figure 2).

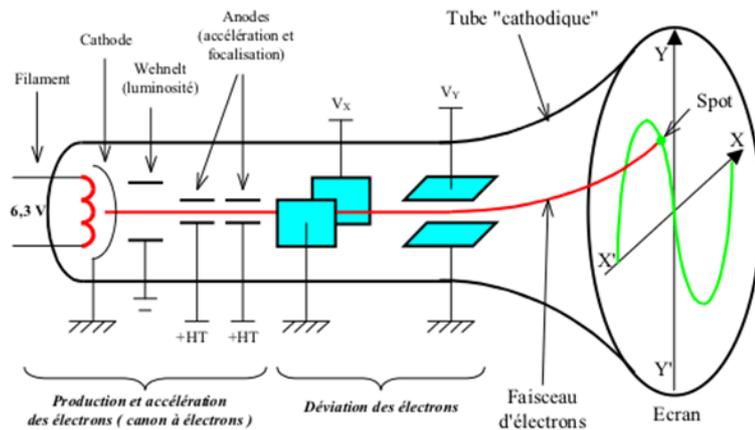


Figure 2 : Tube cathodique

b. Déviation du faisceau électronique

Le déplacement du spot dans deux directions perpendiculaires est obtenu par déflexion du pinceau d'électrons par deux paires de plaques, l'une de déflexion verticale Y , l'autre de déflexion horizontale X .

Supposons qu'en l'absence de tensions appliquées aux 2 paires de plaques, le spot occupe la position O sur l'écran. Si une tension V est alors appliquée aux plaques Y (figure 3), les électrons, soumis à une force électrostatique $F = -eE$ proportionnelle à V ($F = eV/d$) sont déviés verticalement (vers le haut si $V > 0$).

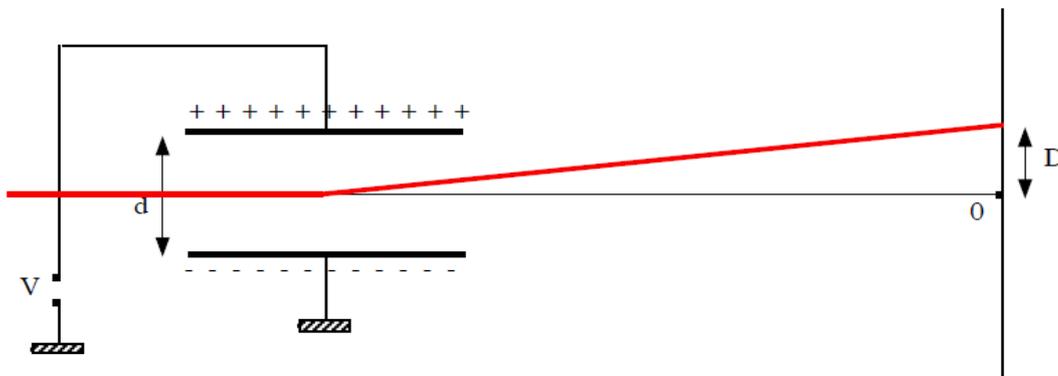


Figure 3 : Déviation du faisceau électronique

On montre que la déviation est proportionnelle à V :

$$D = k \times V$$

k étant une constante spécifique du tube cathodique.

D'autre part, la vitesse de déplacement des électrons étant grande, toute variation de V se répercute quasi instantanément sur la position du spot.

Remarque : Le cadrage du spot est obtenu par application de tensions continues, réglables à l'aide des boutons de cadrage.

3. Balayage et synchronisation

a. Principe de la visualisation d'un signal $v(t)$ en fonction du temps

La caractérisation des variations d'un signal $v(t)$ exige l'obtention, sur l'écran, de sa représentation graphique en fonction du temps. Sur l'écran comme sur une feuille de papier, cette représentation nécessite deux axes de référence : un axe vertical des tensions et un axe horizontal des temps, gradués tous deux linéairement (représentation classique).

La transformation de l'axe horizontal en axe des temps est réalisée en imposant au spot un mouvement rectiligne uniforme. Le balayage répétitif de l'écran de la gauche vers la droite est obtenu à partir d'un générateur interne appelé base de temps qui envoie sur les plaques X une différence de potentiel (d.d.p.) variant linéairement avec le temps et s'annulant périodiquement.

b. Balayage

La base de temps fournit une tension V_b dite en "dents de scie" (figure 4) appliquée aux plaques de déflexion horizontale.

Entre les instants t_1 et $t_1 + T_b$, la tension V_b croît linéairement et la déviation horizontale du spot, proportionnelle à V_b , est proportionnelle au temps : le spot a un mouvement horizontal rectiligne uniforme de la gauche vers la droite de l'écran.

Au temps $t_1 + T_b$, la tension V_b décroît brusquement tandis qu'une tension négative est appliquée au wehnelt, supprimant le faisceau d'électrons donc la trace de retour. A l'instant t_2 le wehnelt est de nouveau polarisé positivement, le spot réapparaît dans sa position initiale et la séquence décrite précédemment recommence.

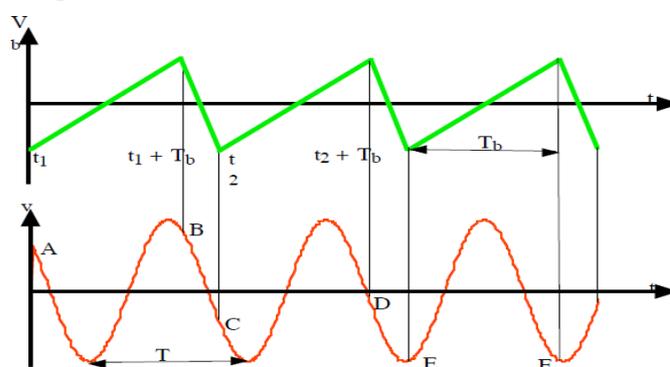


Figure 4

Un commutateur de balayage permet de régler la durée de balayage. Chaque division horizontale de l'écran étant parcourue par le spot dans le même temps, ce commutateur est gradué en durée/div permettant ainsi la lecture directe des temps.

Considérons le cas où un signal sinusoïdal de période T est appliqué en Y , alors qu'un signal en dents de scie de durée T_b est appliqué en X (figures 5a et 5b). Les tracés AB, CD, EF correspondant aux balayages successifs, ne sont pas superposables et l'image perçue sur l'écran est inextricable (figure 5c).

4. Mode de couplage d'entrée

a. Position GND

Le signal n'est pas connecté au système de déviation de l'oscilloscope. L'entrée de ce système est ramenée à la masse du châssis. La trace horizontale sur l'écran indique le niveau zéro de la tension.

b. Position DC

Le signal est connecté au système de déviation et toutes les composantes continue et alternative sont transmises. C'est la position la plus communément employée.

c. Position AC

Seule est transmise la composante alternative du signal. La composante continue est filtrée par un condensateur.

5. Procédés de mesures à l'aide de l'oscilloscope**a. Mesure de tension**

Pour mesurer une tension en utilisant l'une des deux voies de l'oscilloscope, il faudrait choisir un calibre de telle manière que l'amplitude du signal V_c crête à crête occupe la majeure partie de l'écran sans dépassement (pour diminuer les causes d'erreur).

$$V_c = \text{nombre de cm} \times \text{calibre}$$

b. Mesure de fréquence

Pour mesurer la fréquence F d'un signal on choisit une position de la base de temps de telle manière que la période du signal T occupe la majeure partie de la longueur de l'écran.

$$T = \text{nombre de cm} \times \text{calibre}$$

D'où

$$F = \frac{1}{T}$$

c. Mesure de déphasage

Pour pouvoir mesurer le déphasage entre deux signaux : il faudrait les observer simultanément. Pour cela les deux tensions doivent être prises par rapport à un même point qui est le point de masse.

Première méthode : Méthode directe

Soient deux signaux $V_c(t)$ et $V_s(t)$ dont l'un est déphasé par rapport à l'autre (figure 5) ; le déphasage $\Delta\varphi = \varphi_{V_s} - \varphi_{V_c}$ est :

En degrés $\varphi = \frac{t}{T} \times 360^\circ$

En radian $\varphi = \frac{t}{T} \times 2\pi$

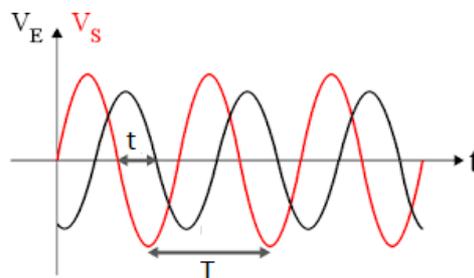


Figure 5

Deuxième méthode : Méthode de Lissajous

L'oscilloscope possède une touche DUAL qui, une fois actionnée, permet de visualiser simultanément sur l'écran de l'oscilloscope deux signaux périodiques appliqués aux deux entrées de l'oscilloscope

❖ Cas de deux signaux de même fréquence

Cette méthode consiste à obtenir des courbes dans un plan par déplacement d'un plan dont les coordonnées sont des fonctions d'un même paramètre.

Pour utiliser cette méthode, mettre l'oscilloscope en balayage horizontal.

Remarque : avant de faire les mesures, fixer le spot au milieu des axes (centre de l'écran).

Soient

$$V_e(t) = A \cos(\omega t) \text{ et } V_s(t) = B \cos(\omega t + \varphi)$$

Mettons V_e sur la voie $CH_1(X)$ et V_s sur la voie $CH_2(Y)$. Alors :

$$X = V_e(t) = A \cos(\omega t)$$

$$Y = V_s(t) = B \cos(\omega t + \varphi) = B \cos(\omega t) \cos(\varphi) - B \sin(\omega t) \sin(\varphi)$$

Alors

$$\sin(\omega t) \sin(\varphi) = \cos(\omega t) \cos(\varphi) - \frac{Y}{B}$$

En élevant au carré et remplaçant

$$\cos(\omega t) = \frac{X}{A}$$

On obtient

$$\frac{X^2}{A^2} + \frac{Y^2}{B^2} - \frac{2XY}{AB} \cos(\varphi) = \sin^2(\varphi)$$

C'est l'équation d'une ellipse inscrite dans un rectangle dont les côtés sont parallèles aux axes X et Y et ont pour longueur $a = 2A$ et $2B$.

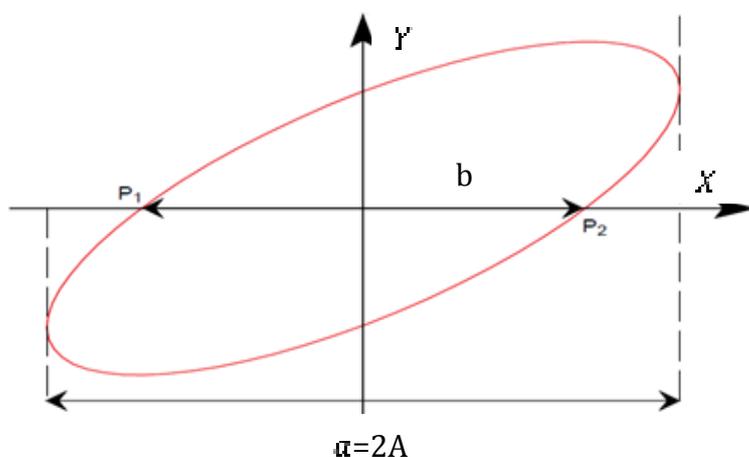


Figure 6 : Ellipse $V_s = f(V_e)$ produite par la composition des fonctions sinusoidales V_e et V_s .

L'amplitude A du signal d'entrée est indépendante de la fréquence. Par contre les intersections de l'ellipse avec l'axe des abscisses, P_1 et P_2 , sont séparées par b , qui dépend de φ .

En points P_1 et P_2 on a $Y = 0$ alors $X = A \sin(\varphi)$

D'où

$$\frac{b}{2} = \frac{a}{2} \sin(\varphi)$$
$$\varphi = \text{Arcsin}\left(\frac{b}{a}\right)$$

Pour simplifier les calculs, choisissons l'amplitude A et le calibre de la voie CH_1 de l'oscilloscope (axe des abscisses) de telle sorte que A égale exactement 10 carreaux. Il suffit alors de compter b en carreaux, sans tenir compte du calibre.

V.7

TP07 : Dioptré (Ressources théoriques)

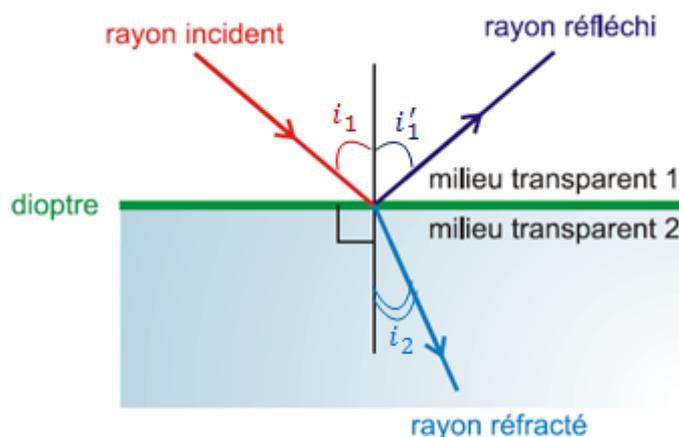
Un dioptré est une surface séparant deux milieux transparents homogènes et isotropes, d'indices de réfraction différents.

On parle de dioptré plan si la surface de séparation est un plan, de dioptré sphérique si c'est une sphère (ou tout au moins une partie de la sphère).

Si la lumière se propage en ligne droite dans un milieu homogène et isotrope, elle est déviée lors du passage par un dioptré : il y a réfraction. De façon générale, il y a à la fois réfraction et réflexion : une partie de la lumière est réfléchi à la surface du dioptré et l'autre partie est réfractée lors de son passage dans l'autre milieu.

Le changement de direction au niveau du dioptré est décrit par les lois de Snell-Descartes qui fondent l'optique géométrique. Ces lois peuvent se représenter graphiquement en les appliquant à un rayon unique - dit incident - interceptant le dioptré en un point dit d'incidence.

1. Indice de réfraction



1.1. Indice de réfraction absolu d'un milieu

L'indice de réfraction d'un milieu est le rapport de la célérité c de la lumière dans le vide à la vitesse v de la lumière dans le milieu :

$$n = \frac{c}{v}$$

- Si n est constant en tout point du milieu, le milieu est homogène.
- Si n dépend de la longueur d'onde (donc de la couleur) de la lumière, le milieu est dit dispersif.

Tableau de quelques indices de réfraction absolus

Milieu	Indice
Plexiglas	1,49
Eau	1,33
Verre ordinaire	1,5
Cristal au plomb	1,6 à 1,8
Diamant	2,42
Air	1,00029

1.2. Indice de réfraction relatif d'un milieu 2 par rapport à un milieu 1 :

L'indice de réfraction du 2^{ème} milieu par rapport au 1^{er} milieu est d'autant plus grand que la réfraction est, pour un même angle d'incidence, plus prononcée.

Exemple - Pour (dans l'air) = 50°, (dans le plexiglas) = 30,94°.
 - Pour (dans l'air) = 50°, (dans l'eau) = 35,17°.

L'indice de réfraction **de l'eau par rapport à l'air** () est donc plus petit que celui **du plexiglas par rapport à l'air** ().

Une étude théorique plus poussée montre que la réfraction de la lumière est due au fait que la lumière se propage avec des célérités (vitesses) différentes dans différents milieux.

Elle permet d'établir une relation entre l'indice de réfraction $n_{2/1}$ et le rapport des célérités dans les deux milieux.

$$n_{2/1} = \frac{c_1}{c_2}$$

(c_1 = célérité de la lumière dans le milieu 1 ; c_2 = célérité de la lumière dans le milieu 2)

Il s'ensuit que $n_{1/2} = \frac{1}{n_{2/1}}$.

- Si le 2^{ème} milieu est **plus** réfringent que le 1^{er} milieu : $n_{2/1} > 1$ et $i_2 < i_1$.
- Si le 2^{ème} milieu est **moins** réfringent que le 1^{er} milieu : $n_{2/1} < 1$, alors $i_2 > i_1$.

A l'aide des formules précédentes, on montre aisément la relation entre les indices de réfraction absolus n_2 et n_1 , et l'indice de réfraction relatif $n_{2/1}$

$$n_{2/1} = \frac{n_2}{n_1}$$

2. Énoncé des lois de Snell-Descartes

Soit un dioptre séparant deux milieux d'indices n_1 et n_2 , et soient i_1 et i_2 les angles que font respectivement les rayons incident et réfracté avec la normale au point d'incidence.

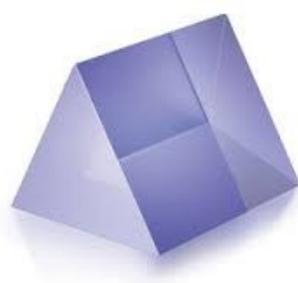
- 1^{ère} loi de Descartes : Le rayon incident, la normale au dioptre, le rayon réfléchi et le rayon réfracté sont tous contenus dans le plan d'incidence (ils sont dits coplanaires)
- 2^{ème} loi : l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence
- 3^{ème} loi : l'angle d'incidence et de réfraction sont reliés par la relation

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{2/1} = \frac{n_2}{n_1} \leftrightarrow n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

.8**TP08 : Prisme**
(Ressources théoriques)**1- Introduction**

✓ Les prismes, (figure ci-dessous), sont utilisés pour décomposer une lumière en ses différentes couleurs qui la composent ou pour mesurer des indices de réfraction de milieux transparents.

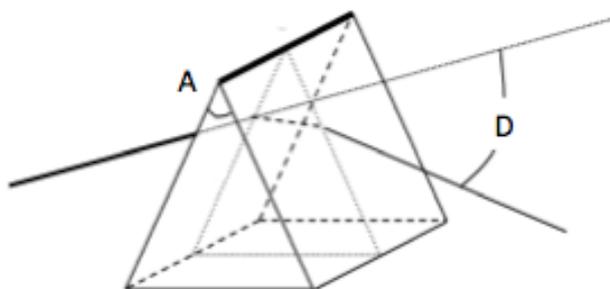
✓ L'objet de ce travail est d'étudier les effets, de lois de l'optique géométrique, à savoir la loi de la réfraction et/ou la réflexion par un dioptre plan, sur la marche d'un rayon lumineux à travers le prisme.



✓ Si une lumière blanche traverse un prisme, elle est décomposée en ses couleurs, c'est le phénomène de la dispersion de la lumière. Du fait de la grande déviation, la variation de l'indice de réfraction « n » du prisme en fonction de la couleur joue ici un rôle. C'est la raison pour laquelle on reconnaît les "couleurs de l'arc-en-ciel".

2- Définition

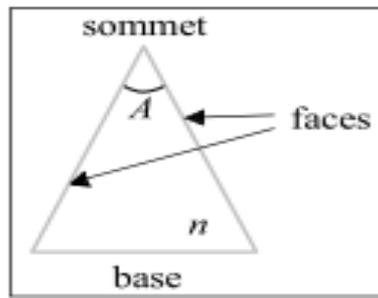
✓ Un prisme est un corps fabriqué dans une substance transparente qui est limité par deux faces planes sécantes. L'arête de coupe des deux plans est appelée arête de réfraction C ou arête réfringente. L'angle A à l'arête de réfraction est appelé l'angle réfringent ou tout simplement angle du prisme.



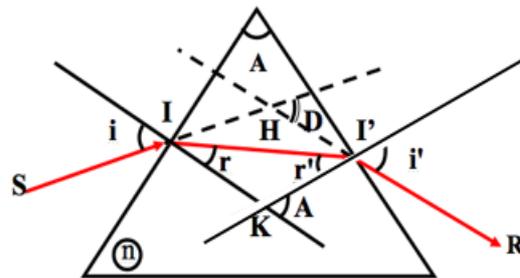
✓ Lorsqu'un rayon lumineux tombe sur une face d'un prisme, il est, en général, réfracté deux fois et sort ainsi dans une nouvelle direction de l'autre côté. L'angle entre les directions du rayon lumineux incident et du rayon lumineux sortant est appelé angle de déviation D.

3- Action d'un prisme sur un rayon lumineux

La figure ci-dessous montre une section droite du prisme.



4- Les deux réfractons



Un rayon lumineux SI qui tombe sur une des faces du prisme subit une première réfraction en I. Il traverse ensuite le milieu d'indice n . Le rayon II' est à nouveau réfracté en I', et donne lieu à un rayon émergent I'R.

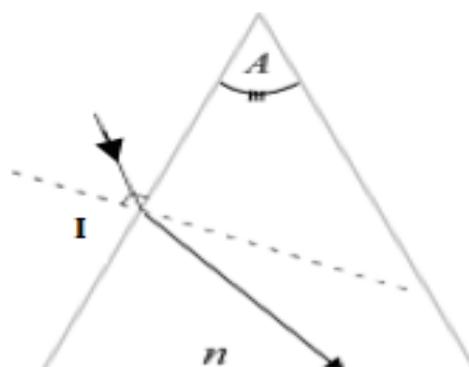
Pour la première réfraction, l'angle d'incidence est noté i , l'angle de réfraction est noté r . Pour la deuxième, l'angle d'incidence est noté r' , l'angle de réfraction, i' .

Pour utiliser correctement le prisme, le rayon incident doit se trouver dans un plan perpendiculaire à l'arête du prisme (sinon tout se passe comme si l'angle au sommet du prisme devenait variable).

Dans les conditions correctes, les plans d'incidence et de réfraction sont tous confondus avec un plan de section droite du prisme, comme représenté sur la figure ci-dessus.

Remarque :

Nous limitons notre étude aux rayons incidents situés entre la base et la normale au prisme au point I. Un rayon incident situé entre la normale et le sommet du prisme peut se trouver dévié vers la base du prisme qui est souvent obturée par le dispositif de fixation du prisme (figure ci-dessous).



5- Les relations caractéristiques du prisme et leurs conséquences

a) Les relations caractéristiques du prisme

Les relations caractéristiques du prisme sont au nombre de quatre :

- D'abord, les lois de la réfraction :

$$\text{Au point (I), on a:} \quad \sin i = n \sin r \quad (1)$$

$$\text{Au point (I'), on a:} \quad n \sin r' = \sin i' \quad (2)$$

Relations géométriques liant A, r et r' ?

L'angle entre les normales aux faces du prisme est égal à A (figure 4.a) et la somme des angles d'un triangle est égale à 180° :

$$r + r' + (180^\circ - A) = 180^\circ$$

$$\text{Ce qui donne :} \quad r + r' = A \quad (3)$$

Et l'expression de la déviation :

$$D = (i - r) + (i' - r') = i + i' - (r + r') = i + i' - A,$$

$$\mathbf{D = i + i' - A} \quad (4)$$

b) Condition d'émergence

Un rayon lumineux incident peut ne pas « sortir » du prisme. Quelles sont les conditions pour qu'un rayon incident puisse émerger ou sortir, du prisme ? Il y a deux conditions d'émergence, l'une sur l'angle d'incidence et l'autre sur l'angle du prisme.

b.1) Condition sur l'angle d'incidence

Pour que le rayon émergent existe, il faut que $r' \leq r'_{lim}$, angle limite d'incidence, car lorsque $r' > r'_{lim}$ il y a réflexion totale sur la seconde face du prisme. Lorsque $r' = r'_{lim}$ l'angle i' vaut 90° , l'angle r'_{lim} est donc donné par :

$$n \sin r'_{lim} = \sin(90^\circ) = 1 \quad \text{et} \quad \sin r'_{lim} = \frac{1}{n}$$

La condition, $r' \leq r'_{lim}$ impose $r > A - r'_{lim}$ car $r = A - r'$ d'après la relation (3).

Et ceci impose : $\sin i \geq n \sin(A - r'_{lim})$ d'après la relation (1), donc :

$$i \geq i_0 \text{ avec :}$$

$$\sin i_0 = n \sin(A - r'_{lim})$$

b.2) Condition sur l'angle du prisme

De plus, l'angle de réfraction r est toujours inférieur à l'angle limite de réfraction r_{lim} , qui vaut : $r_{lim} = \arcsin\left(\frac{1}{n}\right)$ qui est égal à l'angle limite d'incidence r'_{lim} qui vaut également

$$r'_{lim} = \arcsin\left(\frac{1}{n}\right).$$

Par conséquent, les deux inégalités : $r' \leq r'_{lim}$ et $r \leq r_{lim}$ sont vérifiées simultanément, or, $r + r' = A$, donc :

$$A \leq 2r_{lim} \text{ avec : } \sin r_{lim} = \frac{1}{n}$$

Conséquence : pour qu'un rayon émerge du prisme, il faut que : $A \leq 2r_{lim}$. Dans le cas contraire, ($A > 2r_{lim}$), il y a réflexion totale sur la face de sortie du prisme.

Pour un prisme en verre dont l'angle A vaut 90° d'indice $n = 1,5$. Le calcul de l'angle r_{lim} donne:

$$\sin r_{lim} = \frac{1}{n} = 0,6666 \Rightarrow r_{lim} = 41,8^\circ \approx 42^\circ$$

Ceci veut dire qu'il aura toujours réflexion totale pour $A > 84^\circ$.

Pour résumer, lorsque $A \leq 2r_{lim}$, le rayon incident émerge du prisme si :

$$i_0 \leq i \leq \frac{\pi}{2} \quad \text{avec: } i_0 = \arcsin [n \sin(A - r'_{lim})]$$

En travaux pratiques, on utilise des prismes dont l'angle vaut typiquement 60° , ce qui correspond, pour $n = 1,5$, à $i_0 \approx 28^\circ$. En pratique on doit donc éclairer le prisme de façon suffisamment oblique pour espérer voir la lumière ressortir par la face attendue.

c) Etude des variations de la déviation en fonction de l'angle d'incidence

c.1) Domaine de définition

L'angle d'incidence varie de i_0 à 90° . Dans ce domaine, toutes les fonctions qui construisent D sont définies, donc il en est de même pour D . (cf. paragraphe b.1. pour la définition de i_0 .)

c.2) Expression de la dérivée

Nous dérivons la déviation par rapport à l'angle d'incidence, l'angle du prisme et l'indice étant constants, c'est à dire que le prisme est invariable et que la longueur d'onde est fixée. D'après la relation (1) et tout calcul fait, il vient:

$$\frac{dD}{di} = 1 - \frac{\cos r' \cos i}{\cos i' \cos r}$$

c.3) Etude de la dérivée

a) Deux valeurs particulières.

Pour $i = 90^\circ$, $\cos i = 0$, mais ni $\cos i'$ ni $\cos r$ ne sont nuls donc :

$$\frac{dD}{di} = 1 - \frac{\cos r' \cos i}{\cos i' \cos r} = 1, \text{ cette quantité est positive !}$$

Pour $i = i_0$, alors $r = A - r'_{lim}$, $r' = r'_{lim}$ et $i' = 90^\circ$ donc $\cos i'$ et $\cos r$ sont strictement positifs mais $\cos i = 0$ donc :

$$\frac{dD}{di} \rightarrow -\infty, \text{ cette quantité est négative !}$$

Conséquence : $\frac{dD}{di}$ passe nécessairement par zéro !

La fonction $D=D(i)$ présente un minimum !

b) Recherche des zéros de la dérivée : position du minimum.

$$\frac{dD}{di} = 1 - \frac{\cos r' \cos i}{\cos i' \cos r} \Leftrightarrow \cos r' \cos i = \cos i' \cos r$$

Les angles sont tous compris entre 0 et 90° , donc les cosinus sont tous positifs. La dernière égalité est donc équivalente à son carré :

$$\cos^2 r' \cos^2 i = \cos^2 i' \cos^2 r$$

Comme n est différent de 1, et tous les angles sont compris entre 0 et 90° , les sinus sont également positifs et la solution est que:

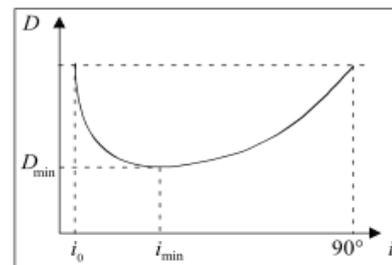
$$i' = i$$

Et par conséquent la dérivée $\frac{dD}{di}$ ne s'annule qu'une fois lorsque i varie de i_0 à 90° .

c.4) Représentation graphique

Tableau de variation : minimum de déviation.

i	i_0	$i = i' = i_{min}$	90°
$\frac{dD}{di}$	$-\infty$ -	0	+ +1
D	↘		↗
		D_{min}	



Lorsqu'on augmente l'angle d'incidence, la déviation passe par un minimum D_{min} . Ceci suppose que $i_0 < i_{min}$, sinon la déviation croît avec l'angle d'incidence.

Remarque :

La loi du retour inverse de la lumière montre que lorsqu'on change i en i' , r et r' s'échangent et i' devient i . Donc la déviation est inchangée.

Ceci implique que D passe par un extremum pour

$$i = i' = i_{extr}$$

L'existence du minimum de déviation étant admise, cette remarque permet de retrouver rapidement l'expression de D_{min} .

c.5) Expression du minimum de déviation

Au minimum de déviation,

$$i = i' = i_{min}$$

$$D_{min} = 2i_{min} - A \Leftrightarrow i_{min} = \frac{D_{min} + A}{2}$$

$$r = r' = r_{min} \Leftrightarrow A = 2r_{min} \Leftrightarrow r_{min} = \frac{A}{2}$$

$$\sin i_{min} = n \sin r_{min} \Leftrightarrow \sin \frac{D_{min} + A}{2} = n \sin \frac{A}{2}$$

La dernière relation permet de calculer D_{min} connaissant le prisme, c'est à dire l'indice n et l'angle A .

Elle est en fait plus souvent utilisée pour déterminer avec une bonne précision l'indice du prisme pour une longueur d'onde donnée. On mesure l'angle du prisme et le minimum de déviation, et on en déduit l'indice n pour la lumière monochromatique choisie :

$$n = \frac{\sin\left(\frac{D_{min} + A}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$$

d) Dispersion de la lumière

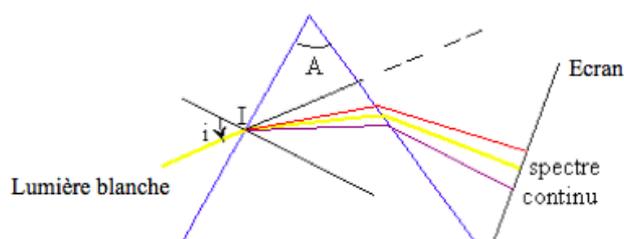
Le prisme est l'élément qui est à la base de la spectroscopie optique par réfraction. Quand le prisme est éclairé par un faisceau de lumière parallèle, chaque rayon lumineux du faisceau qui tombe sur le prisme est (éventuellement) réfracté deux fois. La déviation subie par le rayon émergent dépend de l'indice de réfraction, fonction lui-même de la longueur d'onde de la lumière incidente, c'est le phénomène de dispersion de la lumière.

L'indice de réfraction est modélisé par la formule (ou loi) de Cauchy :

$$n(\lambda) = \alpha + \frac{\beta}{\lambda^2}$$

où α et β sont des coefficients positifs caractéristiques de chaque milieu transparent. Ce phénomène (dispersion de la lumière) est utilisé en spectroscopie pour analyser la composition spectrale d'une lumière émise par une source.

La déviation du prisme croît avec l'indice de réfraction. Comme l'indice de réfraction diminue quand la longueur d'onde augmente, alors la lumière rouge ($\lambda = 750 \text{ nm}$) est donc moins déviée que la lumière violette ($\lambda = 400 \text{ nm}$). (Voir figure ci-dessous).



V.9

TP09 : Focométrie
(Ressources théoriques)

I. Définition

Une lentille est un milieu transparent limité par deux dioptries, les deux peuvent être sphériques ou l'un est sphérique et l'autre est plan.

On distingue deux familles de lentilles :

- ✓ Les lentilles à bords minces, elles sont convergentes.
- ✓ Les lentilles à bords épais, elles sont divergentes.

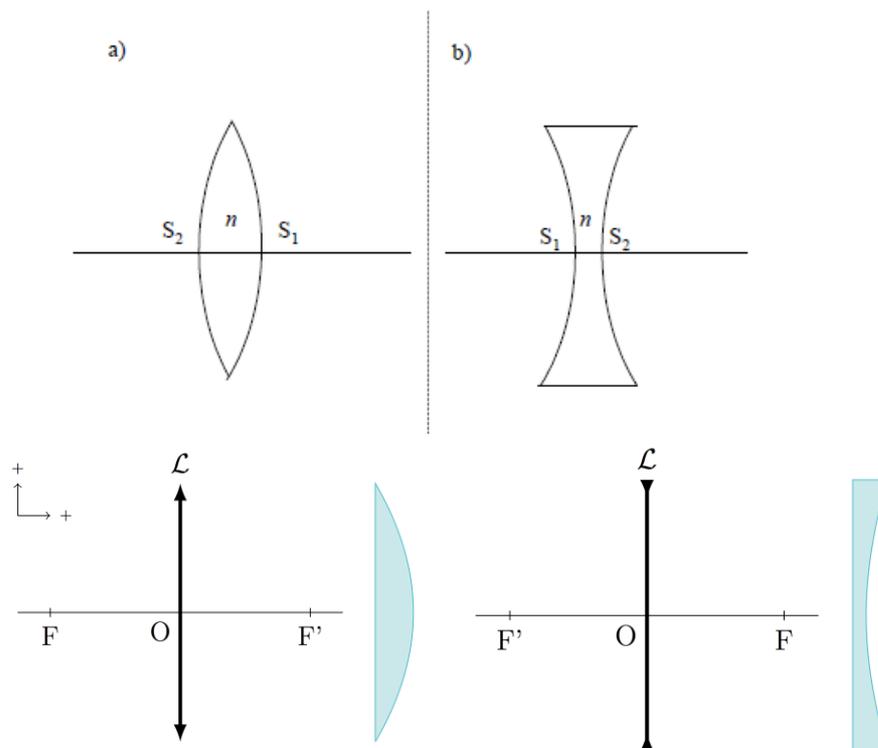


Figure 1. Représentation d'une lentille convergente (a) et d'une lentille divergente (b)

II. Éléments principaux d'une lentille

Pour une lentille mince, on définit :

- a. Le centre de la lentille noté O et est appelé centre optique et il est considéré comme ponctuel. Tout rayon passant par O n'est pas dévié par la lentille.
- b. L'axe optique de la lentille est l'axe qui passe par le centre optique O et qui est perpendiculaire à la lentille.
- c. Le plan de la lentille passant par l'origine de l'axe optique O et perpendiculaire à son axe optique
- d. Les foyers principaux qui appartiennent aux plans focaux qui sont perpendiculaires à l'axe optique.

Foyer principal objet

Ce foyer noté F est le point dont l'image est située à l'infini sur l'axe optique.

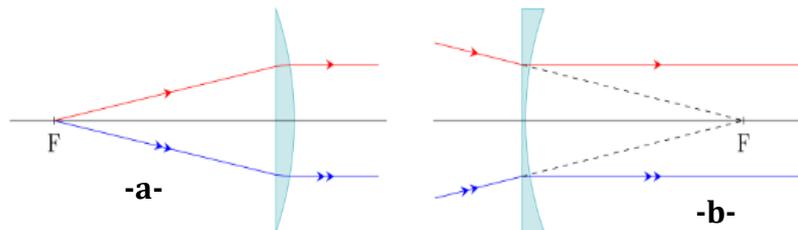


Figure 2 : Foyer principal objet d'une lentille convergente (a) et d'une lentille divergente (b)

Foyer principal image

C'est le point image d'un point objet situé à l'infini sur l'axe optique ; il est noté F'

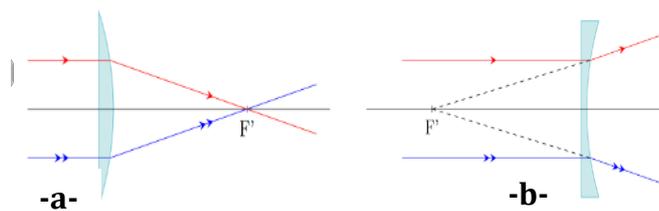


Figure 3 : Foyer principal image d'une lentille convergente (a) et d'une lentille divergente (b)

Les foyers principaux sont caractérisés par :

- Tout rayon incident parallèle à l'axe optique passe, après transmission, par le foyer image principal F'.
- Tout rayon incident passant par le foyer objet principal F sort de la lentille parallèlement à l'axe optique.

III. Distance focale

Chaque lentille mince est caractérisée par sa distance focale qui est la distance entre son centre et l'un des foyers F ou F'. Si les deux faces de la lentille se trouvent dans le même milieu, on a $f = -f'$ en terme de distance algébrique :

- La distance f est appelée distance focale objet, Elle est négative dans le cas d'une lentille convergente, positive dans le cas d'une lentille divergente.
- La distance f' est appelée distance focale image, c'est une grandeur algébrique. Elle est négative dans le cas d'une lentille divergente, positive dans le cas d'une lentille convergente.

IV. Vergence

Elle est définie par $V = 1/f'$; elle caractérise la convergence ou la divergence d'une lentille et s'exprime en dioptrie (D) si f' est exprimée en mètre (m).

V. Points conjugués

A' est l'image conjuguée de A si tous les rayons (ou leur prolongement) issus de A émergent en passant par A', figures 4a et 4b.

Dans le cas de la figure 4a on a $OA' > 0$ et $OA < 0$

a. Formule de conjugaison de Descartes

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'} = -\frac{1}{f} = C$$

f' , \overline{OA} et $\overline{OA'}$ exprimées en mètre (m).

b. Formule de grandissement

Soit \overline{AB} la taille de l'objet et $\overline{A'B'}$ la taille de l'image.

Le grandissement est défini comme étant le rapport des deux tailles.

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

c. Construction de l'image d'un objet

Considérons un objet AB situé avant la lentille. Pour construire l'image du point B, on utilise les trois rayons qui passent par les trois points particulier de la lentille : centre, foyer image et foyer objet.

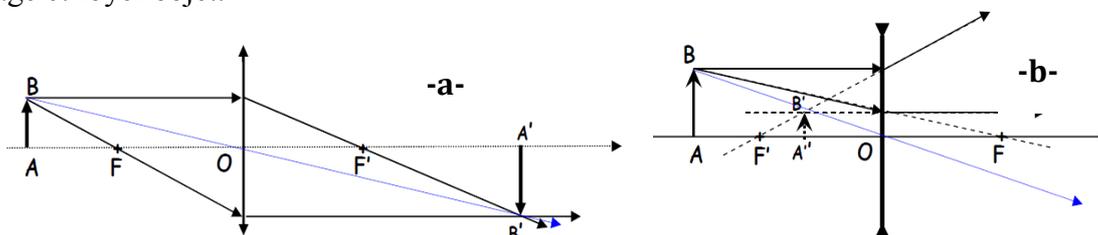


Figure 4 : Construction de l'image d'un objet pour une lentille convergente (a) et pour une lentille divergente(b)

VI. Détermination de la distance focale d'une lentille

Les trois méthodes utilisées dans ce TP pour déterminer la distance focale d'une lentille convergente sont:

a. Méthode des points conjugués : consiste en la détermination de la distance focale de la lentille, en connaissant la position de l'objet et de son image obtenue par la lentille, à l'aide de sa relation de conjugaison

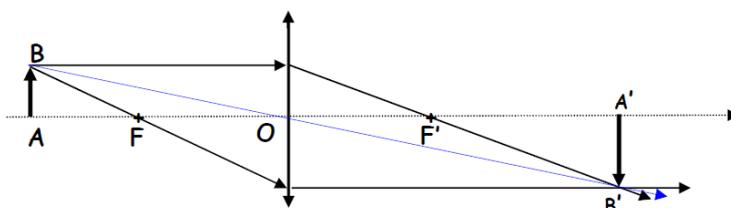


Figure 5 : Méthode des points conjugués

b. Méthode d'auto-collimation : consiste à placer, après et parallèlement au plan de la lentille, un miroir plan de façon à former l'image après réflexion par le miroir dans le plan de l'objet.

Principe :

Les rayons traversent la lentille parallèlement à l'axe optique et arrivent donc sous incidence nulle sur le miroir. Ils sont donc réfléchis sur eux-mêmes c'est-à-dire parallèlement à l'axe. Puis, comme la lumière a changé de sens, après traversée de la lentille ils vont donc converger au foyer image.

On a ainsi réalisé un collimateur : lentille + source à son foyer objet.

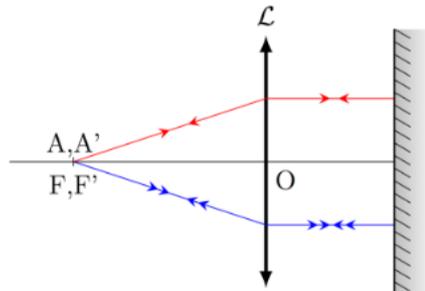


Figure 6 : Méthode d'auto-collimation

c. **Méthode de Bessel** : consiste à calculer la distance focale en se basant sur la relation suivante : $f' = \frac{u^2 - v^2}{4u}$ $f = \frac{D^2 - d^2}{4D}$,

D est la distance entre l'objet et l'écran qui doit être toujours supérieur à $4f'$, et d est la distance entre les deux positions de la lentille pour lesquelles l'image est nette, en fixant D.

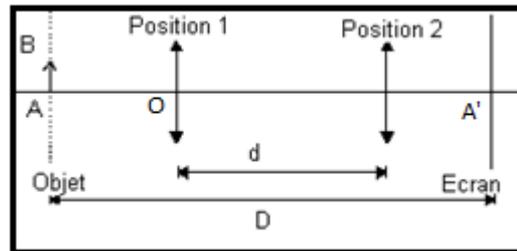


Figure 7 : Méthode de Bessel

En utilisant la relation de conjugaison $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$, et en posant $x = \overline{OA} < 0$, on trouve $\overline{OA'} = \frac{f' \cdot x}{f' + x}$.

Pour avoir une image réelle ($\overline{OA'} \geq 0$), il faut que $x < -f'$. D'autre part on a :

$$D(x) = \overline{OA'} - \overline{OA} = \overline{OA'} - x = \frac{-x^2}{f' + x}$$

Ce qui conduit à une équation du second degré : $x^2 + D \cdot x + f' \cdot D = 0$ avec $\Delta = D^2 - 4Df'$.

Si $D > 4f'$, les racines réelles sont : $x_1 = \frac{-D}{2} + \sqrt{\frac{D^2 - 4f'.D}{4}}$ et $x_2 = \frac{-D}{2} - \sqrt{\frac{D^2 - 4f'.D}{4}}$.

La distance d séparant les deux positions de la lentille qui conduisent à deux images réelles est donnée par: $d = x_1 - x_2 = \sqrt{\Delta}$, et $d^2 = D^2 - 4 \cdot D \cdot f'$ d'où $f' = \frac{D^2 - d^2}{4D}$.

V.10

TP10 : Machines thermiques (Ressources théoriques)

Introduction

Une **machine thermique** est un système capable de convertir l'énergie thermique en énergie mécanique et inversement. Ce transfert ne peut être assuré que si le système est en contact avec plusieurs sources de chaleur.

Dans le cas où le système est en contact avec **deux sources de chaleur** il est dit « ditherme ».

On distingue deux types de machines thermiques suivant qu'elles fournissent ($W < 0$) ou reçoivent du travail ($W > 0$) du milieu extérieur. C'est le cas des moteurs thermiques (machines motrices), de la pompe à chaleur et de la machine frigorifique ou réfrigérateur (machines réceptrices).

Les températures des deux sources seront notées T_2 et T_1 avec ($T_2 > T_1$). La source de température T_2 la plus élevée est appelée « **source chaude** », celle de température la plus basse T_1 est appelée « **source froide** ».

Q_1 et Q_2 étant les chaleurs échangées avec les sources froide et chaude et W_{cycle} le travail échangé avec le milieu extérieur.

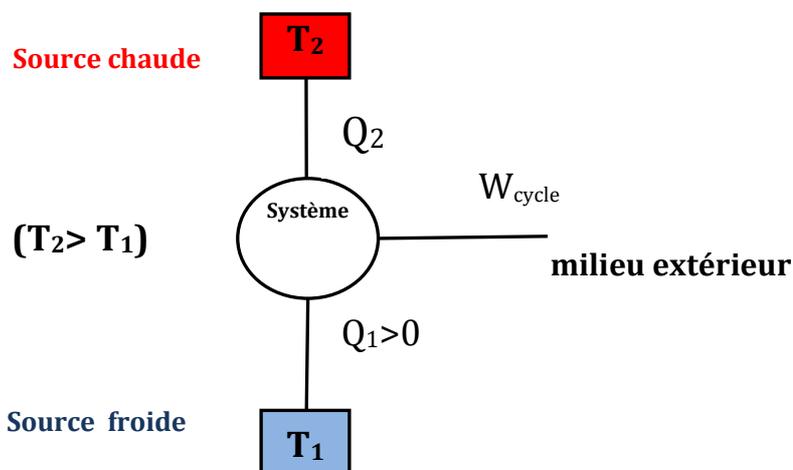


Figure : Schéma du principe d'échange thermique entre deux sources de chaleur

I – Machines dithermes « Cycle de Carnot »

1 – Généralités

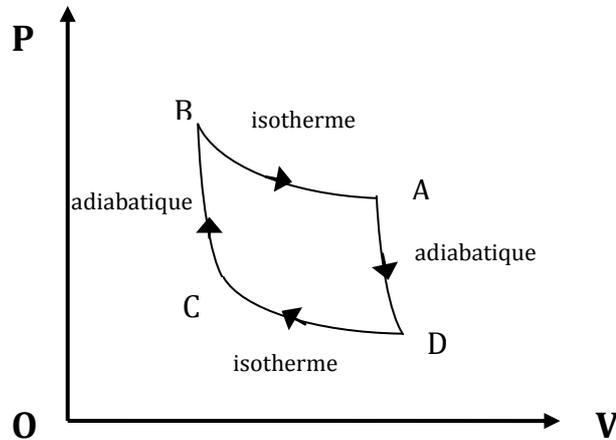
Les machines dithermes fonctionnent suivant un cycle de transformations thermodynamiques généralement irréversibles. Dans le cas où le cycle est réversible les machines présentent une efficacité ou coefficient de performance (COP) plus élevé.

A titre d'exemple, et pour **plus de simplicité** nous étudierons le cas d'un système fonctionnant suivant un cycle réversible particulier, appelé « **cycle de Carnot** ». Ce cycle est constitué de deux transformations **adiabatiques** et deux transformations **isothermes réversibles** (figure) et présente **un coefficient de performance maximal** (cycle idéal).

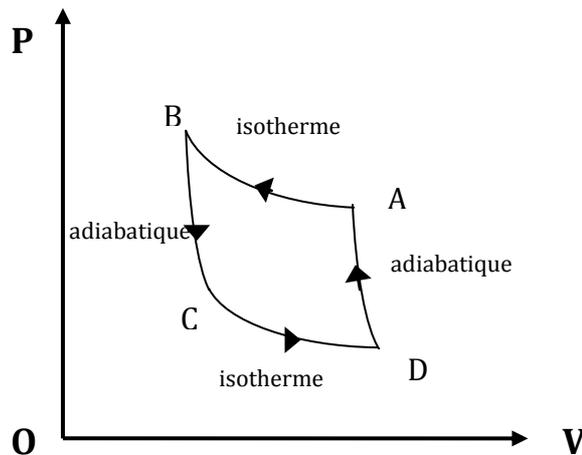
2 – types de machines

Deux orientations du cycle sont possibles suivant le type de machine thermique :

- si le cycle est orienté suivant le **sens horaire** (figure ci-dessous), le système fonctionne suivant un **moteur** thermique. Dans ce cas le système fournit du travail au milieu extérieur ($W_{\text{cycle}} < 0$). Dans le diagramme de Clapeyron (P, V) le travail W_{cycle} représente l'aire du cycle.



- si le cycle est orienté suivant le sens **anti-horaire** (figure ci-dessous), le système fonctionne suivant une **machine frigorifique** ou une **pompe à chaleur**. Dans ce cas le système reçoit du travail du milieu extérieur ($W_{\text{cycle}} > 0$).



Cycle de Carnot d'une machine frigorifique ou pompe à chaleur

3) Détermination du coefficient de performance de la machine

Toutes les transformations sont réversibles, donc on peut calculer la variation d'entropie en utilisant la relation de définition : $dS =$

* transformation **AB isotherme**, $T = \text{constante} = T_1$.

, posons $Q_2 =$ donc

La transformation CD étant aussi isotherme ($T = T_1$) on aura de même :

* BC et DA étant des transformations adiabatiques (pas d'échange de chaleur), $\Delta Q = 0$ donc ,

La variation d'entropie du cycle s'écrit alors :

$$\Delta S = \frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1}$$

Or pour un cycle $\Delta S_{\text{cycle}} = 0$,la relation devient donc :

$$\boxed{\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1} = 0}$$

Cette relation porte le nom de « relation de **Clausius** ».

T_2 et T_1 sont des températures absolues (en **Kelvin**). On rappelle la relation entre les deux échelles de température ($^{\circ}\text{C}$) et (K) : $T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$

On déduit que Q_1 et Q_2 sont de signes contraires.

* D'après le premier principe, la variation d'énergie interne du cycle est nulle : $\Delta U_{\text{cycle}} = 0$

$$\Delta U_{\text{cycle}} = W + Q_2 + Q_1 = 0$$

Deux cas sont possibles :

$$\boxed{\text{Premier cas}} : Q_2 > 0, Q_1 < 0 \rightarrow Q_1 = - Q_2$$

Comme $T_2 > T_1$ alors $|Q_1| < Q_2 \rightarrow Q_2 + Q_1 > 0$, $W = -(Q_2 + Q_1)$ est donc négatif.

Finalement si $Q_2 > 0$ alors $Q_1 < 0$ et par conséquent : $W < 0$

Le système fournit donc du travail. On dit que le système fonctionne suivant **un moteur**.

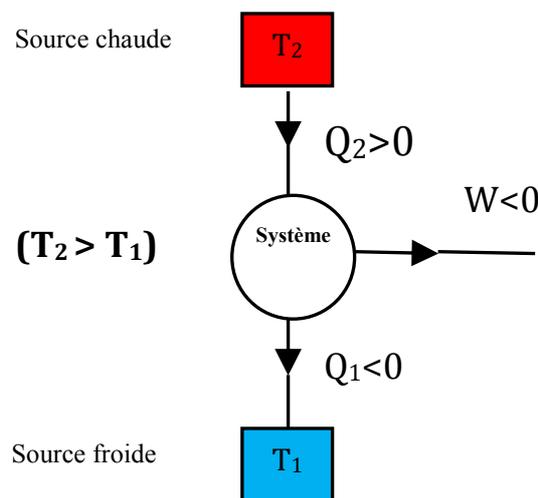


Schéma du principe de fonctionnement d'un cycle moteur

On définit le rendement η du moteur par :

$$\eta = -\frac{W}{Q_2}$$

Or $W = -Q_2 - Q_1$ donc :

$$\eta = \frac{Q_2 + Q_1}{Q_2} = 1 + \frac{Q_1}{Q_2}$$

Pour le cycle de Carnot :

$$\frac{Q_2}{T_2} = -\frac{Q_1}{T_1} \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = -\frac{T_1}{T_2}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} \text{ avec } \eta < 1$$

Deuxième cas : $Q_2 < 0, Q_1 > 0$

La source chaude reçoit la chaleur ($Q_2 < 0$). La source froide fournit la chaleur ($Q_1 > 0$).

$$Q_1 = -Q_2 \frac{T_1}{T_2}$$

alors $|Q_2| > Q_1 \rightarrow Q_2 + Q_1 < 0 \rightarrow W = -(Q_2 + Q_1) > 0$, $W > 0$

Finalement si $Q_2 < 0, Q_1 > 0$ alors $W > 0$

Le système reçoit donc du travail. Le système fonctionne suivant **une machine frigorifique ou une pompe à chaleur**.

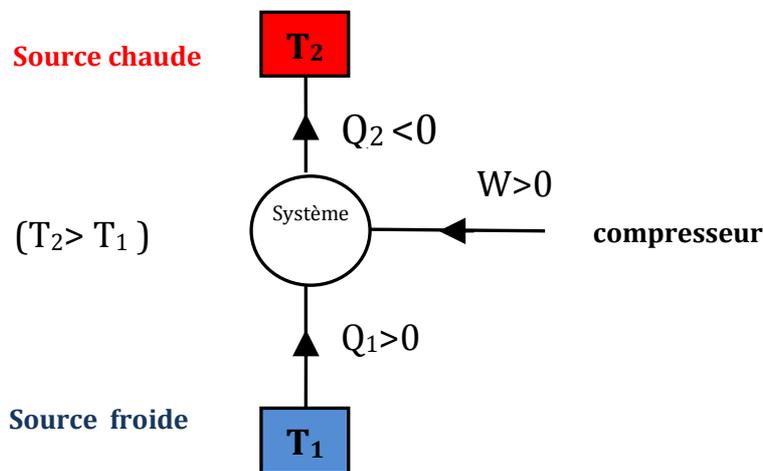


Schéma du principe de fonctionnement de la machine frigorifique (réfrigérateur) ou pompe à chaleur

Pour les deux fonctionnements on définit l'**efficacité ou coefficient de performance (COP)** de la machine par :

***Machine frigorifique :**

$$\text{COP}_1 = \frac{Q_1}{W}$$

$$\text{COP}_1 = - \frac{Q_1}{Q_2 + Q_1} = - \frac{1}{1 + \frac{Q_2}{Q_1}} = - \frac{1}{1 - \frac{T_2}{T_1}} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

$$\text{COP}_1 = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

*** Pompe à chaleur :**

$$\text{COP}_2 = - \frac{Q_2}{W}$$

$$\text{COP}_2 = \frac{Q_2}{Q_2 + Q_1} = \frac{1}{1 + \frac{Q_1}{Q_2}} = \frac{1}{1 - \frac{T_1}{T_2}} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

$$\text{COP}_2 = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

Remarques importantes

- le rendement du moteur est toujours inférieur à 1 ($\eta < 1$)
- les coefficients de performance de la machine frigorifique (COP_1) et celui de la pompe à chaleur (COP_2) sont généralement supérieurs à 1 : $\text{COP}_1 > 1$ et $\text{COP}_2 > 1$.

Cas du cycle irréversible

* En réalité les moteurs, les pompes à chaleur et les machines frigorifiques fonctionnent d'une manière **irréversible**. Pour une transformation irréversible la variation d'entropie est :

$$dS > \frac{\delta Q}{T}$$

La relation de Clausius devient :

$$\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1} < 0$$

On montre facilement que :

$$\eta_{\text{irr}} < 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad \text{donc} \quad \eta_{\text{irr}} < \eta_{\text{carnot}}$$

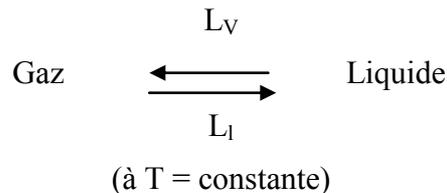
$$\text{COP}_1(\text{irr}) < \frac{T_1}{T_2 - T_1} \quad \text{donc} \quad \text{COP}_1(\text{irr}) < \text{COP}_1(\text{carnot})$$

$$\text{et} \quad \text{COP}_2(\text{irr}) < \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad \text{donc} \quad \text{COP}_2(\text{irr}) < \text{COP}_2(\text{carnot})$$

II - Liquide frigorigène et dispositif expérimental

Afin d'assurer le transfert de chaleur entre les deux sources, le cycle utilise le changement d'état d'un fluide particulier, appelé **fluide frigorigène** (ou liquide réfrigérant). Dans ce TP le fluide utilisé est le Fréon R134a (Tétrafluoroéthane).

En effet une masse de 1 kg de fluide sous forme de gaz se transforme en liquide en dégageant de la chaleur appelée « chaleur latente de liquéfaction : L_l ». A l'état liquide **il absorbe de la chaleur** pour se transformer en gaz « chaleur latente de vaporisation : L_v », et on a $L_v = -L_l$. Le changement d'état se fait à **température constante** et à une **pression bien déterminée**. Si la pression change, la température de changement d'état change aussi.



Exemple : A la pression atmosphérique normale ($P = 1 \text{ atm}$), 1 kg d'eau (**liquide**) à 100°C doit **absorber de la chaleur** (chaleur latente de vaporisation : $L_v = 2257 \text{ kJ/kg}$) pour se transformer en 1 kg de vapeur à la même température (100°C).

A l'inverse, 1 kg de vapeur d'eau à 100°C va **libérer la quantité de chaleur** (chaleur latente de liquéfaction : $L_l = -L_v$) pour se transformer en 1 kg d'eau à 100°C . La vapeur va donc libérer de la chaleur pour se condenser et donc se transformer en liquide.

A une pression inférieure à 1 atm, la vaporisation de l'eau a lieu à une température inférieure à 100°C .

Relation importante

Au cours du cycle élémentaire la température de la masse M d'eau de la source chaude varie de $dT_2 (>0)$; **la masse M d'eau reçoit** la chaleur $-dQ_2 = MC_e dT_2$

De même, la température de la masse M d'eau de la source froide varie de $dT_1 (<0)$; **la masse d'eau M cède** la chaleur : $-dQ_1 = MC_e dT_1$

En remplaçant dans la relation exprimant le deuxième principe :

$$\frac{MC_e dT_2}{T_2} + \frac{MC_e dT_1}{T_1} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{dT_2}{T_2} = -\frac{dT_1}{T_1}$$

Pour une durée Δt , la température T varie de T_0 à T_2 dans la source chaude et de T_0 à T_1 dans la source froide. L'intégration donne :

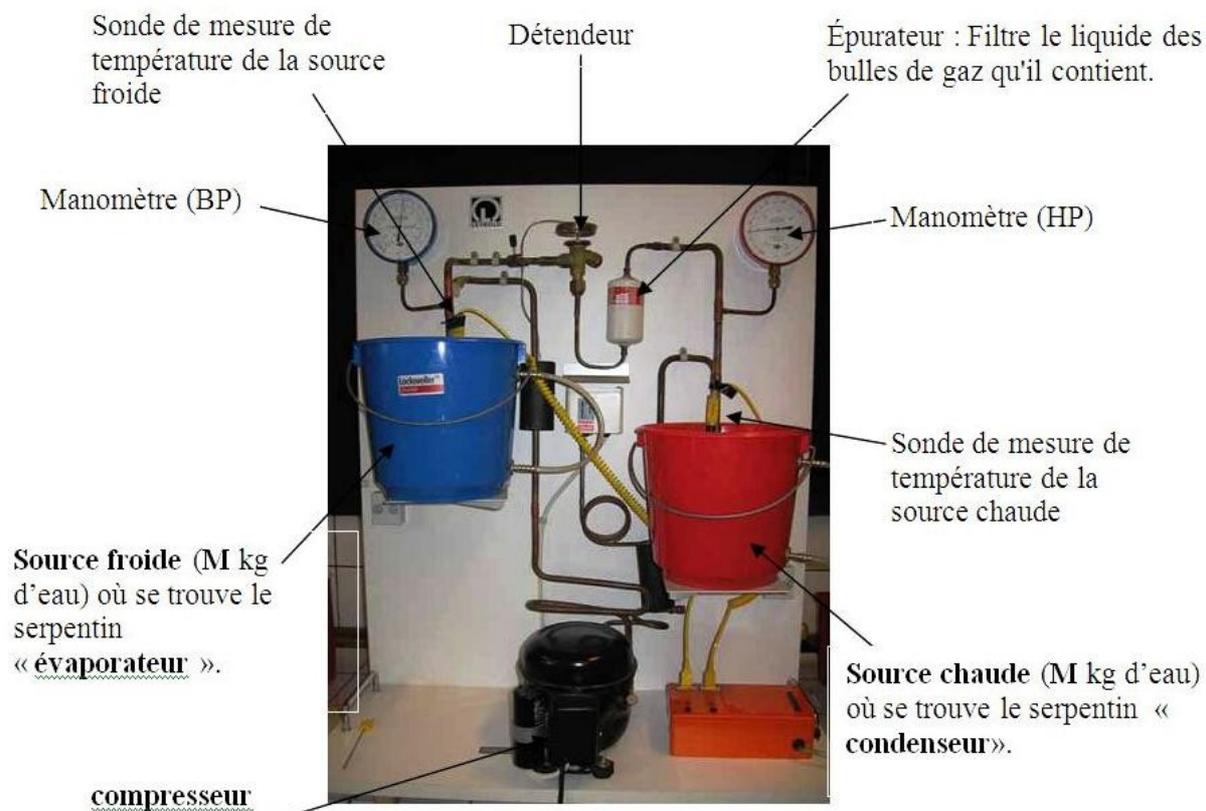
$$\int_{T_0}^{T_2} \frac{dT_2}{T_2} = - \int_{T_0}^{T_1} \frac{dT_1}{T_1}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{T_2 T_1 = T_0^2} \quad \boxed{T_2 T_1 = T_0^2}$$

T_0 est la température initiale des deux sources.

Dispositif expérimental

- Le dispositif expérimental est présenté sur la figure ci-dessous. Les sources chaudes et froides sont constituées de deux masses d'eau identiques, notée M (contenues dans les seaux bleu et rouge).



V.11

TP11 : Mesure du coefficient adiabatique γ d'un gaz (Ressources théoriques)

I- Introduction

Le coefficient adiabatique γ d'un gaz parfait est un paramètre central pour connaître l'évolution d'un gaz subissant une transformation adiabatique réversible. Ce coefficient est déterminé expérimentalement grâce à l'expérience de Clément-Desormes qui se trouve à la base même de ce TP. Il s'agit d'une expérience portant le nom de ses inventeurs, Nicolas Clément et Charles-Bernard Desormes, qui furent les premiers à déterminer le rapport des deux chaleurs spécifiques des gaz sous pression constante et volume constant, et ce grâce à l'appareil qui porte leurs noms (voir figure ci-contre) et qui permet de mesurer des quantités de chaleur. Le principe de cette expérience repose sur la compression et la détente de l'air dans une enceinte à volume constant, avec ou sans échanges de chaleur avec le milieu extérieur.



II-Système thermodynamique étudié : Gaz parfait

Le système thermodynamique auquel nous allons nous intéresser est un gaz parfait. Les caractéristiques et propriétés ayant trait aux gaz parfaits sont amplement abordées dans tout cours de thermodynamique de 1^{ère} année universitaire.

III- Description « théorique » des transformations thermodynamiques subies par un gaz lors de l'expérience de Clément-Desormes

En raisonnant sur le gaz qui reste dans le récipient à la fin de l'expérience de Clément-Desormes, le dit gaz subit dans cette expérience les transformations thermodynamiques réversibles successives suivantes :

- ✓ Isotherme (0) \rightarrow (1) : le gaz subit une compression isotherme qui l'amène de l'état initial (0) à l'état (1).
- ✓ Adiabatique (1) \rightarrow (2) : amenant le gaz de l'état (1) à l'état (2) ;
- ✓ Isochore (2) \rightarrow (3) : amenant le gaz de l'état (2) à l'état final (3) avec, l'état (3) appartenant à la même isotherme que les états (0) et (1).

Ces divers *états* du gaz sont caractérisés par les paramètres thermodynamiques (*Pression, Volume, Température*) suivants :

$$(0) \equiv (P_0, V_0, T_0) ; (1) \equiv (P_1, V_1, T_1 = T_0) ;$$

$$(2) \equiv (P_2 = P_0, V_2, T_2) \text{ et } (3) \equiv (P_3, V_3 = V_2, T_3 = T_0).$$

La Figure A3.1 ci-après représente, dans le diagramme de Clapeyron (P, V), l'ensemble des transformations thermodynamiques subi par ledit gaz au cours de l'expérience de Clément-Desormes.

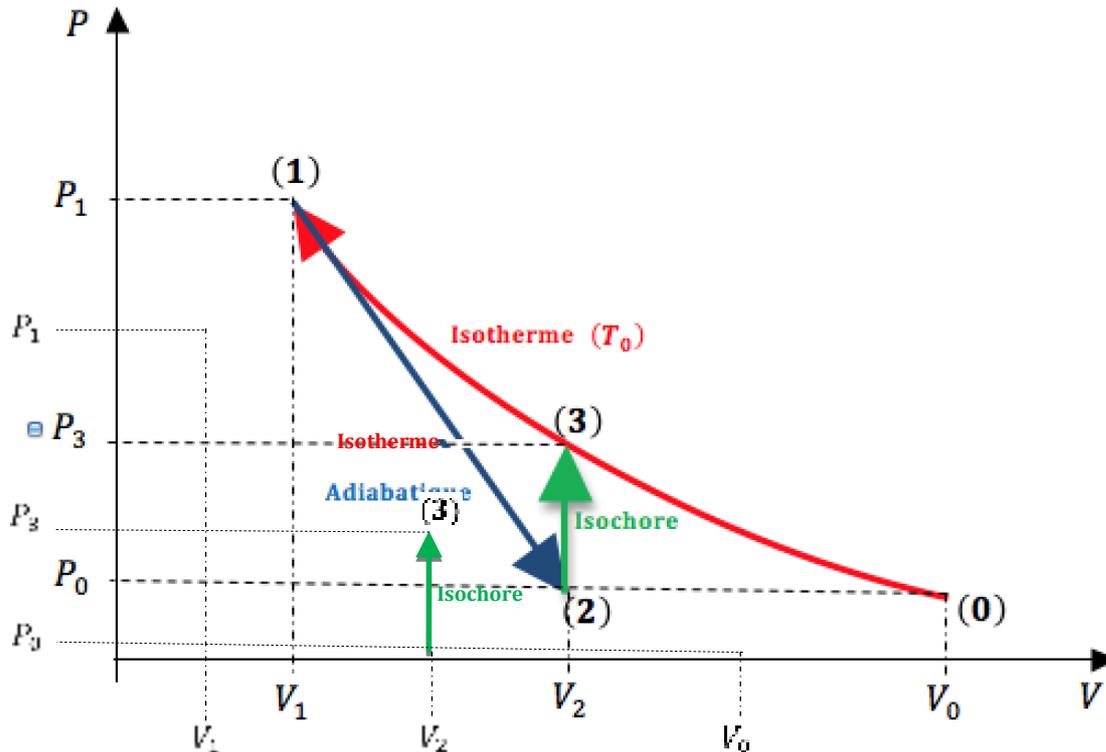


Figure A3.1 : Diagramme de Clapeyron (P, V) représentant l'ensemble des transformations thermodynamiques subi par un gaz parfait au cours de l'expérience de Clément-Desormes .

I- Expression du coefficient adiabatique γ du gaz

Notez de prime abord que le coefficient γ d'un gaz est, constant et supérieur à un :

$$\gamma = cte > 1.$$

La transformation (1) \rightarrow (2) étant adiabatique réversible avec $P_2 = P_0$, d'où :

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma = P_0 V_2^\gamma \quad [A3.1]$$

Par ailleurs, les états (1) et (3) sont sur une même isotherme (donc, ont une même température) et la transformation (2) \rightarrow (3) est isochore (donc, $V_3 = V_2$) on a :

$$P_1 V_1 = P_3 V_3 = P_3 V_2$$

d'où,

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_3} \quad [A3.2]$$

Des équations [A3.2] et [A3.1], on a :

$$\left(\frac{P_1}{P_3}\right)^\gamma = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\gamma = \frac{P_1}{P_0}$$

soit,

$$\left(\frac{P_1}{P_3}\right)^\gamma = \frac{P_1}{P_0}$$

On en déduit l'expression suivante du coefficient adiabatique :

$$\gamma = \frac{\ln P_1 - \ln P_0}{\ln P_1 - \ln P_3} \quad [A3.3]$$

Le manomètre étant un tube en U rempli d'un liquide par conséquent la relation entre la hauteur/dénivellation h_i du liquide dans le tube et la valeur de la pression P_i correspondante est donnée par l'équation fondamentale de la statique des fluides. Elle s'écrit :

$$\begin{cases} P_1 = P_0 + \rho g h_1 \\ P_3 = P_0 + \rho g h_3 \end{cases} \quad [A3.4]$$

où ρ est la densité du liquide du manomètre.

La Figure A3.2 ci-dessous schématise les pressions P_0 et P_i ainsi que la dénivellation h_i dans un manomètre liquide. Les deux liquides les plus utilisés sont en fait le *mercure* (pour les fortes pressions) et l'*eau* (pour les faibles pressions). Rappelons au passage les valeurs de leur densité :

$$\rho_{eau} = 1 \text{ g/cm}^3 \text{ et } \rho_{mercure} = 13,55 \text{ g/cm}^3.$$

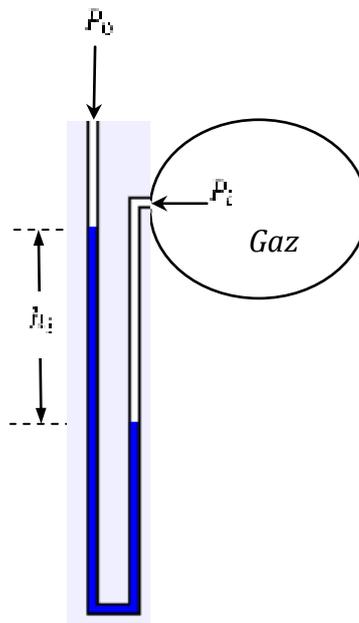


Figure A3.2 : Schéma représentant les pressions P_0 et P_i ainsi que la dénivellation h_i dans un manomètre liquide. Ici, P_0 correspondant à la pression atmosphérique.

Des équations [A3.3] et [A3.4], on déduit :

$$\gamma = \frac{\ln \left[P_0 \left(1 + \frac{\rho g h_1}{P_0} \right) \right] - \ln P_0}{\ln \left[P_3 \left(1 + \frac{\rho g h_2}{P_3} \right) \right] - \ln \left[P_0 \left(1 + \frac{\rho g h_2}{P_3} \right) \right]}$$

Les surpressions manométriques étant généralement faibles devant la pression atmosphérique ($\rho g h_i \ll P_0$) et sachant que : pour $x \ll 1$, $\ln(1 + x) \approx x$, l'expression du coefficient adiabatique s'écrit finalement :

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2} \quad [A3.5]$$

V.12

TP12 : Calorimétrie
(Ressources théoriques)
Introduction

En calorimétrie, toutes les mesures sont généralement réalisées à pression constante (pression atmosphérique). Les unités employées sont le kilogramme pour les masses, le joule pour les chaleurs et le degré Celsius pour les températures.

Un corps de masse m qui passe de la température T_1 à la température T_2 sans changer d'état, reçoit la chaleur :

$$\int_{T_1}^{T_2} mC dT = mC(T_2 - T_1)$$

avec C : chaleur massique qui s'exprime en $\text{J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

mC = capacité calorifique qui s'exprime en $\text{J } ^\circ\text{C}^{-1}$.

La relation $Q = m C (T_2 - T_1)$ est vraie sachant que C est indépendante de la température.

Par définition, une quantité de chaleur reçue par le système est considérée positive. Si elle est cédée par le système, elle est considérée négative.

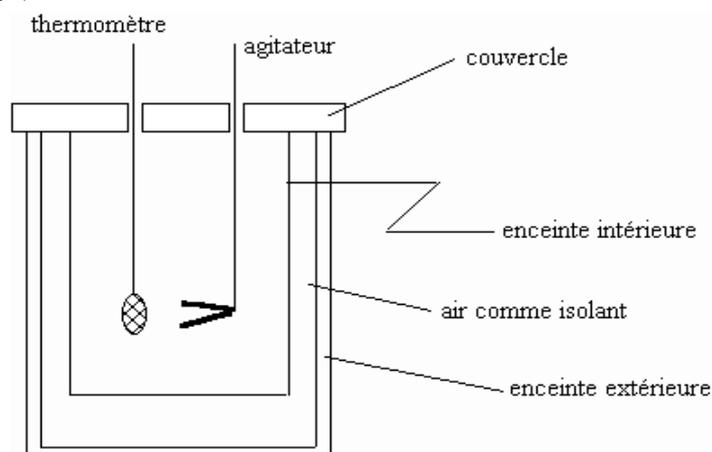
Un calorimètre est une enceinte quasi-adiabatique (voir schéma ci-dessous d'un calorimètre dit de Berthelot), c'est à dire que l'échange de chaleur entre le calorimètre et le milieu extérieur est nul. L'expérience est faite à l'intérieur d'un récipient appelé vase calorimétrique. Ce vase est placé dans l'enceinte isolante. Aussi on travaille à pression constante. Dans ces conditions la différentielle de la fonction enthalpie $H = U + PV$ est :

$$dH = dU + PdV + VdP = \delta Q - PdV + PdV + VdP$$

$$\Rightarrow dH = \delta Q + VdP, P = \text{Cte} \Rightarrow (dH)_P = (\delta Q)_P$$

On travaille dans une enceinte adiabatique, donc :

$\Delta H_P = 0 \Rightarrow \sum_i Q_i = 0$ (Q_i = quantité de chaleur échangée par le corps i , en contact avec les autres corps)



Le but de la manipulation est la mesure des chaleurs massiques ou capacités calorifiques du calorimètre et ses accessoires, d'un solide et d'un liquide.

Nous faisons l'hypothèse que les chaleurs massiques des corps utilisés sont constantes dans les domaines de température où nous travaillerons. Nous utilisons la méthode des mélanges dans le cas des solides et la méthode électrique dans le cas des liquides.

I- Méthode des mélanges

I-1 Détermination de la capacité calorifique ou valeur en eau du calorimètre

Dans ce but, on verse dans le calorimètre avec l'agitateur, de valeur en eau k , une masse m_1 d'eau froide (eau du robinet). On agite et on relève la température T_1 . On ajoute ensuite rapidement une masse m_2 d'eau chaude de température T_2 .

On agite et on mesure la température d'équilibre du mélange T_3 . Pour ce mélange on peut écrire (C_e = chaleur spécifique de l'eau = $4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) :

$$(m_1 C_e + k) (T_3 - T_1) + m_2 C_e (T_3 - T_2) = 0 \quad (1)$$

On détermine, à partir de cette équation (1), la capacité calorifique k du calorimètre.

I-2 Détermination de la chaleur massique d'un solide

Dans un calorimètre de valeur en eau k , contenant une masse m_1 d'eau de chaleur massique C_e , en équilibre à la température T_1 , on introduit rapidement un solide de masse m_s et de chaleur massique C_s en équilibre à la température T_2 ($T_2 > T_1$). Sachant que le mélange est en équilibre à la température T_f , on a l'équation calorimétrique :

$$(m_1 C_e + k) (T_f - T_1) + m_s C_s (T_f - T_2) = 0 \quad (2)$$

On détermine, à partir de cette équation (2), la chaleur massique C_s du solide.

II-Méthode électrique

II-1 Détermination de la capacité calorifique du calorimètre

On verse dans le calorimètre contenant la résistance chauffante et l'agitateur, de valeur en eau k , une masse m_1 d'eau froide (eau du robinet). On agite et on relève la température initiale T_1 . On relance le chauffage sous une tension U et un courant électrique I . On relève la température T en fonction du temps t . On a alors l'équation calorimétrique :

$$U \cdot I \cdot t = (k + m_1 C_e) (T - T_0). \text{ Soit : } T = U I t / (k + m_1 C_e) + T_0 \quad (3)$$

(C_e = chaleur spécifique de l'eau = $4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)

Cette équation (3), montre que T varie linéairement avec t . La détermination de sa pente $U I / (k + m_e C_e)$, nous permet de calculer la capacité calorifique k du calorimètre.

II-2 Détermination de la chaleur massique d'un liquide par la méthode électrique

Une résistance chauffante plonge dans un liquide de masse m (alcool, huile végétale ou autre liquide) de chaleur massique C en équilibre à la température T_0 , dans un calorimètre de valeur en eau k . Le travail fourni au calorimètre, par un générateur électrique est : $W = U I t$, avec : U en volt (V): différence de potentiel aux bornes de la résistance chauffante, I en ampère (A) correspond au courant qui traverse la résistance et t en seconde (s)

) correspondant au temps de chauffage. On appelle T la température du liquide chauffé pendant t . On a alors l'équation calorimétrique :

$$U I t = (k + m C)(T - T_0). \text{ Soit : } T = U I t / (k + m C) + T_0 \quad (4)$$

Il s'agit d'une variation linéaire de la température T en fonction du temps t (**équation (4)**).

La détermination de la pente $U I / (k + m C)$, nous permet de calculer la chaleur massique C du liquide.

UNIVERSIDAD DE
MURCIA



جامعة عبد الملك السعدي
Université Abdelmalek Essadi



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Les TICE Appliquées
à l'expérimentation
scientifique

Avec le soutien du programme ERASMUS+ de l'Union Européenne