



COURS PI

☆ *L'école sur-mesure* ☆

de la Maternelle au Bac, Établissement d'enseignement
privé à distance, déclaré auprès du Rectorat de Paris

Première - Module 4 - Mécanique

Physique-Chimie

v.5.1



- ✓ **Guide de méthodologie**
pour appréhender notre pédagogie
- ✓ **Leçons détaillées**
pour apprendre les notions en jeu
- ✓ **Exemples et illustrations**
pour comprendre par soi-même
- ✓ **Prolongement numérique**
pour être acteur et aller + loin
- ✓ **Exercices d'application**
pour s'entraîner encore et encore
- ✓ **Corrigés des exercices**
pour vérifier ses acquis

www.cours-pi.com

Paris & Montpellier



EN ROUTE VERS LE BACCALAURÉAT

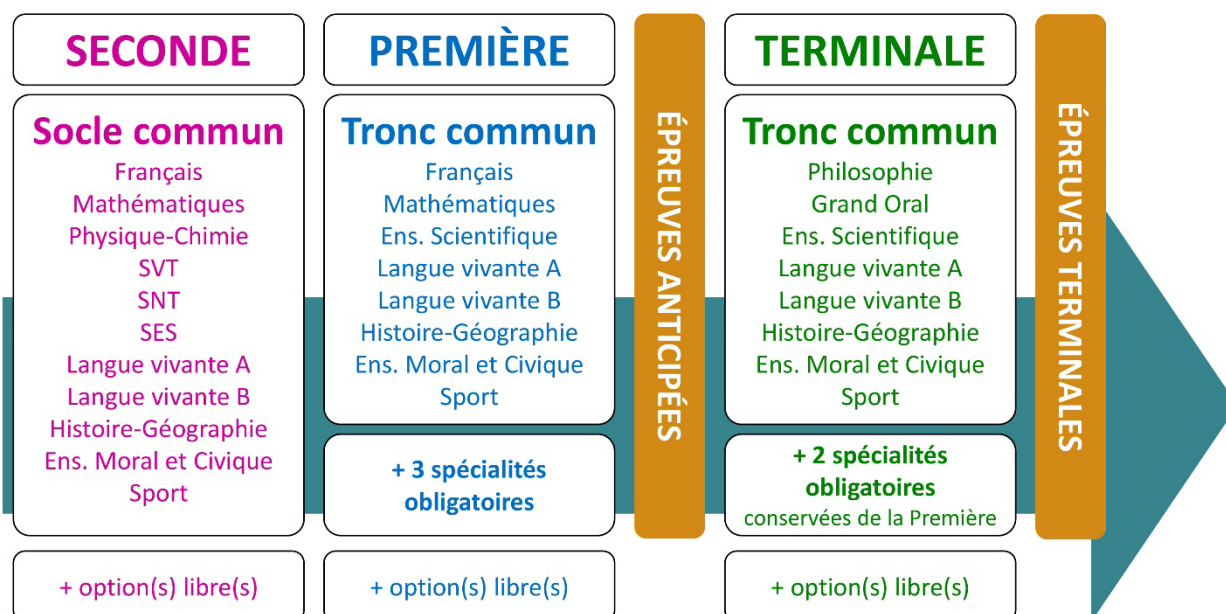
Comme vous le savez, la **réforme du Baccalauréat** est entrée en vigueur progressivement jusqu'à l'année 2021, date de délivrance des premiers diplômes de la nouvelle formule.

Dans le cadre de ce nouveau Baccalauréat, **notre Etablissement**, toujours attentif aux conséquences des réformes pour les élèves, s'est emparé de la question avec force **énergie** et **conviction** pendant plusieurs mois, animé par le souci constant de la réussite de nos lycéens dans leurs apprentissages d'une part, et par la **pérennité** de leur parcours d'autre part. Notre Etablissement a questionné la réforme, mobilisé l'ensemble de son atelier pédagogique, et déployé tout **son savoir-faire** afin de vous proposer un enseignement tourné continuellement vers **l'excellence**, ainsi qu'une scolarité tournée vers la **réussite**.

- Les **Cours Pi** s'engagent pour faire du parcours de chacun de ses élèves un **tremplin vers l'avenir**.
- Les **Cours Pi** s'engagent pour ne pas faire de ce nouveau Bac un diplôme au rabais.
- Les **Cours Pi** vous offrent **écoute** et **conseil** pour coconstruire une **scolarité sur-mesure**.

LE BAC DANS LES GRANDES LIGNES

Ce nouveau Lycée, c'est un enseignement à la carte organisé à partir d'un large tronc commun en classe de Seconde et évoluant vers un parcours des plus spécialisés année après année.



CE QUI A CHANGÉ

- Il n'y a plus de séries à proprement parler.
- Les élèves choisissent des spécialités : trois disciplines en classe de Première ; puis n'en conservent que deux en Terminale.
- Une nouvelle épreuve en fin de Terminale : le Grand Oral.
- Pour les lycéens en présentiel l'examen est un mix de contrôle continu et d'examen final laissant envisager un diplôme à plusieurs vitesses.
- Pour nos élèves, qui passeront les épreuves sur table, le Baccalauréat conserve sa valeur.

CE QUI N'A PAS CHANGÉ

- Le Bac reste un examen accessible aux candidats libres avec examen final.
- Le système actuel de mentions est maintenu.
- Les épreuves anticipées de français, écrit et oral, tout comme celle de spécialité abandonnée se dérouleront comme aujourd'hui en fin de Première.



A l'occasion de la réforme du Lycée, nos manuels ont été retravaillés dans notre atelier pédagogique pour un accompagnement optimal à la compréhension. Sur la base des programmes officiels, nous avons choisi de créer de nombreuses rubriques :

- **Suggestions de lecture** pour s'ouvrir à la découverte de livres de choix sur la matière ou le sujet
- **L'essentiel** et **le temps du bilan** pour souligner les points de cours à mémoriser au cours de l'année
- **À vous de jouer** pour mettre en pratique le raisonnement vu dans le cours et s'accaparer les ressorts de l'analyse, de la logique, de l'argumentation, et de la justification
- **Pour aller plus loin** pour visionner des sites ou des documentaires ludiques de qualité
- Et enfin ... la rubrique **Les Clés du Bac by Cours Pi** qui vise à vous donner, et ce dès la seconde, toutes les cartes pour réussir votre examen : notions essentielles, méthodologie pas à pas, exercices types et fiches étape de résolution !

PHYSIQUE-CHIMIE PREMIÈRE

Module 4 – Mécanique

L'AUTEURE



Sylvie LAMY

Diplômée de l'Ecole Polytechnique et agrégée de Mathématiques, elle poursuit aujourd'hui son parcours professionnel à l'Institut Géographique National et au Ministère des Transports comme chargée de mission sur les projets spatiaux.

Passionnée par les sciences physiques, son approche pédagogique réside dans la transmission du raisonnement scientifique. Elle attend de ses élèves de comprendre et d'explicitier leur démarche dans la résolution des problèmes.

PRÉSENTATION

Ce **cours** est divisé en chapitres, chacun comprenant :

- Le **cours**, conforme aux programmes de l'Education Nationale
- Des **exercices d'application et d'entraînement**
- Les **corrigés** de ces exercices
- Des **devoirs** soumis à correction (et **se trouvant hors manuel**). Votre professeur vous renverra le corrigé-type de chaque devoir après correction de ce dernier.

Pour une manipulation plus facile, les corrigés-types des exercices d'application et d'entraînement sont regroupés en fin de manuel.

CONSEILS À L'ÉLÈVE

Vous disposez d'un support de Cours complet : **prenez le temps** de bien le lire, de le comprendre mais surtout de **l'assimiler**. Vous disposez pour cela d'exemples donnés dans le cours et d'exercices types corrigés. Vous pouvez rester un peu plus longtemps sur une unité mais travaillez régulièrement.

LES FOURNITURES

Vous devez posséder :

- une **calculatrice graphique pour l'enseignement scientifique au Lycée comportant un mode examen (requis pour l'épreuve du baccalauréat)**.
- un **tableur** comme Excel de Microsoft (payant) ou Calc d'Open Office (gratuit et à télécharger sur <http://fr.openoffice.org/>). En effet, certains exercices seront faits de préférence en utilisant un de ces logiciels, mais vous pourrez également utiliser la calculatrice).

LES DEVOIRS

Les devoirs constituent le moyen d'évaluer l'acquisition de **vos savoirs** (« Ai-je assimilé les notions correspondantes ? ») et de **vos savoir-faire** (« Est-ce que je sais expliquer, justifier, conclure ? »).

Placés à des endroits clés des apprentissages, ils permettent la vérification de la bonne assimilation des enseignements.

Aux *Cours Pi*, vous serez accompagnés par un **professeur selon chaque matière** tout au long de votre année d'étude. Référez-vous à votre « Carnet de Route » pour l'identifier et découvrir son parcours.

Avant de vous lancer dans un devoir, assurez-vous d'avoir **bien compris les consignes**.

Si vous repérez des difficultés lors de sa réalisation, n'hésitez pas à le mettre de côté et à revenir sur les leçons posant problème. **Le devoir n'est pas un examen**, il a pour objectif de s'assurer que, même quelques jours ou semaines après son étude, une notion est toujours comprise.

Aux Cours Pi, chaque élève travaille à son rythme, parce que chaque élève est différent et que ce mode d'enseignement permet le « sur-mesure ».

Nous vous engageons à respecter le moment indiqué pour faire les devoirs. Vous les identifierez par le bandeau suivant :



Vous pouvez maintenant
faire et envoyer le **devoir n°1**



Il est **important de tenir compte des remarques, appréciations et conseils du professeur-correcteur**. Pour cela, il est **très important d'envoyer les devoirs au fur et à mesure** et non groupés. **C'est ainsi que vous progresserez !**

Donc, dès qu'un devoir est rédigé, envoyez-le aux *Cours Pi* par le biais que vous avez choisi :

- 1) Par **soumission en ligne** via votre espace personnel sur **PoulPi**, pour un envoi **gratuit, sécurisé** et plus **rapide**.
- 2) Par **voie postale** à *Cours Pi*, 9 rue Rebuffy, 34 000 Montpellier
*Vous prendrez alors soin de joindre une **grande enveloppe libellée à vos nom et adresse**, et **affranchie au tarif en vigueur** pour qu'il vous soit retourné par votre professeur*

N.B. : *quel que soit le mode d'envoi choisi, vous veillerez à **toujours joindre l'énoncé du devoir** ; plusieurs énoncés étant disponibles pour le même devoir.*

N.B. : *si vous avez opté pour un envoi par voie postale et que vous avez à disposition un scanner, nous vous engageons à conserver une copie numérique du devoir envoyé. Les pertes de courrier par la Poste française sont très rares, mais sont toujours source de grand mécontentement pour l'élève voulant constater les fruits de son travail.*

VOTRE RESPONSABLE PÉDAGOGIQUE

Professeur des écoles, professeur de français, professeur de maths, professeur de langues : notre Direction Pédagogique est constituée de spécialistes capables de dissiper toute incompréhension.

Au-delà de cet accompagnement ponctuel, notre Etablissement a positionné ses Responsables pédagogiques comme des « super profs » capables de co-construire avec vous une scolarité sur-mesure.

En somme, le Responsable pédagogique est votre premier point de contact identifié, à même de vous guider et de répondre à vos différents questionnements.

Votre Responsable pédagogique est la personne en charge du suivi de la scolarité des élèves.

Il est tout naturellement votre premier référent : une question, un doute, une incompréhension ? Votre Responsable pédagogique est là pour vous écouter et vous orienter. Autant que nécessaire et sans aucun surcoût.

QUAND
PUIS-JE
LE
JOINDRE ?

Du **lundi** au **vendredi** : horaires disponibles sur votre carnet de route et sur PoulPi.

QUEL
EST
SON
RÔLE ?

Orienter les parents et les élèves.

Proposer la mise en place d'un accompagnement individualisé de l'élève.

Faire évoluer les outils pédagogiques.

Encadrer et **coordonner** les différents professeurs.

VOS PROFESSEURS CORRECTEURS

Notre Etablissement a choisi de s'entourer de professeurs diplômés et expérimentés, parce qu'eux seuls ont une parfaite connaissance de ce qu'est un élève et parce qu'eux seuls maîtrisent les attendus de leur discipline. En lien direct avec votre Responsable pédagogique, ils prendront en compte les spécificités de l'élève dans leur correction. Volontairement bienveillants, leur correction sera néanmoins juste, pour mieux progresser.

QUAND
PUIS-JE
LE
JOINDRE ?

Une question sur sa correction ?

- faites un mail ou téléphonez à votre correcteur et demandez-lui d'être recontacté en lui laissant **un message avec votre nom, celui de votre enfant et votre numéro.**
- autrement pour une réponse en temps réel, appelez votre Responsable pédagogique.

LE BUREAU DE LA SCOLARITÉ

Placé sous la direction d'Elena COZZANI, le Bureau de la Scolarité vous orientera et vous guidera dans vos démarches administratives. En connaissance parfaite du fonctionnement de l'Etablissement, ces référents administratifs sauront solutionner vos problématiques et, au besoin, vous rediriger vers le bon interlocuteur.

QUAND
PUIS-JE
LE
JOINDRE ?

Du **lundi** au **vendredi** : horaires disponibles sur votre carnet de route et sur PoulPi.
04.67.34.03.00
scolarite@cours-pi.com



LE SOMMAIRE

Physique-Chimie – Module 4 – Mécanique

Introduction 1

CHAPITRE 1. Champ gravitationnel et champ électrostatique..... 3

Q COMPÉTENCES VISÉES

- Interpréter des expériences mettant en jeu l'interaction électrostatique.
- Utiliser la loi de Coulomb.
- Citer les analogies entre la loi de Coulomb et la loi d'interaction gravitationnelle.
- Utiliser les expressions vectorielles :
 - de la force de gravitation et du champ de gravitation ;
 - de la force électrostatique et du champ électrostatique.

Caractériser localement une ligne de champ électrostatique ou de champ de gravitation.

1. L'interaction gravitationnelle	6
2. L'interaction électrostatique	8
3. Notion de champ.....	11
4. Le champ gravitationnel et le champ de pesanteur	13
5. Les champs électrostatiques	14
Le temps du bilan	17
Exercices.....	18

CHAPITRE 2. Mécanique des fluides au repos 23

Q COMPÉTENCES VISÉES

- Expliquer qualitativement le lien entre les grandeurs macroscopiques de description d'un fluide et le comportement microscopique des entités qui le constituent.
- Utiliser la loi de Mariotte.
- Exploiter la relation $F = P.S$ pour déterminer la force pressante exercée par un fluide sur une surface plane S soumise à la pression P .
- Dans le cas d'un fluide incompressible au repos, utiliser la relation fournie exprimant la loi fondamentale de la statique des fluides : $P_2 - P_1 = \rho g (z_1 - z_2)$.

1. Décrire un fluide	25
2. Pression dans un fluide incompressible : loi de la statique des fluides	29
3. Loi de Boyle-Mariotte	31
Le temps du bilan	33
Exercices.....	34
Les clés du Bac : relation exprimant la loi fondamentale de la statique des fluides	40

CHAPITRE 3. Mouvement d'un système 41

Q COMPÉTENCES VISÉES

- Utiliser la relation approchée entre la variation du vecteur vitesse d'un système modélisé par un point matériel entre deux instants voisins et la somme des forces appliquées sur celui-ci :
 - pour en déduire une estimation de la variation de vitesse entre deux instants voisins, les forces appliquées au système étant connues ;
 - pour en déduire une estimation des forces appliquées au système, le comportement cinématique étant connu.

1. Vecteurs variation de vitesse 43

2. Lien entre variation de vitesse et force 45

Le temps du bilan 46

Exercices 47

Les Clés du Bac : tracer des vecteurs sur une chronophotographie 49

CHAPITRE 4. Aspects énergétiques 53

Q COMPÉTENCES VISÉES

- Utiliser l'expression de l'énergie cinétique d'un système modélisé par un point matériel.
- Utiliser l'expression du travail $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overline{AB}$ dans le cas de forces constantes.
- Énoncer et exploiter le théorème de l'énergie cinétique.
- Établir et utiliser l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur pour un système au voisinage de la surface de la Terre.
- Calculer le travail d'une force de frottement d'intensité constante dans le cas d'une trajectoire rectiligne.
- Identifier des situations de conservation et de non conservation de l'énergie mécanique.
- Exploiter la conservation de l'énergie mécanique dans des cas simples : chute libre en l'absence de frottement, oscillations d'un pendule en l'absence de frottement, etc.
- Utiliser la variation de l'énergie mécanique pour déterminer le travail des forces non conservatives.

1. Travail d'une force 55

2. Théorème de l'énergie cinétique 57

3. Forces conservatives, forces non conservatives 59

4. Energie mécanique 61

Le temps du bilan 64

Exercices 65

Les Clés du Bac : sujet commenté 70

CORRIGÉS à vous de jouer et exercices 75



SUGGESTIONS DE LECTURE

ESSAIS

- **Une histoire de la physique et de la chimie** *Jean Rosmorduc*
- **Les forces de la nature** *Paul Davies*
- **Des chimistes de A à Z** *Eric Brown*
- **Une histoire de tout, ou presque...** *Bill Bryson*
- **Les secrets de la matière** *Etienne Klein*

BANDES-DESSINÉES

- **La physique en BD** *Larry Gonick*
- **La chimie en BD** *Larry Gonick*

PODCASTS

- **La tête au carré** *France Inter*
- **Podcastscience.fm** *www.podcastscience.fr*
- **De cause à effet** *France Culture*

DOCUMENTAIRES AUDIOVISUELS

- **La magie du cosmos (3 épisodes)** *Brian Greene*
- **Le mystère de la gravité (2 épisodes)** *Jim Al-Khalili*
- **Les secrets de la matière (3 épisodes)** *Jim Al-Khalili*
- **L'histoire de l'électricité (3 épisodes)** *Jim Al-Khalili*
- **Cosmos : une odysée à travers l'univers (13 épisodes)** *Neil deGrasse Tyson*
- **La fabuleuse histoire de la science (6 épisodes)**



Newt n



« Pourquoi lorsque je lâche un aimant tombe-t-il vers la surface de la Terre alors que lorsque je le mets en contact d'un autre aimant, ils s'attirent ou se repoussent ? »

« Pourquoi la Lune ne s'écrase-t-elle pas sur la Terre ? »

« Pourquoi les scientifiques utilisent-ils le champ gravitationnel de Mars pour envoyer des sondes sur des planètes gazeuses lointaines ? »

« Pourquoi un plongeur qui fait de la plongée sous-marine dans les grandes profondeurs doit-il remonter très lentement et par palier lorsqu'il remonte à la surface ? »

« Que veut dire $E = mc^2$? »

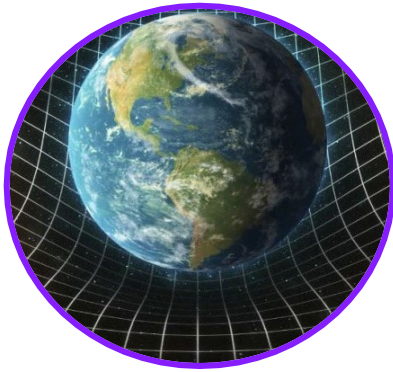
« Qu'est-ce que le champ magnétique ? »

Voici une liste de questions auxquelles nous prendrons le temps répondre au cours de ce module.

Ce module couvre deux domaines du programme :

- Mouvement et interactions en son intégralité (chapitres 1 à 3)
- L'énergie : conversions et transferts pour ce qui concerne les aspects énergétiques des phénomènes mécaniques (chapitre 4)

CHAMP GRAVITATIONNEL ET CHAMP ÉLECTROSTATIQUE



L'interaction gravitationnelle a été abordée en Seconde. Elle va permettre de définir la notion de champ gravitationnel. Par la suite une autre interaction, l'interaction électrostatique, de caractéristiques assez proches de l'interaction gravitationnelle, va de même permettre de définir enfin les champs électrostatiques.

Enfin, nous étudierons la manière d'exploiter un spectre d'absorption infrarouge.

Q COMPÉTENCES VISÉES

- Interpréter des expériences mettant en jeu l'interaction électrostatique.
- Utiliser la loi de Coulomb.
- Citer les analogies entre la loi de Coulomb et la loi d'interaction gravitationnelle.
- Utiliser les expressions vectorielles :
 - de la force de gravitation et du champ de gravitation ;
 - de la force électrostatique et du champ électrostatique.
- Caractériser localement une ligne de champ électrostatique ou de champ de gravitation.

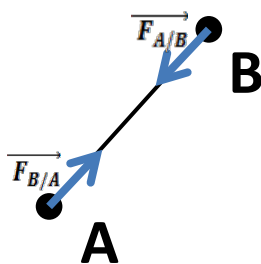


Première approche

ACTIVITE 1

Rappel de la loi de Newton

Deux corps ponctuels A et B, de masse m_A et m_B , séparés d'une distance r exercent l'un sur l'autre une force attractive de gravitation.



Caractéristiques de la force $\vec{F}_{A/B}$
(Exercée par la masse A sur la masse B)

Point d'application : B

Direction : droite (\overline{AB})

Sens : opposé à \overline{AB}

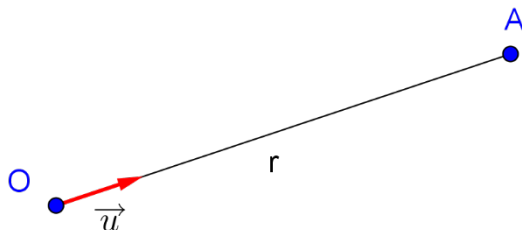
Intensité (norme) : $F = G \frac{m_A m_B}{r^2}$

G : constante universelle de gravitation

$G \approx 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

Force \vec{F} exercée par une masse M située en O sur une masse m située en A à une distance r de O.

1) Représentez \vec{F} sur le graphique sans souci d'échelle



On pose $\overrightarrow{OA} = r \vec{u}$ où \vec{u} est un vecteur unitaire.

2) Exprimez \vec{F} en fonction de G, M, m, r et \vec{u} : $\vec{F} = \dots\dots\dots$

3) Cette force peut s'écrire : $\vec{F} = m \vec{G}(r)$

Donnez l'expression de $\vec{G}(r)$: $\vec{G}(r) = \dots\dots\dots$

\vec{G} est l'expression **du champ** de gravitation (ou champ gravitationnel) exercé par la masse M en A. Un champ est en fait une fonction qui à tout point de l'espace associe un vecteur.

Un champ gravitationnel agit sur les masses. Nous verrons les champs électrostatiques qui agissent sur les charges électriques.

Champ gravitationnel à la surface de la Terre.

$R_T = 6370 \text{ km}$ $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$

4) Déterminez l'intensité du champ gravitationnel à la surface de la Terre

$\mathcal{G}(R_T) = \dots\dots\dots \text{ N/kg}$

5) Comment est orienté $\vec{\mathcal{G}}(R_T)$?

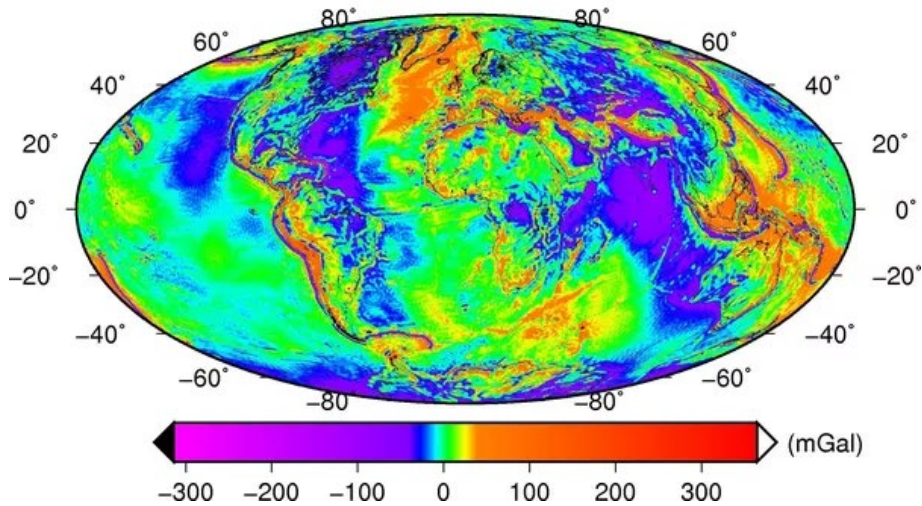
.....

Champ de pesanteur terrestre.

Si on mesure la gravité à la surface de la Terre, on constate qu'il y a des petites variations (9,83 N/kg aux pôles et 9,78 N/kg sur l'équateur) et que le fil à plan n'est pas tout à fait orienté vers le centre de la Terre.

Le document ci-dessous montre les variations de ce champ.

Gravity Disturbance GOCE



6) Comment expliquez-vous ces différences ?

.....

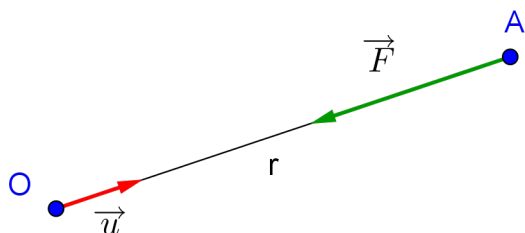
.....

.....

Le **champ de pesanteur** est le champ existant à la surface de la Terre. Sa direction est la verticale du lieu. En première approche, on le confond avec le champ gravitationnel exercé par la Terre.

SOLUTION DE L'ACTIVITE 1

1)



$$2) \quad \vec{F} = -\frac{GmM}{r^2}\vec{u}$$

$$3) \quad \vec{G}(r) = -\frac{GM}{r^2}\vec{u}$$

Champ gravitationnel à la surface de la Terre.

$$4) \quad \mathcal{G}(R_T) = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2} = \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 5,97 \times 10^{24}}{(6370 \times 10^3)^2} = 9,81 \text{ N/kg}$$

5) Comment est orienté $\vec{G}(R_T)$? **Il est orienté vers le centre de la Terre.**

Champ de pesanteur terrestre.

6) On peut les expliquer par la rotation de la Terre sur elle-même, de sa forme, de la répartition non uniforme de sa masse interne, de l'épaisseur de la croûte terrestre.



CHAMPS GRAVITATIONNEL ET ÉLECTROSTATIQUE

L'interaction gravitationnelle



L'ESSENTIEL

L'interaction gravitationnelle ou gravitation est une interaction toujours attractive qui s'exerce entre deux corps quelconques. Elle est liée à leurs masses et elle diminue quand la distance entre les corps augmente (en fonction du carré de cette distance).

L'interaction gravitationnelle est en particulier responsable :

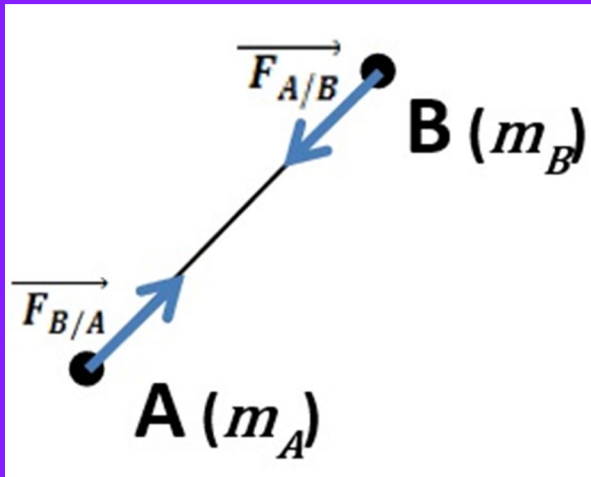
- ✓ de la **chute des corps** au voisinage de la Terre,
- ✓ **du mouvement des astres** (mouvements de la Lune autour de la Terre, des planètes autour du Soleil, des galaxies) ...

➤ Le terme gravitation est également utilisé pour décrire le mouvement d'un corps autour d'un autre : on dit que la Terre gravite autour du Soleil. Généralement, ce mouvement est issu de la force gravitationnelle, mais il peut également être dû à une autre force comme une force électrique.



L'ESSENTIEL

Loi de Newton : deux corps ponctuels A et B, de masse m_A et m_B , séparés d'une distance r exercent l'un sur l'autre une force attractive de gravitation.



Caractéristiques de la force $\vec{F}_{A/B}$
(Exercée par la masse A sur la masse B)

Point d'application : B

Direction : droite (AB)

Sens : opposé à \vec{AB}

Intensité (norme) :

$$F_{A/B} = G \frac{m_A m_B}{r^2}$$

G : constante universelle de gravitation

$$G \approx 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$$

$r = AB$

- La force de gravitation est **uniquement attractive**. Deux masses ne peuvent pas se repousser.
- La formule de Newton est valable pour des corps ponctuels. Lorsque les corps sont distants, ils peuvent être assimilés à des points matériels (la force d'attraction s'applique en leur centre de gravité). **Elle est également valable pour des corps homogènes sphériques.**
- On peut remarquer que si un corps A exerce une force de gravitation sur un corps B, alors ce corps B exerce une force opposée sur le corps A (**principe d'action-réaction**).
- Des masses, même de valeurs très différentes interagissent donc de la même façon l'une sur l'autre. **On admettra que, si les deux masses sont de valeurs très différentes, seule la plus grande est capable de mettre la plus faible en mouvement.**

Exemple : un homme sur Terre ne ressentira que les effets de l'attraction exercée par la Terre sur lui (son poids). Il ne ressentira ni la force d'attraction exercée par un autre homme (masse trop faible), ni celle du Soleil (trop éloigné). Deux personnes de 80 kg situées à une distance de 1 m exercent l'une sur l'autre une force d'intensité $F = 4 \times 10^{-7} \text{ N}$, soit la même force que le poids d'un objet de 0,00004 g à la surface de la Terre.

Ce point sera justifié par la suite.



À VOUS DE JOUER 1

Une voiture A de 1,0 t et une voiture B de 1,2t sont éloignées de 10 m.

1) Décrivez la force $\vec{F}_{B/A}$ exercée par la voiture B sur la voiture A :

Point d'application :

Direction :

Sens :

Intensité (norme) : $F_{B/A} = \dots = \dots \text{ N}$

Commentez cette force :

.....

2) L'intensité de la force exercée par la voiture A sur la voiture B est (*supérieure/égale/inférieure*) à celle exercée par la voiture B sur la voiture A.

3) Représentez ces forces (sans souci d'échelle) :



02

CHAMPS GRAVITATIONNEL ET ÉLECTROSTATIQUE

L'interaction électrostatique

L'ÉLECTRISATION : MISE EN EVIDENCE DE FORCES ÉLECTROSTATIQUES



L'ESSENTIEL

Rappels

- Les atomes sont électriquement neutres.
- Chaque électron porte une charge électrique élémentaire négative, chaque proton porte une charge électrique élémentaire positive.

Valeur de la **charge élémentaire** : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

➤ Les électrons des conducteurs peuvent se déplacer.



À VOUS DE JOUER 2

On peut faire apparaître des charges sur un corps en les frottant l'un sur l'autre. Si on frotte un bâton de verre sur du nylon, les électrons à la surface du bâton vont être arrachés par le nylon. Le bâton sera donc chargé positivement. **Le bâton a été électrisé par frottement.**

On peut réaliser un électroscope (ou pendule électrostatique) de la manière suivante. On attache 2 lamelles d'aluminium à un crochet de cuivre ; on fait surmonter le crochet d'une spirale de cuivre.



Expérience 1-a. On approche de la spirale, sans la toucher, un bâton de verre précédemment électrisé. Les lamelles s'écartent.



Interprétez (on pourra ajouter les charges sur le schéma) :

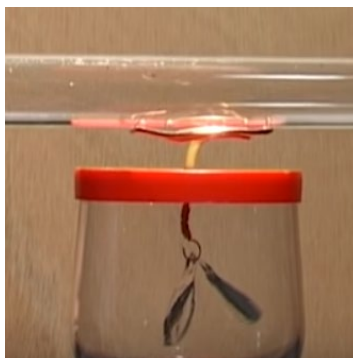
Expérience 1-b. On éloigne le bâton. Les lamelles se rapprochent progressivement.



Interprétez (on pourra ajouter les charges sur le schéma) :

Il s'agit d'une **électrisation par influence**. Il n'y a pas eu de transfert d'électrons, mais juste un déplacement dans le pendule.

Expérience 2-a. Cette fois-ci, le bâton touche la spirale. Les lamelles s'écartent.



Interprétez (on pourra ajouter les charges sur le schéma) :

.....

.....

.....

Expérience 2-b. On éloigne le bâton. Les lamelles restent écartées.



Interprétez (on pourra ajouter les charges sur le schéma) :

.....

.....

.....

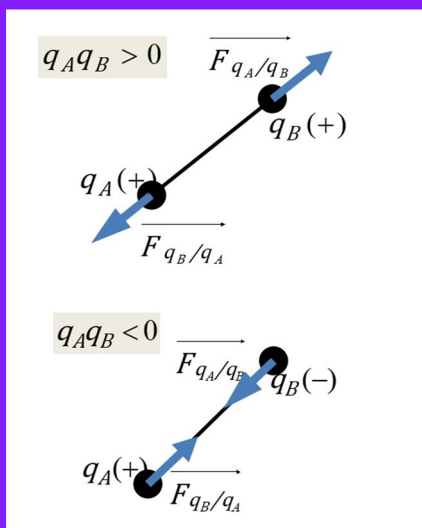
Il s'agit d'une électrisation par contact.

LOI DE COULOMB



L'ESSENTIEL

Loi de Coulomb : une charge électrique fixe ponctuelle q_A exerce sur une charge q_B également fixe et ponctuelle située à une distance r une force d'attraction ou de répulsion appelée force de Coulomb.



Caractéristiques de la force $\vec{F}_{A/B}$
(Exercée par la charge q_A sur la masse q_B).

Point d'application : B

Direction : droite (AB)

Sens : suivant les signes des charges

Intensité (norme) :

$$F_{AB} = k \frac{q_A q_B}{r^2}$$

k : constante de Coulomb

$k \approx 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ dans le vide et l'air

➤ Cette expression n'est valable que lorsque les charges sont fixes (forces électrostatiques). Si les charges sont mobiles, elles engendrent un champ et des forces magnétiques. On parle alors d'interaction électromagnétique ; il faut dans ce cas utiliser un terme correctif (lié au déplacement des charges).

➤ Comme les atomes sont électriquement neutres, il y a peu d'effet de cette interaction à grande échelle.

➤ L'interaction électromagnétique est à l'origine de tous les phénomènes électriques et magnétiques. Cette interaction peut, dans certaines conditions, créer des ondes électromagnétiques, parmi lesquelles on distingue la lumière, les ondes radio, les ondes radar, les rayons X... L'interaction électromagnétique permet aussi la cohésion des atomes en liant les électrons (charge électrique négative) et le noyau des atomes (charge électrique positive). Cette même liaison permet de combiner les atomes en molécules : l'interaction électromagnétique est donc responsable des réactions chimiques.

ANALOGIE AVEC LA FORCE GRAVITATIONNELLE

On remarque que les expressions des forces de Newton et de Coulomb sont similaires.

Dans le tableau suivant, \vec{u}_{AB} est le vecteur unitaire colinéaire à \vec{AB} et dans le même sens.

	Forces gravitationnelles	Forces électriques
	$\vec{F}_{A/B} = -G \frac{m_A m_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$	$\vec{F}_{A/B} = -k \frac{q_A q_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$
agissent sur	des masses	des charges
sens	toujours attractives	attractives ou répulsives
intensité	décroissent avec le carré de la distance	

La matière étant électriquement neutre, à grande distance et sur des grandes masses, l'interaction gravitationnelle est prépondérante.

A courte ou moyenne distance, les interactions électrostatiques seront prépondérantes.



CHAMPS GRAVITATIONNEL ET ÉLECTROSTATIQUE

Notion de champ



L'ESSENTIEL

Une grandeur physique est une caractéristique qui peut être mesurée.

Lorsqu'il suffit d'un nombre pour la décrire, cette grandeur est dite scalaire. Si la grandeur nécessite la connaissance d'un vecteur, elle est dite vectorielle.

Exemple : la masse d'un objet est une grandeur scalaire. Son poids (force) est une grandeur vectorielle.



L'ESSENTIEL

Un champ est l'ensemble des valeurs prises par une grandeur en différents points de l'espace.

- Si la grandeur est scalaire, le champ est un champ scalaire.
- Si la grandeur est vectorielle, le champ est un champ vectoriel.

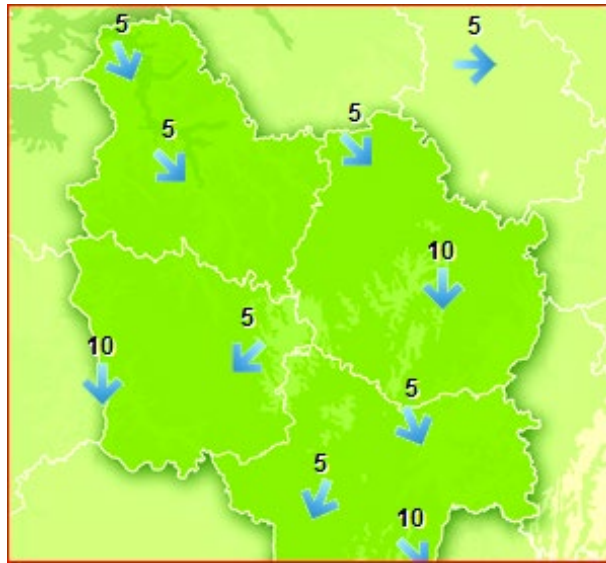
Exemples en météorologie :

- champs scalaires : champs de température ou de pression
- champ vectoriel : champs représentant le vent

Cartographie d'un champ

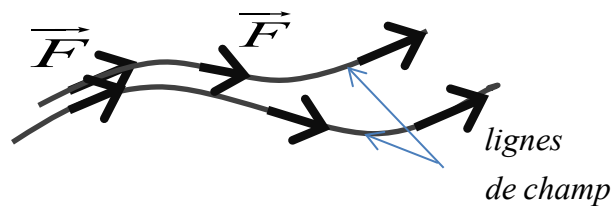
- Pour un champ scalaire on fait figurer en un certain nombre de points les valeurs de la grandeur.
- Pour un champ vectoriel, on fait figurer la direction et la norme des vecteurs représentant la grandeur.

Champ des vents (on indique en un point la direction et la force du vent)



On considère dans la suite des champs vectoriels.

Une ligne de champ vectoriel est une ligne continue telle qu'en chacun de ses points, le vecteur issu du champ est tangent. Une ligne de champ est **orientée** suivant la direction des vecteurs.



Une ligne de champ ne représente pas les normes des vecteurs !

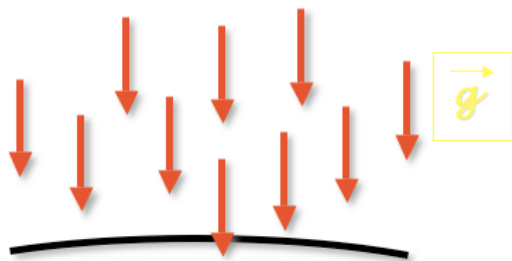
On considère ici des champs vectoriels.



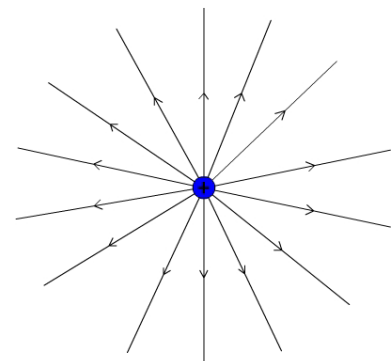
L'ESSENTIEL

Champ uniforme : les forces ont même direction, même sens, même intensité. Les lignes de champ sont parallèles.

Champ radial : les forces sont portées par des droites passant par un point fixe. Les lignes de champ sont des droites passant par ce point. Le champ est centripète si les vecteurs sont dirigés vers la source, centrifuge dans le cas contraire.



Champ uniforme



Champ radial centrifuge

➤ La notion d'*uniformité* est une notion spatiale : un champ uniforme peut dépendre du temps.



L'ESSENTIEL

Si en un point, il existe 2 champs vectoriels de même nature, le champ résultant est la somme des 2 vecteurs.

04

CHAMPS GRAVITATIONNEL ET ELECTROSTATIQUE

Le champ gravitationnel et le champ de pesanteur

CHAMP GRAVITATIONNEL



L'ESSENTIEL

Tout corps (la Terre, le Soleil...) massique de masse M engendre un **champ gravitationnel** dû à sa masse. La **gravité** est la valeur du champ de gravité à un endroit donné. En un point situé à la distance r du centre du corps, le champ a pour expression :

$$\vec{G}(r) = -\frac{G \cdot M}{r^2} \vec{u},$$

\vec{u} est un vecteur unitaire orienté du **centre de la masse M vers le point**.

Un corps de masse m situé à la distance r du centre du corps sera soumis à la force :

$$\vec{F} = m\vec{G}(r)$$

Gravité à la surface de la Terre	$\mathcal{G}(R_T) = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2}$
Gravité à une altitude h de la Terre	$\mathcal{G}(R_T + h) = \frac{G \cdot M_T}{(R_T + h)^2}$



L'ESSENTIEL

Le champ gravitationnel est radial. Dans un espace réduit, il peut être considéré comme uniforme.

Champ gravitationnel radial (centripète)	Champ gravitationnel uniforme

Pour l'étude du mouvement d'un satellite en orbite autour de la Terre, on utilise un champ radial. Pour l'étude d'un mouvement au voisinage de la Terre, on utilise un champ uniforme et généralement le champ de pesanteur (voir ci-dessous).

CHAMP DE PESANTEUR



L'ESSENTIEL

Un **champ de pesanteur** est le champ créé par un astre au voisinage de sa surface. La force qu'il exerce sur un corps est alors le **poids** de ce corps.

$$\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m}$$

La **pesanteur** est la valeur du champ de pesanteur à un endroit donné.

Le poids d'un corps de masse m s'écrit : $\vec{P} = m\vec{g}$

Le **champ de pesanteur terrestre** est le champ engendré par la Terre.

➤ Différence en champ de gravité et champ de pesanteur : le champ de gravité est le champ engendré par la seule interaction gravitationnelle. En raison de la rotation de la Terre sur elle-même, de la forme de la Terre, de la répartition non uniforme de la masse interne, de l'épaisseur de la croûte terrestre, **la pesanteur n'est pas strictement identique à la gravité**. Le poids n'est pas strictement orienté vers le centre de la Terre.

Cependant, dans la majorité des cas, on considérera que les deux champs sont égaux.

➤ En un point donné, le champ de pesanteur est dirigé selon la **verticale** du lieu (donnée par le fil à plomb).

➤ Comme pour le champ de gravité, on assimile localement le champ de pesanteur à un champ uniforme.



À VOUS DE JOUER 3

Complétez

Le champ de pesanteur est (*égal/très proche*) du champ gravitationnel à la surface de la Terre.

Son intensité vaut environ N/kg.

Le champ de pesanteur a pour direction

05

CHAMPS GRAVITATIONNEL ET ÉLECTROSTATIQUE

Les champs électrostatiques

CHAMP ÉLECTROSTATIQUE CRÉÉ PAR UNE CHARGE ÉLECTRIQUE



L'ESSENTIEL

Une charge électrique Q fixe engendre un **champ électrique radial** à une distance r :

$$\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \vec{u}$$

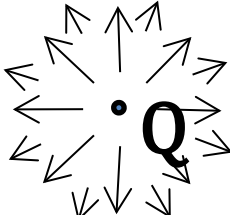
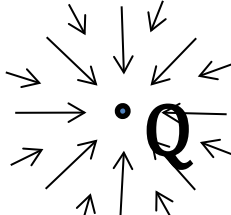
Une charge électrique fixe q placée dans le champ subira alors une force : $\vec{F} = q\vec{E}$

➤ Le champ électrique s'exprime généralement en volt par mètre (V/m).

➤ Remarque : $1 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} = 1 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$

Le champ électrique est qualifié de champ électrostatique quand il est créé par des charges immobiles dans le référentiel d'étude considéré.

Champ exercé par une charge Q positive

Si la charge q est aussi positive, la force exercée sera répulsive (force centrifuge)	Si la charge q est négative, la force exercée sera répulsive (force centripète)
	

➤ Le champ électrique est un champ radial.

➤ A grande distance, et dans un espace réduit, il peut être considéré comme uniforme.



À VOUS DE JOUER 4

Complétez

Une charge électrique fixe Q ponctuelle crée un champ (électrostatique/gravitationnel) (radial/uniforme)

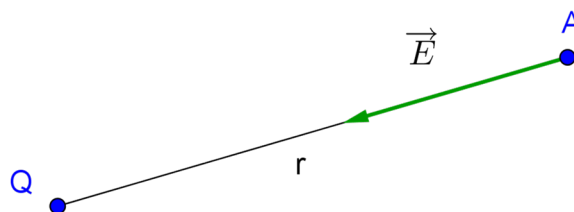
Quand la charge Q est positive, les lignes de champs (convergent vers/partent de) la charge.

L'unité du champ électrique est le



À VOUS DE JOUER 5

Complétez



$r = 7 \text{ cm}$

Le champ électrostatique \vec{E} exercé par une charge placée en Q est représenté au point A par un vecteur avec une échelle de 1 cm pour 1 V/m.

Sa longueur sur le graphique de ce vecteur est de 3 cm.

1) Le champ est (attractif/répulsif) Donc la charge Q est une charge (négative/positive)

2) Il est (*radial/uniforme*)

3) L'intensité de \vec{E} en A vaut : V/m

4) Détermination de la charge Q :

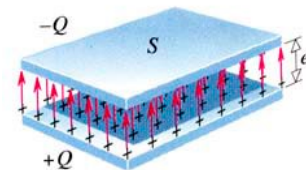
$$E = k \frac{|Q|}{\dots\dots} \text{ donc } |Q| = \frac{\dots\dots\dots}{k} = \dots\dots\dots \text{ C}$$

5) On place en A une charge négative q .

Sans souci d'échelle, représentez la force \vec{F} exercée par la charge Q sur la charge q .

CONDENSATEUR

Un condensateur est constitué de deux armatures (surfaces conductrices) séparées par un isolant (diélectrique). Un condensateur peut être réalisé par deux plaques métalliques séparées par de l'air. Certains condensateurs sont réalisés par des feuilles métalliques séparées par une couche d'isolant ou par un film isolant sur les faces duquel on a déposé deux couches métalliques.



Lorsqu'un condensateur est chargé, l'une des armatures est chargée positivement (charge $+Q$) et l'autre est chargée négativement (charge $-Q$).



L'ESSENTIEL

Entre les armatures d'un condensateur séparées de la distance d chargé (charge Q), il se crée un champ électrostatique qu'on peut assimiler à un champ uniforme d'intensité :

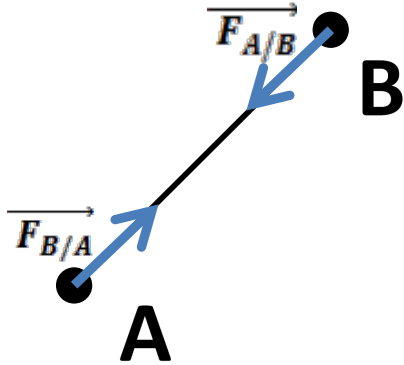
$$E = \frac{Q}{d}$$

- Les lignes de champ sont des droites perpendiculaires aux armatures.
- Le champ est orienté de la plaque positive vers la plaque négative.

LE TEMPS DU BILAN

➤ Interaction gravitationnelle et champ gravitationnel

Force de Newton : $\vec{F}_{B/A} = -G \frac{m_A m_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$



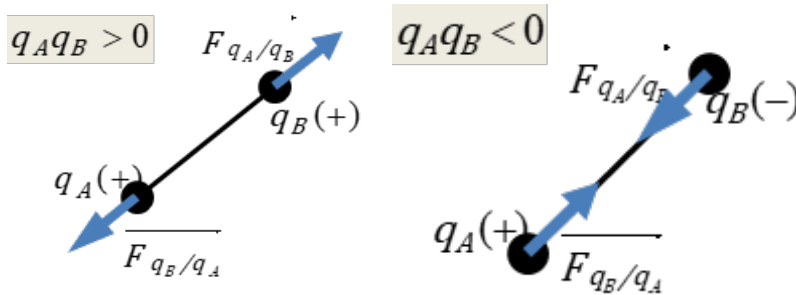
Champ gravitationnel : $\vec{G}(r) = -\frac{G \cdot M}{r^2} \vec{u}$

Le champ créé par une masse est radial.
 A la surface de la Terre, on a le champ de **pesanteur**.
 Ce champ est considéré comme **uniforme**

$$\vec{g} \approx \vec{G}(R_T)$$

➤ Interaction électrostatique et champ électrostatique

Force de Coulomb : $\vec{F}_{B/A} = k \frac{q_A q_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$



Champ électrostatique : $\vec{E}(r) = -\frac{k \cdot Q}{r^2} \vec{u}$

Le champ créé par une charge ponctuelle est radial.

Pour un **condensateur** plan, le champ est uniforme perpendiculaire aux armatures et $E = \frac{Q}{d}$

	Forces gravitationnelles	Forces électriques
	$\vec{F}_{B/A} = -G \frac{m_A m_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$	$\vec{F}_{B/A} = k \frac{q_A q_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$
agissent sur	des masses	des charges
sens	toujours attractives	attractives ou répulsives
intensité	décroissent avec le carré de la distance	

Les **lignes de champ** sont telles qu'en tout point d'une de ces **lignes**, le **champ** est tangent à la **ligne**.

Abordons maintenant une série d'exercices, afin de vérifier vos connaissances.

Les exercices ont été classés dans un ordre d'approfondissement croissant.

Les réponses aux exercices se trouvent en fin de manuel.

Données.

- ✓ Charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- ✓ Masse du neutron : $m_n = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- ✓ Masse du proton : $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- ✓ Masse de l'électron $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$
- ✓ Masse de la Terre : $M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$
- ✓ Masse du Soleil : $M_S = 1,98 \times 10^{30} \text{ kg}$
- ✓ Rayon de la Terre : $R_T = 6370 \text{ km}$
- ✓ Constante de gravité universelle : $G \approx 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
- ✓ Constante de Coulomb dans l'air et le vide : $k \approx 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

EXERCICE

01

Donnez l'interaction fondamentale permettant d'expliquer les phénomènes suivants :

- 1) La Lune tournant autour de la Terre.

.....

- 2) La formation d'une molécule d'eau.

.....

- 3) Une balle tombant au sol.

.....

EXERCICE

02

- 1) Calculez l'intensité de l'attraction exercée par la Terre sur un satellite de 500 kg au moment de son lancement. Quelle est la valeur de l'attraction exercée par le satellite sur la Terre ?

.....

.....

.....

- 2) Mêmes questions quand le satellite se trouve sur son orbite géostationnaire située à 36500 km du centre de la Terre.

.....

.....

.....

- 3) Comparez le poids du satellite à la surface de la Terre et sur son orbite.

.....

.....

EXERCICE

03

A quelle altitude la gravité terrestre est-elle divisée par 2 ?

EXERCICE

04

Parfois, quand on se brosse les cheveux vigoureusement, les cheveux semblent se coller à la brosse et on a une tête hirsute. Expliquez.

EXERCICE

05

Deux charges électriques $q_A = -4 \mu\text{C}$ et $q_B = -2 \mu\text{C}$ sont éloignées de 1 cm.

1) La force électrique $\vec{F}_{B/A}$ exercée par q_B sur q_A est-elle attractive ou répulsive ? Calculer son intensité dans le vide.

2) La force électrique $\vec{F}_{A/B}$ exercée par q_A sur q_B est-elle attractive ou répulsive ? Calculer son intensité dans le vide.

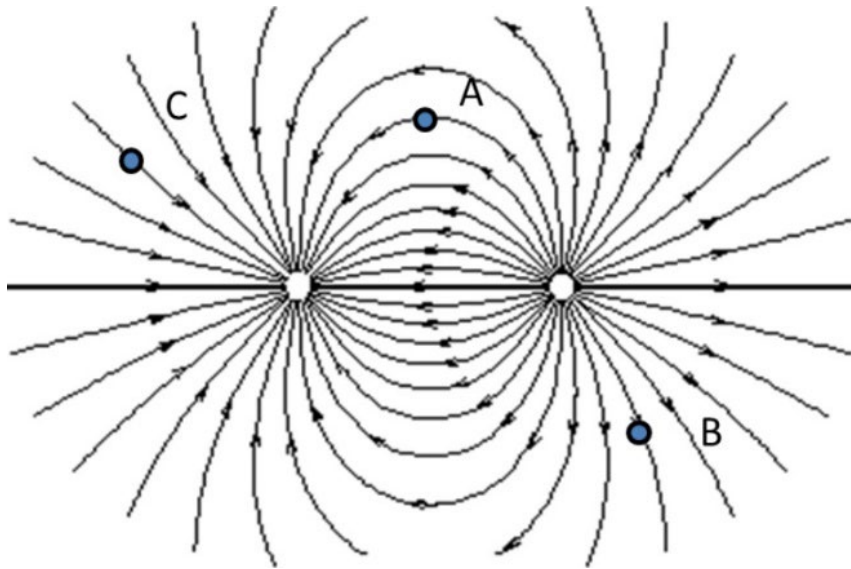
3) Quelle devrait être la masse de chacune des charges (on suppose les masses égales) pour que l'intensité de l'attraction gravitationnelle soit égale à l'intensité de l'attraction électrique ?

EXERCICE

06

Un dipôle électrostatique est constitué de 2 charges opposées $+q$ et $-q$.

Voici les lignes de champ du champ électrique \vec{E} généré par un dipôle.



- 1) Placez les charges $+q$ et $-q$.
- 2) Représentez le champ électrique \vec{E} en A et B.
- 3) Représentez la force électrique \vec{F} exercée sur une charge négative placée en C.

EXERCICE

07

Il règne entre les armatures d'un condensateur un champ de 3 V/m .

- 1) Rappelez les caractéristiques du champ électrique présent entre les armatures d'un condensateur.

.....

.....

- 2) Déterminez la force électrique qui s'exerce sur une charge de $5 \mu\text{C}$.

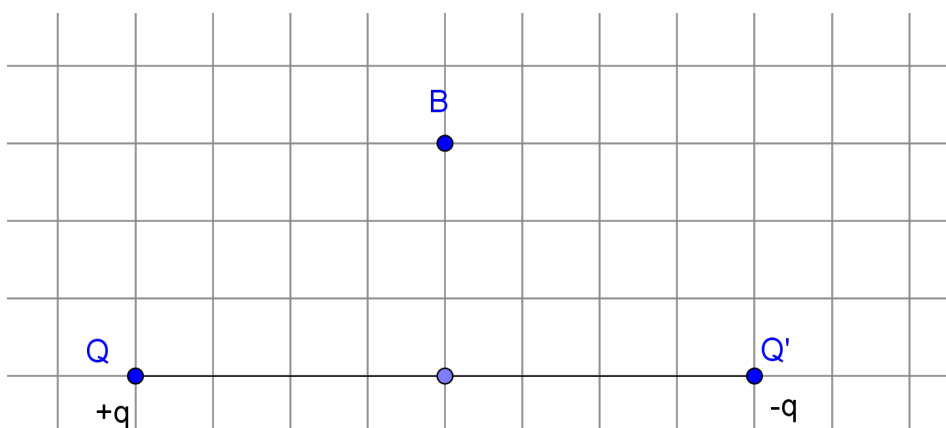
.....

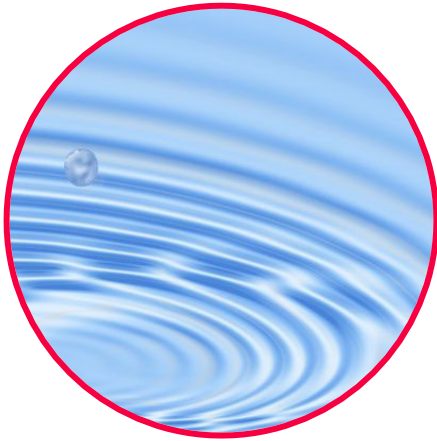
.....

EXERCICE

08

Sans souci d'échelle, représentez le champ en B résultant des champs exercés par les charges placées en Q et Q'.





Ce chapitre est consacré aux fluides (gaz et liquides). Après avoir donné les grandeurs descriptives des fluides, nous étudierons le comportement de ces fluides : loi de Mariotte pour les gaz, et la loi de la statique des fluides pour les liquides.

Q COMPÉTENCES VISÉES

- Expliquer qualitativement le lien entre les grandeurs macroscopiques de description d'un fluide et le comportement microscopique des entités qui le constituent.
- Utiliser la loi de Mariotte.
- Exploiter la relation $F = P.S$ pour déterminer la force pressante exercée par un fluide sur une surface plane S soumise à la pression P .
- Dans le cas d'un fluide incompressible au repos, utiliser la relation fournie exprimant la loi fondamentale de la statique des fluides : $P_2 - P_1 = \rho g(z_1 - z_2)$.



Première approche

ACTIVITE 2

Faire l'expérience suivante :
 Prendre un verre et le remplir d'eau à ras bord.
 Poser une feuille au-dessus.
 Retourner le verre en maintenant bien la feuille appuyée.

1) Que constate-on ?

.....

2) Quelle est la force qui s'exerce sur la feuille ? Représentez-la sur l'image.



3) Déduisez-en qu'il existe une autre force.

.....

Cette force est la force pressante de l'air sur la feuille.
 On suppose que le verre est un cylindre de base S et de hauteur h .

4) Calculez la masse m de l'eau contenue dans le verre en fonction de S et de h et de la masse volumique de l'eau ρ .

.....

5) Déduisez la force F exercée par l'eau sur la feuille en fonction de S , h , ρ et de la pesanteur g .

.....

6) Donnez l'expression de $p = \frac{F}{S}$.

$p = \frac{F}{S}$ est la pression de l'eau sur la feuille. Son unité est le pascal (Pa).

La hauteur d'eau est 5 cm. Calculez p .

$p = \rho h g \approx \dots\dots\dots$ Pa

7) L'air exerce une pression au moins égale à Pa.

La pression exercée par l'air est la pression atmosphérique. Elle vaut environ 10^5 Pa.

SOLUTIONS DE L'ACTIVITE 2

- 1) Le papier reste collé au verre : l'eau ne s'écoule pas.
- 2) Le poids de l'eau s'exerce sur la feuille.
- 3)



- 4) Une autre force compense forcément le poids. Sinon la feuille tomberait.
- 5) $m = \rho V = \rho Sh$
- 6) $F = mg = \pi \rho Shg$
- 7) $p = \pi \rho hg \approx \pi \times 1000 \times 0,05 \times 9,8 \approx 1540 \text{ Pa}$
- 8) L'air exerce une pression au moins égale à 1540 Pa.



MÉCANIQUE DES FLUIDES AU REPOS

Décrire un fluide

La matière est constituée de particules. Nous avons vu en seconde que l'état de la matière dépend de l'agitation de ces particules.



L'ESSENTIEL

A l'état solide, les molécules (ou atomes isolés) sont serrées et immobiles.

A l'état liquide, les molécules (ou atomes isolés) sont serrées mais mobiles les unes par rapport aux autres.

A l'état gazeux, les molécules (ou atomes isolés) sont éloignées les unes des autres et très mobiles.

Voici une synthèse des états de la matière, avec comme exemple l'eau.

La glace (eau solide)	L'eau (eau liquide)	La vapeur d'eau (eau gazeuse)
Volume propre Forme propre	Volume propre Pas de forme propre	Pas de volume propre Pas de forme propre
L'état solide est compact, plus ou moins ordonné.	L'état liquide est compact et désordonné.	L'état gazeux est dispersé et désordonné.

On ne peut bien entendu étudier chacune des particules. On a donc recours à des grandeurs macroscopiques qui permettent de connaître l'état d'un fluide. Nous allons en prendre 3 : la masse volumique, la pression et la température.

MASSE VOLUMIQUE

La masse volumique a été vue en 2^{nde}. Nous rappelons ici la définition.



L'ESSENTIEL

Pour un même volume occupé, les espèces chimiques ne possèdent pas la même masse. Si le volume V (en m^3) d'un corps homogène a une masse de m (en kg), on définit la masse volumique ρ (en $kg \cdot m^{-3}$) comme étant le rapport :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

La masse volumique est une constante pour une espèce chimique donnée à une température donnée.

Elle est donnée généralement en kg/m^3 .

- Il faut faire attention aux unités de masse et de volume ! En particulier, on utilise souvent les g/cm^3 .
Remarque : $1 kg/m^3 = 1 g/L$

La masse volumique de l'eau à température ambiante ($20^\circ C$) est :

$$\rho(\text{eau}) = 1000 kg \cdot m^{-3} = 1 kg \cdot L^{-1} = 1 g \cdot cm^{-3}$$

La masse volumique de l'air à 0° et 1 atm :

$$\rho(\text{air}) = 1,3 kg \cdot m^{-3} = 1,3 g \cdot L^{-1}$$

- Pour les liquides, la masse volumique sera généralement considérée comme constante.
- La masse volumique pour un gaz donne un critère de la dispersion des particules.



À VOUS DE JOUER 6

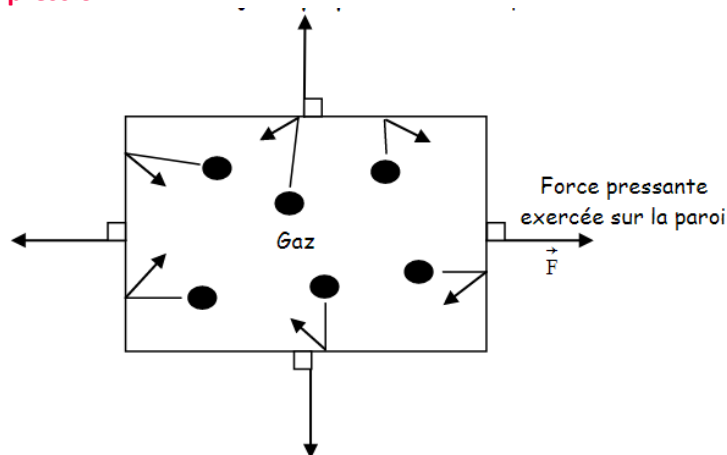
Complétez

Un gaz de masse 3 g occupe un volume de 2 L.

$$\rho = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots g/L = \dots\dots\dots kg/m^3$$

FORCE PRESSANTE ET PRESSION

Les fluides (gaz et liquides) sont constitués de molécules animées de mouvements désordonnés, qui cognent les parois d'un récipient. Ce sont **ces chocs incessants qui permettent d'expliquer le phénomène de force pressante** et donc de la **pression**.





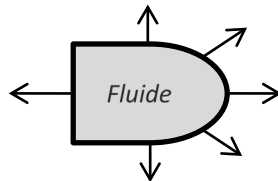
L'ESSENTIEL

La force pressante \vec{F} d'un fluide sur une surface plane a pour caractéristiques :

- point d'application : le centre de la surface
- direction : perpendiculaires à cette surface
- sens : dirigées vers l'extérieur de l'enceinte
- intensité : $F = P \times S$

où F est en newtons (symbole N), S en m^2 et P la pression en pascals (symbole Pa).

- Pour des enceintes quelconques, on décompose sa surface en surface élémentaire plane.



Forces
pressantes



L'ESSENTIEL

Si \vec{F} est la force pressante exercée par le fluide sur une paroi plane de surface S , on a donc : $P = \frac{F}{S}$

Unité de pression : le pascal $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot m^{-2}$

- **Pour une force donnée, plus la surface est petite, plus la pression est forte.**
Par comparaison, si on marche sur de la neige fraîche avec des chaussures, on s'enfoncé car tout notre poids s'applique sur une faible surface. Si on est en skis ou en raquettes, la surface de contact étant plus importante, la pression est plus faible et on s'enfoncera moins.
- Plus la température augmente, plus l'agitation augmente donc plus le nombre de chocs augmente. **Les forces pressantes donc la pression augmente avec la température.**
- Plus le nombre de particules est faible pour un volume donné, moins il y a de chances de chocs. **Les forces pressantes donc la pression diminue quand la masse volumique diminue.**
- On utilisait avant comme unité le **bar (1 bar = 10^5 Pa)**. Cette unité est encore souvent utilisée dans l'industrie (gonflage de pneus, canalisations...) et en plongée sous-marine.



À VOUS DE JOUER 7

Une voiture A de 1,0 t et une voiture B de 1,2t sont éloignées de 10 m.

- 1) Une surface rectangulaire de 3 m de largeur et de 5 m de longueur est soumise à une pression uniforme de 20 Pa. Quelle est la force pressante qui agit sur cette surface ?

$$F = P \times \dots = \dots \text{ N}$$

- 2) Une force s'applique sur un carré de 10 cm de côté. Si on applique la même force sur un carré de 1 cm de côté, la pression est multipliée par



L'ESSENTIEL

L'air qui nous entoure exerce une pression P_{atm} appelée pression atmosphérique. On la donne généralement en hectopascals : $1 \text{ hPa} = 10^2 \text{ Pa}$
Au niveau de la mer, la pression atmosphérique moyenne vaut : $P_{atm} = 1013 \text{ hPa}$.

- La pression atmosphérique est liée au poids de la colonne d'air qui nous surplombe. Elle varie en fonction des conditions météorologiques et de l'altitude.

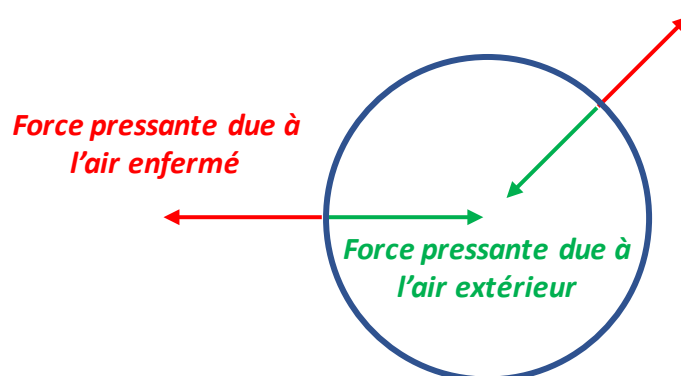
La pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer est donc de l'ordre de 10^5 Pa , c'est-à-dire de l'ordre de 1 bar.

En météorologie, on utilise généralement l'hectopascal (hPa) ; précédemment, on utilisait le millibar (mb).

La pression exercée par un fluide se mesure avec un **manomètre**. On utilise généralement des manomètres différentiels qui mesurent la différence de pression entre un fluide et le milieu ambiant. La pression atmosphérique se mesure avec un **baromètre**.

Remarque importante

On considère un ballon gonflé. Il subit les forces pressantes de l'air qui y est enfermé ainsi que les forces pressantes de l'air extérieur. Ces 2 forces se compensent.



- Un fluide est incompressible si sa masse volumique ne dépend pas de la pression exercée sur ce fluide. Par exemple l'eau et plus généralement les liquides sont des fluides incompressibles. Par contre, l'air et plus généralement les gaz, sont des fluides compressibles.

TEMPÉRATURE



L'ESSENTIEL

La température rend compte de l'agitation des molécules.

- Le **zéro absolu** correspond à la température pour laquelle les particules sont au repos. Cette température vaut environ $-273,15^\circ\text{C}$.
- Aucune température ne peut être inférieure à cette température.
On a défini à partir du zéro absolu une échelle de température : le **kelvin** (symbole K).
 $0 \text{ K} = -273,15^\circ\text{C}$

$$T(K) = T(^\circ\text{C}) + 273,15$$



À VOUS DE JOUER 8

Complétez

Plus la température augmente, plus les particules sont, plus le risque de chocs avec la paroi est, plus la pression

02

MÉCANIQUE DES FLUIDES AU REPOS

Pression dans un fluide incompressible : loi de la statique des fluides



L'ESSENTIEL

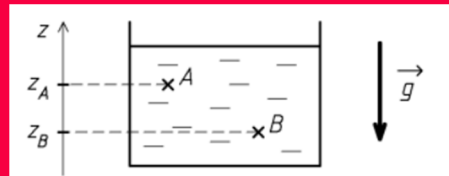
La pression en un point d'un liquide est égale au poids des fluides situés au-dessus de ce point par unité de surface.

Conséquence : loi fondamentale de la statique des fluides

Entre 2 points A et B d'un liquide au repos, la différence de pression s'écrit :

$$P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot (z_A - z_B) = \rho \cdot g \cdot h$$

P_A et P_B : pressions en A et B (en pascal)
 ρ : masse volumique du fluide en kg/m^3
 g : intensité de la pesanteur en N/kg
 z_A et z_B : altitude de A et B (en m)



Exemple :

La masse volumique de l'eau vaut 1000 kg/m^3 . On prend pour valeur approchée de g : 10 N/kg .

La différence de pression entre la surface de l'eau et une profondeur de 10 m vaut :

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot (z_A - z_B) = 1000 \times 10 \times 10 = 10^5 \text{ Pa}$$



À VOUS DE JOUER 9

Complétez

La masse volumique d'un fluide vaut 800 kg/m^3 . On prend pour valeur approchée de g : 10 N/kg . On considère 2 points à la verticale l'un de l'autre, distants de 20 cm .

différence de pression :

$$\Delta P = \rho \cdot \dots = \dots = \dots \text{ Pa}$$

➤ **Conséquence : la pression est égale en tout point d'un plan horizontal.**



L'ESSENTIEL

La pression P dans un liquide augmente avec la profondeur.

Pour une profondeur z : $P = P_{atm} + \rho \cdot g \cdot z$

où P est la pression à la profondeur z en pascals (Pa), P_{atm} est la pression atmosphérique en pascals (Pa), la profondeur z en mètres, g est la gravité (en N/kg), et ρ la masse volumique du liquide en kg/m^3 .

➤ La pression à une profondeur donnée est donc constante.

Exemple :

à 10 m de profondeur dans de l'eau douce ($\rho \approx 1000 \text{ kg/m}^3$) on a :

$$P = P_{atm} + \rho \cdot g \cdot z = 10^5 + 10^3 \times 10 \times 10 = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$$

A 10 m de profondeur, on subit donc une pression double de la pression atmosphérique.

Quand on plonge, c'est donc durant les premiers mètres que le corps subit la plus grande variation de pression.

Exemples d'application de la loi de la statique des fluides

Les vases communicants



La pression est la même en tout point d'un plan horizontal. Donc la surface libre de l'eau est au même niveau.

La poussée d'Archimède

L'une des conséquences les plus remarquables des forces pressantes exercées par les fluides est la poussée d'Archimède.



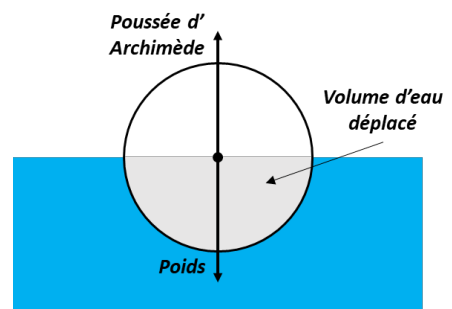
L'ESSENTIEL

Un corps plongé dans un fluide (liquide, gaz) subit une force appelée poussée d'Archimède, égale au poids du volume de fluide déplacé.

➤ La poussée d'Archimède permet aux bateaux de flotter, aux ballons de s'envoler, aux avions de voler...

La poussée d'Archimède est généralement représentée par une force unique $\vec{\Pi}$ de caractéristiques :

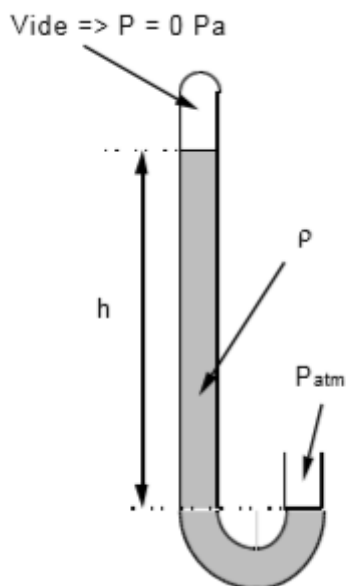
- ✓ Point d'application : centre d'inertie du fluide déplacé
- ✓ Intensité : $\Pi = \rho \cdot V \cdot g$ (g intensité de la pesanteur en N/kg, V volume déplacé en m^3 , ρ masse volumique en kg/m^3 , Π en N)
- ✓ Direction : verticale
- ✓ Sens : vers le haut (opposé à celui de la pesanteur).



Le calcul de la poussée d'Archimède dans un cas simple fait l'objet d'un exercice.

Le baromètre

Un baromètre peut être schématisé par un tube en U, dont l'une de ses deux ouvertures est fermée.



Les points sur la même horizontale ont la même pression. Donc : $P_{atm} = \rho gh$

03 MÉCANIQUE DES FLUIDES AU REPOS

Loi de Boyle-Mariotte

On s'était intéressé dans le paragraphe précédent aux fluides incompressibles (liquides). Dans ce paragraphe on considère des gaz.



L'ESSENTIEL

Loi de Boyle-Mariotte : pour une température et une quantité de gaz données, le produit de la pression P (en Pa) et du volume V (en m^3) du gaz est constant, et cette constante est indépendante de la nature du gaz.

$$P V = Cste$$

- A volume constant, le produit PV augmente avec la température. En effet, on a vu que l'agitation des molécules augmente avec la température, ce qui augmente le nombre de chocs, donc les forces pressantes donc la pression.
- Le produit PV est proportionnel à la quantité de matière.

Exemple :

Un volume de 1,00 L de gaz est libéré au niveau du plancher océanique où règne une pression $P_1 = 50,0$ bars.

Quel est le volume de ce gaz lorsqu'il atteint la surface de l'océan ?

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \text{ donc } V_2 = V_1 \frac{P_1}{P_2} = 50 \text{ L}$$



À VOUS DE JOUER 10

Complétez

On considère un volume V_1 de 10 L de gaz enfermé dans un ballon à une pression P_1 de 1 bar. Quel est le volume du ballon si la pression vaut 0,8 bars ?

D'après la loi de Boyle-Mariotte

$$P_1 V_1 = \dots \text{ donc } V_2 = \dots \text{ L}$$



L'ESSENTIEL

Le volume occupé par une quantité donnée de gaz est donc indépendant du gaz. En particulier, le volume occupé par 1 mole de gaz (volume molaire) à une pression et une température données est constant.

A 20°C et à la pression atmosphérique de 1013 hPa, le volume molaire vaut environ 24L.

Exemple : calcul de la masse d'un litre de dioxygène à 20°C.

Le volume molaire vaut 24 L. Pour 1 litre, la masse d'un litre d'air vaut donc :

$$m = M(\text{O}_2) \times \frac{1}{24} = \frac{32}{24} \approx 1,33 \rightarrow \text{Un litre de dioxygène a une masse de 1,33g.}$$

- **La loi de Boyle Mariotte et ses conséquences ne sont valables que pour des pressions faibles ou normales et pour certains gaz appelés gaz parfaits. On assimile généralement dans les conditions courantes l'air à un gaz parfait.**

Application à la plongée sous-marine

Le corps d'un plongeur comporte un certain nombre de cavités, en particulier au niveau des oreilles. Les tympons (membranes) sont habituellement équilibrés. Mais, si on plonge, il se produit une différence de pression entre la face interne et externe. Cette différence est douloureuse (on peut même avoir une déchirure des tympons). Pour cette raison, lors d'une descente on souffle en se bouchant le nez (VASALVA), ce qui permet d'équilibrer les pressions.

Lors d'une remontée, la pression diminue et le volume des gaz (air et gaz carbonique) contenus dans les poumons augmente selon la loi de Mariotte. Si l'expiration est bloquée, les poumons se dilatent et peuvent s'ils atteignent leur limite d'élasticité, provoquer la rupture des tissus. C'est la **surpression pulmonaire**. Il est par conséquent indispensable de ne jamais bloquer sa respiration à la remontée.

En plongée avec bouteille, **l'accident de décompression** survient lorsqu'un plongeur remonte trop rapidement en surface. La pression diminuant, la solubilité des gaz contenus dans ses tissus et son sang diminue et ces gaz forment alors des bulles d'air qui peuvent bloquer les petits vaisseaux sanguins ou les articulations. Cela peut occasionner des malaises, la paralysie, voire la mort. En cas d'accident, on utilise un caisson hyperbare à l'intérieur duquel la pression peut être augmentée, ce qui permet de diminuer les bulles de gaz (la solubilité étant alors plus importante), puis de recommencer le processus de décompression.

LE TEMPS DU BILAN

- Pour un même volume occupé, les espèces chimiques ne possèdent pas la même masse.
Si le volume V (en m^3) d'un corps homogène a une masse de m (en kg), on définit la **masse volumique** ρ (en $kg \cdot m^{-3}$) comme étant le rapport :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

La masse volumique est une constante pour une espèce chimique donnée à une température donnée. Elle est donnée généralement en kg/m^3 .

- La température rend compte de l'agitation des molécules.
- La **force pressante** \vec{F} d'un fluide sur une surface plane a pour caractéristiques :
- point d'application : le centre de la surface
 - direction : perpendiculaires à cette surface
 - sens : dirigées vers l'extérieur de l'enceinte
 - intensité : $F = P \times S$

où F est en newtons (symbole N), S en m^2 et P la pression en **pascals** (symbole Pa).

Unité de pression : le **pascal** $1 Pa = 1 N \cdot m^{-2}$

- La pression en un point d'un liquide est égale au poids des fluides situés au-dessus de ce point par unité de surface.

Conséquence : **loi fondamentale de la statique des fluides**

Entre 2 points A et B d'un liquide au repos, la différence de pression s'écrit :

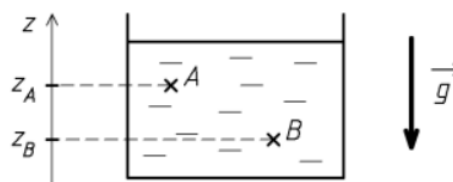
$$P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot (z_B - z_A)$$

P_A et P_B : pressions en A et B (en pascal)

ρ : masse volumique du fluide en kg/m^3

g : intensité de la pesanteur en N/kg

z_A et z_B : altitude de A et B (en m)



- **Loi de Boyle-Mariotte** : pour une température et une quantité de gaz données, le produit de la pression P (en Pa) et du volume V (en m^3) du gaz est constant, et cette constante est indépendante de la nature du gaz.

$$P V = Cste$$

On prendra sauf indication contraire pour intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ N/kg}$

EXERCICE

11

Poussée d'Archimède

On considère un parallélépipède indéformable rempli d'air de base ayant une surface S , et de hauteur h . On l'immerge complètement dans un fluide de masse volumique ρ , de telle manière que la base soit parallèle à la surface. La face supérieure est à la profondeur z .

1) Donnez l'expression du volume V du parallélépipède en fonction de S et de h .

.....

2) Calculez la force pressante exercée par l'eau sur la face haute en fonction de la profondeur.

.....

.....

.....

.....

3) Calculez la force pressante exercée par l'eau sur la face basse en fonction de la profondeur.

.....

.....

.....

.....

4) Que dire des forces pressantes qui s'exercent sur les parois verticales ?

.....

.....

5) En déduire que le cube subit une force de bas en haut. Quelle est cette force ?

.....

.....

EXERCICE

12

1) Montrez qu'en plongeant la pression exprimée en bars augmente d'environ d'1 bar tous les 10 m.

.....

.....

.....

2) Déduisez la pression en bars à 25m.

3) La pression est de 4,3 bars. A quelle profondeur se situe le plongeur ?

EXERCICE

13

Un plongeur utilise une bouteille d'air comprimé de 12L. Le manomètre de bouteille indique 140 bars. Il plonge rapidement et subit une pression de 3,5 bars. Un détendeur lui permet de respirer l'air provenant de la bouteille à la même pression (3,5 bars). **De quel volume d'air dispose-t-il ?**

EXERCICE

14

On assimile les poumons d'un plongeur à un ballon de baudruche de capacité maximale égale à 6 L. Le plongeur gonfle ses poumons à 10m de profondeur. Il remonte en bloquant sa respiration. **Quel est le volume de ses poumons en surface ? Quel accident risque-t-il ?**

EXERCICE

15

Calculez la masse d'un litre d'air (80% de diazote ; 20% de dioxygène) à 20°C.

Masses molaires : $M(O)=16 \text{ g/mol}$ $M(N)=14 \text{ g/mol}$

On ouvre la porte d'un congélateur dans une pièce à 20°C , puis après quelques secondes on la referme. Quelques secondes après, on s'aperçoit qu'il est très difficile de la rouvrir. L'objectif de l'exercice est d'expliquer le phénomène. La pression atmosphérique est égale à 1013 hPa . La porte du congélateur a une surface de $0,8\text{ m}^2$.

1) Déterminez la force pressante extérieure qui s'exerce sur la porte fermée.

.....

2) Pourquoi peut-on ouvrir facilement la porte ?

.....

3) Que se passe-t-il si on ouvre la porte pour l'air environnant ?

.....

On referme la porte et on attend quelques secondes.

4) Que se passe-t-il pour l'air qui a été emprisonné ?

.....

5) Que peut-on en déduire pour la pression à l'intérieur du congélateur ?

.....

On suppose que cette pression vaut 1000 hPa .

6) Déduisez la force pressante qui s'exerce sur la face interne de la porte.

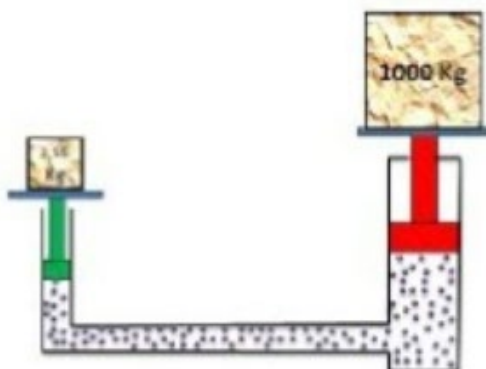
.....

7) Concluez.

.....

.....

Un vérin hydraulique permet de soulever des charges très lourdes, comme des voitures. Le vérin a la forme d'un tube en U avec une section large et une section étroite. On exerce une force sur la surface étroite ce qui permet de soulever le plateau supportant la charge lourde.



Le piston vert a un diamètre de 10 cm. Le piston rouge a un diamètre de 50 cm ;

On néglige dans la suite la masse des plateaux et des pistons.

Le plateau vert supporte une masse m_1 ; le plateau rouge supporte une masse m_2 de 1000 kg.

- 1) Représentez sans souci d'échelle la force \vec{F}_1 exercée par le piston vert à la surface du liquide. Déterminez la pression p_1 à la surface du liquide en fonction de la masse m_1 et de la surface S_1 .

.....

.....

- 2) Représentez sans souci d'échelle la force \vec{F}_2 exercée par le piston rouge à la surface du liquide. Déterminez la pression p_2 à la surface du liquide en fonction de la masse m_2 et de la surface S_2 .

.....

.....

- 3) On suppose que les 2 plateaux sont au même niveau. Quelle est la masse m_1 ?

.....

.....

.....

.....

- 4) Le plateau rouge est 10 cm au-dessus du plateau vert. Quelle est la masse m_1 ?

.....

.....

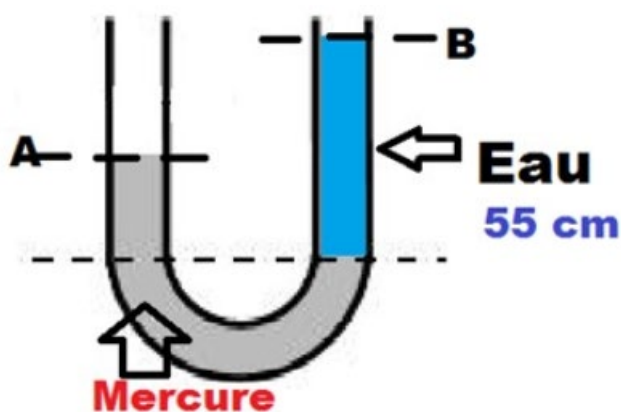
.....

.....

EXERCICE

18

Un tube en U de section uniforme est ouvert à ses 2 extrémités. On met une hauteur de 55 cm d'eau dans la branche B. Déterminez la différence de hauteur des surfaces libres.



EXERCICE

19

On pousse lentement de l'air dans une seringue bouchée.
Les grandeurs évoluent-elles dans la seringue :

Pression p ?

Température T ?

Masse volumique ρ ?

Volume V ?

ρV ?

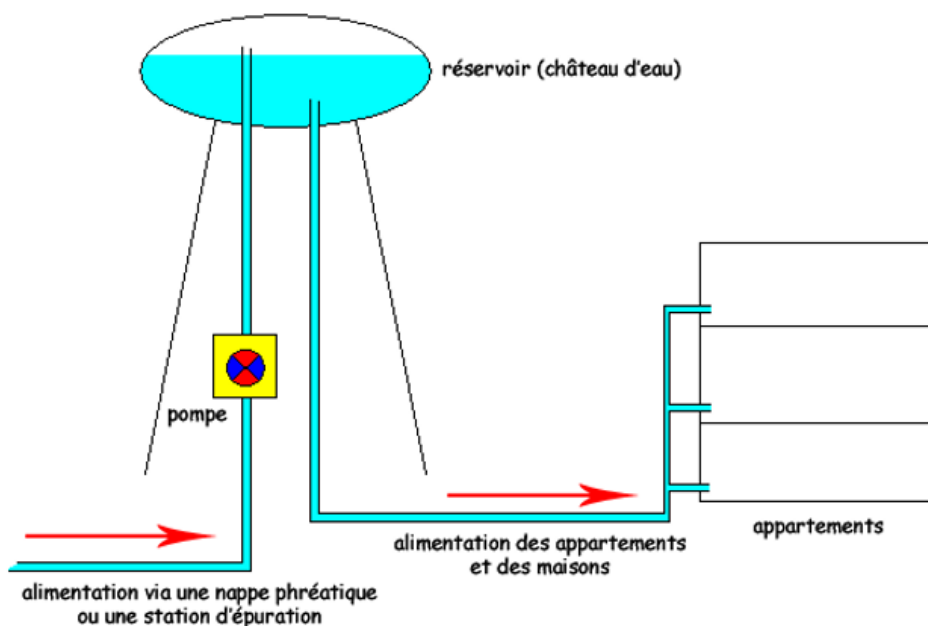
EXERCICE

20

Quoi de plus facile que de tourner le robinet de l'évier ou de la douche pour obtenir de l'eau. C'est tellement facile que cela paraît maintenant tout à fait commun. Mais le parcours de l'eau est assez tortueux avant d'arriver à votre maison.

Dans une ville, la plupart du temps en hauteur, nous trouvons généralement de grandes tours en béton (souvent inesthétique) surmontées d'un globe. Ce sont des "châteaux d'eau". En fait, ce ne sont que de gros réservoirs d'eau.

Le principe est le suivant : L'eau est pompée des nappes phréatiques ou des stations de traitements par un gros moteur via un large tuyau. Cette eau aspirée remplit constamment le réservoir situé en hauteur (colline naturelle ou artificielle). Cette eau constitue une importante réserve. Le château d'eau étant en hauteur, la pression de sortie de l'eau est constante et, selon le principe des vases communicants, alimente par des tuyaux plus fins, les différentes maisons de la région. C'est cette eau qui sort du robinet lorsqu'on l'ouvre.





La pression atmosphérique est prise égale à 1 bar. On prendra comme valeurs : $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$.

- 1) La pression au rez-de-chaussée doit être de 3,5 bars. Quelle doit être la différence d'altitude entre la surface libre de l'eau dans le château d'eau et le rez-de-chaussée ?

.....

.....

.....

.....

- 2) Un étage fait 3 m de haut. La pression au 1^{er} étage est-elle supérieure, égale ou inférieure à la pression du rez-de-chaussée ? Justifiez.

.....

.....

- 3) Calculez en bars les pressions au premier et au second étages.

.....

.....

.....

.....

.....



Vous pouvez maintenant faire et envoyer le devoir n°1

