

UE6
Biophysique & Physiologie
PASS - 2025/26

TUTORAT RENNAIS

Nous vous rappelons que pour chacune des UE PASS/L.AS, les évaluations portent uniquement sur les éléments produits par les enseignants lors de l'année universitaire en cours (diaporamas projetés pendant les cours, informations données oralement, supports déposés sur moodle, ...).

Ainsi, ces livrets, mêmes s'ils sont basés sur les cours des enseignants, sont réalisés par nos équipes de tuteurs et tutrices : les erreurs sont possibles. Ce livret élaboré par le tutorat n'est pas opposable en cas de litige.

SOMMAIRE

INTRODUCTION A LA BIOPHYSIQUE-PHYSIOLOGIE 7
PRESENTATION GENERALE 7
LE PROGRAMME 7
LES PROFESSEURS 8
L'EXAMEN 10
LE TUTORAT EN UE6 11
LE LIVRET D'UE6 11
HISTORIQUE DE L'ENSEIGNEMENT EN UE6 12

MÉTHODOLOGIE 13
UN POINT PRIMORDIAL : LA COMPRÉHENSION 13
LES QCMS À CALCUL 13
LES QCMS À "PAR COEUR" 15
OUTILS À UTILISER (SANS MODERATION) 15
LA MATIERE QUI FAIT LA DIFFERENCE AU S2 15

METHODOLOGIE - UTILISATION DE LA CALCULATRICE 16
MODE DEGRES 16
MODE SCIENTIFIQUE 16
UTILISATION DES PUISSANCES DE 10 16
CONSTANTES ET UNITES 17
STOCKAGE 17
INSERER DES VALEURS 17

RAPPELS - OUTILS MATHEMATIQUES 19
SAVOIR MANIPULER UNE FORMULE 19
SAVOIR CONVERTIR DES UNITES / SAVOIR UTILISER LES PUISSANCES DE 10 21
SAVOIR UTILISER LES REGLES DE TRIGONOMETRIE 22
AIRES ET VOLUMES 24
SAVOIR UTILISER DES VECTEURS 25
ARRONDIR UNE ECRITURE DECIMALE 26

CHAPITRE 1 : NOTIONS DE BASE 28
I - LES UNITES 28
II - MECANIQUE 30
III - ÉLECTROSTATIQUE 33
IV - ÉLECTROCINÉTIQUE 36
EXERCICES RÉSOLUS 39
FICHE : LES FORMULES 43

CHAPITRE 2 : LE DOMAINE DE L'OPTIQUE 48
I - GENERALITES 48
II - LES SYSTEMES CENTRES 51
III - CONSTRUCTION DE RAYONS 55
EXERCICES RÉSOLUS 56
FICHE : LES FORMULES 62
PETIT TIPS 63

CHAPITRE 3 : MÉCANIQUE DES FLUIDES 66
I - RAPPELS : GAZ PARFAITS 66
II - STATIQUE DES FLUIDES 67
III - TENSION SUPERFICIELLE 69
IV - DYNAMIQUE DES FLUIDES 70
MÉTHODE : LE TUBE EN U 74
EXERCICES RÉSOLUS 75
FICHE : LES FORMULES 80
PETIT TIPS 80

CHAPITRE 4 : ÉLECTROMAGNÉTISME 82
I – DÉFINITION 82
II - CHAMP MAGNÉTIQUE CRÉÉ PAR UN COURANT 82
III - ACTION D'UN CHAMP MAGNÉTIQUE SUR UN COURANT 83
IV - INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE, AUTO-INDUCTION 84
V - RÈGLES DE L'OBSERVATEUR D'AMPÈRE ET DES TROIS DOIGTS DE LA MAIN DROITE 85
EXERCICES RÉSOLUS 86
FICHE : LES FORMULES 89
PETITES PRECISIONS 89

CHAPITRE 5 : DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION 91
I - DOSIMETRIE 91
II - RADIOPROTECTION 94

III - IRRADIATION PENDANT LA GROSSESSE 95
FICHE : LES FORMULES 96

CHAPITRE 6 - ULTRASONS, PRINCIPES DE L'ECHOGRAPHIE 98
GENERALITES SUR LES ULTRASONS 98
II - BASES DE L'ECHOGRAPHIE 99
EXERCICE RESOLU - LONGUEUR D'ONDE, FREQUENCE, IMPEDANCE ACOUSTIQUE, EMISSION/RECEPTION DE L'ECHO 102
FICHE : LES FORMULES 103

CHAPITRE 7 : ONDES ELECTROMAGNETIQUES 105
PARAMETRES D'UNE ONDE ELECTROMAGNETIQUE 105
PUISSANCE D'UNE ONDE ELECTROMAGNETIQUE 105
SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE 105
EXERCICES RESOLUS 106
FICHE – LES FORMULES 108
PETIT TIPS 108

CHAPITRE 8 : RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE (RMN) 110
MOMENT MAGNETIQUE ELEMENTAIRE 110
MOMENT MAGNETIQUE MACROSCOPIQUE 110
ÉQUATION DE LARMOR 111
LOI DE BOLTZMANN 111
CHAMP MAGNETIQUE B1 111
TEMPS DE RELAXATION T1 ET T2 112
SEQUENCE SATURATION-RECUPERATION 112
SEQUENCE ECHO DE SPIN 112
SPECTROSCOPIE 113
EXERCICES RESOLUS 114
FICHE : LES FORMULES 120
PETIT TIPS 120

CHAPITRE 9 : RAYONNEMENTS IONISANTS 122
I- INTRODUCTION 122
II- INTERACTIONS DES PARTICULES CHARGEES AVEC LA MATIERE 124
III- INTERACTIONS DES NEUTRONS AVEC LA MATIERE 130
EXERCICES RESOLUS 131
FICHE : LES FORMULES 133

CHAPITRE 10 : ÉTATS DE LA MATIERE 135
I - LA MATIERE 135
II - LES DIFFERENTS ETATS 136
IV - LES GAZ 139
V - LES SOLUTIONS 141
EXERCICES RESOLUS 143
FICHE : LES FORMULES 145
FICHE : LES FORMULES 153
PETIT TIPS 154
EXERCICES RESOLUS 154

CHAPITRE 12 : BASES NEURONALES 157
RECEPTEURS SENSORIELS 157
LA TRANSMISSION DU MESSAGE NERVEUX 160
FIBRES NERVEUSES 161
LA TRANSMISSION SYNAPTIQUE 163

CHAPITRE 16 : TRANSFERTS PASSIFS A TRAVERS UNE MEMBRANE 180
GENERALITES / DEFINITIONS (+++) 180
TRANSFERT DIFFUSIF / DIFFERENTIEL DE CONCENTRATION 180
TRANSFERT CONVECTIF / DIFFERENTIEL DE PRESSION 181
MIGRATION ELECTRIQUE / DIFFERENTIEL DE POTENTIEL ELECTRIQUE 182
DIFFUSION + CONVECTION DU SOLVANT A TRAVERS UNE MEMBRANE (+++) 182
DIFFUSION + MIGRATION ELECTRIQUE DES IONS A TRAVERS UNE MEMBRANE 188
EXERCICE RESOLU - L'EFFET DONNAN 189
PETIT TIPS 190

FICHES DÉTACHABLES - FORMULES UE6 193
MÉCANIQUE DES FLUIDES 197
ÉLECTROMAGNÉTISME 198
DOSIMÉTRIE ET RADIOPROTECTION 198
ULTRASONS 199
ONDES ELECTROMAGNETIQUES 199
RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE 200

INTRODUCTION A LA BIOPHYSIQUE-PHYSIOLOGIE

PRESENTATION GENERALE

Bienvenue à toi dans ce livret de Biophysique-Physiologie !

L'UE 6 est composée des enseignements de **biophysique** (physique appliquée à la biologie ou au monde médical) et de **physiologie** (la science qui étudie le fonctionnement des organismes vivants). En gros, c'est une matière hybride, avec environ 50% de calcul, et 50% de cours pur.

Avant la réforme de 2020-2021, la matière était séparée en UE3.1 (au 1er semestre) et UE3.2 (au 2ème semestre), ces deux entités ont fusionné pour donner l'UE 6 au 2ème semestre de PASS.

Objectifs de la matière (selon le syllabus) : acquérir des bases théoriques de physique et de physiologie appliquées dans le domaine médical, comprendre pour la suite du cursus les fonctionnements des systèmes physiologiques et physiopathologiques de l'organisme et l'élaboration des différents types d'imagerie médicale.

La matière, enseignée en présentiel, et comptant pour 5 crédits ECTS, se compose de **50h** : 45h de cours magistraux en amphi, et 5h de travaux dirigés (en amphi toujours) où le professeur accentuera son cours sur la résolution d'exercices (un peu comme en chimie au S1).

C'est une matière qui peut sembler difficile au 1er abord (et même après…) mais le plus important est de ne pas se décourager, **les professeur.es ne sont pas là pour vous piéger** mais pour vérifier que vous avez bien compris et que vous pouvez appliquer les principaux concepts des cours. C'est cependant une matière qui nécessite de la **rigueur** et une **bonne méthode**, notamment dans les QCMs à calcul (attention aux unités, on ne le dira jamais assez !). C'est même souvent la matière au S2 qui peut faire la différence le jour de l'examen, car souvent délaissée par les étudiants. Mais pas de panique, on sera là pour vous aider !

En vous souhaitant plein de réussite,

Les tuteurs d'UE6 :))

LE PROGRAMME

On peut diviser la matière en 3 grandes parties :

- Partie Physique (≈ 25h) : vous allez avoir des rappels de mécanique, des cours d'électricité, d'électrostatique, d'optique, de mécanique des fluides, d'électromagnétisme, de radioactivité, sur les états de la matière… Très majoritairement des QCMs à calcul !
- Partie Biophysique (≈ 15h) : vous allez y apprendre les bases physiques de l'imagerie médicale (rayonnements ionisants, échographie, IRM) et leurs risques biologiques (radioprotection). Une majorité de QCMs de cours, quelques QCMs à calcul.
- Partie Physiologie (≈ 10h) : cette partie traitera des grands phénomènes physiologiques qui ont lieu chez les êtres vivants, et particulièrement chez l'Homme. Vous découvrirez les bases de la transmission nerveuse, de la thermorégulation, des mécanismes énergétiques du corps, et des transferts bio-physico-chimiques entre les différents milieux de l'organisme. Presque uniquement des QCMs de cours, avec de rares QCMs à calcul.

LES PROFESSEURS

Professeur	Chapitres traités	Caractéristiques
Dr Éric Hitti	Notions de base, électrostatique, électricité (4h + 1h TD) Optique géométrique (7h + 1h TD) Mécanique des fluides (3h + 1h TD)	Ses diapos ne changent presque pas d'une année sur l'autre, et ses attendus à l'examen sont souvent les mêmes. Comme en UE4, les démonstrations sur son diapo ne sont pas à apprendre, mais elles peuvent permettre de mieux comprendre. Connu pour poser des exercices parfois difficiles à l'examen, il a eu tendance ces dernières années à faire tomber des exercices plus classiques.
Pr Florence Le Jeune	Electromagnétisme (2h + 1h TD) Dosimétrie et radioprotection (3h) Ultrasons et échographie (3h)	Elle ne cherchera pas à vous piéger à l'examen, en effet elle précise généralement en cours quand il ne faut pas apprendre les formules, et ses QCMs de fin de cours sont souvent similaires à ceux qu'elle donne à l'examen, donc n'hésitez pas à y assister (et ses cours sont très intéressants) !
Pr Etienne Garin	Transferts passifs à travers une membrane (3h) Interaction des RI avec la matière (1h) +1h TD	Connu avant pour poser les mêmes QCMs d'une année sur l'autre, ces dernières années il a pris goût au changement, donc on ne peut pas vraiment dire ce qu'il est susceptible de faire tomber cette année.
Dr Xavier Palard-Novello	Ondes électromagnétiques (1h) Résonance magnétique nucléaire (3h) +1h TD	Ce professeur a repris depuis plusieurs années le cours sur les ondes électromagnétiques et la RMN. Habitué à ne faire tomber que des applications de formules, depuis 1 ou 2 ans il commence à poser des QCMs sur le cours : bien que difficile, il faudra essayer de comprendre au maximum (mais vous allez y arriver !).
Dr Antoine Girard	Etats de la matière (2h)	Il a donné durant 2 ans le cours sur les états de la matière et avait fait tomber 2 applications de formules pour ce cours. L'année dernière c'est Pr Garin qui avait dispensé ce cours mais n'avait pas mis de questions à calcul. C'est à nouveau Dr Girard qui a l'air de reprendre ce cours cette année : il n'y a pas beaucoup de recul donc il est difficile de vous dire sur quoi axer vos révisions.
Pr Paul Sauleau	Bases neuronales (3h) Milieu intérieur (2h) Thermorégulation (1h) Bioénergétique (1h)	Ce professeur traite d'une grande partie de la physiologie depuis 1 ou 2 ans (sauf les bases neuronales qu'il enseigne depuis longtemps). Il est souvent assez exigeant à l'examen, mais tout ce qu'il fait tomber est clairement inscrit sur ses diapos. Il faudra cependant connaître le moindre détail du cours.
Dr Olivier Delalande	Radioactivité (5h)	Comme Dr Palard, il était habitué à faire tomber des applications de formules, mais depuis quelques années, il pose de plus en plus de questions de cours, avec le même niveau de précision que le Pr Sauleau : à nouveau, il faudra connaître les détails de ce cours.

<u>NB</u> : Les ED proposés par Dr Hitti ou Pr Garin sont souvent plus difficiles que ce que vous pourrez avoir à l'examen (consultez les annales pour vous en rendre compte). Donc pas de panique, vous allez y arriver !

Mot d'encouragement du professeur Sauleau

Que vous dire pour vous soutenir lors de votre apprentissage des cours de physiologie ? Comment les rendre plus attractifs ?

Dire que c'est une matière passionnante et indispensable pour votre future profession, quelle qu'elle soit ? Evidemment, vous allez penser qu'un prof ne va pas dire autre chose, que sa matière est super et que c'est la plus intéressante ! Oui, bien sûr, mais les enseignants de physiologie ne sont pas les seuls à le dire.

Il y a quelques années, j'ai eu l'occasion de faire évaluer les enseignements des premières années de santé par les assistants du CHU de Rennes, relativement à leur exercice professionnel. Ces jeunes médecins étaient issus de toute la France et ils avaient tous eu plus ou moins le même enseignement mais dans différentes Facultés. Leur avis était pourtant très similaire.
A côté de l'anatomie et de la sémiologie, la physiologie était LA matière qu'ils auraient aimé pouvoir reprendre pour mieux comprendre la pathologie de leurs patients. Pour mieux comprendre… Voilà le seul conseil que je peux vous donner. Comprendre plutôt que d'apprendre… et oublier. Comprendre pour ne jamais oublier. Un effort supplémentaire certes mais payant, pour le concours mais aussi pour plus tard.
La physiologie est complexe parce que la biologie est complexe ! Mais, faire l'effort de comprendre ce fonctionnement vous aidera à apprendre. Et un jour, peut-être, vous verrez même une certaine beauté derrière cette complexité, la beauté de l'organisme vivant, de la vie elle-même.

Bon, on s'égare, on s'égare. Travaillez dur, restez concentré(e), posez-vous les bonnes questions et faites les annales ! Une dernière chose, la seule que vous retiendrez sans doute : les réponses aux QCM sont dans les diaporamas présentés en cours.
Travaillez les cours avant tout et ne vous éparpillez pas sur les autres supports. Pas encore. Vous le ferez plus tard… pour la beauté de la physiologie !

Professeur Paul Sauleau

L'EXAMEN

D'une durée de 1h30, il est composé d'une trentaine de QCMs, dont une dizaine de QCMs à calcul.

Au niveau des points, l'épreuve est notée sur 40 à 45 points : **les QCMs à calcul**, souvent notés sur 2 (voire 3) points, **représentent donc au moins la moitié des points de l'examen**. A ne pas négliger !

Un avantage à la multitude de professeurs en UE6 : les professeurs essaient de se répartir équitablement les chapitres et points dispensés. Il y a donc **peu de variations selon les années** entre les différents professeurs. Cependant, si un professeur dispense plusieurs cours, il peut choisir de répartir ses QCMs comme bon lui semble (notamment Dr Hitti).

Année Cours	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23
Notions de base Électricité	5 (9 pts)	6 (10 pts)	5 (11 pts)	5 (12 pts)	4 (8 pts)	5 (? pts)	7 (15 pts)	5 (14 pts)	5 (12 à 14 pts)	3 (6 pts)	4 (8 pts)	3 (6 pts)
Optique	3 (6 pts)	7 (11 pts)	5 (11 pts)	6 (13 pts)	7 (16 pts)	7 (? pts)	7 (17 pts)	7 (17 pts)	7 (17 pts)	2 (4 pts)	1 (2 pts)	2 (5 pts)
Mécanique des fluides	3 (6 pts)	3 (7 pts)	3 (8 pts)	4 (9 pts)	3 (10 pts)	4 (11 pts)	3 (8 pts)	3 (8 pts)	3 (6 pts)	2 (4 pts)	2 (4 pts)	1 (2 pts)
Electro-magnétisme	3 (5 pts)	4 (5 pts)	4 (7 pts)	4 (7 pts)	4 (9 pts)	4 (? pts)	4 (6 pts)	4 (7 pts)	4 (6 (pts)	2 (2 pts)	1 (2 pts)	2 (4 pts)
Dosimétrie Radio-protection	3 (3 pts)	2 (2 pts)	2 (2 pts)	2 (2 pts)	2 (3 pts)	2 (3 pts)	2 (2 pts)	2 (2 pts)	2 (2 pts)	1 (1 pt)	1 (1 pt)	2 (3 pts)
Bases des ultrasons	4 (6 pts)	3 (5 pts)	3 (5 pts)	3 (4 pts)	3 (6 pts)	3 (3 pts)	3 (4 pts)	3 (4 pts)	3 (4 pts)	2 (2 pts)	2 (2 pts)	2 (2 pts)
Ondes EM	3 (6 pts)	2 (4 pts)	3 (5 pts)	1 (2 pts)	2 (4 pts)	3 (? pts)	2 (4 pts)	2 (4 pts)	2 (4 pts)	1 (2 pts)	1 (2 pts)	0
RMN	2 (4 pts)	4 (8 pts)	3 (6 pts)	5 (9 pts)	4 (8 pts)	3 (? pts)	4 (7 pts)	4 (8 pts)	4 (8 pts)	3 (6 pts)	3 (4 pts)	4 (5 pts)
Interactions des RI	4 (4 pts)	3 (3 pts)	4 (4 pts)	2 (2 pts)	2 (3 pts)	2 (2 pts)	3 (4 pts)	2 (2 pts)	3 (3 pts)	1 (1 pt)	2 (3 pts)	2 (2 pts)
États de la matière	2 (4 pts)	3 (4 pts)	3 (5 pts)	3 (5 pts)	2 (4 pts)	*Non fait*	2 (2 pts)	2 (2 pts)	*Non fait*	2 (4 pts)	2 (4 pts)	2 (2 pts)
Radioactivité	4 (8 pts)	5 (7 pts)	5 (9 pts)	6 (11 pts)	4 (7 pts)	0	4 (4 pts)	5 (6 pts)	4 (4 pts)	4 (4 pts)	4 (4 pts)	4 (4 pts)
Bases neuronales	3 (3 pts)	4 (4 pts)	3 (3 pts)	4 (4 pts)	3 (3 pts)	2 (2 pts)	2 (2 pts)	2 (2 pts)	3 (3 pts)	2 (2 pts)	2 (2 pts)	1 (1 pt)
Milieu intérieur	2 (2 pts)	2 (2 pts)	1 (1 pt)	1 (1 pt)	2 (2 pts)	2 (2 pts)	2 (2 pts)	2 (2 pts)	3 (3 pts)	1 (1 pt)	2 (2 pts)	1 (1 pt)
Thermo-régulation	1 (1 pt)	1 (1 pt)	1 (1 pt)	1 (1 pt)	1 (1 pt)	1 (1 pt)	1 (1 pt)	1 (1 pt)	2 (2 pts)	1 (1 pt)	1 (1 pt)	1 (1 pt)
Bio-énergétique	0	0	1 (1 pt)	1 (1 pt)					0		*Non fait*	1 (1 pt)
Transferts membranaires	4 (4 pts)	3 (4 pts)	3 (3 pts)	4 (5 pts)	3 (3 pts)	3 (4 pts)	3 (3 pts)	3 (3 pts)	4 (5 pts)	3 (3 pts)	2 (2 pts)	2 (3 pts)

<u>NB</u> : en 2020-2021, l'UE3.1 au 1er semestre et l'UE3.2 au 2ème semestre fusionnent pour donner l'UE6, ce qui explique la baisse globale du nombre de QCMs (1 épreuve de 1h30 au lieu de 2 épreuves de 1h30).

LE TUTORAT EN UE6

Nous sommes **4 tuteurs** de Biophysique-Physiologie : chaque soir de la semaine de conférences, 2 tuteurs viendront corriger avec vous les QCMs de la conférence de la semaine, éclaircir quelques points de cours, répondre à vos questions, vous donner des conseils de méthodologie… On ne vous le dira jamais assez mais c'est un super moyen de s'entraîner, donc venez !

Il y aura 1 semaine de QCMs en ligne (chaque soir, des QCMs sur le cours vu dans la matinée), puis 1 semaine de mini-conférences (communes UE6 / UE7), puis s'enchaîneront les semaines de vraies conférences : il y en aura 3 en UE6 au cours du S2 !

L'examen blanc aura lieu au milieu du semestre : il est important d'y participer pour s'exercer, voir où on en est dans ses révisions, identifier ses lacunes mais aussi se mettre en condition réelle avant le vrai examen… Pas de panique ! Le résultat ne conditionne en rien ton résultat au vrai examen :)

LE LIVRET D'UE6

Grande nouveauté de cette année : le livret. Vos tuteurs d'UE6 vous ont concocté cet outil de travail pour faciliter vos révisions et votre compréhension.

De quoi est-il composé ?

Pour chaque chapitre ce livret comprend :

- **Un résumé du cours** : celui-ci permet une première approche plus aisée du chapitre, avant d'approfondir en apprenant les diaporamas des différents professeurs
- **Des exercices résolus** (pour les cours de calcul) : pour comprendre comment s'utilisent les formules dans des exercices types tombant régulièrement aux examens
- **Une fiche résumant les principales formules du chapitre** : pratique en cas de trou de mémoire dans les exos, le but étant de connaître toutes les formules pour l'examen (attention, toutes les fiches ne sont pas exhaustives, nous avons listé les plus importantes : pour une liste complète référez-vous aux diapos des profs)

En plus :

- **Une partie méthodologie** à lire en début de semestre pour bien comprendre le fonctionnement de l'UE6 et de ses professeurs
- **Une fiche détachable à la fin du livret reprenant les principales formules** : à emmener au concours pour réviser avant l'épreuve d'UE6 !

HISTORIQUE DE L'ENSEIGNEMENT EN UE6

Avant 2020	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023	Chapitre	
Depuis au moins 10 ans	Éric Hitti				Rappels de mécanique Electrostatique et électrocinétique	Biophysique
Depuis au moins 10 ans	Éric Hitti				Optique géométrique	
Depuis au moins 10 ans	Éric Hitti				Mécanique des fluides	
Depuis longtemps	Florence Lejeune				Électromagnétisme	
Depuis longtemps	Florence Lejeune				Dosimétrie, radioprotection et grossesse	
Depuis longtemps	Florence Lejeune				Ultrasons et doppler	
Depuis longtemps	Autre enseignant	Xavier Palard-Novello			Ondes électromagnétiques	
Depuis longtemps	Autre enseignant	Xavier Palard-Novello			Résonance magnétique nucléaire (RMN)	
Depuis longtemps	Étienne Garin				Interactions des RI avec la matière	
Depuis longtemps	Étienne Garin		Chapitre supprimé		Laser	
Depuis longtemps	Autre enseignant	Antoine Girard		Étienne Garin	États de la matière	
Depuis quelques années	Olivier Delalande				Radioactivité	
Depuis longtemps	Paul Sauleau				Bases neuronales	Physiologie
Depuis longtemps	François Carré		Paul Sauleau		Milieu intérieur	
Depuis longtemps	François Carré		Chapitre supprimé	Paul Sauleau	Bioénergétique	
Depuis longtemps	François Carré		Paul Sauleau		Thermorégulation	
Depuis longtemps	Étienne Garin				Transferts passifs à travers une membrane	
Inconnu	Autre enseignant	Chapitre supprimé			Neuromédiateurs	

MÉTHODOLOGIE

UN POINT PRIMORDIAL : LA COMPRÉHENSION

Il est inutile d'apprendre par cœur avant d'avoir compris le cours : ça sera imbuvable pour vous et en plus ça sera contre-productif puisque vous serez perdu si un QCM le jour de l'examen est formulé un peu différemment. L'avantage avec l'UE 6 est que **tous les mécanismes sont logiques et compréhensibles**, même si ça peut requérir du temps de les assimiler. Ne t'inquiète pas ! Si tu n'arrives pas à bien comprendre avec le cours, n'hésite pas à utiliser d'autres supports comme Internet pour t'y aider (voir plus bas).

Les profs mettent de plus en plus de questions de cours, et ce même dans les chapitres à calculs. Il est donc important de revoir la théorie. Même si elle ne tombe pas, c'est un très bon moyen pour vous rappeler comment fonctionnent les phénomènes derrière les formules (et peut même servir à vous les remettre en tête si vous les oubliez !).)

Et dans tous les cas, le tutorat est là pour répondre à tes questions :))

LES QCMS À CALCUL

Comptent pour environ la moitié des points de l'épreuve : **à ne pas négliger**.

Comment répondre à ces QCMs ?

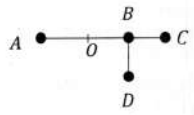
- 1ère étape : **vérifier la concordance des unités**

Exemple - concours 2018-2019 :

→ Dans ce QCM, l'unité des propositions A à E est fausse : il aurait fallu mettre C.m au lieu de $C.m^{-1}$. La bonne réponse était donc la F. Attention à ne pas tomber dans ces pièges ! En plus, ça peut vous faire gagner du temps le jour de l'épreuve pour éviter de s'embêter à calculer les valeurs.

Soient 4 charges positionnées sur A, B, C, et D suivant le schéma ci-contre. Sachant que OA = OB = BD = BC = 10^{-10} m, calculer le moment dipolaire généré par les 4 charges à $0{,}1.10^{-26}$ C.m^{-1} près.

Données : $q_A = +1.10^{-16}$ C $q_B = -1.10^{-16}$ C
$q_C = +1.10^{-16}$ C $q_D = -1.10^{-16}$ C
$k_0 = 1/4\pi\varepsilon_0 = 9.10^9$ N.m^2.C^{-2}



A. $1{,}4.10^{-26}$ C.m^{-1}
B. 10^{-26} C.m^{-1}
C. 2.10^{-26} C.m^{-1}
D. 4.10^{-26} C.m^{-1}
E. $2{,}8.10^{-26}$ C.m^{-1}
F. Toutes les propositions précédentes sont inexactes.

- 2ème étape : **lister toutes les valeurs données dans l'énoncé** (attention : certaines peuvent être inutiles pour répondre à la question)

Ex : ici je connais la distance OA, OB, BD, BC et les charges de chaque point A, B, C, D, ainsi que la constante k0

- 3ème étape : **définir quelles formules utiliser et les valeurs nécessaires pour calculer**

Ex : pour calculer le moment dipolaire, il me faut la distance entre le barycentre des charges positives et le barycentre des charges négatives, ainsi que la somme des charges d'un des pôles (positif ou négatif) → je peux le trouver !

- 4ème étape : **applications numériques, en vérifiant au préalable la bonne conversion des unités (et les puissances de 10…)**

Ex : $p = (G - G+) \times \Sigma q$ → distance en mètre (m) et charge en Coulomb (C)

- 5ème étape : **retrouver le ou les bons items, en prenant garde qu'il n'y ait pas 2 items identiques**

Ex - puissances de 10 et préfixes qui se compensent : $1{,}7\ m = 1{,}7 \cdot 10^{-3}\ km$

Plus vous ferez d'exercices, plus vous prendrez d'assurance et plus vous passerez rapidement sur ces étapes, que vous ferez machinalement. Mais au début, il peut être utile de revenir à une méthode détaillée.

LES QCMS À "PAR COEUR"

Comptent pour l'autre moitié des points : **à ne pas négliger non plus !**

Ici, pas de secret : il faut avoir appris, et surtout **compris** son cours. Les profs, sauf exception, ne cherchent pas à vous soutirer les petits détails, mais voir si vous avez compris le cours dans l'ensemble.

Faîtes le plus de QCMs possibles : à force, vous prendrez l'habitude, vous ne tomberez plus dans les pièges fréquents, et vous retrouverez même des QCMs similaires d'une année sur l'autre entre les annales…

OUTILS À UTILISER (SANS MODERATION)

- **YouTube** : vidéos d'explications de cours, de visualisation de phénomènes (rayonnements ionisants et RMN ++) ...
- **Wikipédia** : chercher des informations complémentaires pour mieux comprendre
- **ChatGPT** (et oui !) : peut vous aider à trouver des réponses à vos questions, des moyens mnémotechniques, vous créer des QCMs (!!)... Un outil hyper intéressant pour rendre vos révisions encore plus efficaces. Attention cependant, pour les sujets pointus ou qui demandent une interprétation, il se peut qu'il soit moins performant. Mieux vaut donc vérifier plusieurs sources sûres si vous n'êtes pas convaincu de son explication.
- **Sites Internet divers** : pour la RMN (voir chapitre concerné) ...
- Des livres, manuels scolaires, vos cours de lycée (pour des rappels) ...

Attention : seuls les cours dispensés par les professeur.es à la fac sont susceptibles de tomber à l'examen ! Donc il est inutile d'apprendre des informations supplémentaires que vous auriez vu sur d'autres supports.

LA MATIERE QUI FAIT LA DIFFERENCE AU S2

Après m'être longuement renseigné auprès de nombreux étudiants ayant passé le PASS sur plusieurs années, j'en ai conclu que c'est réellement cette matière qui fait la différence au second semestre. En fin de compte, il est important de travailler les autres matières sérieusement, mais avec le mois de révision qui est très long et le rythme moins chargé du S2, tout le monde obtient généralement de bonnes notes, particulièrement en anatomie. Cela est un peu moins vrai pour les spécialités, mais c'est bien en UE6 que les notes sont, en général, les moins bonnes car il s'agit d'une matière difficile qui demande de la rigueur, mais avec de l'entraînement régulier, aucun doute sur le fait que vous allez y arriver. D'où l'importance cruciale de travailler cette UE pour se démarquer lors de la sssssélection. Sur ce bon courage, le plus dur est derrière vous.

METHODOLOGIE - UTILISATION DE LA CALCULATRICE

On va se baser ici sur le modèle **TI-36X Pro**.

MODE DEGRES

Pour résoudre les exercices impliquant des **angles** et surtout les outils **cosinus/sinus/tangente**, il est impératif que votre calculatrice soit en mode degrés.

Pour cela, il faut faire :

on → mode → DEG → enter → 2nd → mode

MODE SCIENTIFIQUE

Le mode scientifique peut être utile quand les valeurs utilisées sont de grandes valeurs, avec notamment des puissances de 10. Le mode scientifique correspond à l'écriture du résultat sous la forme suivante :

$a.10^Y$ avec $1 \leq a < 10$

Sous cette forme, c'est donc plus facile de donner un résultat, et cela réduit le risque d'erreur liée aux puissances de 10.

Pour mettre sa calculatrice en mode scientifique, il faut faire :

on → mode → SCI → enter → 2nd → mode

NB : le 'E' donné lors du résultat correspond à 10^x. Ex : 1,903594407E1 → $1,904.10^1$

UTILISATION DES PUISSANCES DE 10

Il est important de bien maîtriser les puissances de 10 et de bien les noter quand on rentre des valeurs dans la calculatrice car ce sont des pièges fréquents de QCM.

Ex : on veut noter la célérité de la lumière dans le calcul. Or $c = 3.10^8$ m.s^{-1}

Il y a trois manières de faire :

Utilisation de la touche x^x

On fait : **3 → x** *("fois")* **→ 10 →** x^x *(au-dessus de* x^2*)* **→ 8** et on poursuit notre calcul

Utilisation de la touche e^x 10^x

On fait : **3 → x → e^x 10^x → e^x 10^x → 8** et on poursuit le calcul

Utilisation de la touche EE

On fait : **3 → EE → 8** et on poursuit le calcul

CONSTANTES ET UNITES

Dans la calculatrice, se trouve un certain nombre de constantes qui pourront vous être utiles (notamment la célérité de la lumière dans le vide (celle-ci est à connaître et c'est sans doute plus rapide que d'aller la chercher dans la calculatrice), la constante de Planck…).

Les constantes peuvent être retrouvées dans : **on → 2nd → (**

Juste à côté, on trouve les unités dans lesquelles ces constantes sont exprimées (dans UNITS).

STOCKAGE

Quand vous faites des calculs, vous aurez besoin de réutiliser certaines valeurs, trouvées par l'intermédiaire d'autres calculs. La fonction stockage se révèle alors intéressante. Elle permet de « sauvegarder » une valeur sous une inconnue et il suffit ensuite de remettre cette inconnue directement dans le calcul pour ré-utiliser la valeur. Cela permet de ne pas faire d'erreurs d'approximation, car un arrondi puis un autre et encore un autre peuvent changer le résultat final.

Pour ce faire, quand on vient d'obtenir le résultat voulu, qu'on veut stocker sous l'inconnue x on fait :

sto→ puis x

On peut utiliser d'autres inconnues : **y, z, t, a, b, c, d…**

Si vous voulez enlever toutes les valeurs associées à ces inconnues, il suffit de faire : **2nd → x**

Si vous voulez voir toutes les valeurs associées à vos inconnues : **2nd → sto**

INSERER DES VALEURS

Si en saisissant un calcul vous avez oublié une valeur, pas de panique vous n'êtes pas obligé de tout recommencer :

- Avec les **flèches**, remontez vers le haut pour sélectionner le calcul en question
- Faites **Enter**
- Toujours avec les **flèches**, retournez en arrière pour remonter au niveau de l'erreur ou de la modification à faire
- **2nd → delete**
- Faites la modification souhaitée
- **Enter**

Cela peut paraître accessoire, mais c'est un gain de temps non négligeable pour l'épreuve d'UE6 qui peut se jouer sur la rapidité.

NOTES PERSONNELLES

RAPPELS - OUTILS MATHEMATIQUES

SAVOIR MANIPULER UNE FORMULE

C'est la **base** pour parvenir à répondre aux **QCMs à calcul** : en plus, savoir manipuler une formule dans tous les sens vous évitera d'avoir à apprendre toutes les formes différentes d'une relation.

Ex : au lieu d'apprendre que v = d/t, d = v*t, et t = d/v → apprenez v = d/t et vous saurez retrouver les autres.

Principe : comme quand on a appris à résoudre des équations, on additionne/ soustrait/ multiplie/ divise toujours par la même chose des 2 côtés de l'égalité !

> *Ex : 2x + 5 = 3 → je cherche à isoler x*
> *J'enlève 5 de chaque côté : 2x +5 (-5) = 3 (-5) (l'égalité est respectée)*
> *J'obtiens : 2x = 3 - 5 = -2*
> *Je divise par 2 des 2 côtés : 2x/2 = -2/2 soit x = -1 → je vérifie en remplaçant x par -1 :*
> *2 x (-1) + 5 = (-2) + 5 = 3 → c'est bon !*

On peut maintenant faire la même chose en remplaçant les chiffres par des lettres (comme dans les formules) :

> *Ex : ab + c = d → je cherche à exprimer b en fonction de a, c et d*
> *Même mécanisme : ab + c (-c) = d (-c) soit ab = d-c*
> *Je divise par a : ab/a = (d-c)/a soit b = (d-c)/a*

Principales opérations utiles pour manipuler les formules :

Ex : j'utilise l'addition pour annuler une soustraction, et inversement j'utilise la soustraction pour annuler une addition

Addition	Soustraction
Multiplication	Division
Exponentiel : e^x	Logarithme népérien : ln(x) (PAS *log* !)
Carré : x^2 (ou x^n)	Racine carrée : $\sqrt{x}$ (ou $\sqrt[n]{x}$)
Sin / Cos / Tan	Sin-1 (ou arcsin) / Cos-1 / Tan-1

Entraînements :

- $PV = nRT$: isoler P ?
- $\lambda = c/f$: isoler f ?
- $P_A + \frac{1}{2}.\rho.v_A^2 + \rho.g.h_A = P_B + \frac{1}{2}.\rho.v_B^2 + \rho.g.h_B$: isoler v_a ?
- $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r}}$: isoler ε_r ?
- $\frac{n-}{n+} = e^{-\frac{\Delta E}{kT}}$: isoler ΔE ?
- $Mz = M_0 \cdot (1 - e^{-TR/T1})$: isoler T1 ?
- $n_1 \cdot sin(i_1) = n_2 \cdot sin(i_2)$: isoler i_2 ?

Corrections :

- $PV = nRT \Leftrightarrow P \times V = n \times R \times T \Leftrightarrow \frac{P \times V}{V} = \frac{n \times R \times T}{V} \Leftrightarrow P = \frac{nRT}{V}$

- $\lambda = \frac{c}{f} \Leftrightarrow \lambda \times f = \frac{c}{f} \times f \Leftrightarrow \lambda f = c \Leftrightarrow \frac{\lambda \times f}{\lambda} = \frac{c}{\lambda} \Leftrightarrow f = \frac{c}{\lambda}$

- $P_A + \frac{1}{2}.\rho.v_A^2 + \rho.g.h_A = P_B + \frac{1}{2}.\rho.v_B^2 + \rho.g.h_B$

$$\Leftrightarrow P_A + \frac{1}{2}.\rho.v_A^2 + \rho.g.h_A - P_A - \rho.g.h_A = P_B + \frac{1}{2}.\rho.v_B^2 + \rho.g.h_B - P_A - \rho.g.h_A$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{2}.\rho.v_A^2 = P_B - P_A + \rho.g.h_B - \rho.g.h_A + \frac{1}{2}.\rho.v_B^2$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{2}.\rho.v_A^2 \times 2 \times \frac{1}{\rho} = [P_B - P_A + \rho.g \cdot (h_B - h_A) + \frac{1}{2}.\rho.v_B^2] \times 2 \times \frac{1}{\rho}$$

$$\Leftrightarrow v_A^2 = [P_B - P_A + \rho.g \cdot (h_B - h_A) + \frac{1}{2}.\rho.v_B^2] \times \frac{2}{\rho}$$

$$\Leftrightarrow v_A = \sqrt{[P_B - P_A + \rho.g \cdot (h_B - h_A) + \frac{1}{2}.\rho.v_B^2] \times \frac{2}{\rho}}$$

- $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r}} \Leftrightarrow v \times \sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r}} \times \sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r} \Leftrightarrow c = v \times \sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r} \Leftrightarrow \sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r} = \frac{c}{v}$

$$\Leftrightarrow \sqrt{\varepsilon_r} \cdot \sqrt{\mu_r} = \frac{c}{v} \Leftrightarrow \sqrt{\varepsilon_r} = \frac{c}{v} \times \frac{1}{\sqrt{\mu_r}} \Leftrightarrow \varepsilon_r = (\frac{c}{v \cdot \sqrt{\mu_r}})^2$$

- $\frac{n-}{n+} = e^{-\frac{\Delta E}{kT}} \Leftrightarrow ln(\frac{n-}{n+}) = ln(e^{-\frac{\Delta E}{kT}}) \Leftrightarrow -\frac{\Delta E}{kT} = ln(\frac{n-}{n+}) \Leftrightarrow -\frac{\Delta E}{kT} \times kT = ln(\frac{n-}{n+}) \times kT$

$$\Leftrightarrow \Delta E = -ln(\frac{n-}{n+}) \times kT$$

- $Mz = M_0 \cdot (1 - e^{-TR/T1}) \Leftrightarrow (1 - e^{-TR/T1}) = \frac{Mz}{M0} \Leftrightarrow -e^{-TR/T1} = \frac{Mz}{M0} - 1$

$$\Leftrightarrow e^{-TR/T1} = 1 - \frac{Mz}{M0} \Leftrightarrow ln(e^{-TR/T1}) = ln(1 - \frac{Mz}{M0}) \Leftrightarrow \frac{-TR}{T1} = ln(1 - \frac{Mz}{M0})$$

$$\Leftrightarrow \frac{T1}{TR} = \frac{-1}{ln(1 - \frac{Mz}{M0})} \Leftrightarrow T1 = \frac{-TR}{ln(1 - \frac{Mz}{M0})}$$

- $n_1 \cdot sin(i_1) = n_2 \cdot sin(i_2) \Leftrightarrow sin(i_2) = \frac{n_1 \cdot sin(i_1)}{n_2} \Leftrightarrow i_2 = sin^{-1}(\frac{n_1 \cdot sin(i_1)}{n_2})$

SAVOIR CONVERTIR DES UNITES / SAVOIR UTILISER LES PUISSANCES DE 10

→ Autre point de base pour ne pas se faire avoir dans les unités des QCMs (et ne pas se planter dans le calcul) !

femto	pico	nano	micro	milli	centi	déci	unité	déca	hecto	kilo	méga	giga	téra
f	p	n	µ	m	c	d	-	da	h	k	M	G	T
10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	$\mathbf{10^0 = 1}$	10^1	10^2	10^3	10^6	10^9	10^{12}

Attention : quand l'unité est au carré, "chaque colonne se divise en 2". Ex : 1 cm² n'est pas égal à 0,01 m² (10^{-2}) mais à 0,0001 m² (10^{-4}) ! Idem quand l'unité est au cube, il y a 3 colonnes. Ex : $1m^3$ n'est pas égal à 10 dm^3 mais 1000 dm^3. Si vous avez un doute, essayez de vous rapporter aux mètres, et représentez-vous des superficies de jardin, des volumes remplis d'eau…

A connaître : 1 dm³ = 1 L (imaginez un cube de 10x10x10 cm)

Exercice - convertir :

- 37 km en µm
- 737 hPa en dPa
- $8{,}9 \times 10^{-7}$ nL en ML
- $4{,}7 \times 10^4$ Gm³ en L

Corrections :

- 37 km en µm : pour aller des km (10^3) aux µm (10^{-6}), on a une puissance de 10^9.
  Donc, 37 km = 37 x 10^9 µm (imaginez qu'il faut plein plein de "micros" pour faire un "kilo")
- 737 hPa en dPa : pour aller des hPa (10^2) aux dPa (10^{-1}), on a une puissance de 10^3
  Donc, 737 hPa = 737 x 10^3 dPa
- 8,9 x 10^{-7} nL en ML : pour aller des nL (10^{-9}) aux ML (10^6), on a une puissance de 10^{15}
  Donc, $8{,}9 \times 10^{-7}$ nL = $8{,}9 \times 10^{-7} \times 10^{-15}$ ML = $8{,}9 \times 10^{-22}$ ML
- 4,7 x 10^4 Gm³ en L : d'abord passer les Gm³ en dm³ (pour pouvoir convertir directement en L)
  Pour passer des Gm³ (10^9) aux dm³ (10^{-1}), on a une puissance de 10^{30} (10^{10x3} : car 3 colonnes, on est en m³ !).
  Donc $4{,}7 \times 10^4$ Gm³ = $4{,}7 \times 10^4 \times 10^{30} = 4{,}7 \times 10^{34} dm^3 = 4{,}7 \times 10^{34}$ L

Conversion à double unité – exemples :

- Convertir 25 km/s en m/s : quand la seule unité qui change est au numérateur, il suffit de convertir 25 km en m. Donc 25 km/s = 25000 m/s
- Convertir 25 km/s en km/h. Commencez par raisonner par logique dans votre tête : "si je parcours 25 km en une seconde, combien de kilomètres je parcourrais en une heure ?". Il y a 3600 secondes dans une heure, donc je parcourrais 3600 fois plus de km.
  Soit 25 km/s = 25 x 3600 km/h = 90000 km/h
- Convertir 25 km/s en m/h : il suffit de refaire ces deux étapes successivement, en commençant par le numérateur puis le dénominateur.
  Soit 25 km/s = 25000 m/s = 25000 x 3600 m/h = 90 000 000 m/h

NB : pour aller plus vite, et comme c'est une conversion qui revient souvent dans les exercices, il existe une relation pour passer directement des m/s au km/h.

- $Vitesse\ en\ km/h\ =\ 3{,}6 \times Vitesse\ en\ m/s$
- $Vitesse\ en\ m/s\ =\ Vitesse\ en\ km/h \div 3{,}6$

Cette méthode est valable pour toutes les conversions à double unité !

Exercice : convertir 47,8 kg/m3 en g/L

Correction :

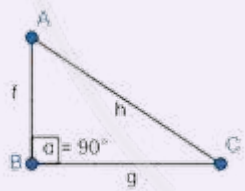
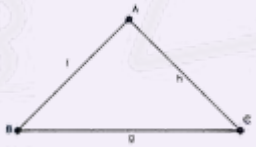
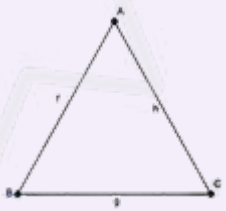
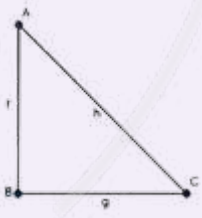
- Convertir 47,8 kg/m^3 en g/m^3 : 47,8 kg/m^3 = 47,8 x 10^3 g/m^3
- Convertir 47,8 x 10^3 g/m^3 en g/dm^3 (car dm^3 = L !) : il y a 47,8 x 10^3 grammes dans un mètre cube, donc dans un décimètre cube, il y en a 1000 fois moins (car 1 m^3 = 1000 dm^3).
  Donc 47,8 x 10^3 g/m^3 = (47,8 x 10^3) / 10^3 = 47,8 g/dm^3 = 47,8 g/L

Autre conversion pratique pour les masses volumiques : **1 kg/m^3 = 1 g/L**

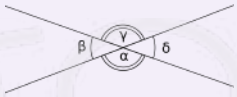
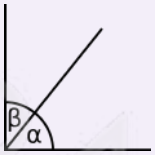
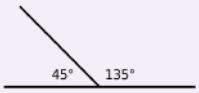
SAVOIR UTILISER LES REGLES DE TRIGONOMETRIE

La majorité de ces outils vous sera utile en optique géométrique, mais aussi parfois en mécanique et électricité, ou en mécanique des fluides.

Les triangles

Triangle rectangle	Triangle isocèle	Triangle équilatéral	Triangle isocèle rectangle
			
Le triangle ABC est rectangle en B car l'angle ABC est égal à 90°	Le triangle ABC est isocèle en A car les côtés AB et AC sont égaux	Le triangle ABC est équilatéral car les côtés AB, AC, et BC sont égaux	Le triangle ABC est isocèle rectangle en B car l'angle ABC est égal à 90° et car les côtés AB et BC sont égaux
La somme des angles dans un triangle fait toujours 180° (même dans un triangle quelconque)			
	Les angles ABC et BCA sont donc égaux !	Tous les angles sont donc égaux à 60° !	Les angles BAC et BCA sont donc égaux à 45° !

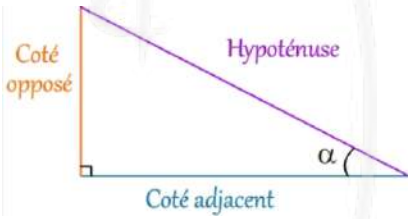
Angles particuliers

Angles alternes/internes	Angles correspondants	Angles opposés par le sommet	Angles complémentaires	Angles supplémentaires
				
Soient a et b 2 droites parallèles, les angles α et β sont égaux	Soient a et b 2 droites parallèles, les angles α et β sont égaux	Soient 2 droites sécantes, les angles formés par leur intersection sont égaux 2 à 2 : β= δ et α = γ	Soit un angle droit, la somme des angles le composant est égale à 90° : α + β = 90°	Soit une droite coupée par un segment, la somme des 2 angles de part et d'autre de ce segment fait 180°

→ *Pour trouver des valeurs d'autres angles dans la figure (notamment en optique ++)*

Sinus/Cosinus/Tangente

→ uniquement applicable dans un triangle rectangle !!!



Le cosinus/sinus/tangente d'un angle se calcule à l'aide de la longueur des côtés du triangle.

Soit l'angle α :

$$cos(\alpha) = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{hypoténuse}} \qquad sin(\alpha) = \frac{\text{côté opposé}}{\text{hypoténuse}} \qquad tan(\alpha) = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}}$$

(Le fameux CAH/SOH/TOA)

→ *On se sert souvent de ces formules pour* ***calculer la longueur d'un côté, connaissant l'angle***

Le cos^{-1}/sin^{-1}/tan^{-1} (ou arccos…) se trouve en faisant l'inverse de la valeur de l'angle

$$\alpha = cos^{-1}\left(\frac{\text{côté adjacent}}{\text{hypoténuse}}\right) \qquad \alpha = sin^{-1}\left(\frac{\text{côté opposé}}{\text{hypoténuse}}\right) \qquad \alpha = tan^{-1}\left(\frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}}\right)$$

→ *On se sert souvent de ces formules pour* ***calculer la valeur d'un angle, connaissant la longueur des côtés du triangle***

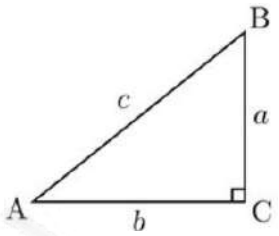
Théorème de Pythagore

→ uniquement applicable dans un triangle rectangle !!!

La somme des carrés des 2 plus petits côtés est égale au carré du plus grand côté (hypoténuse).

Soit le triangle ABC rectangle en C, on a :

$$AC^2 + BC^2 = AB^2 \text{ ou } a^2 + b^2 = c^2$$

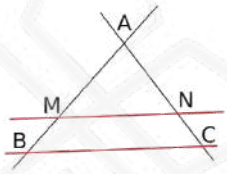


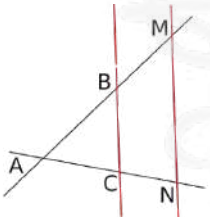
→ *On peut retrouver la longueur d'un côté si on connaît celle des 2 autres !*

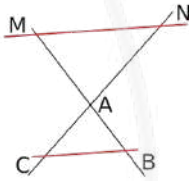
Théorème de Thalès

→ uniquement applicable pour 2 triangles semblables (possédant les mêmes valeurs d'angles)

Comment reconnaître 2 triangles semblables ? Ils doivent avoir : 1 sommet commun et 2 côtés parallèles. Ex : ces triangles sont semblables







On a alors :

$$\frac{AM}{AB} = \frac{AN}{AC} = \frac{MN}{BC}$$

→ *On peut alors retrouver la longueur d'un côté si on connaît la longueur de 3 autres côtés des triangles !*

AIRES ET VOLUMES

AIRES		VOLUMES	
Triangle	$A = \frac{1}{2} \times base \times hauteur$	**Cube**	$V = côté^3$
Carré	$A = côté \times côté$	**Pavé**	$V = longueur \times largeur \times hauteur$
Rectangle	$A = longueur \times largeur$	**Cylindre**	$V = A_{base} \times hauteur$
Cercle	$A = \pi \times rayon^2$	**Prisme**	$V = A_{base} \times hauteur$
Trapèze	$A = \frac{(petite\ base + grande\ base) \times hauteur}{2}$	**Pyramide/cône**	$V = \frac{1}{3} \times A_{base} \times hauteur$
Sphère	$A = 4\pi \times rayon^2$	**Boule**	$V = \frac{4}{3} \times \pi \times rayon^3$

→ Le calcul des aires pourra être utile en mécanique, électricité et en optique

→ Le calcul des volumes sera notamment utile en mécanique des fluides

SAVOIR UTILISER DES VECTEURS

En physique, un vecteur est une quantité qui a à la fois une **magnitude** (ou grandeur) et une **direction**. Les vecteurs sont utilisés pour **représenter des grandeurs physiques** telles que la force, la vitesse, l'accélération, le déplacement, etc.

Imaginons que tu veuilles décrire le déplacement d'une voiture. Au lieu de dire simplement "la voiture s'est déplacée de 50 mètres", tu pourrais utiliser un vecteur pour indiquer non seulement la distance parcourue (la magnitude), mais aussi la direction dans laquelle la voiture s'est déplacée.

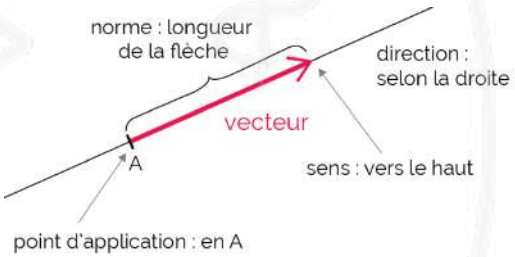
Par exemple, si la voiture a parcouru 50 mètres vers le nord, tu pourrais représenter ce déplacement par un vecteur de 50 mètres dirigé vers le nord. Si elle s'est déplacée vers l'est, le vecteur pointerait vers l'est. Cela permet une description plus complète du mouvement.

Les vecteurs sont également utilisés pour **représenter des forces**. Une force n'est pas seulement une quantité de "poussée" ou de "traction", elle a aussi une direction. Par conséquent, les forces sont souvent représentées par des vecteurs pour indiquer la **direction dans laquelle la force agit** et son **intensité**.

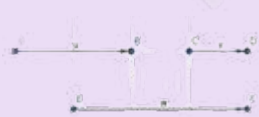
Ces outils vous seront surtout utiles en mécanique, en électricité, et en mécanique des fluides, mais permettent aussi de comprendre plein d'autres phénomènes dans d'autres chapitres (électromagnétisme, RMN, transferts membranaires).

<u>Un vecteur est défini par 4 caractéristiques :</u>

- Son **point d'application** (son origine)
- Sa **direction** (son orientation)
- Son **sens** (ex : pour un vecteur perpendiculaire au plan, vers le haut, vers le bas…)
- Sa **norme** (= sa longueur)

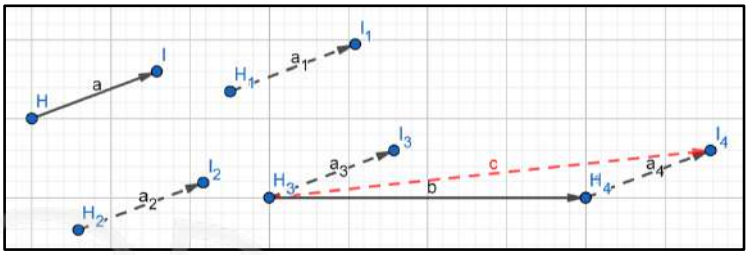


Dans les exercices vous pourrez avoir besoin d'additionner des vecteurs entre eux, pour obtenir un vecteur résultant, et ainsi calculer sa norme. Ex : je veux additionner les vecteurs v et u pour obtenir le vecteur résultant w :

Même direction		**Direction différente**	
Même sens	Sens différents	Avec angle droit	Sans angle droit
			
w = u + v	w = u - v	Théorème de Pythagore : $w = \sqrt{(u^2+v^2)}$	On peut diviser le triangle formé en 2 triangles rectangles, et si on connaît l'angle formé par u et v, on utilise les formules de trigonométrie pour trouver la norme de w

NB : les vecteurs sont des outils qui peuvent se "déplacer" autant que voulu, à condition qu'ils gardent leur direction, sens et norme (= le point d'application peut changer).

Ex : je peux "déplacer" le vecteur a pour qu'il se retrouve avec la même origine que le vecteur b, et ainsi trouver plus facilement le vecteur résultant (et calculer sa norme).



ARRONDIR UNE ECRITURE DECIMALE

- Si c'est votre résultat final : arrondissez au même nombre de décimales que les items. Ex : votre calculatrice vous donne 1,43284867 et les items comportent une décimale → arrondissez à 1,4
- Si c'est un résultat intermédiaire, qu'il faut utiliser dans des calculs ultérieurs, soyez le plus précis possible, vous pouvez aller jusqu'à 3 ou 4 décimales (1,433 ou 1,4328), ou bien reporter carrément le résultat en faisant un copier-coller dans votre nouvelle formule.

Rappel : on arrondit au chiffre en-dessous si $0 \leq x < 5$ et au chiffre au-dessus si $5 \leq x < 10$.

Ex : arrondir 1,55 à une décimale revient à arrondir à 1,6 (et pas 1,5 !). De la même façon, arrondir 1,5 à l'unité revient à arrondir à 2 (et pas à 1 !).

NOTES PERSONNELLES

CHAPITRE 1 : NOTIONS DE BASE

I - LES UNITES

A. Système International

Il existe 7 unités appartenant au **Système International** :

- Le mètre (m)
- Le Kilogramme (kg)
- La seconde (s)
- L'ampère (A)
- Le degré Kelvin (K) ⇒ T°(K)=T°(C) + 273
- La mole (mol)
- La candela (cd)

Il est indispensable de connaître les unités du **Système International** car elles sont utilisées dans **toutes** les formules ! Il faudra ainsi être capable de facilement les convertir (gain de temps au concours)

B. Les unités dérivées

Grandeur	Unité	Symbole
Force	Newton	$N=m.kg.s^{-2}$
Travail-Énergie	Joule	J=N.m
Puissance	Watt	$W=J.s^{-1}$
Masse volumique	Kilogramme par mètre cube	$Kg.m^{-3}$
Pression	Pascal	$Pa=N.m^{-2}$
Tension superficielle	Newton par mètre	$N.m^{-1}$
Viscosité	Pascal seconde	Pa.s
Potentiel électrique	Volt	$V=W.A^{-1} = m^2.kg.s^{-3}A^{-1}$
Résistance	Ohm	$\Omega=VA^{-1}$
Charge électrique	Coulomb	C=s.A

Conseil : Vaut mieux **comprendre** les unités plutôt que de les apprendre, les conversions **unités SI** ⇒ **unités dérivées** ont un sens

Par exemple, le **Pascal** est l'unité de la **pression** or on sait qu'une pression se visualise par une **force** qui s'applique sur une **surface** donc ça équivaut à des $N.m^{-2}$

Pour d'autres, on peut utiliser la **formule** : Masse volumique en kilogramme par mètre cube car sa formule est $\rho = \frac{m}{v}$

C. Les multiples et sous-multiples

10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10	10^{3}	10^{6}	10^{9}	10^{12}
Pico	Nano	Micro	Milli	Déca	Kilo	Méga	Giga	**Téra**

Les unités possèdent des multiples et sous-multiples, les plus importants et utiles pour la première année sont dans ce tableau.

Derniers conseils : Les unités seront importantes dans tous les chapitres de votre PASS et dans votre vie (pour certains), on vous conseille donc de les maîtriser et de savoir les convertir assez facilement et rapidement. De plus, il n'est pas rare pour un professeur de caler un petit piège au niveau des unités donc lisez bien les items.

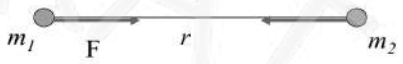
II - MECANIQUE

A. Les forces

Force de gravitation (N) :

Un corps M_1 de **masse** m_1 exerce sur un autre corps M_2, de **masse** m_2 distant de **r** de M_1, une force **d'attraction** d'intensité : $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$ où la constante gravitationnelle $G = 6{,}67.10^{-11}$

=> M_2 exerce la même force sur M_1



Force de pesanteur (poids en N) :

Cas particulier de la force de gravitation : le poids $P = mg$ d'une masse m résulte de l'attraction qu'exercent entre elles la masse m et la masse M_T de la terre de rayon R_T

$|\vec{P}| = m|\vec{g}| = G\frac{mM_T}{r^2} = G\frac{mM_T}{(R_T+z)^2}$ => avec z l'altitude de la masse m

Le champ de gravitation (g en $N.kg^{-1}$ ou $m.s^{-2}$) :

Formule pour le trouver :

$g = G\frac{M_T}{(R_T+z)^2}$ donc au sol : $g_0 = G\frac{M_T}{{R_T}^2}$

Le champ de gravitation sera beaucoup utilisé, il vaut $g \simeq 10$ $m.s^{-2}$ (il peut être donné dans les formules, dans ce cas ça sera plus précis)

B. Quantité de mouvement

La **quantité de mouvement** d'un point matériel de masse m et de vitesse $\vec{v}$ est :

$\overrightarrow{p} = m\vec{v}$

Pour un système de N points matériels de masse m_i et de vitesse $\overrightarrow{vi}$, la quantité de mouvement totale est :

$\overrightarrow{\boldsymbol{p}} = \sum_1^N \overrightarrow{\boldsymbol{pi}} = \sum_i m_i \overrightarrow{\boldsymbol{vi}}$

C. Loi de Newton

Dans un référentiel d'inertie, un **système isolé** (qui n'est soumis à aucune force extérieure et n'est soumis qu'aux forces intérieures entre points matériels du système), la quantité de mouvement totale $\overrightarrow{p}$ est constante :

$\frac{d\overrightarrow{p}}{dt} = 0$

Si la quantité de mouvement d'un point matériel **varie** au cours du temps, cela veut dire que cette particule n'est pas isolée. Elle est soumise à une **Force** égale à la **variation** de la quantité de mouvement par unité de temps :

$\overrightarrow{F} = \frac{d\overrightarrow{p}}{dt} = m\vec{y}$

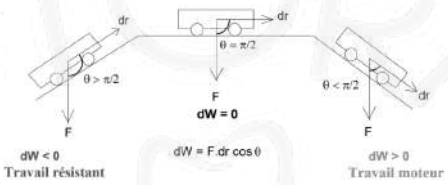
D. Travail d'une force

Travail élémentaire d'une force $\overrightarrow{F}$ lors d'un déplacement élémentaire d$\vec{r}$:

$$dW = \overrightarrow{F}.d\vec{r} = F.dr.cos(\overrightarrow{F},d\vec{r}) = F.dr.cos\theta$$

Souvent, dans les exercices vous aurez un déplacement défini par des points :

$$W = \vec{F}.\overrightarrow{AB} = F.AB.cos\theta$$



E. Énergies

1. Énergie cinétique

Une masse m de vitesse v possède une énergie cinétique déterminée par la formule :

$$Ec = \frac{1}{2}mv^2$$

La variation d'énergie cinétique (ΔEc) d'un corps durant une durée (Δt) est égale à la **somme des travaux des forces** appliquées à ce corps durant Δt :

ΔEc = Ec_2 - Ec_1 = $\sum W_{1\to2}(\vec{F})$

2. Énergie potentielle de pesanteur

Un corps de $masse\ m$ situé à une hauteur h par rapport à un référentiel possède une énergie potentielle de pesanteur : $Epp = mgh$

> On peut donc introduire la notion d'**Énergie TOTALE** (E_T) qui, en l'**absence de forces de frottements** sera **constante**, elle se définit par la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie de pesanteur : $E_T = E_C + E_P$

F. Forces de frottements

Les forces de frottement **s'opposent** au mouvement du corps :

$\overrightarrow{F} = -\alpha.\overrightarrow{v}$ => cette formule module les frottements, le "-" montre bien que le vecteur représentant les forces de frottement est opposé au mouvement $\vec{v}$

On aura deux formules selon la vitesse v

=> v < 5 m.s^{-1}

$\boldsymbol{F = -k.n.v}$

k : coefficient caractéristique de la géométrie du solide

η : coefficient de viscosité du fluide (dépend de la température)

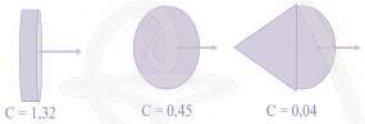
=> 5 m.s^{-1}< v < 20 m.s^{-1}

$\boldsymbol{\overrightarrow{F} = -C.\frac{1}{2}p.S.\vec{v}^2}$

p : masse volumique du fluide

S : aire du solide selon la direction perpendiculaire à la vitesse

C : coefficient de traînée caractérisant la géométrie du solide



III - ÉLECTROSTATIQUE

A. Force électrostatique

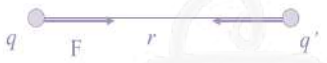
La force électrostatique est une force qui s'exerce entre deux charges (représentée par un vecteur), elle s'exprime en **newton (N)**.

> **Loi de Coulomb** : **L'intensité** de la force électrostatique entre deux charges électriques est **proportionnelle** au produit des deux charges et est **inversement proportionnelle** au carré de la distance entre les deux charges

Norme de cette force électrostatique : $F = \frac{kqq'}{r^2}$ (toujours positive car c'est seulement la norme du vecteur)

Force soit :

- **Attractive** : les deux charges sont de signe **différent**
- **Répulsive** : les deux charges sont de **même** signe



k -> constante de Coulomb (sera donnée dans les énoncés) :

Dans le vide : $k_0 = \frac{1}{4\Pi\varepsilon_0} = 9.10^9$

Dans un milieu : $k = \frac{1}{4\Pi\varepsilon}$

B. Champ électrique

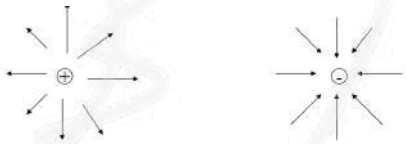
C'est la **force électrique** exercée sur une charge positive unitaire : $\vec{F} = q\vec{E}$

Une charge q créée un champ électrique $\vec{E}$ en un point M à une distance r tel que : $\left|\overrightarrow{E(M)}\right| = \frac{1}{4\Pi\varepsilon_0}\frac{|q|}{r^2} = k_0\frac{|q|}{r^2}$

Attention à bien prendre la **valeur absolue** de la **charge** (en coulomb) pour la norme du champ électrique (en $V.m^{-1}$)

Si la charge est négative = attractif, si positive = répulsif

Les champs électriques s'**additionnent vectoriellement** : $\vec{E}_{tot} = \sum_i \vec{E}_i$



Champ électrique créé par une charge linéique :

Champ électrique (en $V.m^{-1}$) créé par un fil uniformément chargé de **densité linéique** λ (en C/m) en un point m distant de d :

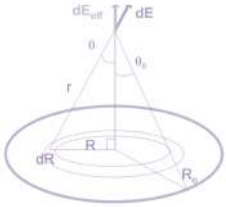
$$E_{eff} = \frac{\lambda}{2\Pi\varepsilon_0 d}$$

=> Le champ sera perpendiculaire au fil et respectera la même loi selon la nature de la charge (attractif ou répulsif)

Champ électrique créé par une charge surfacique :

Champ électrique (en $V.m^{-1}$) créé par un disque chargé de **densité surfacique** σ en un point M situé sur son axe :

$$E_{eff} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}(1 - cos\theta_0)$$



Si on est devant un plan infini :

$$E_{eff} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

=> $\theta_0 = 90°$ donc $1 - cos\theta_0 = 1$

C. Potentiel électrique

Le potentiel électrique (en V) créé en un point M par une charge q (distants de r) :

$$V = \frac{1}{4\Pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$$

Ici, contrairement au champ électrique, on garde la **nature de la charge** (positive ou négative) ce qui influencera le signe du potentiel qui peut donc être positif, négatif ou nul. Ce n'est pas un vecteur !

D. Travail effectué pour déplacer une charge électrique

$W_{1\to2} = -Q(V_2 - V_1) = Q\frac{q}{4\Pi\varepsilon_{à}}\left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right] = Qqk\left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right]$ $\qquad$ $V = k\frac{q}{r}$

Q : charge mobile (va du point 1 au point 2)

q : charge fixe

> Ce type d'exercice peut vite être difficile au vu du nombre de données, il faut toujours bien poser : une charge **fixe**, une charge **mobile**, et les potentiels électriques exercés **par la charge fixe** sur la charge mobile dans les situations 1 et 2. Dans certains exercices vous pouvez choisir vous-même quelle sera la charge fixe et la charge mobile : le résultat sera le **même** dans les deux situations.

E. Dipôle électrique

> Un **dipôle électrique** est créé par deux charges ponctuelles de même valeur absolue, de signe différent et assez proches l'une de l'autre
> Pour résumer il faut des charges de même valeur absolue, de signes **différents** et assez **proches**

=> Bien vérifier ces conditions avant de réaliser l'exercice pour gagner du temps

Calcul du moment dipolaire (en C.m) :

$\boldsymbol{p = |q|l}$

q la valeur absolue d'un seul pôle

l la longueur séparant les deux pôles (longueur du dipôle)

> Attention à l'unité (C.m), il est fréquent de voir des pièges avec des C.m^{-1} à la place.

Potentiel électrique créé par un dipôle en un point M :

$$V(M) = \frac{1}{4\Pi\varepsilon_0}\frac{pcos}{r^2}$$

Champ électrique créé par un dipôle en un point M :

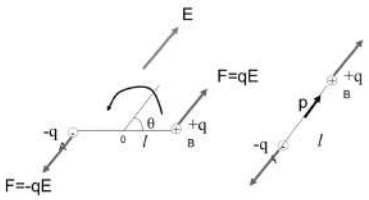
$$|E(m)| = \frac{1}{4\Pi\varepsilon_0}\frac{p}{r^3}\sqrt{3cos^2\theta + 1}$$

Action d'un champ sur un dipôle :

Le dipôle s'oriente dans la direction imposée par le champ électrique $\vec{E}$

$$\vec{\Gamma} = \vec{p} \wedge \vec{E}$$

$$|\Gamma| = p.E.sin\theta$$



IV - ÉLECTROCINÉTIQUE

A. Loi d'Ohm

La loi d'Ohm défini la **résistance électrique** : $U = R \times I$

U ou E : **tension** aux bornes du conducteur (V)

R : **Résistance** du conducteur (Ω)

I : **Intensité** traversant le conducteur (A)

B. Loi de Joule

L'énergie (En J) libérée par une résistance pendant un temps t : $Energie = R \times I^2 t$

La puissance calorifique dissipée (en W) **:** $P = U \times I = R \times I^2$

C. Force électromotrice

Pour chaque élément du circuit (générateur ou résistance) on peut définir une **force électromotrice à ses bornes** : U_{AB}

Exemple de la force électromotrice d'une **résistance** :

$U_{AB} = RI$ (En V)

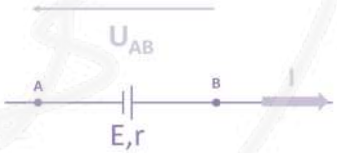
La force électromotrice se dirige de B vers A pour U_{AB}, ici dans le sens contraire du courant I. Cette force va donc dans le même sens que la résistance (résiste au courant), la fem sera donc positive.



Exemple de la force électromotrice d'un **générateur** :

$$U_{AB} = -E + rI$$

Attention à ne pas oublier la **résistance interne**. Ici, la tension du générateur sera négative car elle est dans le sens du courant or U_{AB} va ici dans le sens contraire. Au contraire, la tension créée par la résistance interne sera positive.



D. Les circuits

Il est très important de maîtriser la résolution de circuits, pour cela, il faut connaître quelques lois et paramètres indispensables. Ces exercices tombent souvent à l'examen, vous aurez plusieurs types de QCMs :

- Trouver la résistance totale du circuit
- Déterminer l'intensité de la branche principale
- Déterminer l'intensité dans une branche en dérivation

1. Loi des Nœuds

Formule générale :

$$\sum i(entrants) = \sum i(sortants)$$

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$



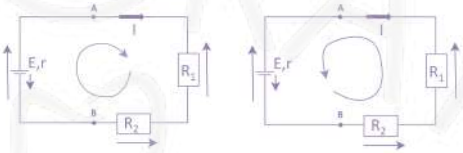
2. Loi des mailles

$\sum U_i = 0\ V$

$U_{AA} = E - ri - R_1 i - R_2 i = 0\ V$

$U_{AA} = -E + ri + R_2 i + R_1 i$

Dans les deux cas ça vaudra 0 V.



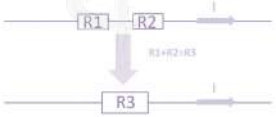
On peut aussi émettre : $i_1 R_1 = i_2 R_2$

3. Simplification de résistances

Plusieurs situations (de la plus simple à la plus difficile, vous devrez d'ailleurs les réaliser dans cet ordre) :

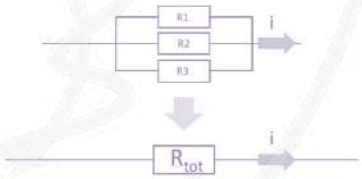
Résistances en **série** :

$$R_{tot} = \sum R_i$$



Résistances en **dérivation (parallèles)** :

$$\frac{1}{R_{tot}} = \sum\left(\frac{1}{R_i}\right) = \frac{1}{R_1} + \ldots \text{ donc } R_{tot} = \left(\sum\left(\frac{1}{R_i}\right)\right)^{-1}$$



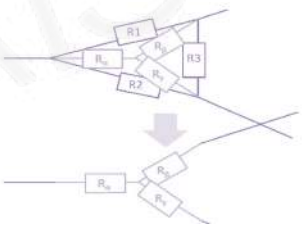
Si les résistances ont la même valeur : $R_{tot} = \frac{Valeur\ d'une\ seule\ résistance}{Nombre\ de\ branches\ en\ dérivation}$

Résistances en **triangle** : On transforme un triangle en étoile

$$R_\alpha = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_\beta = \frac{R_1 \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_\gamma = \frac{R_2 \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$



Le plus dure dans ce type de résolution va être de reconnaître le triangle : il faut **3 nœuds** pour le former, puis, une résistance comprise entre chacun de ces 3 nœuds. Après avoir transformé le triangle en étoile, il reste une dérivation (R_β et R_γ dans l'exemple) et on se retrouvera devant des résistances en série.

ATTENTION : N'OUBLIEZ PAS LA RÉSISTANCE INTERNE DU GÉNÉRATEUR DANS VOS CALCULS !

Pour résoudre les exercices, vous devrez utiliser les différentes lois en même temps et savoir résoudre des **systèmes** avec plusieurs inconnues afin d'en isoler une seule. Voir les exercices résolus.

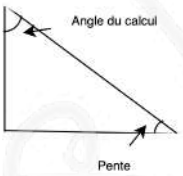
EXERCICES RÉSOLUS

1. Mécanique

Arrivé en deuxième année de médecine, vous décidez de participer au Ski Fac avec Gaspard, jeune tuteur d'UE6. Vous skiez frénétiquement quand vous voyez ce tuteur tomber et dévaler cette pente de 100 m avec un travail de force de pesanteur d'une valeur de 50 kJ. Arrivé en bas, vous décidez de **calculer la pente** au lieu de l'aider.

Données : $m_{Gaspard}$ = 70 kg ; g = 9,81 m.s^{-2} (au degré près)

Résolution :
Ici, nous avons affaire à un exercice où l'on doit utiliser le calcul du travail d'une force. Pour rappel, la formule du travail d'une force est
$W = \vec{F}.\overrightarrow{AB} = F.AB.cos\theta.$
Il faut donc utiliser les données pour ressortir l'inconnu de l'équation : θ
ATTENTION, θ n'est pas la pente !!
Ici la force est la **pesanteur** (s'applique verticalement sur Gaspard)



$F = m.g = 70 \times 9{,}81 = 686{,}7$ N
Donc : $cos\theta = \frac{W}{F.AB} \rightarrow cos\theta = \frac{50.10^3}{686{,}7\times100} \simeq 0{,}72$
$\theta = cos^{-1}(0{,}72) \simeq 43°$ (Touche cos^{-1} sur la calculatrice)
On peut maintenant calculer la pente : somme des angles dans un triangle = 180 °, $pente = 180 - (\theta + 90) = 47°$

Maître Niels, perché sur son arbre, tient dans son bec un fromage, y'a pas de renard mais il arrive quand même à le faire tomber. La branche se situe à 3 m du sol et le fromage a une énergie potentielle de pesanteur d'une valeur de 10J avant de tomber. **Trouvez la vitesse du fromage avant de toucher le sol.** (*On néglige les frottements*)

Données : g = 10 m.s^{-2}

Résolution :
On va devoir passer par plusieurs étapes afin de trouver la vitesse du fromage et pour cela, nous allons avoir besoin de la formule de l'énergie cinétique, $\boldsymbol{Ec = \frac{1}{2}mv^2}$, de la formule de l'énergie potentielle de pesanteur, $\boldsymbol{Epp = mgh}$, de la propriété selon laquelle l'énergie totale vaut la somme de l'énergie potentielle de pesanteur et de l'énergie cinétique, $\boldsymbol{E_{totale} = Ec + Epp}$. De plus, on sait que l'énergie totale est constante durant la chute et que l'énergie cinétique est nulle au début puis maximale à la fin, inversement pour l'énergie potentielle de pesanteur.

Première étape : trouver la masse du fromage
$Epp = mgh$ Donc $m = \frac{Epp}{gh} = \frac{10}{10\times3} = \frac{1}{3}$ kg

Deuxième étape : déterminer l'énergie cinétique juste avant de toucher le sol : elle sera de 10 J car l'énergie potentielle de pesanteur sera nulle donc $Ec = E_{totale}$

Troisième étape : Déterminer la vitesse
$Ec = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v^2 = 2 \times \frac{Ec}{m} \Rightarrow v = \sqrt{2 \times \frac{Ec}{m}} \Rightarrow v = \sqrt{2 \times \frac{10}{\frac{1}{3}}} = 2\sqrt{15} \simeq 7{,}7$ m.s^{-1}
La vitesse que vous obtenez est en m.s^{-1}, pour convertir en km.h^{-1}, il faudra multiplier le résultat par 3,6 (car on multiplie par 10^{-3} pour transformer en km, puis par 3600 pour transformer en h)
Donc environ 28 km.h^{-1}

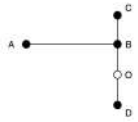
2. Électrostatique

(Exo tombé en 2022-2023) Soient 4 charges q_A, q_B, q_C, q_D positionnées respectivement en A B C D, selon la disposition de la figure ci-dessous. **Calculer le module du moment dipolaire généré par les 4 charges (à 0,1.10^{-26} C.m près)**

$q_A = -2.10^{-16}$C, $q_B = -2.10^{-16}$C, $q_C = +2.10^{-16}$C, $q_D = +2.10^{-16}$C

AB= 3.10^{-10}m, CB = BO = OD =10^{-10}m

$k_0 = \frac{1}{4}\Pi\varepsilon_0 = 9.10^9$N.m^2.C^{-2}



Résolution : On cherche ici le moment dipolaire généré par les 4 charges, il faut donc s'assurer avant tout que les charges positives et négatives ont la même valeur.
Ensuite, il faut placer les barycentres des charges négatives et positives puis appliquer la formule : $p = ql$
Pour calculer le moment dipolaire, il nous manque la distance l entre les deux barycentres.



=> Théorème de Pythagore

l^2 =(BG-)^2+(BG+)^2→ $\boldsymbol{l = \sqrt{(BG-)^2 + (BG+)^2}} \rightarrow l = \sqrt{(1{,}5.10^{-10})^2 + (0{,}5.10^{-10})^2} \rightarrow l \simeq 1{,}58.10^{-10}$

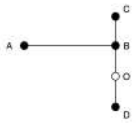
Donc $p = 4.10^{-16} \times 1{,}58.10^{-10}$

$\boldsymbol{p = 6{,}3.10^{-26}}$C.m

Suite : **Calculer le potentiel électrique en O généré par les 4 charges (à 10V près):**

Rappel des données : $q_A = -2.10^{-16}$C, $q_B = -2.10^{-16}$C, $q_C = +2.10^{-16}$C, $q_D = +2.10^{-16}$C

AB= 3.10^{-10}mCB = BO = OD =10^{-10}m



Résolution : Ici on cherche le potentiel électrique, la formule utilisée sera donc : $V = k \times \frac{q}{r}$
Le potentiel total sera donc la somme de tous les potentiels : $V_{total} = \sum V_i \rightarrow V_{total} = V_A + V_B + V_C + V_D$
Avant de faire le calcul, on peut directement simplifier et réduire l'équation à $V_{total} = V_A + V_C$ car les potentiels générés par q_B et q_D s'annulent.

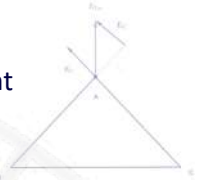
Calculons donc les potentiels générés par les charges $q_A$et q_C
Pour la formule, $V = k \times \frac{q}{r}$, il nous faut r la distance entre la charge et le point O :
Pour V_A, il faut appliquer le théorème de Pythagore : $AO^2 = AB^2 + BO^2 \rightarrow AO = \sqrt{AB^2 + BO^2} \rightarrow AO \approx 3{,}16.10^{-10}$
=> Donc $V_A = 9.10^9 \times \frac{-2.10^{-16}}{3{,}16.10^{-10}} \approx -5692$ et $V_C = 9.10^9 \times \frac{2.10^{-16}}{2.10^{-10}} = 9000$
Ainsi, $V_{total} = 9000 - 5692 = 3308$

Soit un triangle ABC rectangle isocèle en A. Une charge est placée en B et une charge est placée en C. **Calculer le champ électrique au point A.**

Données : $q_b = q_C = 3q$; $q = 1{,}6.10^{-19}$C ; AB = 15 nm

Résolution : En premier temps, nous devons calculer la valeur des champs électriques créés par les charges qB et qC :

$E = k\frac{q}{r^2}$; $E_B = E_C = 9.10^9 \times \frac{3\times1{,}6.10^{-19}}{(15.10^{-9})^2} = 1{,}92.10^7$ V.m^{-1}

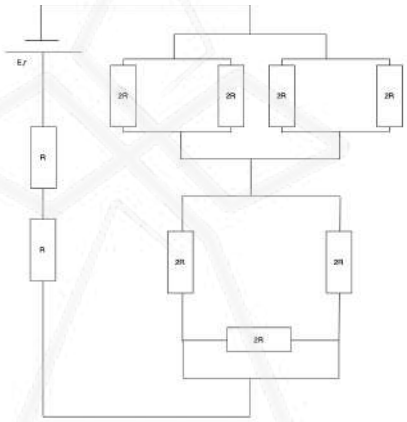


Ensuite, pour déterminer le champ électrique total, on doit additionner vectoriellement les deux champs calculés précédemment. Donc ici, on doit effectuer le théorème de Pythagore : $E_{(A)}{}^2 = E_B{}^2 + E_C{}^2 \rightarrow E_{(A)} = \sqrt{E_B{}^2 + E_C{}^2} \rightarrow E_{(A)} = 2{,}7.10^7$ V/m

3. Électrocinétique

Soit le circuit suivant présentant un générateur de tension E = 12 V et de résistance interne r = 1 Ω. La résistance totale du circuit est de (à 0,1 Ω près) :

R = 2 Ω



Résolution : On se retrouve face aux trois situations possibles dans la simplification de circuits : de la série, de la dérivation et un triangle que l'on transformera en étoile.

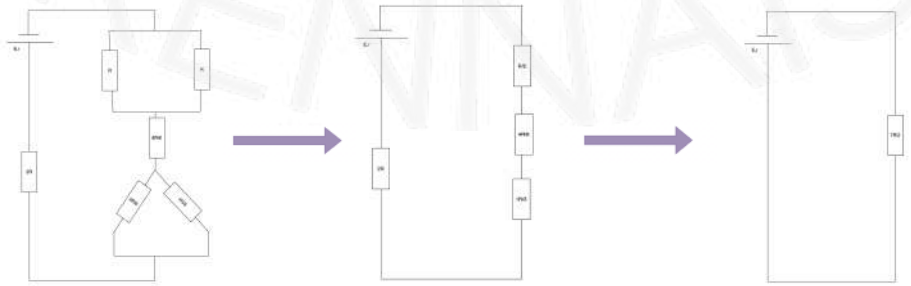
1-> Somme des résistances en série + réduction des résistances parallèles (elles sont égales donc juste à diviser par deux (car deux branches)) + transformation en étoile (les trois résistances seront égales)

2-> Réduire les résistances en dérivation, encore une fois, dans les deux situations les résistances ont la même valeur donc on utilise la technique pour aller plus vite ($R_{tot} = \frac{Valeur\ d'une\ seule\ résistance}{Nombre\ de\ branches\ en\ dérivation}$)

3-> Il ne reste plus que des résistances en série donc faire la somme de celles-ci

4-> On obtient le résultat en additionnant la résistance trouvée à la résistance interne du générateur

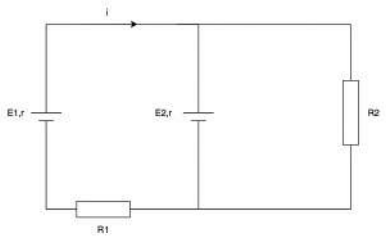
$R_{tot} = \frac{7}{2}R + 1 = 8$



(Type d'exercice tombé dans l'annale 2022-2023) Soit le circuit ci-contre avec :

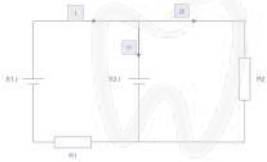
$R_1 = 4\Omega, R_2 = 6\Omega, r = 1\Omega, E_1 = 15V, E_2 = 4V$

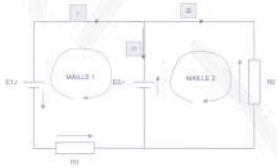
Calculer la valeur du courant i à 0,1 A près :



Résolution : On fait face ici à un circuit à double mailles, on cherche la valeur du courant i, cependant on a trois inconnues : i = intensité parcourant la branche principale, puis elle se divise en deux branches qui ont pour intensité i_1 et i_2Il va donc falloir poser plusieurs équations afin de les réduire en une seule qui comportera une seule inconnue, i. Il faut donc connaître la loi des mailles (la somme des tensions dans une maille vaut 0) et la loi des noeuds (La somme des intensités sortantes est égale à la somme des intensités entrantes)

Loi des nœuds : $i = i_1 + i_2$





Loi des mailles :

Maille 1 : $E1 - r \times i - E2 - r \times i1 - R1 \times i = 0 \rightarrow 15 - i - 4 - i1 - 4 \times i = 0 \rightarrow 11 - 5i - i1 = 0$
Maille 2 : $E2 + r \times i1 - R2 \times i2 = 0 \rightarrow 4 + i1 - 6i2 = 0$

Rappel : le sens du courant se fait en fonction du générateur le plus puissant, ici E1

$4 + i1 - 6i2 = 0$
$4 + i1 = 6i2$
$i2 = (4 + i1)/6$
$i = i1 + i2 \quad i = i1 + (4 + i1)/6$
$i = i1 + 4/6 + i1/6$
$i = 4/6 + 7i1/6$
$i1 = (i - 4/6) \times 6/7$
$i1 = 6i/7 - 4/7$
$11 - 5i - i1 = 0$
$\mathbf{11 - 5i - (6i/7 - 4/7) = 0}$
$\mathbf{11 - 5i - 6i/7 + 4/7 = 0}$
$\mathbf{-5i - 6i/7 = -11 - 4/7}$
$-41i/7 = -81/7$
$i = 1{,}9$

FICHE : LES FORMULES

Mécanique		
Force de gravitation	$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$	
Force de pesanteur	$\|\vec{P}\| = m\|\vec{g}\| = G\frac{mM_T}{r^2} = G\frac{mM_T}{(R_T + z)^2}$	
Champ de gravitation	$g = G\frac{M_T}{(R_T + z)^2}$	
Quantité de mouvement	$\vec{p}$ = m$\vec{v}$	
Travail d'une force	$W = \vec{F}.\overrightarrow{AB} = F.AB.cos\theta$	
Énergie cinétique	$Ec = \frac{1}{2}mv^2$	
Énergie potentielle de pesanteur	$Epp = mgh$	
Forces de frottement	$\boldsymbol{v}$ < 5 m.s^{-1} $\boldsymbol{F}$ = - $\boldsymbol{k.n.v}$	5 m.s^{-1}< $\boldsymbol{v}$ < 20 m.s^{-1} $\overrightarrow{F}$ = - $C.\frac{1}{2}p.S.\vec{v}$

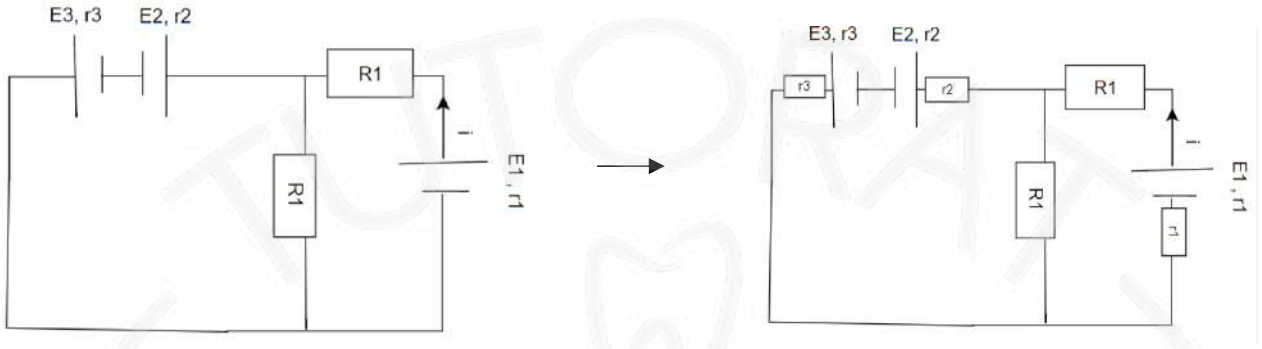
Électrostatique		
Force électrostatique	$F = \frac{kqq'}{r^2}$	
Champ électrique	$\|\overrightarrow{E(M)}\| = \frac{1}{4\Pi\varepsilon_0}\frac{\|q\|}{r^2} = k_0\frac{\|q\|}{r^2}$	
Champ électrique créé par une charge linéique	$E_{eff} = \frac{\lambda}{2\Pi\varepsilon_0 d}$	
Champ électrique créé par une charge surfacique	$E_{eff} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}(1 - cos\theta_0)$	$E_{eff} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$
Potentiel électrique	$V = \frac{1}{4\Pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$	
Travail effectué pour déplacer une charge électrique	$W_{1\to2} = -Q(V_2 - V_1) = Q\frac{q}{4\Pi\varepsilon_{à}}\left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right]$ $= Qqk\left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right]$	
Moment dipolaire	$p = \|q\|l$	

Électrocinétique	
Loi d'Ohm	$U = R \times I$
Puissance calorifique dissipée	$P = U \times I = R \times I^2$
Loi des nœuds	$\sum i(entrants) = \sum i(sortants)$
Loi des mailles	$\sum U_i = 0\ V$
Simplification des résistances	Série : $R_{tot} = \sum R_i$
	Dérivation : $\frac{1}{R_{tot}} = \sum\left(\frac{1}{R_i}\right) = \frac{1}{R_1} + \ldots$ Donc $R_{tot} = \left(\sum\left(\frac{1}{R_i}\right)\right)^{-1}$
	Triangle: $R_\alpha = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$ $R_\beta = \frac{R_1 \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$ $R_\gamma = \frac{R_2 \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$

FICHE : MÉTHODE DE RESOLUTION POUR TROUVER L'INTENSITÉ D'UN CIRCUIT

Le but de l'exercice est de trouver l'intensité i.

Données : E1 = 8V ; E2 = 6V ; E3 = 4V ; r1 = 4 Ω ; r2 = 1 Ω ; r3 = 3 Ω ; R1 = 4 Ω.

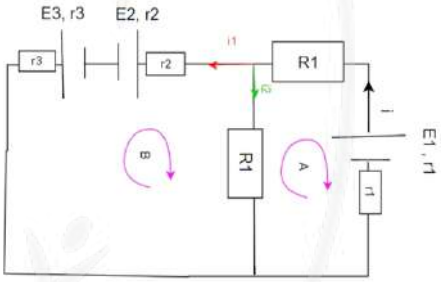


Étape 1 : on recopie le circuit au crayon de papier sur une feuille de brouillon pui s on peut **placer les résistances r sur le schéma** pour éviter de les oublier et pour mieux comprendre le calcul qu'on doit faire.

Étape 2 : Identifier ce que l'on cherche → ici on cherche l'**intensité i**. On peut donc utiliser plusieurs formules :

- Loi des nœuds : i = i1 +i2
- Loi des mailles : la somme des tensions dans chaque maille est nulle donc = 0.

On a donc **3 inconnus** i, i1 et i2. Il nous faut donc 3 équations.



Étape 3 : Créer les équations

- Placer le sens de **i1** et **i2**
- Choisir ensuite le sens dans lequel vous aller parcourir votre circuit
- Puis suivre le sens choisi en « notant les éléments que vous rencontrés »

On peut ainsi commencer à écrire les équations :

- Lorsque que l'on passe par un **générateur** par sa **borne positive** (le trait le + long), on écrit **+ E** (et vice versa)
- Lorsque que l'on passe par une **résistance** dans le **sens contraire du courant** (donc le sens contraire d'un vecteur i), on note « **- R** » et vice versa

On multiplie les résistances par l'intensité qui les traverse (U = R*I). On a ainsi :

- **Boucle A** : +E1 – r1*i – R1*i2 – R1*i = 0
- **Boucle B** : + E3 – E2 – r2 *i1 + R1 *i2 - r3 * i1 = 0

On peut remplacer les lettres par les valeurs qu'on connait, ce qui donne :

- **Boucle A** : 8 – 4*i – 4*i2 – 4*i = 0 et on simplifie : 8 – 8i – 4i2 = 0
- **Boucle B** : 4 – 6 – 1 *i1 + 4 *i2 - 3 * i1 = 0 et on simplifie : -2 – 4i1 + 4i2 = 0

On obtient ainsi un système de 3 équations à 3 inconnus :

⇨ i = i1 +i2
⇨ 8 – 8i – 4i2 = 0
⇨ -2 – 4i1 + 4i2 = 0

Pour simplifier la résolution on peut remplacer i ; i1 ; i2 par x ; y ; z,

- ⇨ i =x
- ⇨ i1 = y
- ⇨ i2 = z

On peut ensuite résoudre ce système grâce à la **calculatrice** : « 2nd » puis « sys-solv » (sur la touche « tan »).

Ensuite vous choisissez **l'équation 3*3** car on a 3 inconnus. Vous arrivez sur une matrice à 3 colonnes et 3 lignes

- ⇨ La 1ère colonne correspondra à votre x
- ⇨ La 2eme à votre y
- ⇨ La 3eme à votre z

La 4eme colonne qui est séparée par un trait vertical correspond à « = », on va placer les nombres qui sont des constantes (donc pas multiplié par x, y ou z)

Il suffit de placer le multiple de votre x, y et z correspondant dans chaque ligne.

Cela donne :

- ⇨ -i + i1 + i2 = 0 (d'où le -1 dans la 1ère case)
- ⇨ -8i – 4i2 = -8 (pas de y donc on met 0)
- ⇨ -4i1 + 4i2 = 2

On clique sur SOLVE et on a notre réponse x= 0.7 donc i = 0.7 A

NOTES PERSONNELLES

CHAPITRE 2 : LE DOMAINE DE L'OPTIQUE

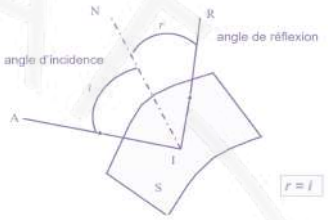
I - GENERALITES

A. Loi de Snell-Descartes

1. Loi de la réflexion

La valeur de l'angle du rayon incident est égale à celle du rayon réfléchi :

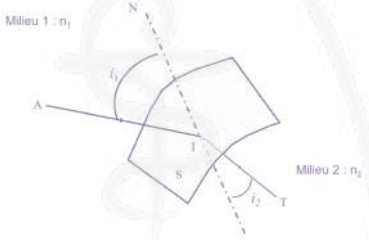
$$r = i$$



2. Loi de la réfraction

$n1sinі1=n2$

$$n_1 sin_{i1} = n_2 sin_{i2}$$



B. Miroirs plan

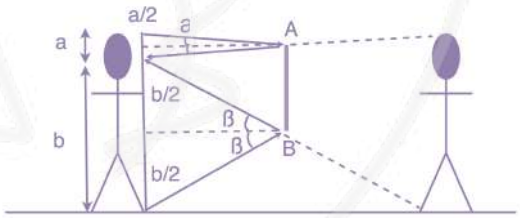
Dans ces exercices vous aurez plusieurs situations avec des formules prédéfinies mais le plus important est de comprendre la position des différents rayons pour s'adapter dans des situations plus difficiles.

Il faut maîtriser les lois précédemment énoncées.

Première situation : personne seule devant un miroir

Ce qu'il faut comprendre, c'est que les rayons arrivent dans les yeux, ceux des pieds (bas du miroir) et de la tête (haut du miroir)

On aura donc besoin de connaître la distance yeux-sommet de la tête (a) et la distance yeux-pieds (b)



Selon la **loi de la réflexion**, les angles β sont égaux donc la longueur entre les yeux et le bas du miroir vaut b/2. Pour la partie haute c'est la même, les angles α sont égaux, ainsi la longueur entre les yeux et le haut du miroir vaut a/2

La longueur du miroir est donc la somme de b/2 et a/2 donc ici, $L_{miroir} = \frac{a}{2} + \frac{b}{2} = \frac{a+b}{2} = \frac{taille}{2}$

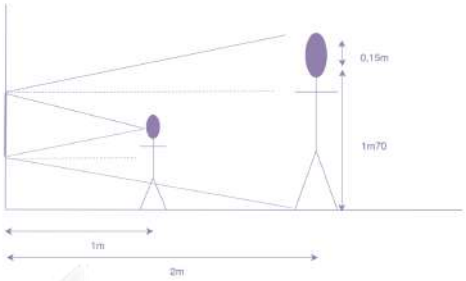
Avancer ou reculer la personne ne changera pas le résultat.

On vous demandera souvent dans cette situation à quelle hauteur maximale faudra-t-il placer le miroir, il suffit de regarder encore une fois le schéma et on peut deviner que ça équivaudra à une hauteur b/2

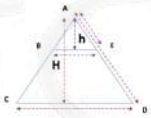
Deuxième situation : Taille minimale du miroir avec deux personnages

Dans ce cas, il faudra calculer la taille minimale du miroir qui permettra au petit personnage de voir le plus grand.

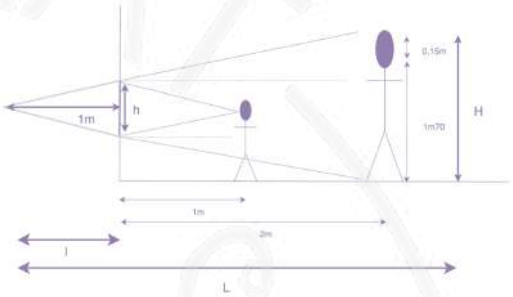
En plus de la loi de la réflexion, il faut maîtriser le théorème de Thalès, il servira dans la plupart des situations où vous aurez plusieurs personnages.



Théorème de Thalès : $\frac{AB}{AC} = \frac{AE}{AD} = \frac{h}{H}$



Une fois que vous maîtrisez ces lois, vous pouvez commencer par tracer la symétrique du petit triangle par rapport au mur (on obtient le triangle gris).



Ensuite, vous pouvez appliquer le théorème de thalès pour trouver h :

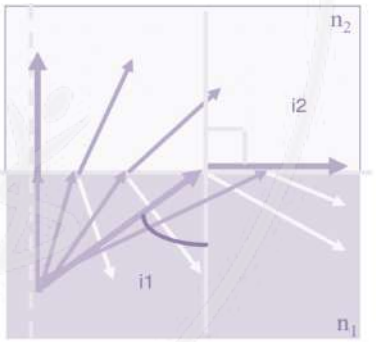
$$\frac{h}{H} = \frac{l}{L} \Rightarrow h = \frac{l}{L} \times H$$

Ici, l vaut 1 m, L vaut 3 m et H vaut 1m85 donc h = 0,62 m

Vous pourrez avoir des situations particulières donc le plus important sera d'avoir une bonne imagination et une bonne maîtrise du théorème de Thalès

C. Réflexion totale

On désigne une réflexion totale lorsque le rayon incident n'est pas réfracté, il est **seulement réfléchi**. Il faut valider une condition : $n_1 > n_2$ (vous ne pourrez pas réaliser l'équation si jamais ce n'est pas le cas)



Notre but est donc de trouver i_1 lorsque $i_2 = 90°$ (on aura l'angle minimal de réflexion totale)

Loi de la réfraction :

$$n_1 sin(i1) = n_2 sin(i2) \Rightarrow n_1 sin(i1) = n_2 sin90 \Rightarrow n_1 sin(i1) = n_2 \times 1$$

$$sin(i1) = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow i1 = sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

On obtiendra ainsi l'angle critique de réfraction : ATTENTION, les angles supérieurs à celui-ci entraînent aussi une réflexion totale.

D. Prismes

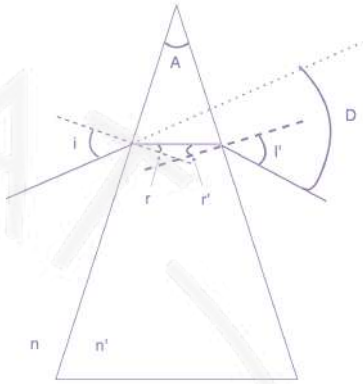
Réfraction dans le prisme :

$$n.sin(i) = n'.sin(r)$$
$$n'.sin(r') = n.sin(i')$$

Angle au sommet :

$$A = r + r'$$

A est l'angle compris entre la face où le rayon entre et la face où le rayon sort



Déviation :

$$D = i + i' - A$$

Déviation minimale : Dans le cas où $D = D_m$

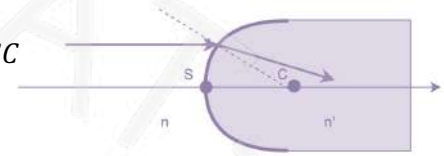
$$i = i'$$
$$r = r'$$
$$A = 2r \Rightarrow r = \frac{A}{2}$$
$$D_m = 2i - A \Rightarrow i = \frac{D_m + A}{2}$$
$$n' = \frac{n.sin\left(\frac{D_m + A}{2}\right)}{sin\left(\frac{A}{2}\right)}$$

II - LES SYSTEMES CENTRES

A. Paramètres des dioptres

Un dioptre est une surface qui sépare **deux milieux** d'indices n différents. Il possède un sommet S et un centre C. Ils peuvent être **convexe** (cas du schéma) ou **conCAVE** pour les dioptres sphériques. Le sommet et le centre du dioptre définissent son **rayon de courbure** SC.

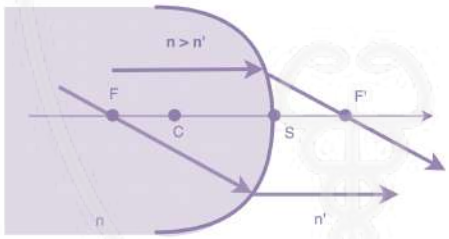
Exemple d'un dioptre sphérique convexe, convergent et de rayon de courbure SC



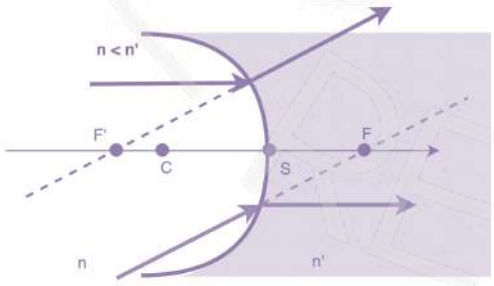
Les distances seront exprimées en m (ou alors vous devrez les convertir) pour les différentes formules, elles sont **orientées** : + dans le sens de la lumière (gauche vers droite), - dans le sens contraire (droite vers gauche). Par exemple sur le schéma du dessus, $\overline{SC} = +$ et $\overline{CS} = -$

Le paramètre de la **vergence** (ϕ) défini l'attitude que les rayons vont prendre après avoir traversé le dioptre. Elle s'exprime en dioptries δ. On va pouvoir dire d'un dioptre qu'il est convergent ($\phi > 0$) ou divergent ($\phi < 0$).

Les foyers : on peut définir pour chaque **système optique** un foyer **objet** et un foyer **image**. C'est important de comprendre cette partie car ils permettent de tracer les rayons lors des exercices de placement manuel.



Pour les systèmes **convergents** (ici dioptre sphérique/concave/convergent) : le foyer objet est l'objet d'une image à l'infini et le foyer image est l'image d'un objet à l'infini. Le foyer objet est à gauche et le foyer image à droite du système optique.

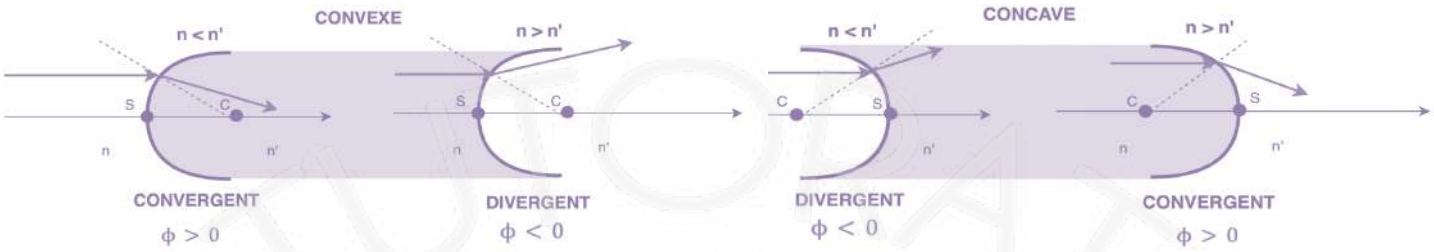


Pour les systèmes **divergents** (ici dioptre sphérique/concave/divergent) : la différence se fera au niveau de la position des foyers, à gauche pour le foyer image et à droite pour le foyer objet par rapport au système optique. Sinon c'est toujours la même loi (objet infini pour le foyer image…)

Pour tout système optique : un objet est réel lorsqu'il se trouve à gauche de celui-ci et virtuel lorsqu'il est à droite. Une image est réelle lorsqu'elle est à droite du système optique et virtuelle à gauche.

B. Le dioptre sphérique

Plusieurs types de dioptres sphériques :



Vergence (dioptries) : Relation de conjugaison : $\frac{n\prime}{\overline{SA\prime}} - \frac{n}{\overline{SA}} = \frac{n\prime - n}{\overline{SC}} = \phi$

Cette relation permet de comprendre les vergences, ça se joue en fonction du signe du numérateur et du dénominateur.

Foyer objet (m) : $\overline{SF} = \frac{-n}{\phi}$

Foyer image (m) : $\overline{SF'} = \frac{n\prime}{\phi}$

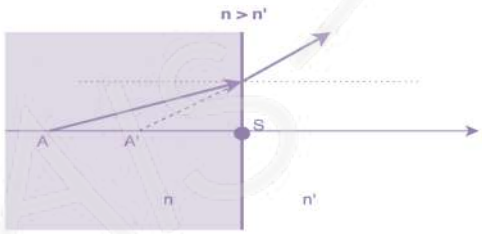
Grandissement (pas d'unité) : $\gamma = \frac{\overline{A\prime B\prime}}{\overline{AB}} = \frac{n\overline{SA\prime}}{n\prime\overline{SA}}$

	$\gamma > 0$ (image droite)	$\gamma < 0$ (image renversée)
$\lvert\gamma\rvert > 1$ (image agrandie)	Droite et agrandie	Renversée et agrandie
$\lvert\gamma\rvert < 1$ (image réduite)	Droite et réduite	Renversée et réduite

C. Le dioptre plan

Un dioptre plan, c'est comme un dioptre sphérique mais il a un rayon de courbure valant l'infini $\overline{SC} \to \infty$. On va pouvoir en déduire de nouvelles formules mais c'est important de comprendre pourquoi car si vous les oubliez vous pouvez passer de la formule de base (dioptre sphérique) à la formule du plan.

Exemple d'un dioptre plan, ici le rayon subit la loi de la réfraction (début du cours)



Vergence : Étant donné que $\overline{SC} \to \infty \Rightarrow \phi = \frac{n\prime - n}{\overline{SC}} = 0$

Relation de conjugaison simplifiée : $n\overline{SA'} = n'\overline{SA}$

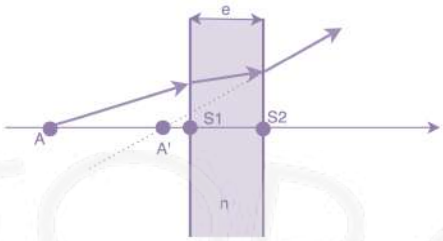
Vous pouvez cependant utiliser la relation de conjugaison de base pour arriver à celle-ci.

Grandissement : $\gamma = 1$

D. Lames à face parallèles

Relation objet image : $\overline{AA'} = e\left(1 - \frac{1}{n}\right)$

Grandissement : $\gamma = 1$



E. Miroir plan

Pour tous les miroirs (plan ou sphérique) on a : $n' = -n$

Relation de conjugaison simplifiée (car $n' = -n$ **et** $\overline{SC} \to \infty$**) :** $\overline{SA'} = -\overline{SA}$

Grandissement : $\gamma = 1$

F. Miroir sphérique

Vergence (déduite de la formule de base) : $\phi = \frac{n\prime - n}{\overline{SC}} = \frac{-2n}{\overline{SC}} = \frac{2n\prime}{\overline{SC}}$

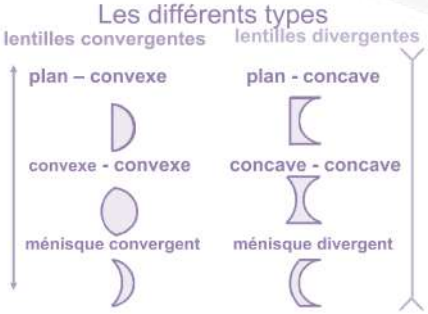
Relation de conjugaison simplifiée (car $n' = -n$**) :** $\frac{1}{\overline{SA\prime}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{2}{\overline{SC}}$

Foyer objet/image : $\overline{SF} = \overline{SF'} = \frac{\overline{SC}}{2}$

Grandissement : $\gamma = \frac{\overline{SA\prime}}{-\overline{SA}}$

G. Lentille mince

Une lentille mince est l'accolement de deux dioptres, l'épaisseur entre ces deux dioptres est négligeable par rapport aux rayons de courbure de ceux-ci



<u>Comment nommer la lentille :</u>

Pour le premier dioptre on va de la gauche vers la droite **(** = **convexe** et **)** = **concave**.

Pour le deuxième on va de la droite vers la gauche **(** = concave et **)** = **convexe**

NB : Les lentilles convergents ont des extrémités pointues alors que les lentilles divergentes ont des extrémités plates

Le milieu n' de la lentille est généralement supérieur à celui du milieu environnant (souvent l'air donc n = 1)

Relation de conjugaison, vergence : $\frac{n1}{\overline{OA'}} - \frac{n1}{\overline{OA}} = (n2 - n1)\left(\frac{1}{\overline{OC1}} - \frac{1}{OC2}\right) = \phi$

Foyer objet : $\overline{OF} = \frac{-n1}{\phi}$

Foyer image : $\overline{OF'} = \frac{n1}{\phi}$

Grandissement : $\gamma = \frac{\overline{AB'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

NB : On peut remarquer avec les formules des foyers qu'ils se situent à la même distance de par et d'autre du système optique : $\overline{OF} = -\overline{OF'}$

H. Association de deux lentilles

Intervalle optique : $\Delta = \overline{F_1'F_2}$

Vergence : $\phi = \phi_1 + \phi_2 - e\phi_1\phi_2$

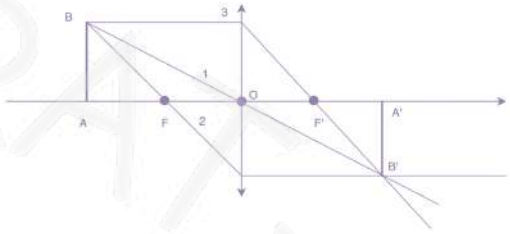
e = distance entre les lentilles (si elles sont accolées alors $\phi = \phi_1 + \phi_2$)

III - CONSTRUCTION DE RAYONS

Rappel : Pour les systèmes optiques convergents, le foyer objet est à gauche et le foyer image à droite. Pour les systèmes divergents c'est l'inverse, foyer objet à droite et foyer image à gauche.

Dans ce genre d'exercices, le but va être de trouver l'image d'un objet par rapport à un système en traçant les rayons manuellement.

On va donc tracer trois rayons qui forment l'image à leur intersection :

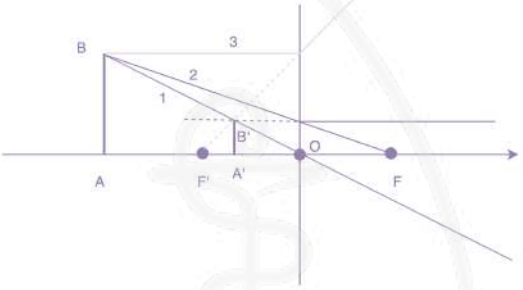


1 : Rayon passant par le **centre** du système et donc **pas dévié**

2 : Rayon passant directement par le **foyer objet**, il repart donc **parallèlement** à l'axe optique (image à l'infini)

3 : Rayon partant **parallèlement** à l'axe et passant ensuite, après avoir passé le système optique, par le **foyer objet**.

Pour les systèmes divergents faites attention à prolonger les rayons afin de créer l'intersection. Sinon, ça obéit aux mêmes principes.



1 : Passe par le centre, pas dévié

2 : Passe par le foyer objet, repart parallèlement à l'axe au niveau de l'intersection avec le système

3 : Parallèle à l'axe, se dirige ensuite vers le foyer image

NB : Seulement deux rayons suffisent

Dernier conseil : Dans les exercices, vous devrez utiliser les bonnes formules au bon moment. Le plus dur sera de ne pas faire d'erreur dans les valeurs de vos distances, une erreur fausse tout votre calcul, il ne suffira pas de changer le signe à la fin. On vous conseille de réaliser des schémas pour vous repérer plus facilement (surtout quand il y a plusieurs dioptres dans le même exercice).

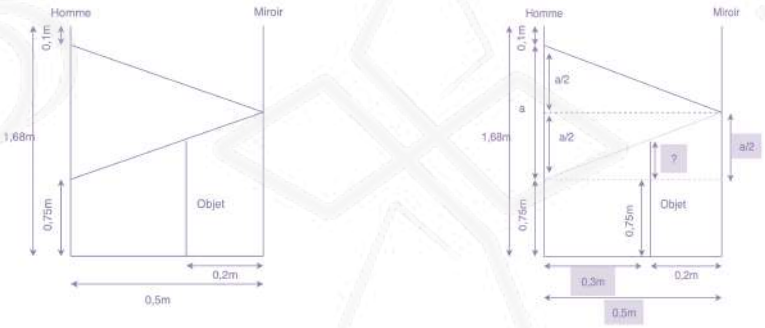
EXERCICES RÉSOLUS

1. Miroir plan

(Exercice tombé dans le concours blanc 2022-2023, assez compliqué, il en a fait paniquer plus d'un donc ne paniquez pas) Un bodybuilder d'1m68 est face à un miroir, à une distance de 50cm. Ce dernier est fixé au mur. Bien disposé à satisfaire ses followers, il décide de prendre une photo, mais malheureusement, ses jambes ne sont pas du tout proportionnelles à son buste massif. Il décide de poser à une distance de 20cm du miroir, un obstacle, pour masquer ses jambes lors de sa photo. Quelle doit être la taille de l'obstacle pour masquer uniquement ses jambes ?

Résolution : Là où tout se joue dans cet exercice, c'est votre représentation de la situation. Ensuite vous devrez utiliser votre imagination et utiliser les bons théorèmes.

Après le premier schéma réalisé, essayez de repérer une forme de type **Thalès**. En coupant l'objet en deux parties, une de 0,75 m (taille des jambes) et une autre inconnue, on remarque une situation nécessitant l'utilisation de Thalès.



Pour réaliser le théorème, il nous faut toutes les longueurs surlignées. On peut déterminer a avec le calcul : $a = 1{,}68 - (0{,}75 + 0{,}1) = 0{,}83$ donc a/2 vaut 0,415

Ainsi, $\frac{l}{0{,}415} = \frac{0{,}3}{0{,}5} \Rightarrow l = \frac{0{,}3}{0{,}5} \times 0{,}415 = 0{,}249$

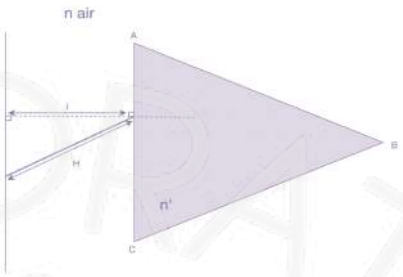
Maintenant on peut faire l'addition pour trouver la taille de l'objet : $objet = 0{,}249 + 0{,}75 = 0{,}999$

L'objet devra mesurer 0,999 m.

2. Prismes

Trouvez au degré près l'angle du rayon sortant par rapport à la face AB du triangle équilatéral ABC

$H = 10$ cm ; $l = 8$ cm ; n'= 1,5



Résolution : Tout d'abord, il faut trouver la valeur de l'angle i. Pour ça, on va utiliser la trigonométrie :
$cos\ i = \frac{l}{H} \Rightarrow i = cos^{-1}\left(\frac{l}{H}\right) \simeq 37°$
Une fois qu'on connait i, on peut faire le déroulement habituel : $n.sin(i) = n'.sin(r) \Rightarrow r = sin^{-1}\left(\frac{n.sin(i)}{n'}\right) = 23{,}6°$
Et $A = r + r' \Rightarrow r' = A - r \Rightarrow r' = 60 - 23{,}6 = 36{,}4°$
(Triangle équilatéral donc tous les angles valent 60°)
Donc $n'.sin(r') = n.sin(i') \Rightarrow i' = sin^{-1}(n'.sin(r')) \Rightarrow i' \simeq 63°$
i' vaut bien 63° mais ATTENTION, dans l'énoncé on demandait l'angle par rapport à la face AB : donc l'angle vaut 90-63 = 27°
(Quand ce n'est pas précisé, gardez i', l'angle par rapport à la normale)

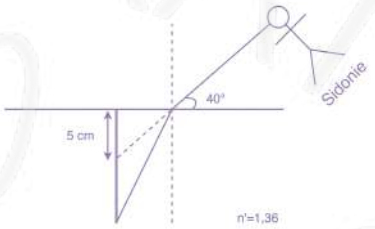
3. Réfractions/réflexions

On considère la surface de séparation entre un milieu (1) d'indice $n_1 = 1{,}5$ et un milieu (2) d'indice $n_2 = 1{,}2$. Un rayon part du milieu (1) et vient frapper la surface de séparation : **À partir de quel angle aurons-nous une réflexion totale ?**

Résolution : On cherche l'angle minimal pour lequel on aura une réflexion totale, c'est-à-dire l'angle pour lequel i' sera égal à 90°. (On a bien vérifié que $n_1 > n_2$)
$n_1.sin(i) = n_2.sin(i') \Rightarrow n_1.sin(i) = n_2 \Rightarrow i = sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \simeq 53{,}13°$
Pour i = 53,13 (± 1)° et tous les angles supérieurs à celui-ci, on aura une réflexion totale.

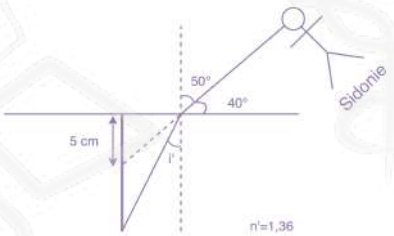
Sidonie, en pleine réflexion se place au-dessus de son verre (angle de 40° par rapport à la surface de son verre) avec un contenant d'indice de réfraction valant n'=1,36. Sa paille verticale semble mesurer 5 cm mais, en tant que tutrice expérimentée, elle sait très bien qu'elle se fait berner. Ses neurones ne fonctionnent plus donc aidez-la à trouver la vraie longueur de celle-ci :

Résolution : Pour réaliser ce type d'exercice, il est important de comprendre comment les rayons se comportent :
Il faut bien visualiser le fait que le rayon parte du bout de la paille et se réfracte à la surface pour ensuite aller dans le magnifique oeil de Sidonie. Cependant, ce que voit Sidonie est le rayon en pointillés (sans réfraction). Le schéma n'est pas à la bonne échelle.



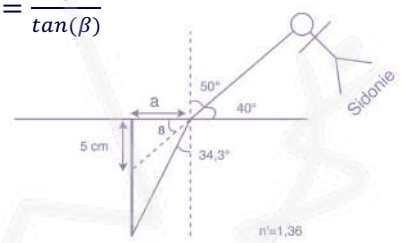
Premièrement, on va chercher i' : attention mais l'angle donné était mesuré par rapport à la surface. Donc i = 50°

Et $n.sin(i) = n'.sin(i') \Rightarrow i' = sin^{-1}\left(\frac{sin(i)}{n'}\right) = 34{,}3°$

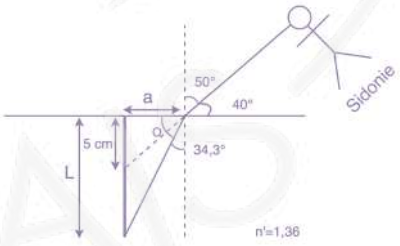


Ensuite, on va chercher la longueur a, grâce à la trigo, elle sera utile pour trouver la longueur de la paille (encore avec la trigo) : $tan(\beta) = \frac{côté\ opposé}{côté\ adjacent} = \frac{5}{a} \Rightarrow a = \frac{5}{tan(\beta)}$

$a = \frac{5}{tan(40)} = 5{,}9$ cm

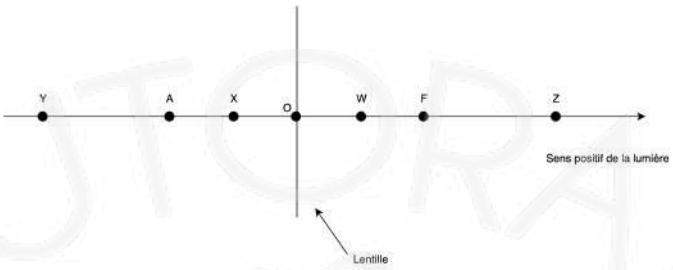


On va pouvoir, grâce à la trigo, trouver la longueur de la paille :
Toujours avec la tangente :
$o = 90 - 34{,}3 = 55{,}7°$
Et $tan(o) = \frac{L}{a} \Rightarrow L = tan(o) \times a = tan(55{,}7) \times 5{,}9$
$\boldsymbol{L = 8{,}6}$ **cm**

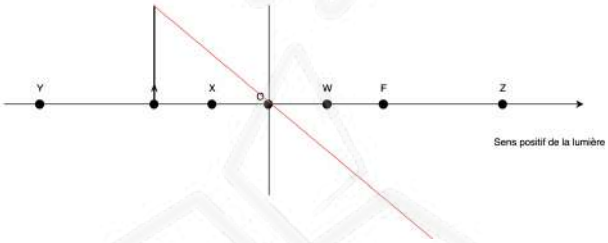


4. Construction de rayons

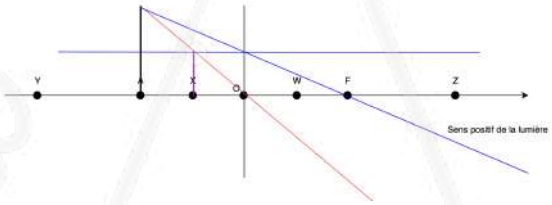
(Exercice tombé dans l'examen 2022-2023) Soit une lentille L1 avec pour foyer objet F tel que $\overline{OF} = +0{,}3\ m$. Un objet se trouve à $\overline{OA} = -0{,}3\ m$. La position de l'image est :



Résolution : 1ère méthode (la plus courte, conseillée) : tracer les rayons à la main pour trouver l'image
Le premier rayon qu'on trace est celui partant de l'objet et passant par le centre de la lentille, il n'est pas dévié :



Ensuite, on trace le rayon passant par le foyer objet, ici la lentille est **divergente** car le foyer objet se situe après la lentille. Donc on trace un rayon perpendiculaire à la lentille passant par l'intersection de la lentille et du rayon passant par le foyer objet :



On trouve donc, au niveau de l'intersection des deux rayons tracés, la position de l'image de A.
2ème méthode (plus longue, pour vérifier si vous avez le temps) : calcul
Utilisation de deux formules :
$\frac{n}{\overline{OA'}} - \frac{n}{\overline{OA}} = \phi$ et $\overline{OF} = \frac{-n}{\phi}$
$\phi = \frac{-n}{\overline{OF}} = \frac{-1}{0{,}3} \simeq -3{,}33\ \delta$

$$\frac{n}{\overline{OA'}} - \frac{n}{\overline{OA}} = \phi$$
$$\frac{n}{\overline{OA'}} = \phi + \frac{n}{\overline{OA}}$$
$$\overline{OA'} = \frac{n}{\phi + \frac{n}{\overline{OA}}} \simeq -0{,}15m$$

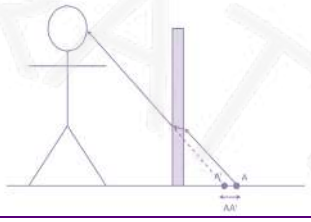
Ce qui confirme que l'image se trouve au niveau de **X**.

5. Lames à faces parallèles

Un homme passe devant la vitrine d'un magasin ($n_{verre} = 1{,}5$) et observe l'image d'un objet à 5 cm de la vitrine. On sait que la distance entre l'image vue par le monsieur et l'objet lui-même est $AA' = 6$ mm. **Quelle est l'épaisseur de la vitrine (en mm) ?**

Résolution : Ici, on va avoir besoin de la formule des lames à faces parallèles : $AA' = e(1 - \frac{1}{n})$
La première donnée (distance vitrine-image) est inutile.
$AA' = e(1 - \frac{1}{n}) \Rightarrow e = \frac{AA'}{(1-\frac{1}{n})} = \frac{6.10^{-3}}{(1-\frac{1}{1{,}5})} = 0{,}018$ m

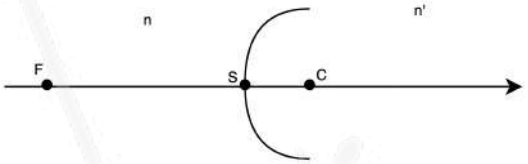
Donc l'épaisseur de la vitrine est de 18 mm



6. Dioptres, lentilles…

Un dioptre sphérique sépare un milieu d'indice $n = 1{,}3$ et un milieu d'indice $n' = 1{,}5$. Son rayon de courbure vaut $\overline{SC} = 2$ m. **À quelle distance se trouve le foyer objet par rapport au centre du dioptre ?**

Résolution : Ici, il faut bien lire l'énoncé et savoir utiliser les formules.
On cherche le foyer objet : $\overline{SF} = \frac{-n}{\phi}$
Il nous manque la vergence pour le calculer :
Vergence : $\frac{n'-n}{\overline{SC}} = \phi \Rightarrow \phi = \frac{1{,}5-1{,}3}{2} = 0{,}1\ \delta$
Donc : $\overline{SF} = \frac{-n}{\phi} = \frac{-1{,}3}{0{,}1} = -13$ m



ATTENTION CE N'EST PAS FINI : On vous demande la distance par rapport au centre du dioptre, or, la formule la donne par rapport au sommet du dioptre.
Donc si $\overline{SF} = -13$ m alors $\overline{CF} = -13 - 2 = -15$ m
(Petit tip pour savoir qui est n et qui est n' : n est à gauche du dioptre et n' à droite)

Un dioptre plan sépare deux milieux différents d'indice $n = 1{,}5$ et $n' = 1{,}2$. Un objet réel se trouve à 0,6 m du sommet du dioptre. **À quelle distance du sommet du dioptre se trouvera son image ?**

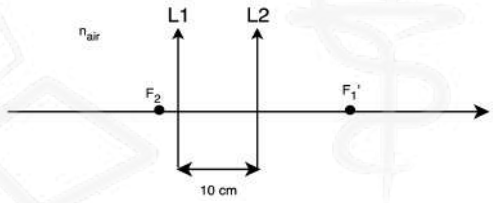
Résolution : On cherche la distance $\overline{SA'}$, donc on va avoir besoin de la relation de conjugaison
Attention, on ne nous donne pas directement $\overline{SA}$ mais on sait que c'est un objet réel donc $\overline{SA} = -0{,}6$ m
$n\overline{SA'} = n'\overline{SA}$
$\overline{SA'} = \frac{n'\overline{SA}}{n} = \frac{1{,}2\times-0{,}6}{1{,}5} = -0{,}48$ m

Un miroir sphérique, placé dans l'air d'indice $n = 1$, sépare deux milieux d'indice différents. On connaît sa vergence, $\phi = 4\ \delta$. **Calculez la position du foyer objet ainsi que celle du foyer image.**

Résolution : La formule du foyer objet pour un miroir sphérique est : $\overline{SF} = \frac{\overline{SC}}{2}$
Il nous faut donc le rayon de courbure du miroir pour le calculer
$\phi = \frac{-2n}{\overline{SC}} \Rightarrow \overline{SC} = \frac{-2n}{\phi} = \frac{-2}{4} = -0{,}5$ m
Donc $\overline{SF} = \frac{\overline{SC}}{2} = \frac{-0{,}5}{2} = -0{,}25$ m
Le foyer image est à la même position que le foyer objet : $\overline{SF} = \overline{SF'}$

Deux lentilles minces L1 ET L2 de vergences $\phi_1 = 4\delta$ et $\phi_2 = 8\delta$ sont placées l'une à la suite de l'autre et sont séparés de 10 cm dans l'air. **Calculez l'intervalle optique.**

Résolution : Intervalle optique : $\Delta = \overline{F_1'F_2}$
Il nous faut donc le foyer image de la première lentille et le foyer objet de la deuxième.
Foyer image de L1 : $\overline{O_1F_1'} = \frac{n1}{\phi_1} = \frac{1}{4} = 0{,}25$ m
Il se situe donc à 0,25 m à droite de la lentille 1
Foyer objet de L2 :
$\overline{O_2F_2} = \frac{-n1}{\phi_2} = \frac{-1}{8} = -0{,}125$ m
Il se situe donc à 0,125 m à gauche de la lentille 2



À partir de maintenant, le plus compliqué est de se repérer, d'où l'utilité de faire vos schémas
$\overline{O_1F_1'} = 0{,}25$ m donc $\overline{O_2F_1'} = 0{,}25 - 0{,}1 = 0{,}15$ m
Ainsi $\Delta = \overline{F_1'F_2} = 0{,}15 + 0{,}125 = 0{,}275$

FICHE : LES FORMULES

Généralités	
Loi de la réfraction	$n_1 sin_{i1} = n_2 sin_{i2}$
Miroirs	$L_{miroir} = \frac{taille}{2}$
Angle de réflexion totale	$i1 = sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$

Prismes	
Réfraction dans le prisme	$n.sin(i) = n'.sin(r)$ $n'.sin(r') = n.sin(i')$
Angle au sommet	$A = r + r'$
Déviation	$D = i + i' - A$
Dans le cas d'une déviation minimale	$i = i'$ $r = r'$ $A = 2r \Rightarrow r = \frac{A}{2}$ $D_m = 2i - A \Rightarrow i = \frac{D_m + A}{2}$

Les systèmes centrés	
Le dioptre sphérique	
Vergence	$\frac{n'}{\overline{SA'}} - \frac{n}{\overline{SA}} = \frac{n' - n}{\overline{SC}} = \phi$
Foyer objet	$\overline{SF} = \frac{-n}{\phi}$
Foyer image	$\overline{SF'} = \frac{n'}{\phi}$
Grandissement	$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{n\overline{SA'}}{n'\overline{SA}}$
Le dioptre plan	
Vergence	$\overline{SC} \to \infty \Rightarrow \phi = \frac{n' - n}{\overline{SC}} = 0$
Relation de conjugaison	$n\overline{SA'} = n'\overline{SA}$
Grandissement	$\gamma = 1$
Lames à faces parallèles	

Relation objet-image	$\overline{AA'} = e\left(1 - \frac{1}{n}\right)$
Miroir plan	
Relation de conjugaison	$\overline{SA'} = -\overline{SA}$
Grandissement	$\gamma = 1$
Miroir sphérique	
Vergence	$\phi = \frac{n' - n}{\overline{SC}} = \frac{-2n}{\overline{SC}} = \frac{2n'}{\overline{SC}}$
Relation de conjugaison	$\frac{1}{\overline{SA'}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{2}{\overline{SC}}$
Foyer objet / image	$\overline{SF} = \overline{SF'} = \frac{\overline{SC}}{2}$
Grandissement	$\gamma = \frac{\overline{SA'}}{-\overline{SA}}$
Lentille mince	
Vergence	$\frac{n1}{\overline{OA'}} - \frac{n1}{\overline{OA}} = (n2 - n1)\left(\frac{1}{\overline{OC1}} - \frac{1}{OC2}\right) = \phi$
Foyer objet	$\overline{OF} = \frac{-n1}{\phi}$
Foyer image	$\overline{OF'} = \frac{n1}{\phi}$
Grandissement	$\gamma = \frac{\overline{AB'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$
Association de deux lentilles	
Intervalle optique	$\Delta = \overline{F_1'F_2}$
Vergence	$\phi = \phi_1 + \phi_2 - e\phi_1\phi_2$

PETIT TIPS

Ce chapitre peut être looooooong à maîtriser, mais vous verrez, avec de la régularité et des QCMs à foison, il n'aura plus de secrets pour vous. Les formules sont nombreuses mais sont logiques entre elles.

Il peut être bon de revoir le cours (théorique) assez régulièrement et brièvement (les QCMs sont le meilleur moyen de maîtrise du chapitre après tout) pour bien comprendre pourquoi les formules sont telles qu'elles sont.

N'oubliez pas : enjoy the process, le S2 est assez long pour prendre le temps (pas trop non plus hein, on vous voit) de bien se poser sur les concepts moins maitrisés. ☺

FICHE : MÉTHODE POUR TROUVER LA TAILLE D'UN MIROIR

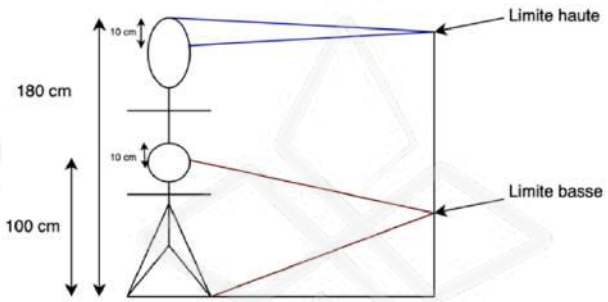
Un homme et un enfant se placent tous les deux à 1m d'un miroir. Quelle est la taille minimale du miroir pour que les deux personnes se voient en entier dans le miroir ?

Données :

- $Taille_{homme}$ = 180 cm
- $Taille_{enfant}$ = 1 m
- $Distance_{crâne\text{-}oeil}$ = 10 cm

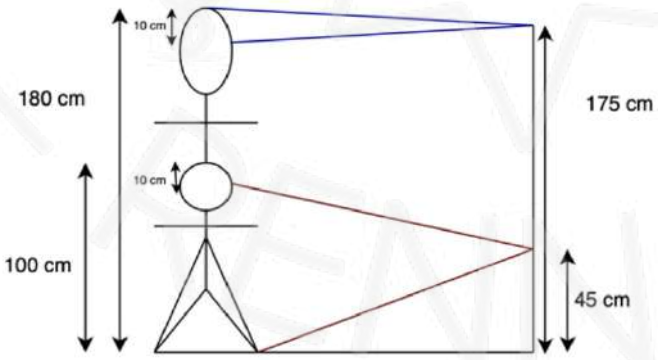
Pour trouver la taille minimale du miroir, il faut placer une **limite haute** et une **limite basse** :

- La **limite haute** est définie par le rayon partant du sommet du crâne de l'homme jusqu'à ses yeux.
- La **limite basse** est définie par le rayon partant des pieds du petit jusqu'à ses yeux.



Une fois qu'on a bien représenté ces limites, on peut en déduire leur position :

- La **limite haute** se trouve au-dessus des yeux de l'homme à une distance égale à la moitié de la distance crâne-œil. Donc à 5 cm au-dessus de ses yeux, c'est-à-dire à 175 cm du sol.
- La **limite basse** se trouve au niveau du point de réflexion du rayon allant des yeux jusqu'aux pieds du petit donc à la moitié de la distance pieds-œil. Elle se trouve donc à 45 cm du sol car 90/2 = 45 cm.



On peut finalement déduire la taille du miroir : $Taille_{miroir} = 175 - 45 = 130$ cm

NOTES PERSONNELLES

CHAPITRE 3 : MÉCANIQUE DES FLUIDES

I - RAPPELS : GAZ PARFAITS

A. Quelques définitions

Fluide : est constitué de molécules **mobiles** entre elles et n'a **pas de forme propre** (prend celle du récipient)

Les gaz : les molécules occupent **tout l'espace** de leur enceinte, sont **compressibles** et **expansibles** (PV = nRT)
Les liquides : les molécules occupent un **volume indépendant de celui du récipient**, sont **peu compressibles et expansibles**

On s'intéresse aux **liquides** considérés comme **incompressibles** :

Fluides réels : glissement des molécules les unes sur les autres → frottements → **viscosité** → écoulement avec dégagement de chaleur (**perte d'énergie**)
Fluides parfaits : on suppose qu'il n'y a pas de frottements moléculaires → **viscosité = 0** → écoulement **sans perte d'énergie**

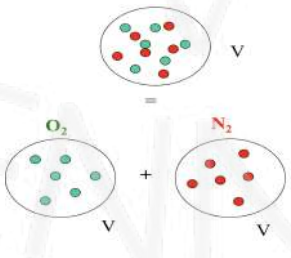
B. Gaz parfait

L'équation d'état : $\boldsymbol{P.V = n.R.T}$

- P : *pression en Pa*
- V : *volume en* m^3
- n : *nombre de moles*
- R : *constante des GP (gaz parfaits)* = $8{,}315\ J.mol^{-1}.K^{-1}$
- T : *température en °K*

C. Mélange de Gaz parfaits

Pression partielle : $P_i.V = n_i.R.T$
Pression totale : $P = \sum_i P_i$



II - STATIQUE DES FLUIDES

A. Équations barométriques

$$\Delta P = -\rho g dh$$

B. Fluide incompressible

$$P_1 + \rho g h_1 = P_2 + \rho g h_2$$

La différence de pression est propre à la différence de hauteur.

C. Unité de pression

On utilise comme unité "légale" le pascal : **1Pa = 1N/m3** mais il y a beaucoup d'autres unités possibles en fonction du domaine de la pression étudiée :

Unité	Correspondance
Le bar	$1\ bar = 10^5\ Pa$
L'atmosphère	$1\ atm = 101325\ Pa =$ *pression exercée par une colonne de mercure de* $760mm$
Le torr (techniques du vide)	$1\ torr =$ *pression exercée par une colonne de mercure de* $1mm$
Le Poundforce per Square Inch (psi)	$1\ psi = 6895\ Pa$
Le mètre de colonne d'eau (masse volumique prise à 4°C sous 1atm)	$1\ mCE = 9807\ Pa =$ *pression exercée par* $1m$ *de colonne d'eau*

1 Pa = pression exercée par 102g sur $1m^2$

Patm = 1013 hPa

D. Fluide compressible

On peut considérer que la pression de l'air est la même pour des systèmes ayant des dimensions de l'ordre de la dizaine de mètres (ce qu'on ne peut pas dire pour un liquide…)

Expérience de Torricelli

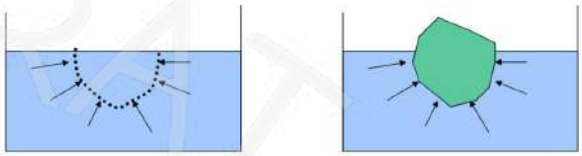
$$h = \frac{P_0}{\rho . g}$$

E. Archimède

Loi d'Archimède : tout corps plongé **dans un liquide** subit de la part de celui-ci une force **opposée à son poids** dont **l'intensité est égale au poids du fluide déplacé**.

$$P = P_A$$

Avec P = m.g (avec m la masse de l'objet), P_A= m'.g (avec m' la masse liquide déplacée, donc m' = $V_{liquide\ déplacé}$ x $\rho_{liquide}$), d'où



$$P_A = V_{liquide\ déplacé} \cdot \rho_{liquide} \cdot g$$

F. Si le fluide est un gaz

$$P(h) = P_0 e^{-\frac{m_m g}{kT}h}$$

III - TENSION SUPERFICIELLE

A. Phénomènes de surface

Propriétés particulières du liquide avec sa surface en contact avec une autre phase :

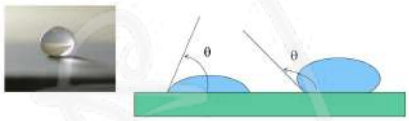
- **Liquide–liquide : tension interfaciale (émulsions)**
- **Liquide–solide : mouillement (capillarité - phénomène de flottation)**
- **Liquide–gaz : tension superficielle**

=> Ce sont des contradictions des lois de la pesanteur

B. Tension interfaciale (liquide-liquide)

1. Ligne et angle de raccordement

- $\theta = 0$: Le liquide est **parfaitement mouillant** pour la surface
- $\theta < 90°$: Le liquide est **imparfaitement mouillant** pour la surface
- $\theta > 90°$: Le liquide est **imparfaitement non mouillant**
- $\theta = 180°$: Le liquide est **parfaitement non mouillant**

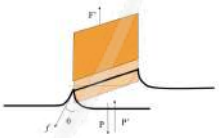


$$\Delta F = F_{TS} = 2l\sigma_{LV}cos\theta$$
$$F(T) = \gamma.a.cos\theta$$

Avec F(T) la force de tension superficielle, γ la tension superficielle, a le périmètre de raccordement, θ l'angle de raccordement

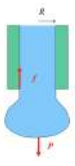
C. Stalagmométrie

$$P = V\rho g$$
$$f = 2\pi R\gamma$$
$$V = \frac{2\pi R\gamma}{\rho g}$$



D. Loi de Jurin

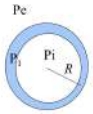
$$fz = 2\pi r.\gamma.cos\theta$$
$$P = \pi.r^2h\rho g$$
$$\gamma = \frac{hr\rho g}{2cos\theta}$$



E. Surpression de Laplace

- Goutte : $P_i - P_e = \frac{2\gamma}{R}$
- Bulle : $P_i - P_e = \frac{4\gamma}{R}$

Goutte : 

Bulle : 

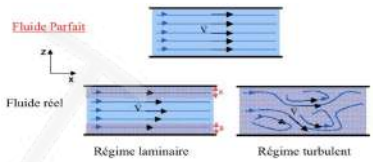
IV - DYNAMIQUE DES FLUIDES

A. Généralités

1. Profil des vitesses

Dans le cas d'un profil parabolique et d'un tube cylindrique (v_0 la vitesse au centre du tube) :

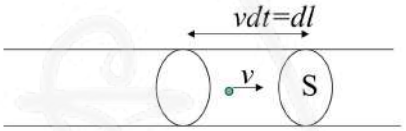
- Dans le cas d'un fluide parfait : $v_{moy} = v_0$
- Dans le cas d'un fluide réel en régime laminaire : $v(r) = v_0\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \Rightarrow v_{moy} = v_0/2$
- Dans le cas d'un fluide réel en régime turbulent : $v_{moy} = 0{,}8.\, v_0$



2. Les débits

En appelant "dV" et "dm" respectivement le volume élémentaire et la masse élémentaire traversant une section donnée S pendant le temps élémentaire "dt," on définit :

- Le **débit volumique** : $Q_v = \frac{dV}{dt} = \frac{S.dl}{dt} = S.\frac{dl}{dt}$, d'où : $Q_v = S.v_{moy}$
- Le **débit massique** : $Q_m = \frac{dm}{dt} = \frac{\rho.dV}{dt}$, d'où : $Q_m = \rho.Q_v = \rho.S.v_{moy}$



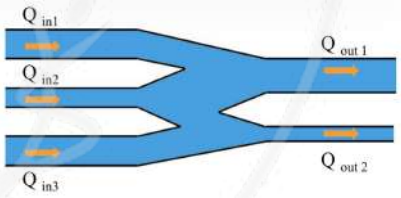
3. Conservation de masse

Conservation du **débit massique** pour **tout fluide** : $Q_{m,1} = Q_{m,2}$

4. Loi de conservation des débits volumiques

Dans le cas d'un fluide **incompressible** : $\rho_1 = \rho_2$

Il y a donc conservation du **débit volumique** pour **tout fluide incompressible.**



Comme il y a conservation des débits : $Q_{in1} + Q_{in2} + Q_{in3} = Q_{out1} + Q_{out2}$

Donc :

$$\sum_{i=1}^{M} Q_{in,i} = \sum_{j=1}^{N} Q_{out,i}$$

B. Cas des fluides non visqueux

Équation de Bernoulli :

$$P + \rho\frac{v^2}{2} + \rho g z = \text{ constante}$$

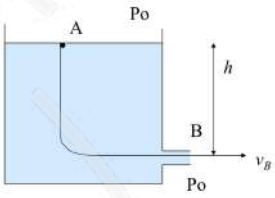
$$\Leftrightarrow P_A + \frac{1}{2}.\rho.v_A^2 + \rho.g.h_A = P_B + \frac{1}{2}.\rho.v_B^2 + \rho.g.h_B$$

La baignoire qui fuit

$$v_B = \sqrt{\frac{2gh}{1-\left(\frac{S_B}{S_A}\right)^2}}$$

Si $S_B << S_A$

$$v_B = \sqrt{2gh}$$

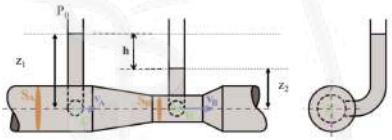


Effet Venturi

Si $S_B < S_A$ alors $P_B < P_A$ et $v_B > v_A$

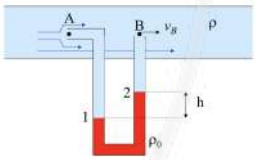
De plus : $P_A - P_B = -\rho g(z_2 - z_1) = -\rho g h$

$$P_A - P_B = \frac{\rho v_A^2}{2}\left[\left(\frac{S_A}{S_B}\right)^2 - 1\right]$$



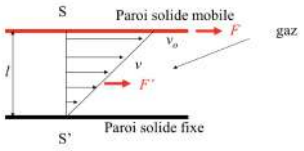
Tube de Pitot

$$v_B = \sqrt{2\frac{\rho_0 - \rho}{\rho}gh}$$



C. Cas des fluides visqueux

$$F' = \eta \frac{dv}{dx} S$$



Valeurs et variations de la viscosité

Normalement c'est une constante caractéristique du liquide.

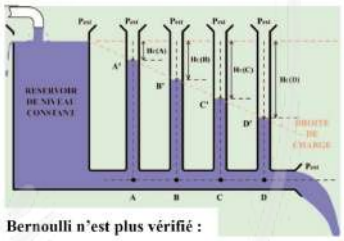
Mais varie avec la température : **si T augmente, η diminue**

- **liquides newtoniens** : **η est constante à une température donnée, peut varier avec $\Delta v/\Delta x$**
  ex : Eau $\eta = 10^{-3} Pa.s$ ou $kg.m^{-1}.s^{-1}$ à 20°C
- **liquides non newtoniens** : **η dépend aussi de $\Delta v/\Delta x$**
  ex : sang où ce sont essentiellement les globules rouges qui conditionnent les propriétés mécaniques
  - *Quand $\Delta v/\Delta x$ diminue, on observe la formation de rouleaux de GR donc η augmente : la viscosité η n'a théoriquement plus de sens.*
  - *Cependant quand $\Delta v/\Delta x$ est suffisamment élevé (gros vaisseaux), on peut considérer une valeur stable de η : Sang $\eta = 3$ ou $4.10^{-3} Pa.s$ ou $kg.m^{-1}.s^{-1}$ à 20°C*

Perte de charge

$\rho gh + 1/2\rho v^2 + P \neq constante$

$\Rightarrow \rho gh + 1/2\rho v^2 + P + chaleur = constante$



Bernoulli n'est plus vérifié :

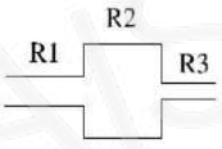
v dépend de r, on ne peut pas écrire ~~$Q = vS$~~

$$Q = \int_0^R v(r) 2\pi r \, dr$$

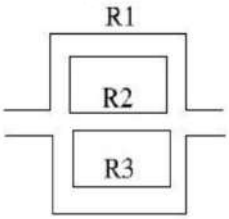
$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta L} \Delta P$$

Analogie avec l'électricité

Dans un système de conduits **en série** : Rt = R1 + R2 + R3



Dans un système de conduits **en parallèle** : 1/Rt = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3



Pertes de charges régulières

$\Delta P_C = RQ$: les pertes de charge

Si le tube est horizontal et sans variations de section alors : $P_A - P_B = \Delta P_C$

$$R_h = \frac{8\eta L}{\pi R^4}$$

Nombre de Reynolds

$$R_e = \frac{\rho . v . D}{\eta}$$

- 0 < Re < 2000 ⟶ écoulement **laminaire**
- 2000 < Re < 3000 ⟶ régime **transitoire**
- 3000 < Re ⟶ régime **turbulent**

Petit **rappel** sur les unités :

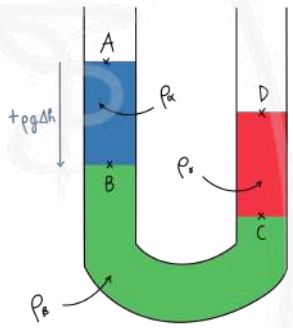
- 1 bar = 10^5 Pa
- 1 atm = $1{,}013.10^5$ Pa
- Pa = N/m^2

MÉTHODE : LE TUBE EN U

1) Déterminer ce que l'on cherche
   - La pression P en l'un des points ?
   - La masse volumique ρ de l'un des fluides ?
   - La hauteur h de l'un des niveaux liquidiens ?
   - La constante gravitationnelle g dans les rares exercices où le liquide ne se trouve pas sur terre ?

2) Pour trouver l'inconnue :
   a) Partir d'un point A, on note la pression en ce point P_A
   b) À chaque fois que l'on "descend" dans le tube en U, on **ajoute** ρgh (h étant la hauteur de laquelle on est "descendus," ρ étant la masse volumique du liquide dans lequel on a évolué)
   c) Si l'on "remonte" dans le fluide, on **soustrait** ρgh
   d) À chaque fois que l'on change de fluide, on doit marquer une étape puisque ρ change

3) Exemple :



Pour obtenir la pression en B à partir de A :

$P_B = P_A + \rho g \Delta h \Leftrightarrow P_B = P_A + \rho g(h_A - h_B)$

Pour obtenir la pression en D à partir de A : $P_D = P_A + \rho_\alpha g\Delta h + \rho_\beta g\Delta h - \rho_\gamma g\Delta h$

$P_D = P_A + \rho_\alpha g(h_A - h_B) + \rho_\beta g(h_B - h_C) - \rho_\gamma g(h_D - h_C)$

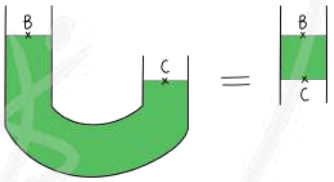
On peut diviser en plusieurs étapes :

$P_A = connue$

$P_B = P_A + \rho_\alpha g\Delta h = P_A + \rho_\alpha g(h_A - h_B)$

$P_C = P_B + \rho_\beta g\Delta h = P_B + \rho_\beta g h_B - \rho_\beta g h_C = P_B + \rho_\beta g(h_B - h_C)$

$P_D = P_C - \rho_\gamma g\Delta h = P_C - \rho_\gamma g(h_D - h_C)$

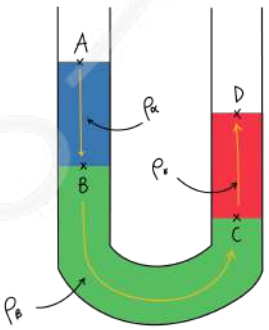


Au total, on additionne toutes les équations et on retrouve le même résultat :

$P_D = P_C - \rho_\gamma g(h_D - h_C)$

$P_D = (P_B + \rho_\beta g h_B - \rho_\beta g h_C) - \rho_\gamma g(h_D - h_C)$

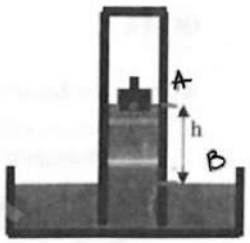
$P_D = P_A + \rho_\alpha g(h_A - h_B) + \rho_\beta g h_B - \rho_\beta g h_C - \rho_\gamma g(h_D - h_C)$



EXERCICES RÉSOLUS

A. Expérience de Torricelli (sujet d'annale)

En prévision d'un rendez-vous amoureux, Bastian a allumé une bougie flottant dans une assiette remplie d'eau. Sa dulcinée lui ayant posé un lapin, il recouvre la bougie avec un verre pour l'éteindre. On observe que le niveau de l'eau monte dans le verre jusqu'au moment où la bougie s'éteint. La pression dans l'air entre l'intérieur et l'extérieur du verre a diminué de 1%.



Quelle est la différence de hauteur h entre l'eau dans l'assiette et l'eau dans le verre ?

Données : $\mu_{eau} = 1000\ kg.m^{-3}$ $g = 10\ m.s^{-2}$ $P_{atm} = 10^5\ Pa$

Résolution :

Tout d'abord, on cherche la pression à l'intérieur du contenant (au point A sur le schéma). Or on sait que la pression en A est égale à 1% de la pression au point B (qui est à la pression atmosphérique) :

$P_A = 99\%\ de\ P_{atm} \Leftrightarrow P_A = 0{,}99.P_{atm} = 0{,}99.10^5 = 9{,}9.10^4\ Pa$

Ensuite, on utilise la méthode du tube en U pour déterminer une relation entre la pression en A et la pression en B : $P_A = P_B - \rho gh$

Puis on isole h dans l'équation : $\rho gh = P_B - P_A \Leftrightarrow h = \frac{P_B - P_A}{\rho g}$

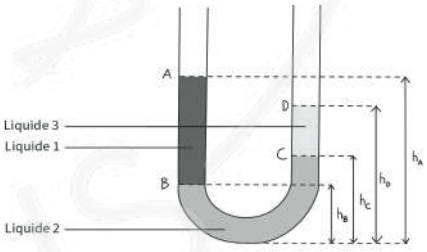
Finalement, il ne reste plus qu'a remplacer par les données de l'énoncé : $h = \frac{10^5 - 9{,}9.10^4}{1000.10} = 0{,}1\ m = 10\ cm$

B. Le tube en U

On considère le tube en U ci-contre. On donne les données suivantes :

$h_A = 50\ cm$ $h_B = 20\ cm$ $h_C = 25\ cm$ $h_D = 40\ cm$

$\rho_1 = 1{,}2.10^3\ kg.m^{-3}$ $\rho_2 = 2.10^3\ kg.m^{-3}$ $P_A = P_D = 1\ bar$



Que vaut P_C la pression au point C ? Que vaut ρ_3 la masse volumique du liquide 3 ?

Résolution :

Commençons tout d'abord par calculer P_C :

On utilise la méthode du tube en U pour établir une relation entre la pression en un point où elle est connue (ici P_A) et le point où on la cherche (ici P_C) : $P_A + \rho_1 g(h_A - h_B) - \rho_2 g(h_C - h_B) = P_C$

On peut maintenant isoler P_C dans l'équation précédente : $P_C = P_A + \rho_1 g(h_A - h_B) - \rho_2 g(h_C - h_B)$

Il suffit désormais de remplacer chacun des termes de l'équation par les données de l'énoncé, en faisant attention à bien convertir dans les unités internationales (attention, le bar n'est pas une unité internationale, il faut le convertir en Pa : $1\ bar\ =\ 10^5\ Pa$) :
$P_C = 10^5 + 1{,}2.10^3.10.(0{,}5 - 0{,}2) - 2.10^3.10.(0{,}25 - 0{,}2) = 1{,}026.10^5\ Pa$

Nous pouvons maintenant nous pencher sur la deuxième question de l'exercice : on cherche donc maintenant à calculer ρ_3, la masse volumique du liquide 3 :

On utilise toujours la même méthode (méthode du tube en U), en partant cette fois ci de la pression au point C que nous avons calculée juste avant : $P_C - \rho_3 g(h_D - h_C) = P_D$

On isole ρ_3 : $\rho_3 g(h_D - h_C) = P_C - P_D \ \Leftrightarrow \rho_3 = \frac{P_C - P_D}{g(h_D - h_C)}$

On remplace maintenant par les donnés de l'énoncé : $\rho_3 = \frac{1{,}026.10^5 - 10^5}{10.(0{,}4 - 0{,}25)} = \ 1{,}73.10^3\ kg.m^{-3}$

C. Poussée d'Archimède (sujet d'annale)

Lors d'un naufrage, un homme trouve refuge sur une porte en bois. Celle-ci mesure 2 m de long, 1 m de large et 10 cm d'épaisseur. La porte est immergée au 2/6 pour soutenir l'homme. Sachant que la porte a une masse de 10 kg, **déterminer la masse de l'homme au kg près.**

Données : $\mu_{eau} = 1010\ kg.m^{-3} \qquad g = 10\ m.s^{-2}$

Résolution :

La force permettant à la porte de flotter est la poussée d'Archimède, sa formule est :
$P_A = \ V_{liquide\ déplacé} \cdot \rho_{liquide} \cdot g$

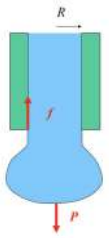
Pour qu'un objet comme la porte flotte, il faut que son poids total (donc le poids de l'objet + de ce qui est posé dessus) soit égal à la poussée d'archimède exercée par l'eau sur la portion immergée de la porte, donc :
$P\ (poids\ de\ l'objet) = \ P_A\ (poussée\ d'Archimède) \Leftrightarrow \ m.g = V_{liquide\ déplacé} \cdot \rho_{liquide} \cdot g$

On peut simplifier par g :
$m = V_{liquide\ déplacé} \cdot \rho_{liquide}$

Or, ici, la masse correspond à la masse totale, c'est-à-dire à la somme de la masse de la porte et cette de l'homme :
$m_{homme} + m_{porte} = V_{liquide\ déplacé} \cdot \rho_{liquide} \ \Leftrightarrow \ m_{homme} = V_{liquide\ déplacé} \cdot \rho_{liquide} - m_{porte}$

On peut maintenant remplacer par les données de l'énoncé (attention : le volume de liquide déplacé correspond à ⅖ du volume de la porte, et non au volume de la porte entière !) :
$m_{homme} = \frac{2}{5}.(2.1.0{,}1).1010 - 10 = 70{,}8\ kg$

D. Loi de Jurin (sujet d'annale)



Niels, scientifique à ses heures perdues, a demandé une pipette à Noël pour réaliser ses plus folles experiences. Il prélève un liquide. Des gouttes se forment au bout de la pipette dont le rayon R est 3 mm. Il récupère 20 gouttes dont le volume total est 1 cm^3.

Quelle est la tension superficielle du liquide ?

Données : $\rho = 800\ kg.m^{-3}$ $g = 10\ m.s^{-2}$

Résolution :

Quand une goutte se forme sur une pipette, on sait que son poids est égal à la tension superficielle qui s'exerce sur elle, donc : $P = F(T)$. Or, on connaît l'expression du poids $P = m.g = \rho.V.g$, et celle de la tension superficielle : $F(T) = \gamma.\alpha.cos\theta$ (ici $\theta = 0$ donc $cos\theta = 1$).

On isole γ dans l'équation précédente : $\gamma = \frac{\rho.V.g}{\alpha}$

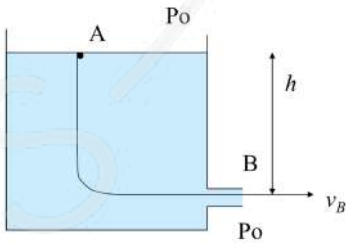
Dans cet exercice, nous cherchons à calculer la tension superficielle. Or, celle-ci ne s'exerce que sur une seule goutte à la fois. Il faut donc qu'on calcule le volume d'une seule goutte à partir du volume des 20 gouttes de l'énoncé : $V = \frac{1.10^{-6}}{20}$

Il nous reste maintenant à déterminer le périmètre de raccordement α. Celui-ci correspond au périmètre de l'intérieur du tube formé par la pipette, ce qui revient donc au périmètre d'un cercle de 3 mm de rayon : $\alpha = 2.\pi.r = 2.\pi.3.10^{-3}$

Il suffit maintenant de replacer par les données de l'énoncé :

$$\gamma = \frac{\rho.V.g}{\alpha} = \frac{800.\frac{1.10^{-6}}{20}.10}{2.\pi.10^{-3}} = 21{,}22.10^{-3}\ N.m^{-3}$$

E. La baignoire qui fuit



Sidonie, actionnaire majoritaire d'une multinationale spécialisée dans la déforestation, s'est acheté un stade de football. Afin de pouvoir continuer à l'arroser pendant les périodes de sécheresse, elle décide de s'inspirer du concept de "méga-bassines" et d'installer la cuve schématisée ci-contre, remplie d'un fluide incompressible. Celle-ci possède une ouverture au niveau du point A de très grande surface. Elle est percée en son point le plus bas $(h = 0)$ d'un trou de 20 cm de diamètre. De plus, la surface se trouve à 10 m de hauteur par rapport au fond de la cuve.

Calculer la vitesse d'écoulement au point B.

Données : $g = 10\ m.s^{-2}$

Résolution :

On commence par poser l'équation de Bernoulli : $P_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 + \rho g h_A = P_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2 + \rho g h_B$

On peut tout d'abord établir que le point A et le point B se trouvent tous les deux à l'interface entre le milieu atmosphérique et le liquide, donc $P_A = P_B = P_{atm}$, on peut donc simplifier l'équation de la façon suivante : $\frac{1}{2}\rho v_A^2 + \rho g h_A = \frac{1}{2}\rho v_B^2 + \rho g h_B$

Ensuite, d'après l'énoncé : $h_B = 0$, donc on peut simplifier : $\frac{1}{2}\rho v_A^2 + \rho g h_A = \frac{1}{2}\rho v_B^2$

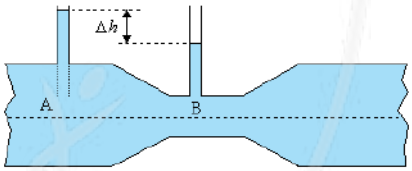
On peut maintenant simplifier par ρ car le fluide est incompressible (donc ρ=cste) :
$\frac{1}{2}v_A^2 + g h_A = \frac{1}{2}v_B^2 \Leftrightarrow \frac{1}{2}.(v_B^2 - v_A^2) = g h_A$

D'après la loi de conservation des débits volumiques (comme le fluide est incompressible, elle s'applique ici) : $S_A.v_A = S_B.v_B$. D'après l'énoncé, $S_A >>> S_B$, donc pour maintenir l'égalité, cela signifie que $v_B >>> v_A$, on peut dire que v_A est négligeable devant v_B. Donc : $\frac{1}{2}.v_B^2 = g h_A$

On isole maintenant v_B : $\frac{1}{2}.v_B^2 = g h_A \Leftrightarrow v_B^2 = 2.g h_A \Leftrightarrow v_B = \sqrt{2 g h_A}$

On remplace maintenant par les données de l'énoncé : $v_B = \sqrt{2.10.10} = 14{,}14\ m.s^{-1}$

F. Effet Venturi



On considère un tube de Venturi (représenté ci-dessus) dans lequel s'écoule de l'eau que l'on considère comme un fluide parfait, incompressible. Au niveau du point A, la canalisation (cylindrique) a un diamètre D = 9 cm et au niveau du point B d = 3 cm. La vitesse de l'eau au point B vaut 1 m/s.

Calculer la différence de pression ΔP entre les points A et B et en déduire la hauteur Δh.

Données : $\rho_{eau} = 10^3\ kg.m^{-3}$ $\quad g = 9{,}81\ m.s^{-2}$

Résolution :

On commence par reprendre l'équation de Bernoulli : $P_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 + \rho g h_A = P_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2 + \rho g h_B$

Or, on sait (d'après le schéma) que $h_A = h_B$, on peut donc simplifier : $P_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 = P_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2$

On cherche la différence de pression ΔP, qui correspond à $P_A - P_B$, on isole donc ces termes de l'équation : $P_A - P_B = \frac{1}{2}\rho v_B^2 - \frac{1}{2}\rho v_A^2 \Leftrightarrow \Delta P = \frac{1}{2}.\rho.(v_B^2 - v_A^2)$

On ne connaît pas v_A. Or, on connaît v_B. On va donc chercher à exprimer v_A en fonction de v_B. On sait que le fluide est incompressible, donc il y a conservation des débits volumiques :

$S_A.v_A = S_B.v_B \Leftrightarrow v_A = \frac{S_B.v_B}{S_A}$

On remplace maintenant dans l'équation précédente : $\Delta P = \frac{1}{2}.\rho.\left(v_B^2 - \left(\frac{S_B.v_B}{S_A}\right)^2\right)$
Les surfaces en B et en A sont assimilables à des disques donc : $S = \pi.r^2$
$\Delta P = \frac{1}{2}.\rho.\left(v_B^2 - \left(\frac{\pi.r_B^2.v_B}{\pi.r_A^2}\right)^2\right) \Leftrightarrow \Delta P = \frac{1}{2}.\rho.\left(v_B^2 - \left(\frac{r_B^2.v_B}{r_A^2}\right)^2\right)$

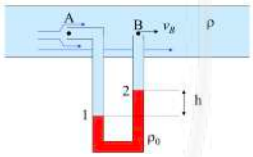
On remplace par les données de l'énoncé (attention à bien convertir les diamètres en rayons !) :
$\Delta P = \frac{1}{2}.10^3.\left(1 - \left(\frac{(1{,}5.10^{-2})^2.1}{(4{,}5.10^{-2})^2}\right)^2\right) = 493{,}8\ Pa$

On cherche maintenant la valeur de la hauteur Δh :
On utilise la méthode du tube en U pour obtenir P_A et P_B en fonction de la pression atmosphérique P_{ATM} : $P_A - \rho g h_A = P_{ATM}$ et $P_B - \rho g h_B = P_{ATM}$
$P_A - \rho g h_A = P_B - \rho g h_B \Leftrightarrow P_A - P_B = \rho g h_A - \rho g h_B \Leftrightarrow \Delta P = \rho g(h_A - h_B) \Leftrightarrow \Delta P = \rho g \Delta h$

On isole maintenant Δh et on remplace par les données : $\Delta h = \frac{\Delta P}{\rho g} = \frac{493{,}8}{10^3.9{,}81} = 0{,}05\ m\ =\ 50\ cm$

G. Tube de Pitot

On considère le tube de Pitot ci-contre.



Calculer la vitesse au point B.

Données : $\rho = 10^3\ kg.m^{-3}$ $\rho_0 = 1{,}2.10^3\ kg.m^{-3}$ $h = 10\ cm$ $g = 10\ m.s^{-2}$

Résolution :

On repart de l'équation de Bernoulli : $P_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 + \rho g h_A = P_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2 + \rho g h_B$
Or, $v_A = 0$, donc : $P_A + \rho g h_A = P_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2 + \rho g h_B$
Or, $h_A = h_B$, donc $P_A = P_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2 \Leftrightarrow P_A - P_B = \frac{1}{2}\rho v_B^2$

Maintenant, on considère le tube en U qui relie le point A au point B. On utilise la méthode du tube en U pour établir une relation entre P_A et P_B : $P_A + \rho g h_1 - \rho_0 g h - \rho g h_2 = P_B$
$\Leftrightarrow P_A - P_B = \rho_0 g h + \rho g h_2 - \rho g h_1 \Leftrightarrow P_A - P_B = \rho_0 g h + \rho g(h_2 - h_1)$

D'après le schéma : $h_2 - h_1 = -h$ (attention à ne pas se perdre, h_1 est plus grande que h_2, il est donc logique que h soit négatif) : $P_A - P_B = \rho_0 g h + \rho g h \Leftrightarrow P_A - P_B = g h(\rho_0 - \rho)$

On reprend l'équation du début et on remplace par l'équation que l'on vient d'obtenir :
$P_A - P_B = \frac{1}{2}\rho v_B^2$
$\frac{1}{2}\rho v_B^2 = g h(\rho_0 - \rho) \Leftrightarrow v_B^2 = 2gh\frac{(\rho_0 - \rho)}{\rho} \Leftrightarrow v_B = \sqrt{2gh\frac{(\rho_0 - \rho)}{\rho}}$
On remplace par les données de l'énoncé : $v_B = \sqrt{2gh\frac{(\rho_0 - \rho)}{\rho}} = \sqrt{2.10.0{,}1.\frac{(1{,}2.10^3 - 1{,}.10^3)}{1.10^3}} = 0{,}63\ m.s^{-1}$

FICHE : LES FORMULES

Statique des fluides	
Équation barométrique	$\Delta P = -\rho g dh$
Fluide incompressible	$P_1 + \rho g h_1 = P_2 + \rho g h_2$
Poussée d'Archimède	$P_A = V_{liquide\ déplacé} \cdot \rho_{liquide} \cdot g$

Tension superficielle		
Force de tension superficielle	$F(T) = \gamma . a . cos\theta$	
Loi de Jurin	$P = F(T)$	
Surpression de Laplace	Goutte : $P_i - P_e = \frac{2\gamma}{R}$	Bulle : $P_i - P_e = \frac{4\gamma}{R}$

Statique des fluides	
Vitesses	Fluide parfait : $v_{moy} = v_0$
	Fluide réel laminaire : $v_{moy} = \frac{v_0}{2}$
	Fluide réel turbulent : $v_{moy} = 0{,}8 . v_0$
Débits	Volumique : $Q_v = S . v_{moy}$
	Massique : $Q_m = \rho . Q_v = \rho . S . v_{moy}$
Fluides non visqueux (équation de Bernoulli)	$P_A + \frac{1}{2} . \rho . v_A^2 + \rho . g . h_A = P_B + \frac{1}{2} . \rho . v_B^2 + \rho . g . h_B$
Fluides visqueux	Perte de charge : $\Delta P_C = RQ$ avec $R_h = \frac{8\eta L}{\pi R^4}$
	Nombre de Reynolds : $R_e = \frac{\rho . v . D}{\eta}$ A. < 2000 = laminaire B. > 3000 = turbulent

Gaz parfaits	
Équation d'état	$P . V = n . R . T$

PETIT TIPS

Les exos qui tombent à l'examen sont assez souvent les mêmes. Leur logique est très bien représentée dans les conférences classées et celles que vous aurez au cours du semestre par vos magnifiques tuteurs. Ne lésinez pas sur les exos, faites-les d'abord avec le cours pour vous imprégner des mécanismes et de la logique. Vous verrez qu'avec de la régularité vous vous surprendrez à ne même plus avoir besoin de regarder les formules !
Point clé : ne pas avoir peur de prendre son temps au début et de bien détailler les calculs faits dans les exercices. Ça ancre la logique dans votre cerveau, et plus vous ferez d'exos, plus vite vous irez et pourrez faire des raccourcis (à vos risques et périls !).

NOTES PERSONNELLES

CHAPITRE 4 : ÉLECTROMAGNÉTISME

I – DÉFINITION

Aimants : corps capables d'attirer le **fer**, ces propriétés se manifestent aux extrémités : les **pôles (nord et sud)**. Ils peuvent être **naturels** (oxyde de fer) ou **artificiels**. Deux pôles de même nom se **repoussent**.

Champ magnétique : **toute région de l'espace dans laquelle une aiguille aimantée est soumise à des forces magnétiques**. Les sources principales de champ magnétique sont les aimants ou les circuits parcourus par un courant. Champ magnétique terrestre **faible** : $0,5.10^4\ T$
Il est **uniforme** quand il a la même **direction, sens, intensité** en tout point de l'espace champ.

Lignes de champ : lignes **tangentes** en chacun de leurs points au champ et orientées **dans le sens** du champ. Les lignes de champ sont orientées **du pôle Sud vers le pôle Nord à l'intérieur du barreau aimanté**.

II - CHAMP MAGNÉTIQUE CRÉÉ PAR UN COURANT

Champ magnétique créé par un courant rectiligne	Champ magnétique créé par un courant circulaire	Champ magnétique créé par un solénoïde
• Direction : **Perpendiculaire** au plan défini par le conducteur et M • Sens : **dépend du sens du courant** : règle de **l'observateur d'Ampère** • Lignes de champ : **circonférences autour du conducteur** (tangentes en chaque point au vecteur B et orientées dans le sens Sud Nord de l'aiguille)	• Direction : **perpendiculaire à la spire** • Sens : donné par **l'observateur d'Ampère** • Lignes de champ : traversent le circuit **vers la gauche de l'Observateur d'Ampère qui regarde l'intérieur du circuit** • Face sud : dans le sens des aiguilles d'une montre • Face nord : dans le sens inverse des aiguilles d'une montre	**À l'intérieur du solénoïde :** • Sens défini par l'observateur d'Ampère • Lignes de champ : **parallèles** à l'axe du solénoïde • B est uniforme, contenu dans le plan méridien (passant par l'axe du système) **À l'extérieur du solénoïde** : • Lignes de champ : **divergence** • Intensité du champ : **diminution**
$B = \frac{\mu_0 . i}{2\pi d}$	Une seule spire : $B = \frac{\mu_0 . i}{2R}$ Bobine plate N spires : $B = \frac{\mu_0 . N . i}{2R}$	$B = \frac{\mu_0 . N . i}{l}$
Unité : **Tesla (T)**		

Solénoïde : portion de circuit constituée d'un fil conducteur **enroulé régulièrement en hélice** de sorte que les spires **se touchent** (spires jointives) ou restent très voisines, appelé aussi **bobine longue**.
Chaque spire est assimilable à un courant circulaire.

III - ACTION D'UN CHAMP MAGNÉTIQUE SUR UN COURANT

Loi de Laplace : travail expérimental de caractérisation de F	**Travail des forces électromagnétiques**		**Flux d'induction**	**Loi de Maxwell**
• Direction : **perpendiculaire** au plan défini par et l'élément de courant • Sens : **règle des 3 doigts de la main droite** • Intensité proportionnelle à i, à la longueur l et à B sinα (angle entre B et l'élément de courant)	Si B est perpendiculaire au plan des rails	Si B n'est pas perpendiculaire au plan des rails		Lorsqu'un circuit **se déplace dans un champ magnétique**, le **travail** des forces électromagnétiques qui s'exercent sur lui est **égal au produit de l'intensité du courant par la variation de flux qui le traverse.**
$F = i.l.B.sin(l,B)$	$W = i.S.B$	$W = i.S.B.cos\theta$	$\phi = S.B.cos\theta$ Si le circuit est composé de N spires $\phi = N.S.B.cos\theta$	$W = i.\Delta\phi$ Moyen mnémo : WIFI
Unité : **Newton (N)**	Unité : **Joule (J)**		Unité : **Weber (W)**	Unité : **Joule (W)**

Règle du flux maximal : Un circuit parcouru par un **courant** et **placé dans un champ magnétique** tend à se déplacer vers une position d'équilibre **telle que le flux d'induction qui le traverse de sa face sud à sa face nord soit maximal**.

Application de la loi de Laplace : action mutuelle de 2 courants rectilignes parallèles		
Action de i1 sur M2N2	**Action de i2 sur M1N1**	**Au total : F1 = F2 = i1i2l/d(μ0/2π)**

• direction : perpendiculaire à M1N1/P2
• sens : observateur d'ampère placé sur i1 en P2
• intensité μ0i1/2πd
• action de B1 : il exerce une force électromagnétique F2
  ○ direction : perpendiculaire à M2N2/B1
  ○ sens : règle des 3 doigts de la main droite
  ○ intensité : F2=i1i2l/d(μ0/2π)
	• direction : perpendiculaire à M2N2/P1
	• sens : observateur d'ampère placé sur i2 en P1
	• intensité : μ0i2/2πd
	• action de B2 : il exerce une force électromagnétique F1
	  ○ direction : perpendiculaire à M1N1/B2
	  ○ sens : règle des 3 doigts
	  ○ intensité : F1=i1i2l/d(μ0/2π)
		Les forces F1 et F2
		• Ont la **même intensité**
		• **S'attirent** quand les courants sont de **même sens** : forces attractives opposées
		• Se **repoussent** quand les courants sont de **sens contraire** : forces répulsives opposées

IV - INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE, AUTO-INDUCTION

A. Courants induits - Loi de Lenz

3 conditions pour que le phénomène d'induction apparaisse :

- Un **circuit fermé**
- Plongé dans un **champ magnétique**
- Un **déplacement relatif** (soit le circuit bouge, soit le champ se déplace autour du circuit, soit les 2 sont en mouvement)

Au total :

- Toute **variation du flux d'induction** à travers un circuit **fermé** s'accompagne de la production d'un **courant induit** dans ce circuit
- Le **courant induit apparaît dès que commence la variation de flux** ; il **disparaît dès que cesse** cette variation

Loi de Lenz : Le **sens du courant induit** est tel que par ses effets, il **tend à s'opposer à la cause** qui lui a donné naissance.

B. Force électromotrice d'induction

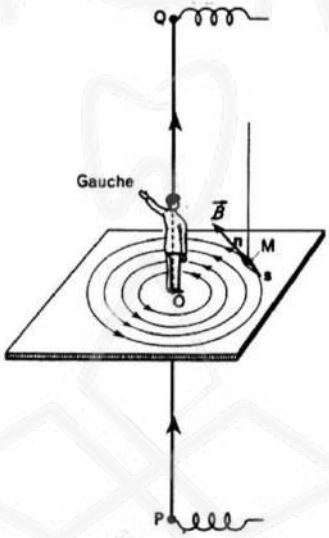
Force électromotrice d'induction
• La circulation d'un courant induit dans un circuit fermé traversé par un flux d'induction variable est attribuée à une force électromotrice d'induction f.e.m, liée à la variation du flux inducteur et à la durée de cette variation. • La **f.e.m** est **proportionnelle à la variation** de flux et **inversement proportionnelle à la durée** de cette variation. *NB : si circuit fermé : courant induit (générateur) / circuit ouvert : pas de courant mais une ddp aux bornes (voltmètre)*
$$f.e.m = e = -\frac{d\phi}{dt} = -B.l.v$$
Unité : **Volts (V)**

Loi de Pouillet : $e = RI$

V - RÈGLES DE L'OBSERVATEUR D'AMPÈRE ET DES TROIS DOIGTS DE LA MAIN DROITE

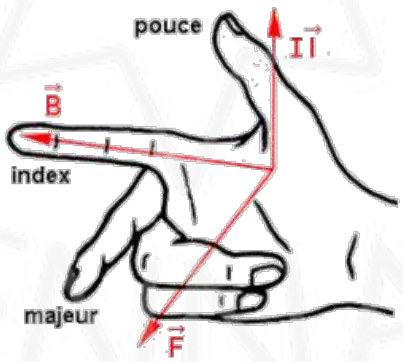
Pour déterminer le sens du vecteur champ magnétique B, on utilise la **règle de l'observateur d'Ampère** :

- Le courant entre par les pieds de l'observateur
- L'observateur regarde vers le point M
- Son bras gauche donne le **sens du vecteur B**
    - Schématiquement, si B se dirige vers l'avant, son vecteur est représenté de la manière suivante : ⊙
    - Schématiquement, si B se dirige vers l'arrière, son vecteur est représenté de la manière suivante : ⊗



Le sens du vecteur F est déterminé par la **règle des trois doigts** qui se réalise **toujours avec la main droite** !:

- **Pouce** : dans le sens du courant, le long du barreau
- **Index** : dans le **sens du champ**
- **Majeur** : donne le **sens** du vecteur **F**



EXERCICES RÉSOLUS

A. Flux d'induction (sujet d'annale)

Considérons un circuit circulaire de surface 1 dm?.

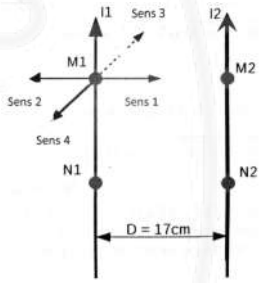
Calculer le flux d'induction à travers ce circuit quand il est placé dans un champ magnétique B de 10^3 T, la normale au circuit faisant un angle de 60° avec le vecteur B.

Résolution :

On reprend la formule du flux d'induction : $\phi = S.B.cos\theta$
θ est l'angle entre B et sa normale au circuit, donc $\theta = 60°$. Attention à bien convertir les dm en m :
On peut maintenant remplacer les termes de l'équation par les données de l'énoncé :
$\phi = 0{,}1.10^3.cos60°$

B. Intensité et force du champ magnétique sur des fils parallèles (sujet d'annale)

2 fils parallèles (désignés fil 1 et fil 2 considérés comme infinis) sont parcourus par des courants d'intensités respectives i1 = 5 A et i2 = 3 A et de même sens. Ces 2 fils sont séparés d'une distance de 17 cm.



Le fil 2 crée en M1, situé sur le fil 1, un champ magnétique B2.

Une force électromagnétique F1 est exercée par ce champ magnétique sur la portion de fil M1N1.

On donne No = 4.7.10-7 UI. M1N1 = M2N2 = 10 cm

Calculer l'intensité du champ magnétique B2, ainsi que la force électromagnétique F1. Dans quels sens ces deux forces sont-elles orientées ?

Résolution :

On commence par analyser la situation. Ici, nous sommes en présence de deux champs magnétiques d'intensité uniforme : $B = \frac{\mu_0.i}{2.\pi.d}$

On calcule la valeur de B2, qui est le champ magnétique créé par le fil 2 en M1 (situé sur le fil 1).
i est l'intensité du courant traversant le fil créant le champ magnétique (ici fil 2), donc $i = i_2 = 3A$.
d est la distance la plus courte entre le fil et le point M : d'après le schéma les fils sont parallèles donc la distance entre ces fils est constante : $d = 17\ cm = 0{,}17\ m$
On remplace par les valeurs : $B = \frac{4{,}7.10^{-7}.3}{2.\pi.0{,}17} = 3{,}5.10^{-6}\ T$

On cherche maintenant l'intensité de la force électromagnétique. On reprend la formule : $F = i.l.B.sin(l,B)$
On cherche l'intensité de la force électromagnétique F1 exercée par le champ B2 par le fil 1 (portion M1N1).
i est l'intensité du courant dans la portion M1N1 : $i = i_1 = 5A$ (pour savoir quel i utiliser dans la formule, retenir qu'on ne peut utiliser qu'une seule fois chaque i : ici B contient déjà i2, on doit donc utiliser i1).

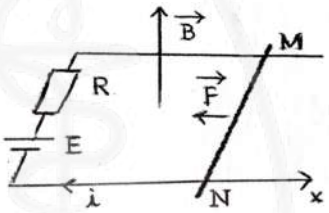
l est la longueur de la portion étudiée ici M1N1 : $l = 10\ cm = 0{,}1\ m$.
l et B sont toujours perpendiculaires (c'est logique : ils respectent la règle des trois doigts, et les trois doigts sont tous perpendiculaires entre eux) , donc $(l, B) = 90°$ donc $sin(l, B) = sin90° = 1$
On peut maintenant tout assembler : $F = 5.0{,}1.3{,}5.10^{-6}.1 = 1{,}75.10^{-6}\ N$

Pour déterminer le sens de B2, on utilise l'observateur d'Ampère : le courant i2 lui rentre par les pieds et lui ressort par la tête, il regarde le point M1 (donc il regarde vers le sens 2), le sens de B2 est donné par son bras gauche, donc : SENS 4.

Pour déterminer le sens de F1, on utilise la règle des 3 doigts : le pouce est dans le sens du courant (dans le sens de i2), l'index est dans le sens du champ (donc dans le sens 4), le sens de F1 est donné par le majeur, donc : SENS 1.

C. Intensité et travail de la force électromagnétique sur des rails (sujet d'annale)

Considérons un circuit placé dans un champ magnétique uniforme B, perpendiculaire au plan des rails et d'intensité 0,5 T les deux rails sont écartés de 10 cm et la barre MN leur est perpendiculaire. Les extrémités sont reliées aux pôles d'un générateur de f.e.m. E = 3 V et la résistance total du circuit réalisé est de 1 Ω.



Concernant la force électromagnétique F qui s'exerce sur MN et le travail W qu'elle effectue au cours d'un déplacement le long des rails MM de 20 cm : quelle est l'intensité de la forme électromagnétique F qui s'exerce sur MN, et quelle est la valeur du travail W de la force électromagnétique F ?

On donne $\mu 0 = 4.\pi.10^{-7}\ SI$

Résolution :

On commence par noter la formule de la force électromagnétique : $F = i.l.B.sin(l, B)$
l est la longueur du barreau qui se trouve entre les rails (écartement des deux rails) donc
$l = 10\ cm = 0{,}1\ m$

L'angle entre l et B est de 90° car B est perpendiculaire au plan des rails et le barreau est compris dans le plan des rails donc $sin(l, B) = 1$
i n'est pas donné d'office dans l'énoncé, il faut donc le calculer : on sait que
$f.e.m. = e = -Blv$, or $e = R.i \Leftrightarrow i = \frac{e}{R}$ donc $i = \frac{f.e.m.}{R} = \frac{3}{1} = 3A$
Donc $F = 3.0{,}1.0{,}5.1 = 0{,}15\ N$

On cherche maintenant à calculer la valeur du travail de la force électromagnétique :
$W = i.\Delta\phi = i.S.B.cos\theta$
S correspond à la surface balayée par le barreau magnétique : les rails font 20 cm de long et ils sont écartés de 10 cm, donc au total : $S = 0{,}2.0{,}1 = 0{,}02\ m^2$
θ est l'angle entre B et la normale du circuit : $\theta = 0°$ donc $cos\theta = 1$
$W = 3.0{,}02.0{,}5.1 = 3.10^{-2}\ J$

D. Calcul de l'intensité d'un courant rectiligne infini (sujet d'annale)

Considérons un courant rectiligne infini. On donne $\mu 0 = 4.\pi.10^{-7}\ SI$

Quelle est l'intensité du courant qui doit parcourir ce circuit pour produire un champ magnétique de 10^{-6} T en un point D placé à 30 cm du circuit sur un axe perpendiculaire au circuit ?

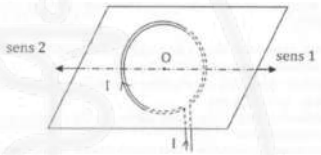
Résolution :

On cherche l'intensité du courant pour produire un champ magnétique de $\mathbf{10^{-6}}\ \boldsymbol{T}$ en un point D placé à 30 cm du circuit. On reprend la formule du champ magnétique, celui-ci est produit par un courant rectiligne donc : $B = \frac{\mu_0.i}{2.\pi.d}$

On cherche l'intensité, on isole donc i : $\mu_0.i = B.2\pi.d \Leftrightarrow i = \frac{B.2\pi.d}{\mu_0} = \frac{10^{-6}.2\pi.0{,}3}{4\pi.10^{-7}} = 1{,}5\ A$

E. Champ magnétique dans une bobine (sujet d'annale)

Soit une bobine plate de 30 spires, de diamètre 10 cm et parcourue par un courant I = 5 A. On donne la perméabilité du vide Mo = 47.10-7 H/m.



Quelles sont la valeur et le sens du champ B créé par I au centre de la bobine ?

Résolution :

Tout d'abord, pour déterminer le sens du champ, on utilise l'observateur d'Ampère : le courant lui rentre par les pieds, il regarde le point D. Son bras gauche pointe donc vers le SENS 2.

On reprend la formule de B dans le cas d'une bobine plate de 30 spires :

$B = \frac{\mu_0.N.i}{2R} = \frac{4\pi.10^{-7}.30.5}{0{,}1} = 18{,}85.10^{-4}\ T$

FICHE : LES FORMULES

Champ magnétique créé par un courant		
Par un courant rectiligne	$B = \frac{\mu_0 . i}{2\pi d}$	
Par un courant circulaire	Une seule spire : $B = \frac{\mu_0 . i}{2R}$	Bobine plate N spires : $B = \frac{\mu_0 . N . i}{2R}$
Par un solénoïde	$B = \frac{\mu_0 . N . i}{l}$	

Action d'un champ magnétique sur un courant		
Loi de Laplace	$F = i.l.B.sin(l,B)$	
Travail des forces électromagnétiques	B est perpendiculaire au plan des rails : $W = i.S.B$	B n'est pas perpendiculaire au plan des rails : $W = i.S.B.cos\theta$
Flux d'induction	$\phi = S.B.cos\theta$	Si le circuit est composé de N spires : $\phi = N.S.B.cos\theta$
Loi de Maxwell	$W = i.\Delta\phi$	

Force électromotrice d'induction	
Force électromotrice d'induction	$f.e.m = e = -\frac{d\phi}{dt} = -B.l.v$
Loi de Pouillet	$e = RI$

PETITES PRECISIONS

Ce cours, bien qu'il ait des calculs, est un cours où il ne faut pas négliger la théorie ! Le Pr Lejeune met de plus en plus de questions de cours. Il est important de bien avoir en tête les mécanismes (et les lois ++)

NOTES PERSONNELLES

CHAPITRE 5 : DOSIMETRIE ET RADIOPROTECTION

I - DOSIMETRIE

A. Les rayonnements ionisants

Rayonnement ionisant : un rayonnement est une **émission d'énergie et/ou un faisceau de particules.** Certains sont dits ionisants car ils émettent **des "rayons" d'énergie suffisantes pour transformer les atomes qu'ils traversent en ions.** Ils transmettent de l'énergie à la matière **en arrachant des électrons**.

Directement ionisants	Indirectement ionisants
Particules qui ionisent **directement** le milieu	Particules **non chargées** mettant en mouvement des particules **directement ionisantes** (photons X ou Y → mise en mouvement d'électrons)
Protons, e-, α, β	Photons, neutrons

Exposition humaine naturelle (58%) → 2,9 mSv	Exposition humaine artificielle (42%)

• **cosmique** : galactique ou solaire, varie avec l'altitude, varie peu d'un département à l'autre
• **tellurique** : élm. naturellement présents dans la Terre (**Uranium 238, potassium 40**)
  ○ surtout dans l'eau
  ○ concentration 10x plus élevée dans les habitations
• **exposition externe**
• **interne par ingestion d'aliments**
• **interne par inhalation**
	• **exposition médicale** : radios, scanners, imageries, scintigraphies, radiothérapie…
	• **essais nucléaires**, industrie…

B. Différentes expositions

Exposition aux rayonnements ionisants :

- **Intentionnelle** ou **accidentelle**
- **Externe** ou **interne**
- **Globale** ou **partielle**

Contamination externe		Contamination interne

Sans contact cutané : **irradiation**
• imagerie ou thérapie
• X, γ, neutrons, β mais **pas α**
Des dosimètres externes permettent de connaître les mesures exactes de l'irradiation
	Avec contact cutané : **contamination externe**	• peut s'effectuer par :
		  ○ Ingestion
		  ○ Inhalation
		  ○ Voie oculaire ou percutanée
		  ○ Injection
		• Fixation **organes cibles** (hétérogène), **pas de "nettoyage"** possible

C. Définition de la dosimétrie

Dosimétrie : a pour but de mesurer la **quantité d'énergie déposée** dans un tissu ou organisme vivant **lors d'une exposition** à des rayonnements ionisants.

- Rôle fondamental en radioprotection, en radiothérapie et dans les situations accidentelles
- Les effets biologiques des rayonnements ionisants dépendent essentiellement de **l'énergie absorbée par unité de volume** par le tissu irradié

La dosimétrie a pour but de quantifier cette énergie pour :

- Estimer les doses reçues
- Optimiser les protocoles de traitement
- Surveiller les professionnels
- Établir des normes de radioprotection individuelle et collective

Dans les applications diagnostiques	Dans les applications thérapeutiques
• l'estimation de la dose permet de **déterminer la limite supérieure de la quantité de radioactivité qui peut être administrée** • **Rapport bénéfice / risque**	• on s'intéresse à la **relation entre dose délivrée et effet désiré et à l'irradiation des autres organes** • **Relation dose-effet**

D. Grandeurs et unités

1. Les unités

Becquerel (Bq)	Gray (Gy)	Sievert (Sv)
Nombre de désintégrations par seconde	Énergie cédée par unité de masse	Dose de rayonnement absorbée par unité de masse
Unité de **l'activité**	Unité de **la dose absorbée**	Unité de **la dose équivalente absorbée**

2. Les grandeurs

Dose absorbée (D)	Dose équivalente (H)	Dose efficace (E)
Dose moyenne reçue par un tissu ou un organe : **énergie absorbée par unité de masse**	**Dose absorbée** par le tissu ou l'organe T, **pondéré** suivant le type d'énergie du **rayonnement** R	Somme des **doses équivalentes pondérées** délivrées par exposition interne et externe aux **différents tissus** et organes du corps
Unité : **Gray (Gy)**	Unité : **Sievert (Sv)**	Unité : **Sievert (Sv)**
$D = \frac{dE}{dm}$	$H_T = \sum (W_D \times D_{T,R})$	$E = \sum (W_T \times H_T)$ $= D_{T,R} \times W_T \times W_R$

À savoir : **W_R (photons, toutes énergies) = 1**

Débit de dose	Transfert linéique d'énergie
Rapidité avec laquelle une **dose** de rayonnement est **administrée** : cruciale pour expliquer les effets biologiques qui en résultent	Énergie déposée par unité de longueur parcourue
Unité : **Gy/s** ou **Gy/h**	Unité : **eV/µm** ou **keV/µm**
$D = \frac{dD}{dt}$	$TLE = \frac{dE_d}{dl}$

Dose absorbée dans le tissu ou l'organe (D en Gy)
↓ Effets spécifiques des rayonnements (W_R) ↓
Dose équivalente dans le tissu ou l'organe (H en Sv)
↓ Sensibilité des tissus ou des organes (W_T) ↓
Dose efficace à l'organisme entier (E en Sv)

E. Mesure de doses

Dosimètres personnels (irradiation = X, γ)

- **Surveillance** : lecture mensuelle ou trimestrielle
- **Dosimètre opérationnel** : lecture directe, alarmes
- **Contamination externe** : détection (→ nettoyage) grâce à des contaminamètres (mesure d'activité : main-pieds, sol…)

F. Effets des rayonnements ionisants (à connaitre ++)

Déterministes	Stochastiques
• **Précoces** ou à moyen terme (quelques heures à quelques mois) • **Avec** seuil • **Obligatoires** • Généralement **réversibles** • Gravité **proportionnelle** à la dose *Ex : syndrome d'irradiation globale aigüe, brûlures…*	• **Tardifs** (plusieurs années ou dizaines d'années) • **Sans** seuil • **Aléatoires** • En général **irréversibles** spontanément • Gravité **indépendante** de la dose *Ex : cancers, effets génétiques*

Phénomènes **cellulaires**	Effets sur les **cellules somatiques**	Effets sur les **cellules germinales**
Répartition fautive et mutations **non létales**	Risque de **cancer**	Risque d'anomalie **génétique**

Les effets stochastiques sont avant tout liés aux **faibles doses** → importance du **débit de dose**

Seuil des effets déterministes	Seuil des effets stochastiques
Qu'**au-delà d'un seuil connu fixé à 200 mSv** pour une exposition **unique**	Jamais été mis en évidence pour une **valeur inférieure à 100 mSv** pour une exposition **unique**

II - RADIOPROTECTION

A. Les règles de radioprotection

1. 3 principes fondamentaux de la protection

Justification	Optimisation	Limitation
• Toute exposition aux rayonnements doit être justifiée **au regard des avantages** qu'elle procure compte tenu du risque • Un examen utile est un examen dont le résultat – **positif (pathologique) ou négatif (normal)** – **modifiera la prise en charge du patient** ou confortera le diagnostic du clinicien	• Toute exposition justifiée doit être réalisée de telle sorte que la dose délivrée soit **baissée au niveau le plus bas raisonnablement possible** compte tenu des facteurs économiques et sociaux : **ALARA** (*« As Low As Reasonably Achievable »)* • Cette optimisation peut également faire appel au **principe de substitution : pour un examen moins ou pas irradiant** (IRM / échographie).	• Des **limites de doses** à ne pas dépasser sont réglementaires fixées pour les travailleurs et la population (à l'exception des patients) pour empêcher la survenue des effets déterministes et minimiser la probabilité de survenue des effets stochastiques. • Il y a des **catégories** de travailleurs et le public qui subissent cette réglementation de limitation de dose sur **12 mois consécutifs**.

2. Moyens à notre disposition

Temps d'exposition	Distance source-opérateur	Utilisation d'écrans
Les doses absorbées étant **directement proportionnelles à la durée d'exposition**	L'intensité d'un rayonnement d'une source décroît rapidement avec la distance. Elle varie selon **l'inverse carré de la distance** $Dose \Leftrightarrow \frac{1}{Distance^2}$	Pour choisir le matériau et l'épaisseur de l'écran on **doit connaître les caractéristiques particulières de la source**

III - IRRADIATION PENDANT LA GROSSESSE

L'interruption de grossesse en cas de doses fœtales **inférieures à 100 mGy ne se justifie pas** sur la base du risque radique. En cas de doses plus élevées, une décision éclairée doit être prise en tenant compte des situations individuelles.

Phase préimplantatoire : J0-J8	**Organogenèse : J9-S9**	**Maturation fœtale : S9-M9**
Seuil de survenue : **200 mGy**	Seuil de survenue : **200 mGy**	Seuil de survenue : **> 250 mGy**
Risque : loi du "**tout ou rien**"	Risques : • Gouttières neurales S3, V. cérébrales S5 → microcéphalies/malf° • Malformations cardiaques • Ébauches œil S5 → malformations • Ébauches vertèbres S4, membres S5 → malformation	Risques : • Baisse QI, dysmaturation • SNC ++ (S8-S15 puis S16-S25)

Par principe, même si aucun risque déterministe, pas d'irradiation d'une femme enceinte. Le problème d'une grossesse irradiée ne se pose que si le fœtus est dans le champ du rayonnement.

MAIS l'urgence médico-chirurgicale prime sur l'urgence radiologique → **balance bénéfice / risque**

En cas d'urgence vitale, on réalise l'examen radiologique pour sauver la patiente.

FICHE : LES FORMULES

Dosimétrie	
Dose absorbée	$D = \frac{dE}{dm}$
Dose équivalente	$H_T = \sum (W_D \times D_{T,R})$
Dose efficace	$E = \sum (W_T \times H_T) = D_{T,R} \times W_T \times W_R$
Débit de dose	$D = \frac{dD}{dt}$
Transfert linéique d'énergie	$TLE = \frac{dE_d}{dl}$

Radioprotection	
Décroissance de la dose	$\Delta Dose \Leftrightarrow \frac{1}{Distance^2}$

NOTES PERSONNELLES

CHAPITRE 6 - ULTRASONS, PRINCIPES DE L'ECHOGRAPHIE

GENERALITES SUR LES ULTRASONS

A. Définition des US (+++)

Les ultrasons sont des ondes mécaniques, acoustiques, périodiques, qui se déplacent dans un milieu matériel (ne se déplacent pas dans le vide). Par **transfert d'énergie** (pas de transfert de matière), les molécules sont amenées à se déplacer autour de leur position d'équilibre : la transmission de ce mouvement de proche en proche constitue l'onde.

Les ondes utilisées en médecine sont **longitudinales**, elles se caractérisent par des fluctuations de densité de pression : succession de compressions et de raréfactions des particules.

Seule la fréquence différencie les sons audibles (**20 à 20 kHz**) des ultrasons (**> 20 kHz**).

Les ultrasons utilisés en échographie (et par extension en médecine) vont de **1 MHz à 100 MHz**.

B. Caractéristiques physiques des US

Longueur d'onde λ : distance entre 2 points dans le même état vibratoire (ex : 2 maxima) (**m**)
Période T : durée entre 2 points dans le même état vibratoire (**s**)
Fréquence f : nombre d'oscillations par seconde (**Hz**)

→ Ces 3 paramètres sont reliés par :

$$f = \frac{1}{T} \qquad \lambda = c \times T \qquad \rightarrow \qquad \lambda = \frac{c}{f}$$

C. Caractéristiques du milieu de propagation

Impédance acoustique Z : résistance du milieu à la propagation de l'onde. Elle s'exprime : $Z = \rho \times c$ (en Rayleigh ou kg/m²/s ou Pa.s.m^{-1})
Interface acoustique = séparation entre 2 milieux d'impédance acoustique différente

→ En imagerie US, on utilise la valeur moyenne de **1500 m/s** comme valeur de c dans les tissus mous (à connaître)

D. Interactions des ultrasons avec le milieu

Quand une onde US rencontre une interface acoustique, elle peut être **transmise**, **réfléchie**, **diffusée**, **réfractée…** Ces phénomènes sont responsables d'une **atténuation** et d'une diminution de l'intensité au fur et à mesure de sa propagation dans le milieu.

1. Transmission et réflexion

→ Une onde incidente arrive au niveau d'une interface acoustique : une partie est **transmise**, l'autre est **réfléchie**

Plus la différence d'impédance acoustique entre 2 milieux est importante, plus l'énergie réfléchie est importante
(peut-être la phrase la plus importante du cours)

→ Echographie : l'onde émise par la sonde arrive à une **surface de délimitation** entre 2 milieux (ex : os et muscle), une partie est **transmise** (continue sa route jusqu'à rencontrer d'autres interfaces acoustiques), l'autre partie est **réfléchie** et détectée par la sonde, qui analysera le signal

Interface tissu mou / tissu mou	Bonne transmission, exploration possible en arrière de l'interface	Exploration US bien adaptée aux tissus mous
Interface tissu mou / os	Réflexion importante	L'os est un obstacle, difficilement analysé
Interface air / tissu mou	Réflexion totale, pas d'onde transmise	L'air est un écran complet pour la transmission des US → interposition de gel entre la sonde et la peau pour éviter ça

2. Diffusion

Quand l'interface acoustique est de petite taille par rapport à la longueur d'onde : énergie diffusée dans de **multiples directions** de l'espace (réflexion non spéculaire, pluridirectionnelle)

→ Permet de voir les petites **hétérogénéités** des tissus (ex : échostructure du foie)

3. Absorption

→ L'onde US, en se propageant, cède une partie de son énergie au milieu sous forme de chaleur

Plus la fréquence de l'onde est élevée, plus ce transfert d'énergie est important.
Plus on va en profondeur dans le tissu, plus l'absorption est importante.

4. Atténuation (résultante des 3 précédentes)

→ Elle est consécutive aux réflexions qui surviennent à chaque interface, à la diffusion et surtout à l'absorption : elle **augmente avec la profondeur d'exploration**

Type d'exploration	Fréquences utilisées en échographie
Exploration en profondeur	**Fréquences faibles** (1 à 5 MHz)
Exploration en superficie	On peut se permettre d'utiliser des **fréquences plus élevées** (6 à 15 MHz) qui donnent une meilleure résolution

II - BASES DE L'ECHOGRAPHIE

A. Production des US

La sonde échographique est un **transducteur** : elle transforme une **énergie électrique** de haute fréquence, en **énergie mécanique/acoustique** de même fréquence → **effet piézoélectrique indirect**

Inversement, elle peut transformer une **énergie acoustique** en **énergie électrique** (pour analyser le signal) : **effet piézoélectrique direct**. *(mémo : direct dans l'ordre alphabétique = Acoustique → Électrique)*

Emission du signal : au repos, pas de différence de potentiel car le centre de gravité des charges est confondu. En appliquant une charge électrique (ddp), des déformations mécaniques se créent : émission d'une onde US.

Réception du signal : une onde de pression US entraîne une déformation mécanique, qui, par réarrangement des charges, entraîne une différence de potentiel et donc un signal électrique.

Les transducteurs ultrasonores fonctionnent en mode pulsé : on applique une ddp par de **très courtes impulsions** (1 µs), séparées de périodes très courtes également (1 ms). **La durée de l'impulsion détermine la résolution spatiale** : **plus elle est courte, meilleure est la résolution**.

B. Principes généraux de l'échographie

→ Basé sur le phénomène de transmission et réflexion : il est nécessaire d'avoir une transmission pour que l'onde puisse explorer en profondeur, mais aussi une réflexion, pour enregistrer le signal reçu (et informer sur la profondeur de l'interface)

Principe de conversion temps-espace - le temps entre l'émission et la réception donne la profondeur de la structure étudiée : $\boldsymbol{t = \frac{2d}{c}}$

La durée de la période de réception de la sonde détermine la profondeur maximale d'exploration par les US : $\boldsymbol{d = \frac{1}{2} \times c \times t}$



2 zones successives dans le faisceau échographique : **Fresnel** (mémo : "près" du transducteur) et **Fraunhofer**

C. Résolution axiale et latérale

Résolution = aptitude à présenter 2 échos distincts pour 2 cibles très rapprochées = capacité à séparer 2 cibles

→ Comment avoir une bonne résolution ? Une faible longueur d'onde λ → une **fréquence f d'émission élevée** !

Résolution axiale	Résolution latérale
Capacité à séparer 2 points distincts dans l'axe du faisceau (en profondeur) Déterminée par la durée de l'impulsion US (habituellement de 1 µs) Calcul résolution axiale : $d = \frac{1}{2} \times c \times t$ (avec t = 1 µs) Cette durée impose une fréquence minimale de 1 MHz	**Capacité à séparer 2 points distincts dans un plan perpendiculaire** à la propagation du faisceau (liée à la largeur du faisceau)

Compromis résolution-profondeur d'exploration : l'atténuation croît avec la fréquence, ce qui limite la profondeur d'exploration. On peut étudier avec une grande précision des structures peu profondes et de petite taille. En revanche, les organes profonds et/ou volumineux sont étudiés avec une moins bonne résolution. La résolution est meilleure pour les hautes fréquences (plus courtes longueurs d'onde) mais l'atténuation est aussi plus importante : il faut faire des compromis et des adaptations selon ce que l'on veut étudier.

D. Focalisation

Focaliser le faisceau consiste à le **rendre plus fin** (dans l'épaisseur du plan de coupe) et/ou **plus étroit** (dans le sens transversal) de façon à **améliorer la résolution latérale** (pour diminuer le diamètre du faisceau dans la zone de Fraunhofer).

E. Méthodes d'imagerie US

Mode	Caractéristiques	Applications
Mode A (amplitude)	Le plus ancien (principe du sonar des navires) Un seul faisceau de direction possible L'épaisseur d'une structure est définie par la distance entre 2 pics / L'absence d'écho signe la présence de liquide Mesure précise de la dimension MAIS pas d'enregistrement du mouvement	Ophtalmologie Echographie transfontanellaire
Mode B (bidimensionnel)	Les amplitudes des échos modulent la brillance de spot sur l'écran : image en niveaux de gris Obtention d'une coupe en 2D en temps réel, en déplaçant la sonde le long du plan de coupe Cible **hyperéchogène** : point très brillant (**blanc**) Cible **anéchogène** : **noir** (liquide…) Cible **hypoéchogène** : niveaux de **gris**	Très variées
Mode TM (temps-mouvement)	Il ajoute au B un balayage temporel : suivre les mouvements d'organes	Mouvement des valves cardiaques
Mode 3D/4D	Images en volume statique (3D) ou indexées au temps (4D : donne une info sur la cinétique)	Echographie fœtale

F. Effets biologiques des US et applications thérapeutiques

Effets thermiques (+ 1-2°C pour un examen de 10 min) : élévation de la T°C (**viscosité du milieu**) → due à la focalisation, l'intensité acoustique, la durée, le tissu exploré

1. Utilisables pour puissances > 160 dB et fréquence > 1 MHz (= pas en diagnostic)
2. Dermatologie et rhumatologie

Effets de cavitation (pas en imagerie diagnostique) : création de bulles/cavités dans le tissu, liée à la **pression acoustique**

- Gradient de pression pour provoquer des déchirures tissulaires
- Lithotripsie extracorporelle (ex : onde de choc à 1000 atm)

EXERCICE RESOLU - LONGUEUR D'ONDE, FREQUENCE, IMPEDANCE ACOUSTIQUE, EMISSION/RECEPTION DE L'ECHO

Soit une onde ultrasonore de fréquence 10 MHz se propageant dans du tissu adipeux de densité 0,92 kg/L et rencontrant une interface acoustique. A ce niveau, l'onde subit une réflexion : la sonde échographique capte son signal 100 µs après avoir été émise. Calculer : la longueur d'onde, l'impédance acoustique du milieu, et la profondeur de la structure.

1ère étape - savoir quelles formules utiliser :

- Avant de commencer l'exercice, il fallait se souvenir de la valeur de la célérité des US dans les tissus humains, assimilée à **1500 m/s**.
- **Longueur d'onde** : on utilise $\lambda = \frac{c}{f}$ car on connaît la célérité c et la fréquence de l'onde f
- **Impédance acoustique** : on utilise $Z = \rho \times c$ car on connaît la célérité de l'onde et la densité du milieu
- **Profondeur de la structure** : on utilise $d = \frac{1}{2} \times c \times t$ car on connaît la célérité et le temps pris par l'onde pour faire le trajet aller-retour (si on n'avait eu que le temps aller ou retour, on n'aurait pas eu besoin de faire x1/2)

2ème étape - applications numériques

A. On convertit dans les unités du SI : f = 10 MHz = 10.10^6 Hz / p = 0,92 kg/L = $0,92.10^3$ kg/m^3 / t = 100 µs = 100.10^6 s
B. **Longueur d'onde** : $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{1500}{10 \cdot 10^6} = 1,5 \cdot 10^{-4}\ m$
C. **Impédance acoustique** : $Z = \rho \times c = 0,92 \cdot 10^3 \times 1500 = 1,38 \cdot 10^6\ Rayleigh$
D. **Profondeur de la structure** : $d = \frac{1}{2} \times c \times t = \frac{1}{2} \times 1500 \times 100 \cdot 10^{-6} = 7,5 \cdot 10^{-2}\ m = 7,5\ cm$

FICHE : LES FORMULES

Fréquence d'une onde	$f = \frac{1}{T}$
Longueur d'onde	$\lambda = c \times T = \frac{c}{f}$
Impédance acoustique	$Z = \rho \times c$
Profondeur d'exploration d'une onde US / Résolution axiale	$d = \frac{1}{2} \times c \times t$

NOTES PERSONNELLES

CHAPITRE 7 : ONDES ELECTROMAGNETIQUES

Ce court chapitre a pour but de vous décrire les principales propriétés des ondes électromagnétiques (la lumière, les ondes radio, les UV…). Il faut connaître les formules sur le bout des doigts, des applications tombant régulièrement à l'examen.

PARAMETRES D'UNE ONDE ELECTROMAGNETIQUE

Un **rayonnement électromagnétique** dont la lumière) est créé par des perturbations d'un champ électrique et d'un champ magnétique. On le modélise selon la **dualité onde/particule** (propriétés d'une onde ET d'un rayonnement particulaire).

La **fréquence f** et la **période T** d'une onde sont réunies par la formule : $f = \frac{1}{T}$
Sa **longueur d'onde** s'exprime : $\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f}$ (on utilise indépendamment c de v)

→ *Mémo ! Penser à la formule v=d/t que vous connaissez depuis longtemps (v est la célérité c ou la vitesse v, d est la longueur d'onde λ, t est la période T) !*

Sa fréquence spatiale est le **nombre d'onde** : $\sigma = \frac{1}{\lambda}$

NB : Pour le nombre d'onde, attention à la conversion d'unités ! 1 cm-1 = 100 m-1 (c'est inversé : penser "1 onde par cm = 100 ondes par mètre).

Pour toute onde électromagnétique, sa **célérité c** dans le vide est : $3 \cdot 10^8 m/s$
Pour toute onde électromagnétique, sa **vitesse v** dans un milieu est : $v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r}}$
avec : $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$ et $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$
L'indice de réfraction d'un milieu s'exprime : $n = \frac{c}{v} = \sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r} = \sqrt{\varepsilon_r}$

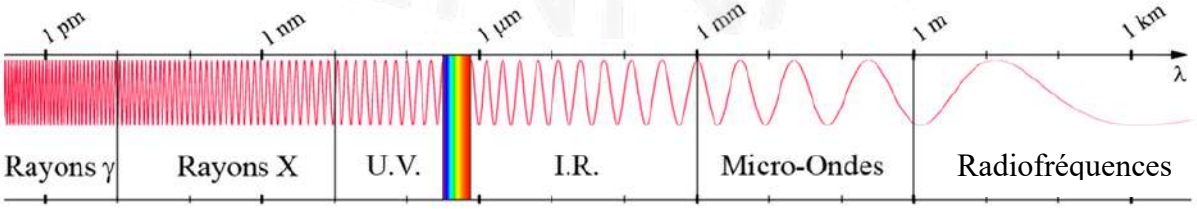
PUISSANCE D'UNE ONDE ELECTROMAGNETIQUE

A une certaine distance de la cible : $P_S = \frac{P_0}{4\pi r^2} = \frac{E \cdot B}{\mu_0}$

Comme $E = B \cdot c$, le **champ électrique** à cette distance est donc : $E = \sqrt{P_S \cdot \mu_0 \cdot c}$

L'énergie d'une onde électromagnétique s'exprime : $E(J) = h \times v$

SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE



Mémo : "le Grand Xavier Utilise Vraiment d'Innombrables Mots Rayonnants" (Gamma → X → UV → Visible → IR → micro-ondes → radiofréquences)

EXERCICES RESOLUS

Avec toutes ces formules, vous devriez pouvoir répondre à tous les exercices possibles ! Il faut maintenant savoir les manipuler (voir méthode) selon ce qui est demandé pour retrouver la bonne réponse. Ces formules sont un nid à QCMs, il est donc impossible de détailler tous les exercices possibles, cependant voici quelques exemples de résolution.

Exercice 1 - Fréquence, longueur d'onde, nombre d'onde dans le vide

Une onde électromagnétique de fréquence f = 400 MHz se propage dans le vide (la vitesse de la lumière dans le vide c = 3.10^8 m/s). Calculer sa longueur d'onde (en m) et son nombre d'onde (en cm^{-1}) :

1ère étape - définir quelles formules nous allons utiliser :

A. Je cherche la longueur d'onde λ, je connais la fréquence f et la célérité c : $\lambda = \frac{c}{f}$
B. Je cherche le nombre d'onde, je connais la longueur d'onde (calcul précédent) : $\sigma = \frac{1}{\lambda}$

2ème étape - applications numériques :

Attention à ce que les unités soient concordantes !

A. **Calcul de λ** : on veut λ en m, donc c doit être en m/s (OK) et f en Hz (f = 400 MHz = 400*10^6 Hz) : $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{400 \cdot 10^6} = 0{,}75\ m$
B. **Calcul de σ** : on veut σ en cm-1 donc λ doit être en cm (λ = 0,75 m = 75 cm) : $\sigma = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{75} = 1{,}33 \cdot 10^{-2}\ cm^{-1}$

Exercice 2 - Fréquence, longueur d'onde, nombre d'onde, vitesse de propagation dans un milieu

Une onde électromagnétique de nombre d'onde $\sigma = 0{,}04\ cm^{-1}$ se propage dans le vide à la vitesse de la lumière ($c = 3 \cdot 10^8\ m \cdot s^{-1}$). Elle pénètre dans un alcool de permittivité relative $\varepsilon_r = 25$, dans ce milieu, calculer sa fréquence, sa longueur d'onde, sa vitesse de propagation, et l'indice de réfraction du milieu :

1ère étape - définir quelles formules nous allons utiliser :

- **Fréquence** (identique quel que soit le milieu) : donc je peux la calculer dans le vide ! $\lambda = \frac{c}{f}$ donc $f = \frac{c}{\lambda}$. J'ai la célérité et il me faut la longueur d'onde, que je calcule à partir du nombre d'onde : $\sigma = \frac{1}{\lambda}$ donc $\lambda = \frac{1}{\sigma}$. Avec cette longueur d'onde dans le vide, je calcule la fréquence de l'onde
- **Longueur d'onde dans le milieu** : je ne peux pas encore la calculer, il me faut la vitesse de l'onde dans le milieu
- **Vitesse de propagation dans le milieu** : $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r}}$. Je connais la célérité et la permittivité relative du milieu, et quand rien n'est précisé, on assimile μ_r à 1, donc on a : $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}$
- Avec la valeur de la vitesse dans le milieu et la fréquence de l'onde, je peux calculer la longueur d'onde dans le milieu : $\lambda = \frac{v}{f}$
- **Indice de réfraction du milieu** : $n = \frac{c}{v} = \sqrt{\varepsilon_r}$ → je peux le calculer car j'ai toutes les données

2ème étape - applications numériques :

Attention à ce que les unités soient concordantes !

- **Longueur d'onde dans le vide** : on veut λ en mètre, donc σ devrait être en m^{-1} → exception pour le nombre d'onde ! C'est difficile de convertir directement les cm^{-1} en m^{-1} donc on va calculer λ en cm, qu'on convertira ensuite en m. $\lambda = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{0{,}04} = 25\ cm\ =\ 0{,}25\ m$
- Calcul de la **fréquence** : on veut f en Hz, donc c doit être en m/s (OK) et λ en m (OK) $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{0{,}25} = 1{,}2 \cdot 10^9\ Hz = 1{,}2\ GHz\ =\ 1{,}2 \cdot 10^3\ MHz$ → dans le vide ET dans n'importe quel milieu !
- Calcul de la **vitesse de propagation** dans le milieu : $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{25}} = 6 \cdot 10^7 m/s$
- Calcul de la **longueur d'onde** dans le milieu : $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{6 \cdot 10^7}{1.2 \cdot 10^9} = 5 \cdot 10^{-2} m = 5\ cm$
- Calcul de **l'indice de réfraction** : $n = \frac{c}{v} = \sqrt{\varepsilon_r} = \sqrt{25} = 5$

Exercice 3 - Puissance d'une onde électromagnétique

Une source isotrope émet une onde électromagnétique avec une puissance de 150W. Connaissant la vitesse de la lumière dans le milieu de propagation c = 3.10^8 m/s et la perméabilité magnétique de ce milieu μ = 4π.10^{-7} H/m, calculer la puissance délivrée par unité de surface à 17 km de la source, et l'amplitude du champ électrique à cette même distance :

1ère étape : trouver quelles formules utiliser

- Je cherche la puissance surfacique P_S à 17 km de la source, je connais la puissance à la source P_0, et la distance r depuis la source, donc je calcule : $P_S = \frac{P_0}{4\pi r^2}$
- Je cherche l'amplitude du champ électrique à cette distance, je connais la puissance surfacique, la célérité de l'onde, et la perméabilité magnétique du milieu, je peux calculer : $E = \sqrt{P_S \cdot \mu_0 \cdot c}$

2ème étape - applications numériques

Attention aux unités ! Tout est OK, sauf la distance (17 km = 17 000 m)

- **Puissance surfacique** à 17 km : $P_S = \frac{P_0}{4\pi r^2} = \frac{150}{4 \cdot \pi \cdot 17000^2} = 4{,}13 \cdot 10^{-8}\ W/m^2$
- **Amplitude du champ électrique** : $E = \sqrt{P_S \cdot \mu_0 \cdot c} = \sqrt{4{,}13 \cdot 10^{-8} \times 4\pi \cdot 10^{-7} \times 3 \cdot 10^8} = 3{,}95 \cdot 10^{-3}\ V/m$

FICHE – LES FORMULES

Fréquence	$f = \frac{1}{T}$
Longueur d'onde	$\lambda = c \times T = \frac{c}{f}$
Nombre d'onde	$\sigma = \frac{1}{\lambda}$
Vitesse d'une onde électromagnétique	$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}$ *(si μ_r non précisé)*
Indice de réfraction d'un milieu	$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r} = \sqrt{\varepsilon_r}$
Puissance surfacique d'une onde électromagnétique	$P_S = \frac{P_0}{4\pi r^2} = \frac{E \cdot B}{\mu_0}$
Amplitude du champ électrique créé par l'onde	$E = \sqrt{P_S \cdot \mu_0 \cdot c}$
Amplitude du champ magnétique créé par l'onde	$B = \frac{E}{c}$
Energie de l'onde	$E(J) = h \times v$

PETIT TIPS

Ce chapitre est relativement simple à prendre en main. Le Pr Pallard explique très bien ses cours en amphi et propose même des petits exos à faire pendant le cours. On vous recommande vivement d'aller assister à ce cours et ses cours sur la RMN.
Il n'y a généralement pas de gros pièges sur ce chapitre ou le chapitre RMN, il faut faire très attention à ses unités !

NOTES PERSONNELLES

CHAPITRE 8 : RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE (RMN)

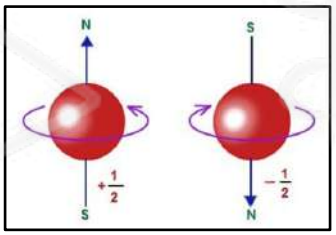
Depuis 1 ou 2 ans, le professeur fait tomber des QCMs "de cours" pour vérifier votre bonne compréhension de ce chapitre. C'est un cours assez difficile à appréhender, puisque très éloigné des connaissances du lycée, et même des autres chapitres de PASS, mais il faut s'accrocher, et on va vous y aider ! Les QCMs à calcul sont souvent assez accessibles, à condition de faire preuve de méthode et de rigueur dans la résolution.

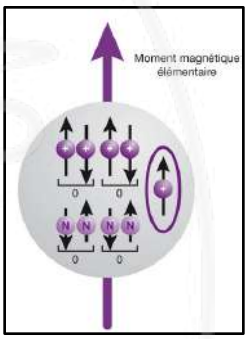
Un site bien fait, avec des animations, pour vous aider à comprendre la RMN (il faut se créer un compte gratuit) : https://www.imaios.com/fr/e-mri (parties résonance magnétique nucléaire ; signal RMN et contraste de base ; spectroscopie par résonance magnétique)

MOMENT MAGNETIQUE ELEMENTAIRE

→ Concerne tous les atomes à **nombre impair de protons et/ou de neutrons** (dès qu'un nucléon se retrouve seul, sans paire proton/neutron). Dans la suite des explications, on se concentrera sur l'atome d'hydrogène (ou proton), c'est l'atome d'intérêt en pratique clinique pour créer les images IRM (atome le plus abondant dans le corps)

- Le spin du proton : c'est la **rotation du proton sur lui-même**, du fait de ses **propriétés magnétiques** (moment magnétique élémentaire)
- Ce spin peut prendre **2 niveaux d'énergie I** : +½ (moment magnétique vers le haut) ou -½ (moment magnétique vers le bas)



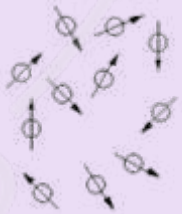
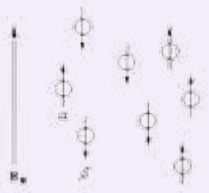


- Le moment magnétique élémentaire s'exprime :
  $\mu = \pm \frac{\gamma \cdot h_{barre}}{2}$ $(h_{barre} = \frac{h}{2\pi})$

(γ est la constante gyromagnétique du proton, h est la constante de Planck, μ est donc constant)

NB : Dans la suite des explications, on assimilera h_{barre} à h étant donné que le rapport gyromagnétique dans les exercices est toujours noté en Hz/T.

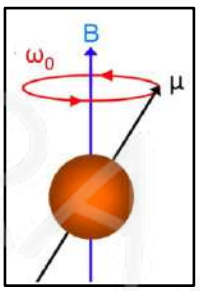
MOMENT MAGNETIQUE MACROSCOPIQUE

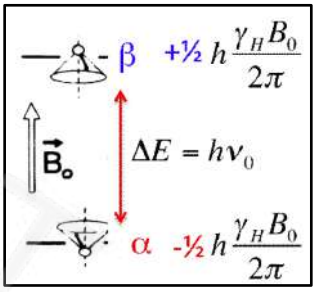
Au repos	Les protons ont une **orientation aléatoire** dans le milieu : la résultante de leurs moments magnétiques élémentaires (moment magnétique macroscopique) est **nulle**	
En présence d'un champ magnétique intense B0 (ex : dans une pièce d'IRM)	Les spins **s'orientent dans l'axe du champ** (même direction), mais dans des sens différents : parallèle ou antiparallèle. Ils vont se mettre à tourner autour de l'axe (précession) de B0 (comme une toupie qui bascule et reste en équilibre).	

ÉQUATION DE LARMOR

Le proton en état de spin est assimilable à un dipôle magnétique (comme un mini-aimant), on peut donc quantifier son énergie, qui est proportionnelle à la valeur du champ magnétique :

- **Energie d'un dipôle magnétique** : $E = \mu \cdot B_0 = \pm \frac{\gamma \cdot h \cdot B_0}{2}$





Pour passer du niveau d'énergie "bas" à "haut" (et inversement), il faut appliquer une énergie de transition ΔE égale à la différence entre les 2 niveaux d'énergie :

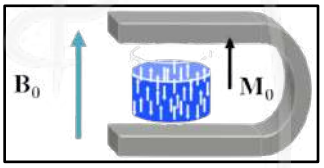
- **Energie de transition** (entre -½ et +½ = 1) :
  $\Delta E = \gamma \cdot h \cdot B_0$ et $\Delta E = h \cdot \nu_0$ (ν_0 : fréquence)

On définit alors la fréquence de Larmor, qui représente le nombre de rotations du proton par seconde :

- **Fréquence de précession (de Larmor)** : $F_0 = \gamma \cdot B_0$
- **Vitesse de précession** (autour de B0) : $\omega_0 = \gamma \cdot B_0 \cdot 2\pi$

LOI DE BOLTZMANN

En présence du champ magnétique B0, on aura une **différence entre le nombre de moments magnétiques parallèles** (up n+) **et antiparallèles** (down n-) : le moment magnétique macroscopique n'est pas nul. Cette différence est fonction de la température du milieu (constante dans le corps humain), et de l'énergie de transition (donc de la valeur du champ magnétique B0 !)



D'après la loi de Boltzmann :

$$\frac{n-}{n+} = e^{-\frac{\Delta E}{kT}}$$

CHAMP MAGNETIQUE B1

Il peut y avoir une **interaction entre une onde de radiofréquence et les spins en précession** : c'est le phénomène de résonance, qui correspond à un transfert d'énergie entre deux systèmes ayant la même fréquence.

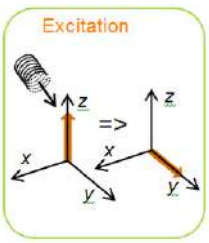
L'onde de radiofréquence (qui crée un champ magnétique B1 <<< B0) va entraîner un phénomène de résonance si et **seulement si sa fréquence est la même que celle de précession des spins**.

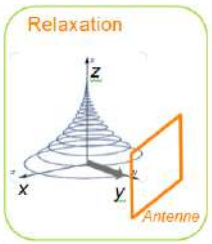
Si on applique une onde à la fréquence de Larmor (fréquence de précession des spins) :

Elle va **apporter de l'énergie** au système de spins : c'est la phase **d'excitation** (variation des spins des noyaux). Le moment magnétique macroscopique **M0 bascule**. L'angle pris par l'aimantation dépend de l'intensité du champ B1 créé par l'onde, et de la durée de l'impulsion. Il s'exprime en nombres de tour :

$$\alpha = \gamma \cdot B_1 \cdot \tau$$

- Bascule à 90° : les populations up et down s'égalisent
- Bascule à 180° : les populations up et down s'inversent

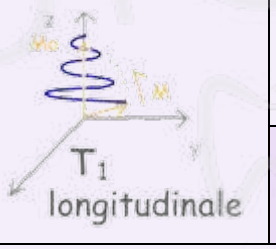




Lorsque l'émission de radiofréquence est interrompue, le système va restituer l'énergie absorbée pour retourner à l'état d'équilibre de départ : c'est la phase de **relaxation**.

TEMPS DE RELAXATION T1 ET T2

Soit une bascule de l'aimantation à 90°, quand on arrête l'impulsion B1, le retour à l'état de base se fait en 2 temps :

<table>
<tr><th colspan="2">T1 : Relaxation longitudinale (axe z)</th><th colspan="2">T2 : Relaxation transversale (plan xy)</th></tr>
<tr><td>T1 est le temps nécessaire pour que M0 revienne à 63% de sa valeur finale selon Mz</td><td rowspan="2">
</td><td>T2 est le temps nécessaire pour que M0 arrive à 37% de sa valeur initiale</td><td rowspan="2">
</td></tr>
<tr><td>$\boldsymbol{Mz = M_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T1}})}$</td><td>$\boldsymbol{Mxy = M_0 \cdot e^{-\frac{t}{T2}}}$</td></tr>
<tr><td colspan="4">Très forte variabilité de T1 et T2 selon les tissus biologiques : c'est ce qui donne le contraste IRM !</td></tr>
</table>

→ Le signal RMN est mesuré par une antenne émettrice et réceptrice, dans le plan xy uniquement.

SEQUENCE SATURATION-RECUPERATION

Contraste T1	Contraste T2
→ Pour accéder à la pondération T1 : en effet, seul le T2 est mesurable en théorie (comme la mesure est faite dans le plan xy), mais en utilisant une répétition des excitations B1 selon un temps de répétition TR, on retrouve le T1	→ Pour accéder à la pondération T2
Le signal dans le plan transverse juste après chaque excitation :	
$\boldsymbol{Mxy = Mz = M_0 \cdot (1 - e^{-\frac{TR}{T1}})}$	$\boldsymbol{Mxy = M_0 \cdot e^{-T/T2}}$

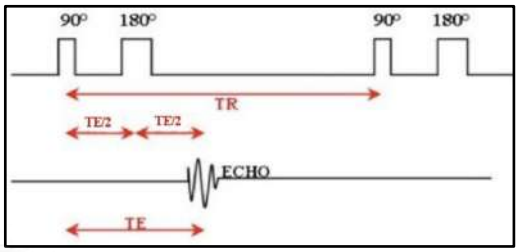
SEQUENCE ECHO DE SPIN

C'est la séquence de référence lorsqu'on passe une IRM : permet d'enregistrer toutes les séquences T1, T2, T2*...

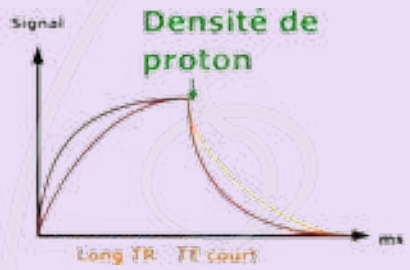
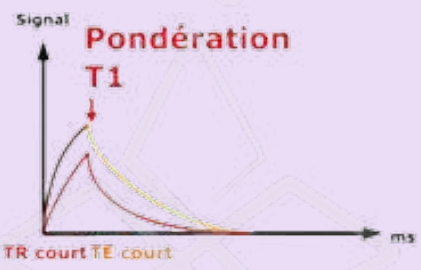
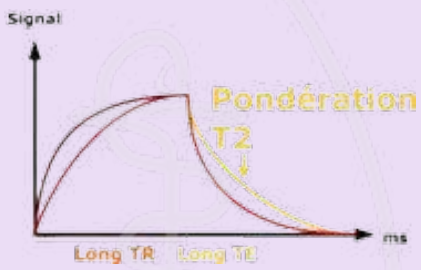
1. **Impulsion de radiofréquences B1 basculant M0 à 90°** : mais après arrêt de l'impulsion, on voit dans le plan xy que l'aimantation se déphase (à cause de variations locales de B0). NB : donne des informations sur la relaxation T2*
2. **Après un certain temps d'écho (TE/2) : 2e impulsion de radiofréquences à 180° qui permet le rephasage**. Analogie d'une course entre un lièvre et une tortue : on les laisse partir, le lièvre va beaucoup plus vite → on leur dit de faire ½ tour à TE/2 → arrivent en même temps au point de départ à TE (car le lièvre va toujours plus vite)

3. **Mesure du signal au temps d'écho TE** : quand Mxy est rephasé → informations sur la relaxation T2. On retrouve la courbe de décroissance exponentielle selon T2

$$Signal = M_0 \times e^{-TE/T2} \times (1 - e^{-TR/T1})$$



→ Le signal recueilli en séquence écho de spin dépend de M0 (densité de protons), une composante T2 liée au temps d'écho TE, et une composante T1 liée au temps de répétition TR : 3 variables, avec lesquelles on peut obtenir 3 contrastes :

Image pondérée M0 (densité de protons)	**Image pondérée T1**	**Image pondérée T2**
TR long et TE court	**TR court et TE court**	**TR long et TE long**
		
Beaucoup de signal, mais peu de contraste SG/SB	Image **anatomique** T1 : différence entre SB blanche et SG grise	Image **pathologique** T2 : LCR en hypersignal (blanc)

SPECTROSCOPIE

→ Pour **déterminer la composition d'un tissu** : on passe du domaine temporel au **domaine fréquentiel**, et on fait une analyse fréquentielle du signal

Quand on fait une RMN du proton, on obtient un **spectre** et une **analyse fréquentielle du signal,** avec des pics de fréquences différentes : tous les protons ne résonnent pas à la même fréquence, c'est dû à leur **environnement électronique** (la rotation du nuage électronique autour du proton crée un micro-champ magnétique qui parasite le champ magnétique B0). La fréquence de résonance totale sera modifiée : **plus faible si la densité électronique autour du noyau est importante.**

Le déplacement chimique s'exprime :

$$\delta(ppm) = \frac{\Delta fréquence}{fréquence\ de\ résonance\ du\ proton} \cdot 10^6$$

Ce déplacement chimique, permet, à partir de tables, de retrouver les types de molécules correspondant à ce delta : on peut ainsi élucider les différentes structures de molécules composant le tissu !

EXERCICES RESOLUS

Exercice 1 - Moment magnétique élémentaire

Parmi les noyaux suivants, quels sont ceux avec lesquels il est possible de réaliser une expérience de Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) :

A. Le noyau de l'atome d'hydrogène (nombre de masse A = 1, numéro atomique Z = 1)
B. Le noyau de l'atome de néon (nombre de masse A = 20, numéro atomique Z = 10)
C. Le noyau de l'atome de phosphore (nombre de masse A = 31, numéro atomique Z = 15)
D. Le noyau de l'atome de soufre (nombre de masse A = 32, numéro atomique Z = 16)
E. Toutes les propositions précédentes sont inexactes.

Pour répondre au QCM, il faut se servir de la phrase du cours qui dit que seuls les atomes à nombre impair de **neutrons** et/ou nombre impair de **protons** possèdent un moment magnétique μ élémentaire (un moment magnétique élémentaire permettant de réaliser une expérience de RMN)

Rappels : dans un noyau atomique, on retrouve des nucléons, comportant des protons et des neutrons

- Z est le numéro atomique, donc le nombre de protons
- A est le nombre de masse soit le nombre de nucléons. Le nombre de neutrons N est alors A-Z.

Dans le cas de notre exercice :

- **Hydrogène** : 1 proton (car Z = 1) et 0 neutron (car N = A-Z = 0) → nombre impair de protons, on peut réaliser une expérience de RMN
- **Néon** : 10 protons (car Z = 10) et 10 neutrons (car N = A-Z = 20-10 = 10) → nombre pair de protons et de neutrons, on ne peut pas réaliser d'expérience de RMN
- **Phosphore** : 15 protons (car Z = 15) et 16 neutrons (car A = Z + N donc N = A-Z = 31-15 = 16) → nombre impair de protons, on peut réaliser une expérience de RMN
- **Soufre** : 16 protons (car Z = 16) et 10 neutrons (car A = Z + N donc N = A-Z = 20-10 = 10) → nombre pair de protons et de neutrons, on ne peut pas réaliser d'expérience de RMN

→ **Réponses AC**

Exercice 2 - Equation de Larmor / Loi de Boltzmann

La RMN du proton (rapport gyromagnétique 42,5 MHz/T) est réalisée dans un champ magnétique B0 de 7T et à une température de 37°C (310 K). Pour ce système à deux niveaux d'énergie, connaissant les constantes Planck h = 6,62.10^{-34} J.s et de Boltzmann k = 1,38.10^{-23} J/K, on en déduit, au pourcent près, que :

A. La fréquence de résonance est de 64 MHz
B. La fréquence de résonance est de 127 MHz
C. L'énergie de transition est de 1,97.10^{-26} J
D. Le rapport des populations n-/n+ exprimé sous la forme : 10^{6}(1-n-/n+) est égal à 46
E. Toutes les propositions précédentes sont inexactes

1ère étape - vérifier la concordance des unités : dans les propositions, la fréquence de résonance est bien exprimée en Hertz (Hz), l'énergie de transition en Joule (J) et le rapport des populations sans unité → OK, on peut se lancer dans le calcul

2ème étape : quelles sont les valeurs que je connais ? 7 T est le champ magnétique B0, 310 K est la température, 6.62x10^{-34} est la constante de Planck h, 1.38x10^{-23} est la constante de Boltzmann k, et 42,5 MHz est le rapport gyromagnétique du proton

NB : pour transformer une température en Celsius en Kelvin, je rajoute 273 à ma température en °C.

Ex : 25°C = 25 + 273 K = 298 K

3ème étape - quelles formules vais-je utiliser ?

- Je cherche la **fréquence de résonance** F, je connais le rapport gyromagnétique et le champ magnétique B0 : $F_0 = \gamma \cdot B_0$
- Je cherche **l'énergie de transition**, je connais la fréquence de résonance (ci-dessus) et la constante de Planck h → $E = h \cdot F_0$
- Je cherche le **rapport des populations n-/n+**, je connais l'énergie de transition (ci-dessus), la constante de Boltzmann k et la température → $\frac{n-}{n+} = e^{-\Delta E/kT}$

4ème étape - applications numériques :

- **Conversion dans les unités du SI** : 42,5 MHz/T = 42,5x10^6 Hz/T, autrement tout est bon !
- **Fréquence de résonance** : $F_0 = \gamma \cdot B_0 = 42{,}5 \cdot 10^6 \times 7 = 2{,}975 \cdot 10^8\ Hz = 297{,}5\ MHz$
- **Energie de transition** : $E = h \cdot F_0 = 6{,}62 \cdot 10^{-34} \times 2{,}975 \cdot 10^8 = 1{,}97 \cdot 10^{-25}\ J$
- **Rapport n-/n+** : attention, on nous demande de l'exprimer sous la forme 10^6(1-n-/n+) donc il faut légèrement modifier la formule : $10^6(1 - \frac{n-}{n+}) = 10^6(1 - e^{-\Delta E/kT}) = 10^6(1 - e^{-1{,}97 \cdot 10^{-25}/1{,}38 \cdot 10^{-23} \times 310}) = 46$

5ème étape - trouver les items correspondants, en vérifiant que 2 ne sont pas identiques → **réponse D** !

Exercice 3 - Aimantation B1 (++)

En RMN du proton (avec un rapport gyromagnétique du proton de 42,5 MHz/T), une impulsion de champ radiofréquence B1 est appliquée à la fréquence de Larmor pendant 3 ms. Elle permet de basculer l'aimantation d'un angle de 180°, dans ces conditions :

A. B1 vaut 3,92 mT (à 10^{-1} mT près)
B. B1 vaut 7,84 mT (à 10^{-1} mT près)
C. Avec une durée t constante, une amplitude de B1 valant la moitié de celle utilisée pour basculer l'aimantation de 90° permet de basculer l'aimantation à 45°
D. Avec une amplitude B1 constante, une durée t valant le quart de celle utilisée pour basculer l'aimantation de 180° permet de basculer l'aimantation de 45°
E. Toutes les propositions précédentes sont inexactes

Résolution des items A et B :

1ère étape - vérifier la concordance des unités : dans les propositions, le champ magnétique B1 est bien exprimé en Tesla (T) → OK, on peut se lancer dans le calcul

2ème étape : quelles sont les valeurs que je connais ? 3 ms est la durée de l'impulsion, 180° est l'angle pris par l'aimantation, et 42.5 MHz est le rapport gyromagnétique du proton

3ème étape - quelles formules vais-je utiliser ?

- Je cherche le champ magnétique B1, je connais l'angle, la durée, et le rapport gyromagnétique

$$\alpha = \gamma \cdot B_1 \cdot \tau \Leftrightarrow B_1 = \frac{\alpha}{\gamma \cdot \tau}$$

4ème étape - application numérique :

- Conversion dans les bonnes unités : 42.5 MHz/T = 42,5x10^6 Hz/T ; 3 ms = 3x10^{-3} s ; 180° = 0,5 tour
- **Champ magnétique** : $B_1 = \frac{\alpha}{\gamma \cdot \tau} = \frac{0{,}5}{42{,}5 \cdot 10^6 \times 3 \cdot 10^{-3}} = 3{,}92 \cdot 10^{-6}\ T = 3{,}92\ \mu T$

NB - conversion d'un angle en "nombre de tours" : imaginez un cercle. Il correspond à un "tour". Mais le cercle, c'est aussi 360° ! Donc 1 tour = 360°. Pour trouver le nombre de tours à partir d'un angle et inversement : produit en croix

*→ x = y/360 et y = 360*x*

1 tour	*x*	*0,5*	*0,25*	*0,125*	*…*
360°	*y*	*180°*	*90°*	*45°*	*…*

5ème étape - trouver les items correspondants, en vérifiant que 2 ne sont pas identiques → aucune bonne réponse

NB : on peut aussi vous demander, en connaissant B1 et l'angle de trouver la durée de l'impulsion, ou bien en connaissant B1 et la durée de l'impulsion, de trouver l'angle…

Résolution des items C et D :

C'est une formulation d'item assez spéciale, particulièrement utilisée en RMN et que vous reverrez sûrement dans les annales (ce type de formulation a eu tendance à moins tomber ces dernières années, mais il est toujours nécessaire de savoir comment s'en sortir).

1ère méthode (calculatoire, assez longue) : exemple avec l'item C

- Calculer la valeur de B1 pour un angle de 90°
- Puis on revient à notre formule initiale pour calculer l'angle correspondant à la moitié de la valeur de B1. Si c'est égal à 45° : l'item est correct

→ $B1(90°) = \frac{0,25}{42,5 \cdot 10^6 \times 3 \cdot 10^{-3}} = 1,96 \cdot 10^{-6}\ T$

$$\alpha = \gamma \times \frac{B1(90°)}{2} \times \tau = 42,5 \cdot 10^6 \times \frac{1,96 \cdot 10^{-6}}{2} \times 3 \cdot 10^{-3} = 0,125 = 45°$$

→ On trouve bien 45°. Donc une amplitude B1 valant la moitié de celle utilisée pour basculer l'aimantation de 90° permet de la basculer de 45°.

2ème méthode (avec de la logique, plus rapide) : exemple avec l'item C

- On part de la formule $\alpha = \gamma \cdot B_1 \cdot \tau$
- Comment maintenir l'égalité en utilisant la moitié de l'amplitude B1 (90° au lieu de 180°) ? Diviser de moitié l'angle α. En effet si on divise B1 par 2, il faut également diviser α par 2 de l'autre côté pour maintenir l'égalité ! On trouve également que l'item C est correct : une amplitude B1 valant la moitié de celle utilisée pour basculer l'aimantation de 90° permet de la basculer de 45°

Même principe pour l'item D !

Si on divise τ par 4 d'un côté, il faut également diviser α par 4 de l'autre côté pour maintenir l'égalité ! L'item D est correct : une durée τ valant le quart de celle utilisée pour basculer l'aimantation de 180° permet de basculer l'aimantation à 45°

Exercice 5 - Contraste en séquence saturation-récupération T1

Dans une séquence de RMN en saturation-récupération à plusieurs temps de répétition TR, la mesure du signal effectuée juste après l'impulsion radiofréquence de 90° est reportée dans le tableau : (2 points)

Temps de répétition (s)	*0,5*	*1*	*2*	*6*
Signal (unité arbitraire)	*3,29*	*5,37*	*7,52*	*8,96*

Dans ces conditions, au pourcent près, le temps de relaxation T1 de la substance observée est :

A. 1,1 s
B. 1,3 s
C. 1,5 s
D. 1,7 s
E. Toutes les propositions précédentes sont inexactes

Dans ce type d'exercice, une seule formule est à utiliser : $Signal = M_0 \cdot (1 - e^{-TR/T1})$

Je cherche le T1 : manipuler la formule pour avoir T1 en fonction de TR, de M0 et du Signal

$$Signal = M_0 \cdot (1 - e^{-TR/T1}) \Leftrightarrow (1 - e^{-TR/T1}) = \frac{Signal}{M0} \Leftrightarrow e^{-TR/T1} = 1 - \frac{Signal}{M0}$$

$$\Leftrightarrow ln(e^{-TR/T1}) = ln(1 - \frac{Signal}{M0}) \Leftrightarrow \frac{-TR}{T1} = ln(1 - \frac{Signal}{M0}) \Leftrightarrow T1 = \frac{-TR}{ln(1 - \frac{Signal}{M0})}$$

- M0 est la valeur maximale du signal, soit 8,96
- Pour TR et la valeur du signal, on prend un couple de valeurs au hasard dans le tableau (par exemple, 2 et 7,52)

Application numérique : $T1 = \frac{-TR}{ln(1-\frac{Signal}{M0})} = \frac{-2}{ln(1-\frac{7,52}{8,96})} = 1,1\ s$ → réponse A !

Exercice 6 - Contraste en séquence saturation-récupération T2

Dans une séquence de RMN, après avoir basculé l'aimantation Mz dans le plan transverse, l'évolution temporelle de l'amplitude du signal mesuré est reportée dans le tableau :

Temps (s)	*0*	*0,01*	*0,02*	*0,05*
Amplitude (unité arbitraire)	*1*	*0,513*	*0,263*	*0,036*

Dans ces conditions, au pourcent près, le temps de relaxation T2 de la substance observée est :

A. 10 ms
B. 15 ms
C. 20 ms
D. 25 ms
E. Toutes les propositions précédentes sont inexactes

Se présente sous la même forme que pour la séquence saturation-récupération T1 : il y a simplement une différence de formule → $Signal = M_0 \cdot e^{-T/T2}$

On cherche T2 donc on isole T2 en fonction de T, de M0 et du Signal

$$Signal = M_0 \cdot e^{-T/T2} \Leftrightarrow e^{-T/T2} = \frac{Signal}{M0} \Leftrightarrow ln(e^{-T/T2}) = ln(\frac{Signal}{M0}) \Leftrightarrow \frac{-T}{T2} = ln(\frac{Signal}{M0}) \Leftrightarrow T2 = \frac{-T}{ln(\frac{Signal}{M0})}$$

- M0 correspond à la valeur maximale du signal, soit M0 = 1
- Pour T et la valeur du signal, on prend n'importe quel couple de valeur du tableau (par exemple, T = 0,01 s et Signal = 0,513)

Application numérique : $T2 = \frac{-T}{ln(\frac{Signal}{M0})} = \frac{-0,01}{ln(\frac{0,513}{1})} = 1,5 \cdot 10^{-2}\ s = 0,015\ s = 15\ ms$ → réponse B !

Exercice 7 - Contraste en séquence écho de spin (++)

Une séquence écho de spin de temps de répétition TR = 0,8 s et de temps d'écho TE = 60 ms est utilisée pour observer deux tissus A et B de même densité de protons et de temps de relaxation respectifs : T1A = 0,85 s, T2A = 75 ms, T1B = 1,3 s, T2B = 90 ms. En valeur absolue, le contraste obtenu entre ces deux tissus relativement au tissu A est de (à 1% près) :

A. 12%
B. 14%
C. 16%
D. 18%
E. Toutes les propositions précédentes sont inexactes

→ *Exercice qui revient presque tous les ans !*

L'exercice peut sembler difficile car il contient plein de valeurs et de données, mais en réalité il est très accessible, à condition d'être très rigoureux et méthodique.

Contraste = différence entre les 2 signaux/ un des 2 signaux (donné dans l'énoncé "relativement au"). Ici c'est la différence entre les 2 signaux, par rapport au tissu A.

Soit : $Contraste = \frac{Signal\ A - Signal\ B}{Signal\ A}$ → peu importe le sens A-B ou B-A, il faut que vous ayez une valeur positive en haut

Pour calculer la valeur du signal (A comme B), il faut utiliser la formule : $Signal\ = M_0 \times e^{-TE/T2} \times (1 - e^{-TR/T1})$

On n'a pas besoin de connaître la valeur de M0, qui se simplifie lors du calcul du contraste : $\frac{M0 \cdot x - M0 \cdot y}{M0 \cdot z} = \frac{M0(x-y)}{M0 \cdot z} = \frac{x-y}{z}$

- Signal tissu A : la formule à utiliser est donc : $Signal(A) = e^{-\frac{TE}{T2(A)}} \times \left(1 - e^{-\frac{TR}{T1(A)}}\right)$
  → TE = 60 ms = 60x10^{-3} s ; T2 (tissu A) = 75 ms = 75x10^{-3} s ; TR = 0,8 s ; T1 (tissu A) = 0,85 s
  NB : le TE et le TR sont les mêmes pour les 2 tissus, les valeurs qui diffèrent entre les tissus sont le T1 et le T2
  $$Signal(A)\ = e^{-TE/T2(A)} \times (1 - e^{-TR/T1(A)}) = e^{-60 \cdot 10^{-3}/75 \cdot 10^{-3}} \times (1 - e^{-0,8/0,85}) = 0,274$$

- Signal tissu B : on utilise la même formule, en remplaçant les valeurs spécifiques au tissu B :
  $Signal(B) = e^{-\frac{TE}{T2(B)}} \times \left(1 - e^{-\frac{TR}{T1(B)}}\right)$
  → TE = 60 ms = 60x10^{-3} s ; T2 (tissu B) = 90 ms = 90x10^{-3} s ; TR = 0,8 s ; T1 (tissu B) = 1,3 s
  $Signal(B)\ = e^{-TE/T2(B)} \times (1 - e^{-TR/T1(B)}) = e^{-60 \cdot 10^{-3}/90 \cdot 10^{-3}} \times (1 - e^{-0,8/1,3}) = 0,236$

Calcul du contraste :

$Contraste = \frac{Signal\ A - Signal\ B}{Signal\ A} = \frac{0{,}274-0{,}236}{0{,}274} = 0{,}14 = 14\%$ → **réponse B** !

Exercice 8 - Spectroscopie

Dans un spectromètre RMN pour lequel la fréquence de résonance du proton est de 800 MHz, un pic de résonance est observé à 2800 Hz de la résonance du TMS qui est pris comme référence (donc situé à 0 ppm). Le rapport gyromagnétique du proton est de 42,5 MHz/T, dans ces conditions, au pourcent près :

A. Le champ magnétique B0 de l'appareil est de 3 T
B. Le champ magnétique B0 de l'appareil est de 18,8 T
C. Le déplacement chimique du pic est de 1,5 ppm
D. Le déplacement chimique du pic est de 3,5 ppm
E. Toutes les propositions précédentes sont inexactes

1ère étape - vérifier la concordance des unités : dans les propositions, le champ magnétique est bien exprimé en Tesla (T), et le déplacement chimique en ppm → OK, on peut se lancer dans le calcul

2ème étape : quelles sont les valeurs que je connais ? 800 MHz est la fréquence de résonance du proton, 2800 Hz est la "distance" du pic de résonance par rapport à la référence (c'est Δfréquence), 42.5 MHz est le rapport gyromagnétique du proton

3ème étape - quelles formules vais-je utiliser ?

- Je cherche le champ magnétique, je connais le rapport gyromagnétique et la fréquence de résonance totale : $F = \gamma \cdot B0 \Leftrightarrow B0 = \frac{F}{\gamma}$
- Je cherche le déplacement chimique, je connais Δfréquence et la fréquence de résonance totale → $\delta(ppm) = \frac{\Delta fréquence}{fréquence\ de\ résonance\ du\ proton} \cdot 10^6$

4ème étape - applications numériques :

- Conversion dans les unités du SI : 800 MHz = 800x10^6 Hz ; 42.5 MHz/T = 42,5x10^6 Hz/T
- **Champ magnétique** : $B0 = \frac{F}{\gamma} = \frac{800 \cdot 10^6}{42{,}5 \cdot 10^6} = 18{,}8\ T$
- **Déplacement chimique** : $\delta(ppm) = \frac{2800}{800 \cdot 10^6} \cdot 10^6 = 3{,}5\ ppm$

5ème étape - trouver les items correspondants, en vérifiant que 2 ne sont pas identiques → **réponses B et D** !

FICHE : LES FORMULES

Energie de transition	$\Delta E = h \cdot F_0$
Fréquence de Larmor	$F_0 = \gamma \cdot B_0$
Loi de Boltzmann	$\frac{n-}{n+} = e^{-\frac{\Delta E}{kT}}$
Angle de l'aimantation B1	$\alpha = \gamma \cdot B_1 \cdot \tau$
Séquence saturation-récupération T1	$Signal = M_0 \cdot (1 - e^{-\frac{TR}{T1}})$
Séquence saturation-récupération T2	$Signal = M_0 \cdot e^{-T/T2}$
Séquence écho de spin	$Signal = M_0 \times e^{-TE/T2} \times (1 - e^{-TR/T1})$
Spectroscopie – Déplacement chimique	$\delta(ppm) = \frac{\Delta fréquence}{fréquence\ de\ résonance\ du\ proton} \cdot 10^6$

PETIT TIPS

Vous avez du mal à comprendre le concept de pondération T1, T2 ? Ne paniquez pas, il existe une super chaîne YouTube qui explique le cours avec d'autres mots pour vous permettre de comprendre : la chaine PROMI.
Ils sont spécialisés dans l'explication des concepts relatifs à l'IRM (qui utilise le concept de RMN).

NOTES PERSONNELLES

CHAPITRE 9 : RAYONNEMENTS IONISANTS

I- INTRODUCTION

Interaction = transfert d'énergie

RI = particules chargées ou non, responsables d'ionisations

Matière = noyaux positifs et électrons négatifs

RI **directement** ionisants = particules chargées

- forces coulombiennes
- interactions obligatoires

RI **indirectement** ionisants = particules non chargées : neutrons, X, y

-interactions aléatoires (stochastiques)

-ionisations indirectes par l'intermédiaire de particules secondaires chargées mises en mouvement

Différents types de RI

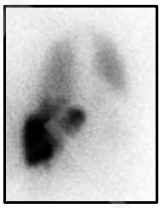
	Particules chargées		Particules non chargées	
Rayonnement	α	β	$\boldsymbol{X}$ **et** $\boldsymbol{y}$	Neutrons
Type	Noyau d'hélium (2 neutrons et 2 protons)	Électrons (β-) et positons (β+)	Radiations électromagnétiques d'origine atomique ($\boldsymbol{X}$) ou nucléaire ($\boldsymbol{y}$)	Neutrons
Énergie	Très énergétiques	Énergie très variable	Énergie variable	Énergie élevée
Pouvoir ionisant	Fort pouvoir ionisant	Pouvoir ionisant intermédiaire	Pouvoir ionisant faible, ionisations indirectes	Pouvoir ionisant fort mais ionisations indirectes
Pouvoir de pénétration	Très faible Trajectoire linéaire	Faible Trajectoire sinueuse	Très important	Très important

L'utilisation des rayonnements ionisants présente un double intérêt : **diagnostique et thérapeutique**

Diagnostique : rayonnements à faible pouvoir ionisant



- Radiographie
- **Scanner** = utilisation des rayons X pour réaliser cartographie des coefficients d'atténuation de l'organisme
- **Scintigraphie** : utilisation des rayons γ pour étudier une fonction de l'organisme



Thérapeutique : rayonnements fortement ionisants

-radiothérapie externe

- radiothérapie interne :
    - curithérapie sources scellées
    - curithérapie métabolique (sources non scellées), exemple : utilisation de rayonnements β-

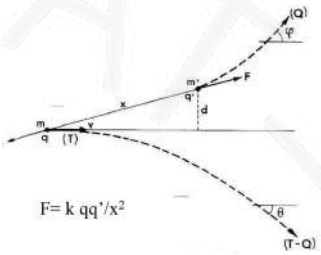
II- INTERACTIONS DES PARTICULES CHARGEES AVEC LA MATIERE

A. Généralités

Elles mettent en jeu des particules légères (e^-, e^+) ou lourdes (protons, particules a^{++})

Interactions **obligatoires**, secondaires aux forces coulombiennes qui s'exercent entre ces particules chargées et la matière :

$$F = k\,qq'/x^2$$



Avec : q et q'= les charges des particules,

x = la distance qui les sépare

k = constante de coulomb

Sous l'influence de cette force qui varie en intensité et direction au cours de l'interaction :

- la particule cible est projetée dans une direction φ et acquiert une **énergie Q** prélevée à **l'énergie cinétique T** de la particule incidente
- la particule incidente est déviée d'un angle θ et son **énergie résiduelle après interaction est : T - Q**

Les interactions peuvent avoir lieu soit avec les électrons soit avec les noyaux :

- Interactions particules-électrons = **collisions** : elles entraînent un transfert d'énergie à la matière responsable des effets produits sur le milieu

- Interactions particules-noyaux = **freinage** : elles sont responsables de la production de **rayons X de freinage** qui peuvent soit être diffusés soit interagir à leur tour avec la matière

1. Collisions : interactions particules-électrons

L'énergie cédée E par la particule incidente est cédée à un électron d'énergie de liaison El, trois cas peuvent se rencontrer :

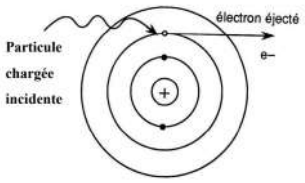
- ΔE > El => **ionisation**

- ΔE < El => **excitation**

- si ΔE est très faible => **dissipation thermique**

Si ΔE > El,

I) ionisation :



- l'électron est éjecté de son orbite avec une énergie cinétique ΔE – El, **il se produit une ionisation** et la création d'une paire d'ions (ion + et électron).
- Cet électron éjecté peut à son tour créer d'autres **ionisations secondaires** si son énergie est suffisante.
- L'ionisation est suivie d'un **réarrangement** du cortège électronique avec émission de fluorescence X.

Ionisation = mécanisme fondamental pour les effets biologiques des rayonnements

II) Réarrangement du cortège électronique :

- Création d'une place vacante
- Comblement par un électron périphérique ou extérieur d'énergie de liaison Elc

III) Émission d'une énergie E= El- Elc :

- **diffusée**, photon de fluorescence
- **transmise** à un électron périphérique d'énergie de liaison < (El – Elc), qui est expulsé = **Effet Auger**
- **compétition** entre les deux effets (fluorescence et Auger),

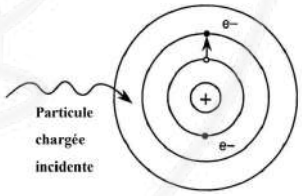
Noyaux lourds : **fluorescence** dominante

Noyaux lé**gers** (milieux biologiques) : Au**ger** dominant

Nouvelles créations de vacances électroniques, nouveau réarrangement électronique...

Si ΔE < El,

Excitation :



- l'énergie transférée à l'électron est insuffisante pour l'expulser mais peut porter l'électron à un niveau énergétique supérieur (changement d'orbite) : il y a **excitation de l'atome** cible puis
- retour à l'état fondamental par émission de **rayons** de fluorescence

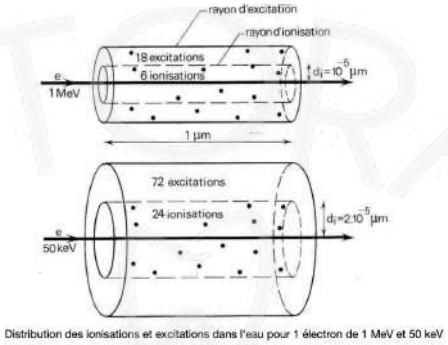
Si ΔE est très faible,

Dissipation thermique (énergie de translation, rotation ou vibration des molécules)

2. Répartition entre ionisations et interactions

A 50 keV la vitesse est plus faible, l'interaction est plus forte => il y a **plus** d'ionisations

Pour deux particules de même nature (2 électrons ici), plus la vitesse est faible, plus le nombre d'interactions augmente.



Distribution des ionisations et excitations dans l'eau pour 1 électron de 1 MeV et 50 keV

3. Le TEL : Transfert d'Énergie Linéique

Le TEL est la **quantité d'énergie** transférée au milieu cible par la particule incidente par unité de longueur de trajectoire.

Unité : $keV.\mu m^{-1}$

Pour des particules de vitesse faible devant la lumière on a :

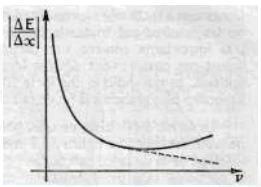
$$TEL = Kq^2nZ\ /\ v^2$$

Avec :

- K = constante
- q = charge de la particule incidente
- n = nb d'atomes de la cible par unité de volume
- Z = numéro atomique de la cible
- v = la vitesse de la particule incidente

> A chaque interaction la particule transfère une partie de son énergie au milieu jusqu'à ce que sa vitesse soit nulle

Une particule chargée donnée d'énergie donnée peut être totalement arrêtée par un écran de nature et d'épaisseur donnée.

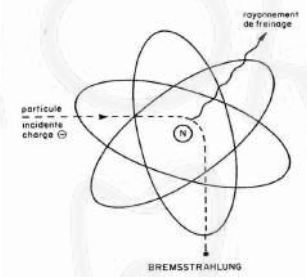


Le TEL diminue si v augmente ($TEL = Kq^2nZ\ /\ v^2$)

=> Confirme ce qui a été dit au-dessus

4. Freinages : interactions particules-noyaux

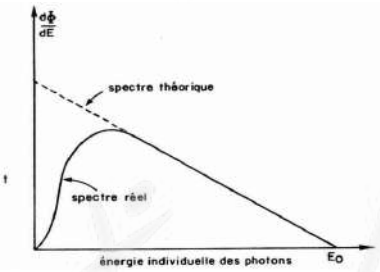
Lorsqu'une particule chargée passe à proximité d'un noyau elle est soit attirée soit repoussée par le noyau, sa trajectoire est déviée et il y a un ralentissement de cette particule. Ce ralentissement est responsable d'une diminution de l'énergie cinétique de la particule qui est émise sous la forme d'un rayonnement dit de **freinage ou rayonnement de Bremsstrahlung**.



Si la particule passe **loin** du noyau elle est **peu déviée**, le ralentissement est faible et le rayonnement de freinage est de **faible énergie**, si elle passe très **près** du noyau elle est **fortement déviée** et freinée et le photon de freinage a une **énergie élevée**.

Le spectre d'énergie du rayonnement de freinage est un **spectre continu** (par opposition au spectre de raie du rayonnement de fluorescence).

Spectre du rayonnement de freinage (absorption par la cible des photons les moins énergétiques)



B. Interactions des particules légères (électrons, positons) avec la matière

1. Généralités

Importance fondamentale des **électrons** :

- Les interactions entre les électrons et la matière sont responsables de l'énergie absorbée par la matière (**effets biologiques**)
- rayonnement primaire (émission β-),
- rayonnement secondaire (aux interactions entres les rayons X et γ avec la matière),

	Interaction avec	*Conséquence*
«Collision»	électrons	Ionisation, Excitation, Transferts thermiques → Effets sur le milieu → Détection et effets biol.
«Freinage»	noyaux	Rayonnement X («fond continu»)

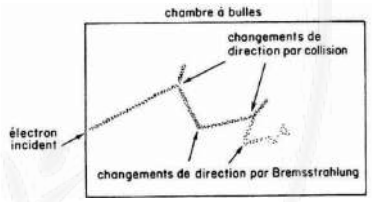
Électrons et positons possèdent des caractéristiques voisines :

- vitesse de propagation élevée
- interactions pouvant se rencontrer du même type

> Dans l'eau le TEL est relativement faible pour des énergies supérieures à 1 Mev et augmente fortement si l'énergie diminue. Attention à ne pas confondre la charge et l'énergie, quand on prend une particule légère, plus elle est énergétique, plus elle a une vitesse importante.

2. Trajectoire des particules légères

Les trajectoires des particules sont des **lignes brisées** (particules légères : changement important de direction à chaque interaction).



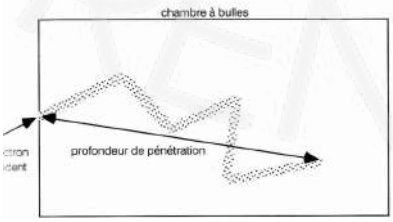
Dans l'eau la longueur totale de la trajectoire est approchée par la formule :

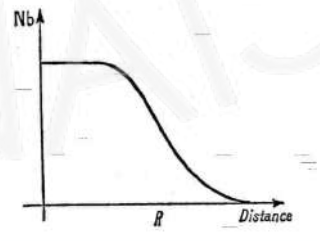
Longueur (cm)= énergie initiale (Mev)/2

Dans un milieu de masse volumique la trajectoire est approchée par la formule :

Longueur (cm)= énergie initiale (Mev)/2ρ, (ρ en g.cm^{-3})

> La distance séparant le point d'entrée de la particule et son point terminal (< trajectoire) s'appelle « **profondeur de pénétration moyenne** » ou parcours moyen **R.** Pour les particules légères il est très aléatoire donc on ne peut pas le calculer. **Un faisceau mono-énergétique d'électrons est totalement arrêté par une épaisseur suffisante d'écran.**



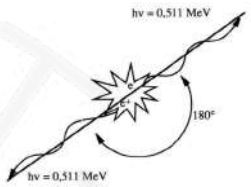


3. La réaction d'annihilation

Cette réaction concerne les positons :

> Lorsque son énergie cinétique est proche de **zéro**, le positon interagit avec un électron, les deux particules disparaissent en donnant naissance à l'émission de **2 photons gamma** de 511 keV, émis à 180° l'un de l'autre

Annihilation des positons = interaction fondamentale permettant de réaliser un type particulier de scintigraphie : la tomographie d'émission de **positons** (TEP)



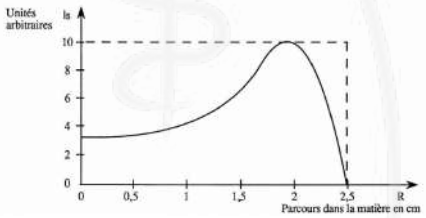
C. Interactions des particules lourdes (α^{++}) avec la matière

1. Généralités

Le **TEL** de ces particules est **important** :

Pour une énergie cinétique égale, leur vitesse est faible ($TEL = Kq^2nZ\ /\ v^2$)

Courbe de Bragg dans l'air = évolution de l'ionisation spécifique en fonction du parcours



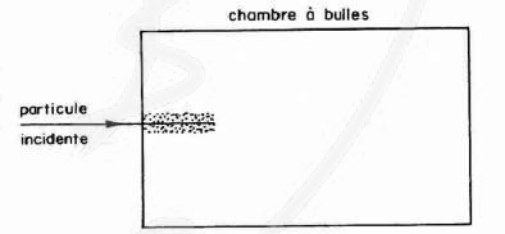
2. Trajectoires des particules lourdes

Les trajectoires sont quasi **rectilignes** (les particules sont peu déviées en raison de leur masse importante)

Dans l'air le parcours moyen R est approché par la formule :

$$R\ (cm) = 0{,}31E^{\frac{3}{2}}$$

E = énergie cinétique en MeV



Dans un matériau de masse volumique ρ_{mat} on a :

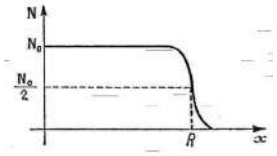
$R_{mat} = R_{air}\rho_{air}/\rho_{mat}$ où ρ est en g.cm^{-3}

La **profondeur de pénétration moyenne** est sensiblement égale à la **trajectoire**

- qq cm dans l'air
- qq dizaines de mm dans les tissus mous

> Elles sont totalement arrêtées par une feuille de papier et la couche cornée

Évolution d'un faisceau mono-énergétique de particules α^{++}: la profondeur de pénétration moyenne R est presque **constante**, un faisceau est totalement arrêté par une **épaisseur suffisante d'écran**.



III- INTERACTIONS DES NEUTRONS AVEC LA MATIERE

Les interactions se font entre les **neutrons et les noyaux**, les interactions neutrons-électrons sont négligeables, la probabilité d'interaction est donc faible (faible diamètre du noyau par rapport au diamètre de l'atome).

A. Neutrons rapides (énergie cinétique > 1 keV)

À lieu la réaction de **choc élastique** : le neutron est dévié et cède une partie de son énergie au noyau. L'énergie cédée au noyau diminue quand le **nombre de masse** de la cible augmente. Les neutrons rapides sont ainsi très pénétrants.

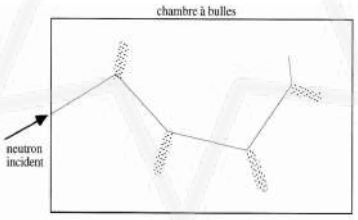
B. Neutrons lents (énergie cinétique < 1 keV)

Le neutron est absorbé par le noyau, c'est la **capture radiative**. Le noyau ainsi formé est instable et retourne à l'état fondamental en émettant un **rayonnement** γ. Cette réaction est très utilisée pour la production de radioéléments artificiels.

$$^{A}_{Z}X + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{A+1}_{Z}X + {}^{0}_{0}\gamma$$

C. Noyaux de recul

Les noyaux mis en mouvement s'appellent **noyaux de recul**, ils épuisent leur énergie cinétique par ionisations et excitations avec un TEL élevé (particules lourdes) responsables des effets biologiques des neutrons (radiothérapie externe).



Dernier conseil : Ce chapitre de physique s'apprend par cœur mais ne sous-estimez pas la compréhension. Il est important à connaître et vous verrez que certains passages se répètent dans le chapitre radioactivité.

EXERCICES RESOLUS

(QCMs tombés dans l'examen 2022-2023)

Concernant la réaction d'annihilation des positons avec la matière :

A. Elle se produit lors d'une interaction entre un positon et un noyau de la matière
B. Elle aboutit à la production de deux électrons émis à 180° l'un de l'autre
C. Elle aboutit à la production de 2 photons émis simultanément
D. Elle aboutit à la production de 2 électrons d'énergie de 511 keV, chacun
E. Elle aboutit à la production de 2 photons d'énergie indépendante de l'énergie initiale du positon considéré
F. Toutes les propositions précédentes sont inexactes

Réponses : CE
Lorsque son énergie cinétique est proche de zéro, le positon interagit avec un électron, les deux particules disparaissent en donnant naissance à l'émission de 2 photons gamma de 511 keV, émis à 180° l'un de l'autre

Concernant les interactions entre une particule chargée avec la matière :

A. Elles se mettent en place de façon aléatoire
B. Une particule chargée peut être totalement absorbée par la matière
C. Il peut y avoir production de rayonnements X de fluorescence
D. Il peut y avoir production de rayonnements X de freinage
E. L'énergie déposée par la particule chargée, par unité de longueur de matière traversée, est proportionnelle à l'énergie de la particule chargée considérée
F. Toutes les propositions précédentes sont inexactes

Réponse : BCD

A -> FAUX : Ces interactions sont obligatoires car elles sont secondaires aux forces coulombiennes -> Rappel de la formule : **$F= k\, qq'/x^2$** -> pour retenir cet item, comprenez la formule : q et q' sont les charges des particules.

B -> VRAI : Phrase du cours

C -> VRAI : Lors d'une collision (interaction avec électrons), si l'énergie cinétique de la particule chargée est supérieure à l'énergie de liaison de l'électron, celui-ci est éjecté (ionisation) et il y a ensuite un réarrangement du cortège électronique avec l'émission de rayonnements X de fluorescence qui permettent de combler le trou dans la couche électronique. Même cas lorsque l'énergie de la particule est inférieure à celle de liaison de l'électron (excitation).
=> Ionisation/excitation -> vacance électronique -> réarrangement par émission de fluorescence

D -> VRAI : Lors d'un freinage (interaction entre particule chargée et noyau), la particule est freinée et déviée, sa perte d'énergie cinétique (freinage) est donc compensée par l'émission de rayonnements de Bremsstrahlung ou rayonnements de freinage

E -> FAUX : Elle n'est pas proportionnelle à son énergie :
$TEL=K\, q^2\, n\, Z/v^2$
Attention à ne pas confondre énergie et charge, de plus elle est proportionnelle au carré de sa charge

À propos des interactions entre les électrons et la matière. Quelle est la longueur du trajet d'un électron de 50 keV d'énergie initiale à travers l'acier ?

$\rho_{acier} = 8000$ kg.m^{-3}

Résolution : Ici on doit juste appliquer la formule, cependant, il faut faire attention aux unités.
Longueur (cm)= énergie initiale (Mev)/2ρ, (ρ en g.cm^{-3})
$\rho_{acier} = 8000\ kg.m^{-3} = 8\ g.cm^{-3}$
$L = \frac{50.10^{-3}}{2\times8} = 3{,}125.10^{-3}$cm

A propos du transfert d'énergie linéique (TEL) :

A. Il correspond à la quantité d'énergie transférée au milieu cible par la particule incidente par unité de longueur de trajectoire.
B. Il est proportionnel à la charge de la particule incidente.
C. Il est proportionnel au numéro atomique (Z) de la cible.
D. Le TEL augmente si la vitesse de la particule incidente augmente.
E. Il dépend du matériau considéré.
F. Toutes les propositions précédentes sont inexactes.

Réponses : ACE
Le TEL est la quantité d'énergie transférée au milieu cible par la particule incidente par unité de longueur de trajectoire.

Unité : $keV.\mu m^{-1}$

Pour des particules de vitesse faible devant la lumière on a : $TEL = Kq^2nZ\ /\ v^2$

Avec :
- K = constante
- q = charge de la particule incidente
- n = nb d'atomes de la cible par unité de volume
- Z = numéro atomique de la cible
- v = la vitesse de la particule incidente

A chaque interaction la particule transfère une partie de son énergie au milieu jusqu'à ce que sa vitesse soit nulle.
Le TEL diminue si v augmente.

FICHE : LES FORMULES

Interactions des particules chargées avec la matière	
Forces coulombiennes	$F = k\ qq'/x^2$
Transfert d'Énergie Linéique	$TEL = Kq^2nZ\ /\ v^2$
Longueur de trajectoire des particules légères	Longueur (cm)= énergie initiale (Mev)/2ρ
Parcours moyen des particules lourdes	$R\ (cm) = 0{,}31E^{\frac{3}{2}}$ $R_{mat} = R_{air}\rho_{air}/\rho_{mat}$

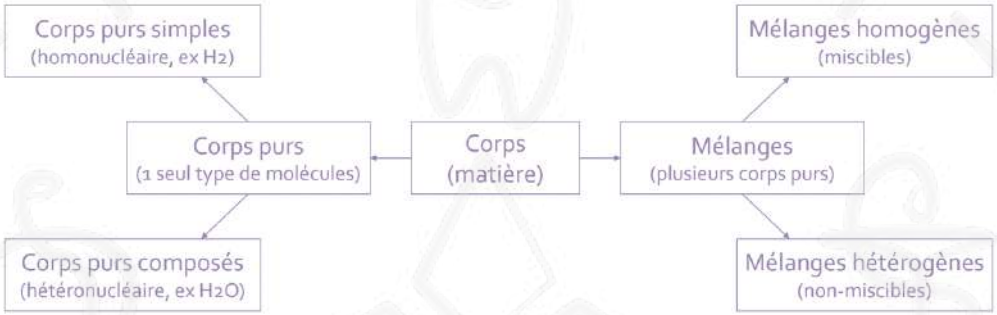
NOTES PERSONNELLES

CHAPITRE 10 : ÉTATS DE LA MATIERE

I - LA MATIERE

A. Matière

Matière : est constituée d'atomes, elle compose les corps, et possède une masse



B.Systèmes

Un système est un ensemble de matière, de masse et de volume définis.

Système isolé : absence d'échange d'énergie (chaleur) ou de de matière avec le milieu extérieur ; paroi imperméable et adiabatique (ne conduit pas la chaleur)

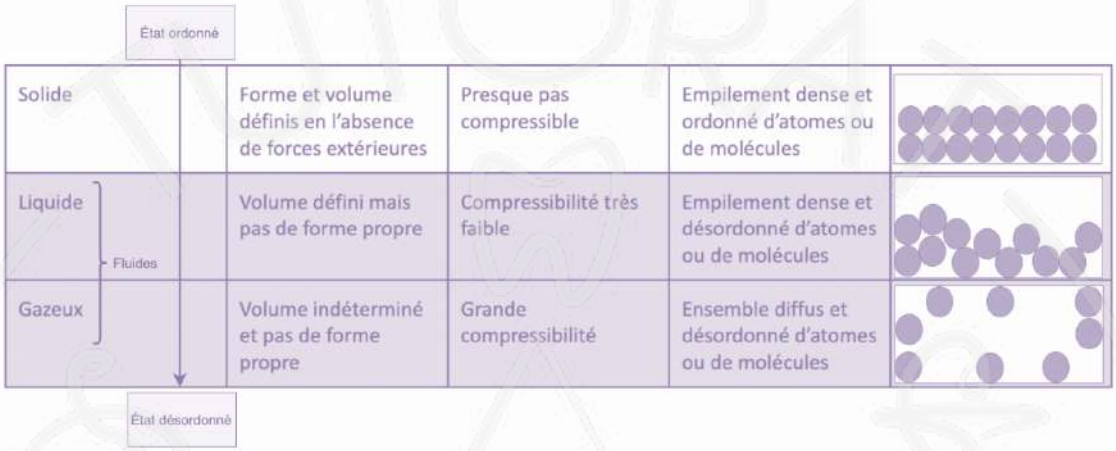
Système fermé : Échange d'énergie, mais pas de matière avec l'extérieur ; paroi imperméable et diatherme (laisse passer la chaleur)

Système ouvert : Échange d'énergie et de matière avec l'extérieur ; paroi perméable et diatherme

II - LES DIFFERENTS ETATS

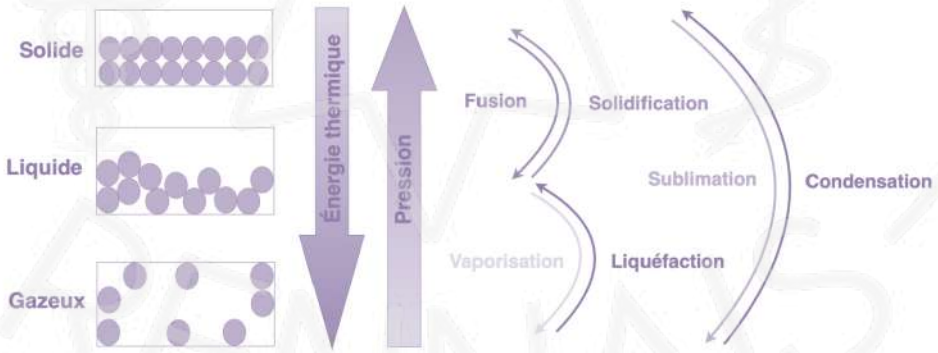
A. Les 3 différents états de la matière

La matière peut se trouver sous 3 différents états plus ou moins ordonnés :



Les liquides et gaz sont des **fluides** qui épousent la forme de leur contenant. Un fluide n'a donc pas de forme propre.

B. Les changements d'état

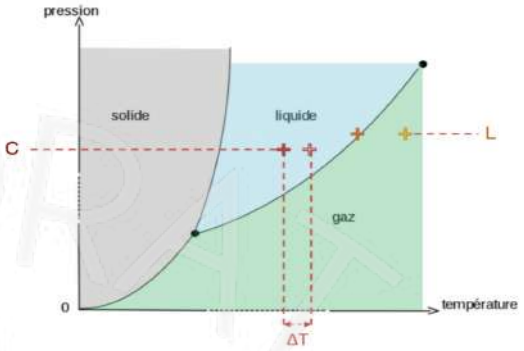


Deux paramètres font varier les changements d'état : la **pression** et l'**énergie thermique**

Les particules d'un corps sont soumises à une **agitation moléculaire**. En apportant de l'**énergie thermique**, on augmente cette agitation, ce qui finit par briser les liaisons de ces particules. C'est pour cela qu'en apportant de l'énergie thermique on passe d'un état ordonné à désordonné.

La pression **comprime** les particules d'un corps, elles sont donc **condensées** et le corps passe d'un état **diffus à dense**.

Diagramme de phase d'un corps pur (à volume fixe) : exemple général



Notions de capacité thermique et chaleur latente :

Capacité thermique (C) [$J.K^{-1}.mol^{-1}$] : Chaleur (ΔQ) qu'il faut lui transférer pour augmenter sa température **d'un kelvin** (ΔT=1K). Peut être exprimée en $J.K^{-1}$**.kg**$^{-1}$ (dans les exos)

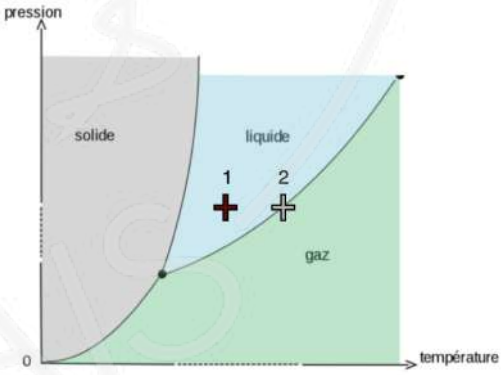
Chaleur latente (L) : Énergie qu'il faut fournir pour faire passer (à T°, V et P cste) une mole d'un corps pur **d'un état physique à un autre** [J.mol-1]. Peut être exprimée en J.**kg**$^{-1}$ (dans les exos), dans ce cas on parlera de chaleur latente massique, ça sera l'énergie nécessaire pour faire passer **1 kg** d'un corps pur d'un état à un autre.

$$\Delta Q = C \cdot \Delta T$$

Explication du diagramme de phase d'un corps pur :

Si on prend un point sur le diagramme et qu'on veut passer d'une température à une autre (**ΔT**), sans changer le volume ni la pression, on doit fournir une énergie qui ne sera pas la même en fonction du corps pur. Cette énergie modélisée est la **capacité thermique.**

Si on veut passer une ligne (ex : de liquide à gazeux), on doit fournir une énergie supplémentaire pour effectuer le changement d'état : c'est la **chaleur latente**.



Par exemple, pour passer du point 1 au point 2 sur ce diagramme :

Du premier au deuxième point, on passe d'un état liquide à température T1, à un état gazeux à température T2. Pour une mole à pression et volume constants, il faudra fournir **ΔQ** correspondant à l'énergie nécessaire pour l'augmentation de température, donc **C . ΔT** ; de plus, il faudra fournir l'énergie du changement d'état, la **chaleur latente de vaporisation** (Lv)

$$\Delta Q = C \cdot \Delta T + Lv$$

Application numérique :

Quelle énergie (chaleur) faut-il fournir à 2L (= 2 kg) d'eau pure à 20°C pour qu'elle soit intégralement transformée en vapeur à pression atmosphérique ?

Masse molaire de l'eau = 18,0 g/mol

Température d'ébullition de l'eau = 100°C

Capacité thermique massique de l'eau liquide = 4 185 $J.K^{-1}.kg^{-1}$

Chaleur latente de vaporisation de l'eau = 2 264.10^3 $J.kg^{-1}$

Deux étapes :

Monter à la température d'ébullition (capacité thermique) et changement d'état eau/vapeur (chaleur latente de vaporisation)

$\Delta Q = m(C . \Delta T) + m(Lv)$

$= m [(C . \Delta T) + (Lv)]$

$= 2 [(4\ 185 . ((100 + 273)) - (20 + 273)) + (2\ 264.10^3)]$

= **5 197 600 J**

Remarque : on peut, pour cette formule, utiliser les températures en °C car c'est une variation donc que ça revient au même qu'avec les Kelvin.

III - LES SOLIDES

Les solides peuvent être présents en différents **sous-états** : **cristal, semi-cristal, solides amorphes ou supraconducteurs**



Un même solide (exemple de la silice) peut être présent en plusieurs sous-états.

IV - LES GAZ

A. Les gaz parfaits

Correspond à **l'approximation** d'un **gaz idéal** dont les molécules sont ponctuelles (pas de volume) et n'ont pas d'interaction entre elles.

Équation d'état des **gaz parfaits** :

$$PV = nRT \; ; P = \frac{nRT}{V}$$

P : pression (pascal Pa) 1Pa=1N.m^{-2}

V : volume (m^3)

n : nombre de moles (mol)

R : constante des gaz parfaits = 8,31 J.mol^{-1}.K^{-1}

T : température (K)

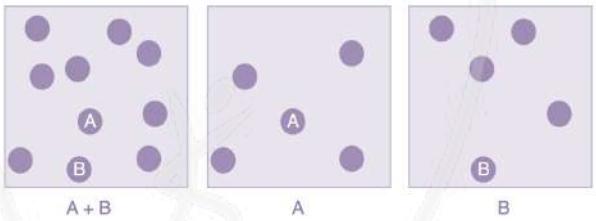
B. Mélange de gaz parfaits

Loi de Dalton :

La **pression** au sein d'un **mélange de gaz parfaits** est égale à la **somme** des **pressions partielles** de chacun de ses constituants. Chaque gaz va se comporter comme s'il était seul et exercer sa pression.

$$PV = nRT \rightarrow P = \frac{nRT}{V} = \frac{(n_A + n_B)RT}{V} = \frac{n_A RT}{V} + \frac{n_B RT}{V} = P_A + P_B$$

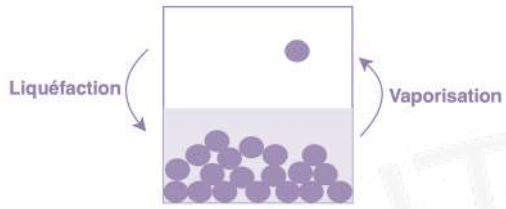
$$P = \sum_i P_i = \sum \frac{n_i}{n} P$$



P_i est la **pression partielle** : pression qu'exercerait le gaz i s'il était seul dans le même volume

$\frac{n_i}{n}$ est la **fraction molaire gazeuse**

C. Évaporation / liquéfaction



Corps pur liquide en interface avec l'air :

Vitesse de vaporisation : elle dépend de la **nature** du liquide, de la **surface** de l'interface et de la **température** du liquide.

On réunit ces paramètres sous une **constante k_v**, constante de vaporisation.

Vitesse de liquéfaction : elle est proportionnelle à la pression partielle du corps A en phase gazeuse : $k_c . P_A$

À **l'équilibre**, il y a autant de liquéfaction que de vaporisation : $k_c . Psat_A = k_v \Rightarrow Psat_A = k_v / k_c$

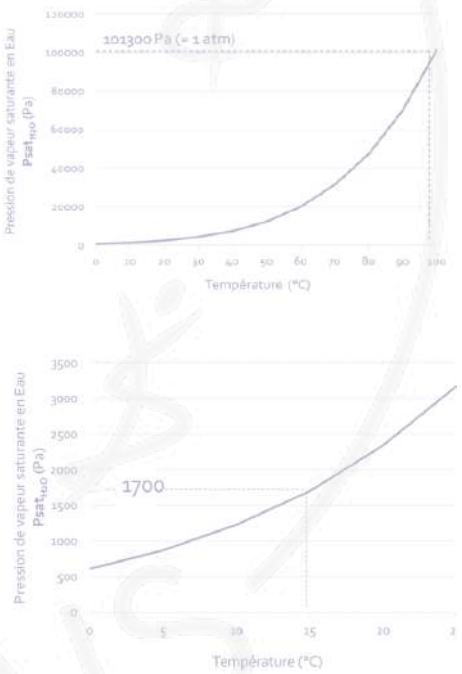
On écrit $Psat_A$, pour pression de vapeur saturante, c'est la pression partielle du corps A maximale (dans l'air) à laquelle on obtient l'équilibre liquéfaction/vaporisation.

D. Humidité relative

Humidité relative (%) : c'est le rapport de la ***pression partielle de la vapeur d'eau*** contenue dans l'air sur la pression de ***vapeur saturante*** (ou tension de vapeur) à la même température.

Elle est donc une mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir à une température donnée T.

$$HR = \frac{P_{H_2O}}{P_{satH_2O}} \times 100$$



Application numérique :

Quelle est la pression partielle en dioxygène aujourd'hui à Rennes ?

Température = 15°C

Humidité relative = 81 %

P_{atm} = 1 atm = 101 300 Pa

Humidité relative : $HR = \frac{P_{H_2O}}{P_{satH_2O}} \times 100$

$$P_{atm} = \sum_i P_i = P_{H_2O} + P_{airsec} = P_{H_2O} + (P_{O_2} + P_{N_2})$$

$P_{H_2O} = HR . P_{satH_2O} = 0{,}81 \times 1700 = 1377$ Pa

$P_{O_2} = 0{,}21 * P_{airsec} = 0{,}21\left(P_{atm} - P_{H_2O}\right) = 0{,}21(101\,300 - 1377) =$ **20 983Pa**

V - LES SOLUTIONS

A. Généralités

Mélange **homogène** (constitué d'une seule phase), en phase condensée (liquide ou solide). Résultat de la dissolution d'un ou plusieurs **soluté**(s), minoritaire(s), dans un **solvant**, majoritaire. Le solvant peut être un liquide (le plus souvent) ou un solide et le(s) soluté(s) peu(ven)t être solide(s), liquide(s) ou gazeux

B. Les solutions idéales

Définition : Les **interactions** entre les **molécules** qui composent cette solution, toutes espèces confondues (soluté-solvant, soluté-soluté, solvant-solvant), sont toutes **identiques**.

Concerne uniquement les solutions

1. Soit constituées de molécules **chimiquement très voisines**
2. Soit **très diluées** (se comporte comme le solvant pur)

C. Fractions/concentrations

Fraction molaire	$x_i = \frac{n_i}{n_{solution}}$	(mol/mol) => sans unité	Indépendante de la température
Fraction massique	$x_i = \frac{m_i}{m_{solution}}$	(m/m) => sans unité	Indépendante de la température
Concentration massique	$\rho_i = \frac{m_i}{V_{solution}}$	$kg.m^{-3}$ (SI) mais parfois en $g.l^{-1}$	**Dépendant de la température**
Concentration molaire	$c_i = \frac{n_i}{V_{solution}}$	$mol.m^{-3}$ (SI) mais souvent en $mol.L^{-1}$: **M**	**Dépendant de la température**
Concentration molale	$b_i = \frac{n_i}{m_{solvant}}$	$mol.kg^{-1}$	Indépendante de la température

NB : concentrations dépendantes de la température font intervenir le volume au dénominateur.

Quantité de matière	Masse	Volume
mol	kg	m^3

Ce sont les unités du Système International, cependant, dans certains cas on utilise d'autres unités. On vous conseille de toujours passer par celles du SI pour vos calculs.

NB : Solution aqueuses diluées : 1L ≈ 1kg -> $V_{solution} \approx V_{solvant}$ donc : **molalité ≈ molarité**

D. Loi de Raoult

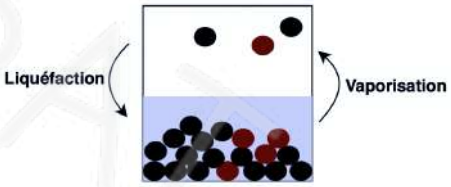
« Dans une solution idéale, à température constante, **la pression partielle** en phase vapeur d'un constituant est **proportionnelle** à sa fraction molaire en phase liquide. »

S'applique aux solutions idéales, uniquement au solvant dans le cas d'une solution diluée :

$k_c . Psat_A = \frac{n_A}{n_{solution}} . k_v$ (à l'équilibre)

$Psat_A = \frac{n_A}{n_{solution}} . k_v / k_c$

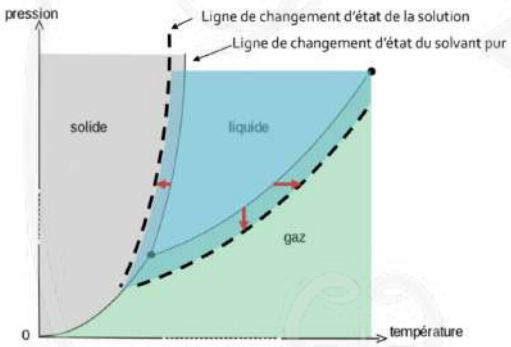
$Psat_A = \frac{n_A}{n_{solution}} . Psat_{A\ pur}$



La pression partielle en phase vapeur de A sera toujours inférieure en solution par rapport à si c'était un solvant pur.

E. Propriétés colligatives

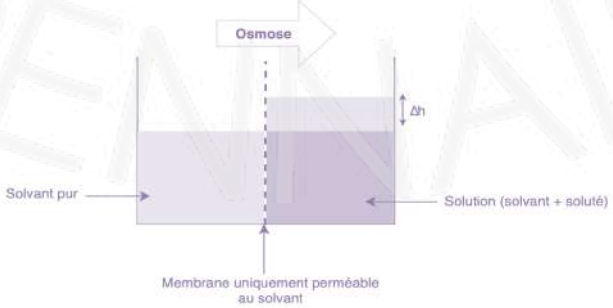
Les propriétés colligatives d'une **solution** correspondent aux **modifications** des propriétés d'un solvant pur dans lequel on a **introduit des solutés.**



1. Baisse de pression de vapeur saturante
2. Elévation de la température d'ébullition
3. Abaissement de la température de fusion
4. Pression osmotique

F. Osmose

Le phénomène **d'osmose** se résume par la diffusion du solvant du côté le moins vers le plus concentré pour égaliser les concentrations. En résulte une **pression osmotique**. Phénomène vu précisément dans les transferts membranaires.



Dernier conseil : Ce cours a été très allégé ces dernières années, faites attention à ne pas perdre de temps bêtement sur des QCMs anciens qui ne tomberont jamais dans votre examen.

EXERCICES RESOLUS

Concernant les états de la matière :

A. Selon la loi de Dalton un mélange de différents gaz parfaits n'ont pas d'interaction entre eux.
B. Pour obtenir la pression exercée par un mélange de gaz parfait, il faut faire la somme des différentes pressions
partielles de ces gaz.
C. La vitesse d'évaporation d'un liquide dépend de la nature du liquide mais pas de sa température.
D. Selon la loi de Raoult la pression partielle d'une solution serait toujours inférieure à la pression si le solvant était pur.
E. A température constante et à saturation, la pression partielle dans la phase vapeur d'un soluté volatil est inversement proportionnelle à la fraction molaire de ce corps dans la solution liquide.

Réponses : ABD
C : Dépend de sa température, E : proportionnelle

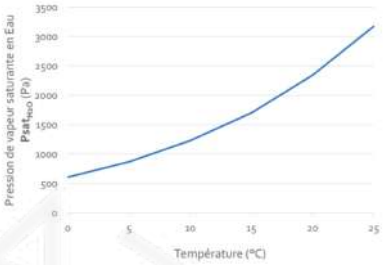
Concernant les états de la matière :

A. Les liquides et les gaz sont appelés fluides c'est-à-dire qu'ils épousent la forme de leur contenant.
B. Si l'on apporte de l'énergie thermique à de la matière à l'état solide cela va rompre certaines de ces liaisons et on va passer à un état liquide.
C. Le passage d'un état solide à un état gazeux se nomme la sublimation.
D. Pour changer les états de la matière on joue sur 2 paramètres que sont la pression et la température.
E. La chaleur latente est l'énergie qu'il faut fournir pour faire passer une mole d'un corps pur d'un état physique à un autre.

Réponses : ABCDE

Durant une journée banale à la cité des pyramides, nous retrouvons Bastian, joli tuteur de physique et guetteur à ses heures perdues. Posticé en haut de sa tourelle, il aimerait bien calculer la pression partielle en dioxygène mais le cri des sirènes l'en empêche. Aidez-le ! (On ne prend pas en compte l'altitude)

Données : HR = 60 % ; Température = 25°C ; $P_{atm} = 10^5$ *Pa*



Résolution : Ça va se dérouler en **deux étapes**. Ce qu'il faut comprendre c'est que la **pression atmosphérique** est représentée par la **pression en eau** et la **pression de l'air sec**, c'est-à-dire dioxygène + diazote. On va donc calculer la pression en eau, la soustraire à la pression atmosphérique (totale) pour obtenir la pression de l'air sec. Ensuite on connaît les proportions de dioxygène et diazote donc on peut en déduire la pression du dioxygène dans l'air.

Première étape :

Calculer la pression en eau : $HR = \frac{P_{H_2O}}{P_{satH_2O}} \Rightarrow P_{H_2O} = HR.P_{satH_2O}$

$P_{satH_2O} = 3200$ Pa (sur le graphique)

$P_{H_2O} = 0{,}6 \times 3200 = 1920$ Pa

Deuxième étape :

Calculer la pression en dioxygène : $P_{atm} = P_{H_2O} + P_{airsec} = P_{H_2O} + (P_{O_2} + P_{N_2})$

$P_{O_2} = 0{,}21 * P_{airsec} = 0{,}21(P_{atm} - P_{H_2O}) = 0{,}21 \times (10^5 - 1920) = 20597$ Pa

FICHE : LES FORMULES

Les différents états	
Énergie nécessaire pour un changement d'état	$\Delta Q = C \cdot \Delta T + L_{\text{changement d'état}}$

Les gaz	
Équation d'état des gaz parfaits	$PV = nRT \; ; P = \frac{nRT}{V}$
Loi de Dalton	$P = \frac{nRT}{V} = \frac{(n_A + n_B)RT}{V} = \frac{n_A RT}{V} + \frac{n_B RT}{V} = P_A + P_B$
Humidité relative	$HR = \frac{P_{H_2O}}{P_{satH_2O}} \times 100$

Les solutions	
Loi de Raoult	$Psat_A = \frac{n_A}{n_{solution}} . Psat_{A\,pur}$

NOTES PERSONNELLES

CHAPITRE 11 : RADIOACTIVITE

I- NOTIONS DE BASES SUR L'ATOME

$$X_Z^A$$

A = nombre de **masse** = nombre de **nucléons** (protons + neutrons)

Z = nombre de **charges** ou **numéro atomique** (= nombre de protons qui correspond aussi au nombre d'électrons)

- Isobare = même A mais un Z différent *(IsobAre => même A)*
- Isotone =même nombre de neutrons mais un Z différent (*IsotoNe => même nombre de Neutrons)*
- Isotope =même Z mais un A différent (*IsotoPe => même nombre de Protons)*

Le positon : le positon est l'antiparticule de l'électron. Il a donc **la même masse**, mais une **charge opposée**.

II- ENERGIE DE LIAISON DES NUCLEONS

$$mX_Z^A = Zm_p + (A - Z)\, m_n - \Delta$$

la masse d'un noyaux = masse des protons * le nb de proton + masse des neutrons * le nb de neutrons - le **défaut de masse**

Pour calculer le nombre de neutrons : **A - Z = nb de nucléons - nb de protons**

Force de liaison des nucléons = interaction nucléaire forte +++

- force attractive
- forte intensité
- faible portée
- indépendante de la charge des nucléons

	Portée	**Intensité**
gravitationnelle	infinie	10 ^-40
électromagnétique	infinie	10 ^-4
nucléaire forte	10 ^-15m	**1**
nucléaire faible	< 10 ^-18	10 ^ -7

Ce tableau est à apprendre par coeur

III- LES PARTICULES FONDAMENTALES

En 1960, on été introduit les quarks qui sont des particules fondamentales constituant les nucléons (protons et neutrons)

Les quarks sont les particules fondamentales constituant les nucléons (ainsi que d'autres particules)

Mnémo:

s et c pour SeConde famille

t et b pour Troisième famille

Les protons sont constitués des quarks **(u,u,d)** VS les neutrons sont constitués des quarks **(u,d,d)**

	Nom	Symbole	Charge électrique	Masse (GeV/c^2)
Première famille	up	u	2e/3	0,39
	down	d	-e/3	0,39
Seconde famille	charm	c	2e/3	1,55
	strange	s	-e/3	0,51
Troisième famille	top / truth	t	2e/3	>80
	bottom /beauty	b	-e/3	4,7

Peuvent être au même endroit dans un même état quantique

Spin entier, suivent la statistique de Bose-Einstein

Noms			Composition	Symboles
Bosons	Graviton		Particules fondamentales	G
	Photon			γ
	Gluons			g
	Mésons		Nombre pair de quarks et d'antiquarks	Π, K, η, ρ, φ, D, ...
	Bosons intermédiaires		Particules fondamentales	W^+, W^-, Z^0
Matière — Fermions	Baryons	Nucléons — Proton	3 quarks	p
		Nucléons — Neutron	3 quarks	n
		Autres baryons	3 quarks (et plus)	Δ, Ξ, Λ, Σ, Ω,...
	Leptons	Électron	Particules fondamentales	e^-
		Neutrino associé à l'électron		ν_e
		Muon		μ
		Neutrino associé au muon		ν_μ
		Tau		τ
		Neutrino associé au tau		ν_τ
	Quarks			u, d, c, s, t, b

Spin demi-entier, suivent la statistique de Fermi-Dirac

Ne peuvent pas être au même endroit dans un même état quantique (principe d'exclusion de Pauli)

Mnémo :

Bosons ⇒ photons

FAUstine (PHOstine) est BOnne

Fermions ⇒ Baryons ⇒ Proton et Neutron composés de 3 quarks

Fermions ⇒ Leptons ⇒ électrons et neutrino associé

PROsper et NiEls sont de BARbants FERmiers, tandis que ELEonor et son chien Neutrino sont de LEgitimes FERmiers

Fermions ⇒ Quarks

Le positon étant l'anti particule de l'électron, on considère qu'il appartient à la catégorie des Leptons et des Fermions

III- LA RADIOACTIVITE

Type de radioactivité	Excès de:	particule émise		équation pour les atomes	spectre obtenu
α	nucléons	NOYAU d'hélium = particule **α** - particule lourde - lentes - donc peu pénétrantes		$[X_Z^A] \rightarrow \left[Y_{Z-2}^{A-4\,(*)}\right]^{2-} + [He_2^4]^{2+}$	RAIES
β-	neutron	particule β- = électron	-légères - rapides -pénétrantes +++	$[X_Z^A] \rightarrow [Y_{Z+1}^A]^{+} + e_{-1}^0 + \nu_0^0$	CONTINU
β+	protons	particule β+ = positon		$[X_Z^A] \rightarrow [Y_{Z-1}^A]^{-} + e_1^0 + \nu_0^0$	CONTINU
Capture électronique	proton	formation d'un neutron par captation d'un e- du cortège électronique		$[X_Z^A] \rightarrow [Y_{Z-1}^A]^{*} + \nu_0^0$	
Désexcitation des noyaux fils obtenus					
désexcitation ɣ	de photons ɣ			$(Y_Z^A)^{*} \rightarrow (Y_Z^A)^{(*)} + \gamma$	RAIES
Conversion interne	éjection d'un e- du cortège électronique			$Y_Z^{A\,*} + e_{-1\,couche\,interne}^0 \rightarrow Y_{Z-1}^{A\,(*)} + e_{-1}^0$	
Désexcitation du cortège électronique					
Par émission X	d'un photon X				
Par effet Auger	d'un électron Auger				

En jaune : Réactions où des électrons du cortège électronique sont éjectées. Par la perte d'électron , le cortège électronique va devenir fortement **excité.**

La réaction d'annihilation : $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$

on obtient **deux photons γ d'énergie** $m_e c^2 = 0.511\ MeV$ émis dans la même direction et en sens opposé

III – LOIS QUANTITATIVES DE LA RADIOACTIVITE

A. Activité

$$A = \lambda N$$

A = activité au temps en **Bq**

λ= cste radioactive **en s^{-1}**

N= Nb de noyaux radioactifs au temps (bien retenir les unités)

B. Décroissance radioactive

T = période radioactive

λ= cste radioactive **en s^{-1}**

$$T = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

$$\frac{1}{T_{eff.}} = \frac{1}{T} + \frac{1}{T_b}$$

$T_{eff.}$= période effective

C. Rapport d'embranchement

Rapport d'embranchement :

$$= \frac{\lambda_{partielle}}{\lambda_{totale}}$$

IV- RAYONNEMENTS IONISANTS

rayonnements non ionisants	électromagnétique	λ > 0.01 microns		ondes radio, micro ondes, IR, visible, et UV (photons)
rayonnement ionisants		λ < 0.01 microns		Photons X et γ
	particules massiques	non chargées		neutrons
		chargées	légères	électrons, positons
			lourdes	α, p, deutérons, fragments de fissions

Rayons X et γ

Réorganisation du **noyau**	**modification** du noyau	désintégration	alpha
			beta +
			beta -
		capture électronique	
	désexcitation du noyau	**émission γ**	
		conversion interne	
Réorganisation du **cortège électronique**	désexcitation du **cortège électronique**	**émission X (UV, visible)**	
		Effet auger	

D. Atténuation d'un faisceau de photons:

$$dn = -\mu\, n\, dx$$

$$n = n_0\, e^{-\mu x}$$

μ = coefficient d'atténuation linéique en L^{-1}

n = flux de photons: nb de photons passant en x par unité de temps et par unité de surface n_0 = flux de photons en t = 0

E. Intensité lumineuse I :

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

F. Couche de demi-atténuation (CDA ou x ½) :

$$x_{1/2} = \frac{ln(2)}{\mu}$$

G. Coefficient massique d'atténuation linéique:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

avec ρ = masse volumique

H. Interactions photons-matière

- le faisceau de de photons peut traverser le matériau sans être dévié, ni perdre de l'énergie : l'énergie du faisceau de photons est **transmise**
- Le faisceau de photons peut être dévié par le matériau avec soit:
  - aucune perte d'énergie en traversant le matériau = DIFFUSION RAYLEIGH
  - avec une perte d'énergie en traversant le matériau = DIFFUSION COMPTON

  } Energie diffuse

- Le faisceau de photons peut être complètement arrêter par le matériau:
  - Effet photoélectrique
  - Effet de matérialisation
  - Réaction photonucléaire

  } Energie transférée

I. La diffusion Compton

Le faisceau de photons se "heurte" à un électron de la couche **externe** du cortège électronique de l'atome. L'électron est éjecté = électron Compton

le faisceau de de photon est **dévié** et son énergie **diminue**.

$$hv = hv' + E_{cin} +$$

Avec E_{cin} = énergie cinétique de l'électron

et W = énergie de liaison de l'électron (négligeable)

J. Effet photoélectrique

Un faisceau de photons se "heurte" à un électron de la couche **interne**, toute l'énergie du photon est absorbée et l'électron est arraché à l'atome.

On aura un trou en couche interne donc une cascade X, UV, visible, Effet Auger pour désexciter le cortège électronique

Mnémo: en décomposant : effet photo = photons "électrique " =électrons, un photon se "heurte" à un électron

LES GRANDEURS PHYSIQUES ET CONSTANTES A CONNAITRE

Ces constantes sont à retrouver sur la calculatrice **"2nd" puis " ("**

Angstrom	1A = 10^{-10} m
Vitesse de lumière	c = 2.998* 10^{8} m
constante de Planck, h	h = 6.62 * 10^{-34} Js
charge de l'électron	e = 1.60218 * 10^{-19} C
Unité de masse atomique	1 u = 1.66 * 10^{-27} C

FICHE : LES FORMULES

Radioactivité et rayonnements ionisants	
Activité	$A = \lambda N$
Décroissance radioactive	$T = \frac{\ln(2)}{\lambda}$ $\frac{1}{T_{eff.}} = \frac{1}{T} + \frac{1}{T_b}$
Rapport d'embranchement	$= \frac{\lambda_{partielle}}{\lambda_{totale}}$
atténuation d'un faisceau de photons	$dn = -\mu\, n\, dx$ $n = n_0\, e^{-\mu x}$
intensité lumineuse	$I = I_0 e^{-\mu x}$
couche de demi-atténuation (CDA)	$x_{1/2} = \frac{ln(2)}{\mu}$
coefficient massique d'atténuation linéique	$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$

PETIT TIPS

Le Pr Delalande est assez pointilleux sur ses définitions et concepts. Ils sont à apprendre précisément. Ses questions concernent surtout le cours mais il peut très bien vous poser des questions de calculs ! Rassurez-vous, elles ne sont pas extrêmement dures si vous connaissez bien la théorie.

Point clé : régularité. C'est un cours long donc il ne faut pas hésiter à le découper en plusieurs parties (à vous de voir si vous utilisez le découpage réalisé en cours ou non) pour être plus concentré et mieux assimiler chaque partie pour les mettre en relation.

EXERCICES RESOLUS

1) A propos du nouvel atome nommé "Guetteur" Gu_{52}^{69} découvert par le scientifique Pr Rouillard:

Données: m_p= 1.67 * 10^-27 kg

m_{n-} =1.674 * 10^ - 29 g

Δ = 5.061*10 ^ -29 kg

A. Le nombre de masse vaut 69.
B. Le nombre de neutrons est de 52.
C. La masse de l'atome Gu vaut 8.71 * 10^ -26 kg.
D. Les neutrons sont des particules non ionisantes et non chargées.
E. Les neutrons sont des leptons.
F. Toutes les réponses précédentes sont fausses.

Réponses : AC

A et B : A = nombre de masse = nombre de nucléons

Z = nombre de protons

le nombre de neutrons = A - Z

Ici A = 69 et Z = 52

le nb de neutrons = 69 - 52 =17

C : La masse se calcule avec cette formule : mX_Z^A = Zm_p + (A - Z) m_n - Δ

/!\ aux unités, bien convertir les g en kg

mX_Z^A = 52 * 1.67 * 10^-27 + 17 * 1.674 * 10^ - **27 -** 5.061*10 ^ -29

= 1.15 * 10 ^-25 kg

D: Les neutrons sont des particules IONISANTES

E : les neutrons sont des Barions

2) On sait que l'activité d'un échantillon de Manganèse est de 10^{12} Bq et que la période du Manganèse est de 458 ans. Le nombre de noyaux radioactifs est de :

A. $2.09 * 10^{22}$
B. $6.61 * 10^{14}$
C. $3.47 * 10^{20}$
D. 1
E. $4.58 * 10^{14}$
F. Tout est faux.

Réponse: A

On connaît ici deux éléments sur le manganèse : la période radioactive T et l'activité A.

On cherche le nombre de noyaux radioactifs initialement: La formule que l'on va utiliser est: $A = \lambda N$

On cherche N

A /λ = N

N = $\frac{A}{\lambda}$

Or on ne connaît pas λ ! mais on connaît une autre formule:

$T = \frac{ln(2)}{\lambda}$

λ = $\frac{ln(2)}{T}$

/!\ il faut convertir la période radioactive en seconde

458 ans = ? secondes

= le nb d'années * le nb de jour dans l'année * le nb d'heure dans une journée * le nombre de minutes en 1h * le nb de secondes en 1 min

= 458 * 365.25 * 24* 60 * 60 = 1.45 * 10^{10} s

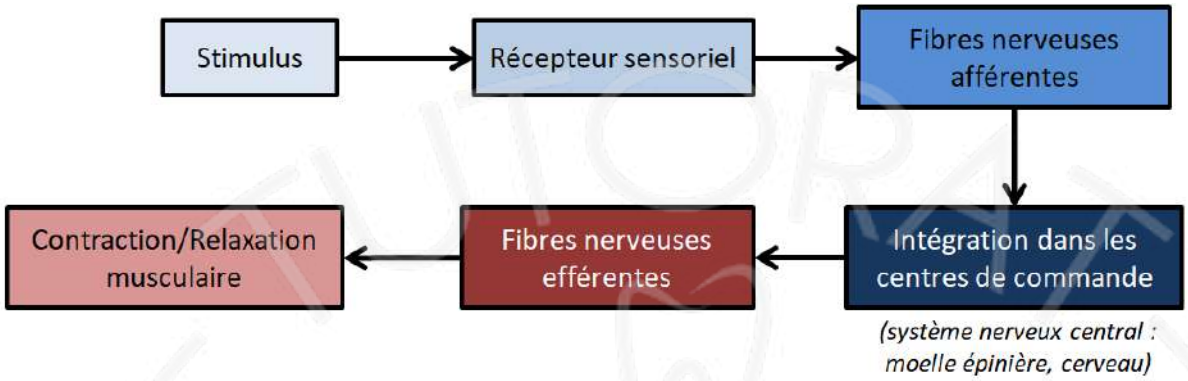
Donc λ= $\frac{ln\,(2)}{1.45 * 10^{10}}$= 4.78 * 10^{-11} s^{-1}

Ainsi N = $\frac{10^{12}}{4.78 * 10^{-11}} = 2.09 * 10^{22}\, noyaux\ radioactifs.$

NOTES PERSONNELLES

CHAPITRE 12 : BASES NEURONALES

Comment se fait la transmission des informations dans notre corps ?

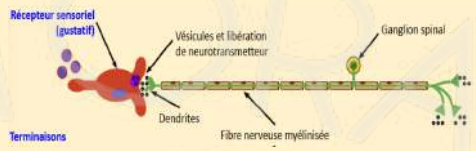
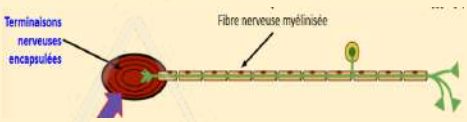
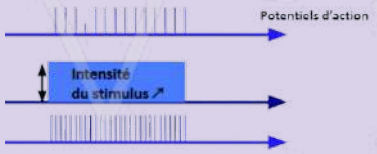


Cette transmission d'informations se fait grâce aux **nerfs**, contenant des fibres/cellules nerveuses (= **neurones**), communiquant entre elles via des **synapses**.

RECEPTEURS SENSORIELS

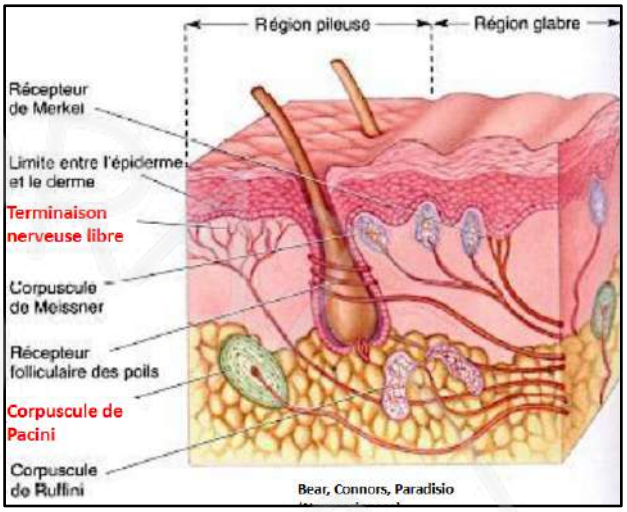
Classification des récepteurs sensoriels : à connaître sur le bout des doigts !

Classification	Catégories	Sous-catégories	Exemples de localisation
LOCALISATION ANATOMIQUE	**Extérocepteurs → Stimuli du milieu externe**	5 sens : goût, odorat, vision, ouïe, toucher (pression, T°C, douleur)	Peau, organes sensoriels
	Intérocepteurs → Stimuli du milieu interne	Viscérocepteurs	Viscères, vaisseaux
		Propriocepteurs : infos **statiques** (position du membre, posture du corps) et **dynamiques** (vitesse, direction du mouvement)	Appareil musculo-squelettique, TC…
TYPE DE STIMULUS	**Mécanorécepteurs**	**Pression**, **étirement cutané** (Meissner, Merkel, Ruffini), **vibrations cutanées** (Pacini) **Étirement** (fuseaux neuromusculaires), **tension musculaire** (organes de Golgi) **PA** (barorécepteurs)	Peau Muscles Vaisseaux …
	Thermorécepteurs	**Température**	Peau, hypothalamus
	Photorécepteurs	**Lumière**	Cônes et bâtonnets (rétine)

	Chimiorécepteurs	**Odeur** (olfactifs), **saveur** (gustatifs), **composition chimique** du sang (osmorécepteurs)	Nez, bouche, vaisseaux
	Nocicepteurs	**Douleur**	Partout (sauf poumon, SNC…)
STRUCTURE	**Cellule sensorielle spécialisée**		Bâtonnets de la rétine
	Terminaison nerveuse libre		Nocicepteurs, thermorécepteurs
	Terminaison nerveuse encapsulée		Mécanorécepteurs, propriocepteurs
FIBRES CONNECTÉES	**Amyéliniques de petit diamètre**		Nocicepteurs
	Myélinisées de plus gros diamètre		Mécanorécepteurs, propriocepteurs
RÉACTION AUX STIMULI	**Récepteurs sélectifs**	1 seul type de stimulus	Photorécepteurs : que la lumière
	Récepteurs polymodaux	Au moins 2 types de stimulus	Nocicepteurs : stimuli nociceptifs ET chaleur
CARACTÉRISTIQUES D'ADAPTATION	**Récepteurs toniques (adaptation lente)**	Réponse par une décharge de PA maintenue tout au long du stimulus 	Propriocepteurs Nocicepteurs Chimiorécepteurs Mécanorécepteurs (Merkel, Ruffini)
	Récepteurs phasiques (adaptation rapide)	Réponse par une décharge maximale mais brève (diminution de la réponse si le stimulus persiste) 	Mécanorécepteurs (Meissner, Pacini)

Zoom sur les récepteurs sensoriels cutanés

- **Nocicepteurs** (“terminaison nerveuse libre”)
- **Mécanorécepteurs**
  - <u>En superficie</u> (limite derme-épiderme) *(les noms “allemands” sont au ”nord”)*
    - Corpuscules de **Meissner**
    - Disques de **Merkel** (bout des doigts et lèvres ++) : réponse à la pression légère pour la discrimination statique des formes, bords, textures
  - <u>En profondeur</u> dans le derme *(les noms “italiens” sont au “sud”)*
    - Corpuscules de **Pacini** : vibrations à haute fréquence (rapides) de la peau, stimuli mobiles
    - Corpuscules de **Ruffini**



Fonctionnement

<u>But</u> = **détecter les changements dans le milieu extérieur ou intérieur** (= stimulus)

1. **Stimulus dans le champ récepteur** (zone sensible pour 1 récepteur)
2. **Variation du potentiel de repos** de la membrane du récepteur : **dépolarisation** de la membrane
3. **Potentiel de récepteur** au site transducteur
4. **Si seuil d’excitation atteint, train de PA sur la fibre nerveuse** → propagation du SNP vers le SNC

<u>Ex Pacini</u> : une pression mécanique provoque l’apparition d’un potentiel de récepteur, qui se transforme en potentiel d’action propagé au niveau de la fibre nerveuse.

Transduction = transformation d’un stimulus spécifique (ex mécanique) en signal électrique permettant de communiquer l’information au système nerveux

Le potentiel de récepteur est <u>local</u>, <u>adaptable</u>, <u>sommable</u> dans le temps et l’espace, de <u>durée égale</u> au stimulus, <u>d’amplitude proportionnelle</u> à l’intensité du stimulus. *(À savoir par cœur)*

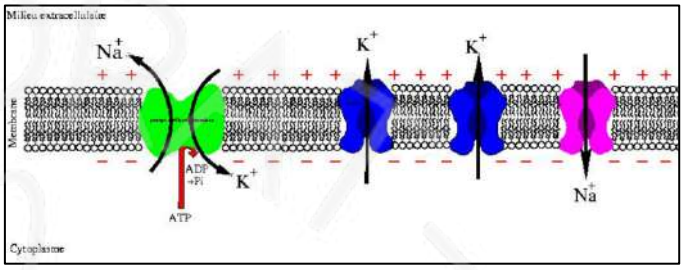
Codage numérique	**Plus le stimulus est intense, plus il y a de récepteurs qui sont stimulés**
Codage en intensité	**Plus le stimulus est intense, plus le potentiel de récepteur est important**. <u>Attention</u> : existence d’un plateau au-delà duquel le potentiel récepteur ne peut plus augmenter.
Codage en fréquence	**Plus l’amplitude du potentiel de récepteur est élevée, plus la fréquence des PA délivrés dans la fibre nerveuse est élevée**. <u>Attention</u> : il est nécessaire que l’amplitude du potentiel de récepteur atteigne le seuil de 25% pour déclencher un PA

LA TRANSMISSION DU MESSAGE NERVEUX

Elle se fait grâce à la propagation des potentiels d'action : mais comment se crée-t-il ?

Le potentiel de membrane de repos

Pour initier un potentiel d'action et donc l'information nerveuse, il est nécessaire d'avoir une cellule avec un potentiel de membrane de repos : c'est la **spécificité des cellules excitables** (neurones, cellules musculaires, récepteurs sensoriels). Ce potentiel de repos est généré par des protéines de transports spécifiques à ces cellules qui créent des **flux ioniques transmembranaires**



1. **Transport actif contre le gradient de concentration : pompes ioniques** (= consommation d'énergie)
   a. **Pompes ioniques ATPase** (Na/K, Ca/H). Ex Na/K : l'hydrolyse de l'ATP provoque une sortie de 3 ions sodium, contre une entrée de 2 ions potassium
   b. **Pompes ioniques échangeuses d'ions** : Na/Ca, Na/H, Cl/HCO3

   => Apparaît une **différence de concentration** des ions, **mais pas encore de différence de potentiel** ! (Toujours autant de charges + d'un côté ou de l'autre)

   => C'est la situation retrouvée dans toutes les cellules de l'organisme, avec une forte concentration de K+ intracellulaire (35x plus qu'en extracellulaire) et une forte concentration de Na+ extracellulaire.

2. **Transport passif selon le gradient de concentration : canaux ioniques voltage-dépendants de perméabilité sélective aux ions K+** (ils sont 100x plus perméables aux K+ qu'aux Na+). Les ions potassium traversent la membrane vers le milieu extracellulaire en suivant leur gradient de concentration

   => Apparaît une **différence de potentiel** ! Il y a maintenant plus de charges + en extracellulaire (car les ions Na ne reviennent pas eux en intracellulaire). La valeur du potentiel de repos est de **-65 mV**

   => La présence de ces canaux de fuite potassique est la spécificité des cellules excitables.

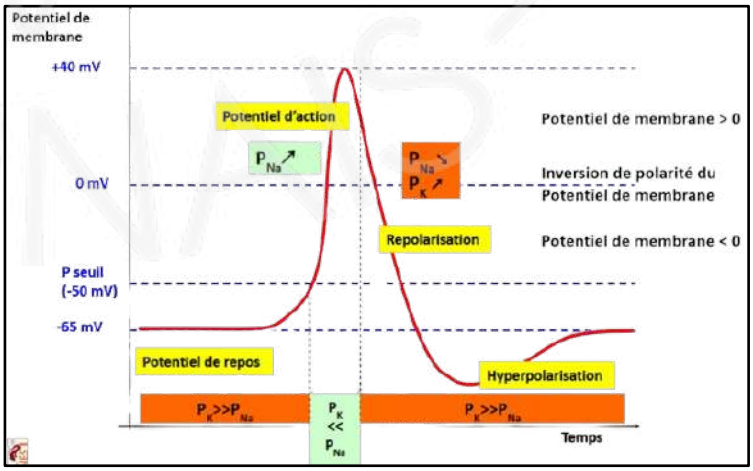
Le potentiel d'action (+++)

Il apparaît pour toute variation du potentiel de membrane au-delà d'un certain seuil (= potentiel-seuil)

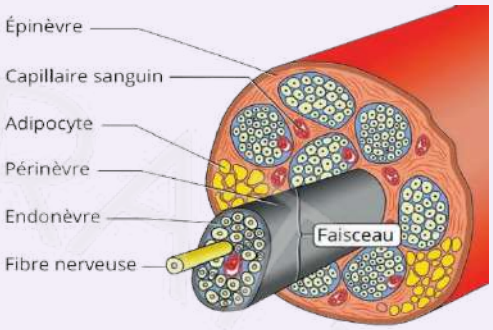
1. Dépolarisation : **augmentation brutale de la perméabilité membranaire au Na+**. La vitesse d'entrée au Na+ par les canaux sodiques voltage-dépendants devient supérieure à la vitesse de sortie du K+

2. Repolarisation : **inactivation du flux entrant de Na+ et apparition d'un flux sortant retardé et prolongé**

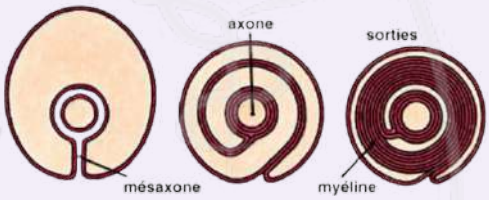
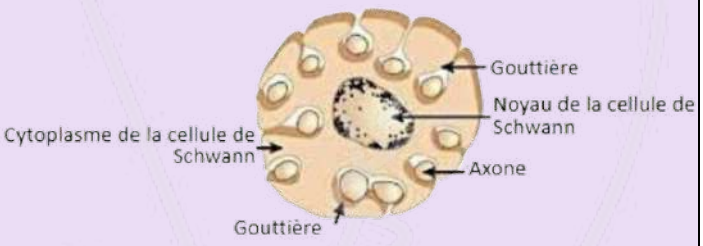
3. Hyperpolarisation : **sortie prolongée du K+** (car vitesse transitoirement plus importante qu'au repos) avant de se stabiliser



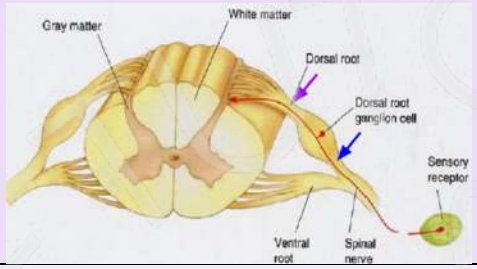
FIBRES NERVEUSES

3 tuniques		
Épinèvre (la + externe, penser aux épis de cheveux qui sont en superficie)	TC dense et fibreux, contient l'ensemble du nerf, et la vascularisation	
Périnèvre (intermédiaire)	Entoure chaque fascicule	
Endonèvre (la + interne)	TC lâche entre les fibres	

Toutes les fibres nerveuses sont entourées d'une gaine de Schwann, produite par les cellules de Schwann (SNP) ou les oligodendrocytes (SNC)

Fibres myélinisées (< 50%)	**La gaine de Schwann s'enroule plusieurs fois autour de l'axone** (comme un emballage de sucette) → gaine de myéline (lipoprotéines) qui s'interrompt à intervalles réguliers (**nœuds de Ranvier**), mais l'axone reste recouvert par du cytoplasme schwannien ! Elles conduisent les infos des **propriocepteurs** et des **récepteurs cutanés encapsulés**	
Fibres amyéliniques (> 50%)	Diamètre plus petit, elles sont entourées du **cytoplasme de cellules de Schwann non myélinisantes** (1 cellule de Schwann entoure 2 à 15 axones amyéliniques). Elles conduisent les infos **nociceptives**, **thermiques**, **végétatives**	

La vitesse de l'influx nerveux est plus importante si le diamètre de la fibre est plus important, et si une gaine de myéline (isolant électrique) est présente (conduction saltatoire → vitesse x100).

<table>
<tr><td rowspan="4">Fibres afférentes/sensorielles
(Périphérie → SNC via les racines POST)
→ Mémo : il y a un “S” comme “Sensoriel” dans “Postérieur”
→ D’origine viscérale et somatique (peau, organes sensoriels, appareil musculosquelettique)
→ Neurone en T : corps cellulaire dans le ganglion spinal et 2 branches axoniques (une périphérique / une centrale vers la ME)

</td><td>Fibres Aα (les plus rapides) : proprioception (fuseaux neuromusculaires, organes de Golgi)</td></tr>
<tr><td>Fibres Aβ : mécanorécepteurs cutanés (tact, pression, vibration)</td></tr>
<tr><td>Fibres Aδ : nociception, froid, infos végétatives</td></tr>
<tr><td>Fibres C : nociception, chaud, infos végétatives. Souvenez-vous que quand on se prend l’orteil dans un meuble, on sent le contact du meuble avant de ressentir la douleur, qui met un peu de temps à arriver.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Fibres efférentes
(SNC → périphérie via les racines ANT)</td><td>Motrices (appareil musculosquelettique)</td></tr>
<tr><td>Végétatives (muscles lisses des viscères, vaisseaux, cœur, glandes)</td></tr>
<tr><td colspan="2">NB : un nerf contenant des fibres afférentes et efférentes est appelé nerf mixte</td></tr>
<tr><td colspan="2">Les potentiels de membrane sont enregistrables par microélectrodes intracellulaires, les potentiels globaux des fibres nerveuses/musculaires par macro-électrodes</td></tr>
</table>

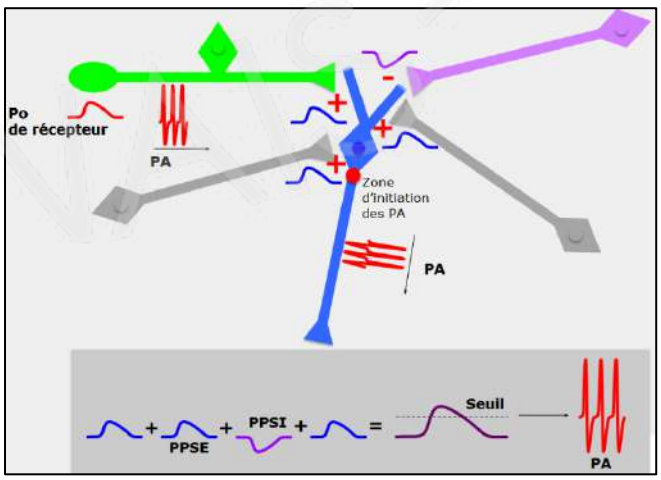
Transmission électrique le long des fibres nerveuses

Les PA se propagent le long des fibres **sans diminution de leur amplitude** : en effet, le PA précédent constitue un courant local qui entraîne l’ouverture des canaux sodiques voltage-dépendants suivants (= dépolarisation) → apparition d’un nouveau PA. Cette **propagation ne peut se faire qu’en aval** car il existe une période réfractaire en amont de la fibre (due à la phase d’hyperpolarisation), empêchant l’apparition d’un nouveau PA.

Loi du tout ou rien : quel que soit le stimulus, s’il permet de créer un PA alors ce PA aura toujours la même amplitude.

Intégration synaptique

Soient des **PA présynaptiques** issus d’un **potentiel récepteur** ou d’autres neurones : ils sont convertis au niveau post-synaptique en **PPSE** (influx nerveux excitateurs) ou **PPSI** (influx nerveux inhibiteurs). **Ce ne sont pas des PA** car ils n’ont pas l’amplitude nécessaire.



En revanche, le **neurone suivant** fait une **sommation temporelle** (combine les PPSE/I qui se déchargent répétitivement sur une même afférence) et **spatiale** (combine les PPSE/I provenant de plusieurs afférences présynaptiques) des influx reçus au niveau de ses dendrites :

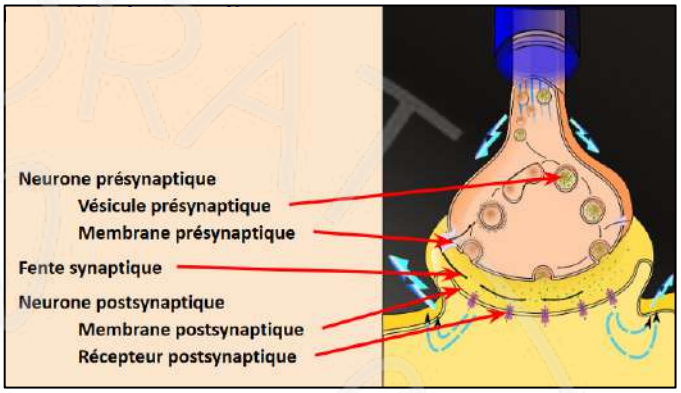
- ⇨ **Génération d’un nouveau PA** dans la zone d’initiation de l’influx nerveux, de haute densité de canaux sodiques

LA TRANSMISSION SYNAPTIQUE

C'est la transmission de l'influx nerveux entre deux neurones, ou entre un neurone et une cellule musculaire.

A. La synapse chimique (entre 2 neurones)

1. **Arrivée du PA au niveau de la terminaison présynaptique non myélinisée**
2. **Ouverture des canaux calciques voltage-dépendants : entrée massive et brutale de Ca2+**
3. **Fusion des membranes vésiculaires et libération du neurotransmetteur dans la fente synaptique par exocytose**
4. **Fixation du neurotransmetteur sur les récepteurs post-synaptiques spécifiques**
5. **Ouverture des canaux ioniques post-synaptiques**



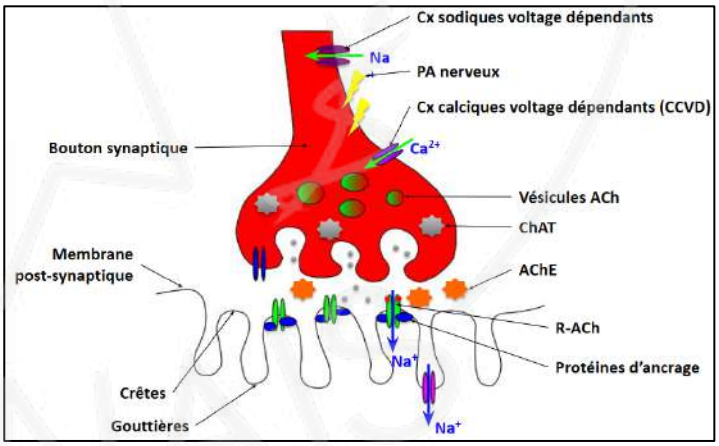
Comme vu précédemment, les potentiels créés en post-synaptique sont des **PPSE** (accroissent l'excitabilité) ou des **PPSI** (diminuent l'excitabilité) : la génération d'un PPSE ou d'un PPSI ne dépend pas du neurotransmetteur (il peut créer des PPSE et des PPSI) mais bien du type de récepteur impliqué.

Chaque PPSE est souvent infraliminaire (< potentiel-seuil : insuffisant pour générer un PA) : c'est la sommation des PPSE et des PPSI qui entraîne le PA.

NB : il existe aussi des synapses électriques, moins nombreuses

B. La jonction neuromusculaire (entre 1 neurone et 1 cellule musculaire)

1. **Arrivée du PA au niveau de la terminaison présynaptique non myélinisée**
2. **Ouverture des canaux calciques voltage-dépendants : entrée massive et brutale de Ca2+**
3. **Fusion des membranes vésiculaires et libération d'acétylcholine (Ach) dans la fente synaptique par exocytose**
4. **Fixation de l'Ach aux canaux Ach-dépendants au niveau des crêtes post-jonctionnelles : ouverture des canaux → création de la dépolarisation (= potentiel de plaque motrice)**



5. **Les courants locaux conduisent à l'activation des canaux sodiques voltage-dépendants au niveau des gouttières post-jonctionnelles : le seuil de dépolarisation critique est franchi → naissance du PA musculaire**

Au niveau présynaptique : **perte de la gaine de myéline** de l'axone moteur, et division en ramifications entourées par des cellules de Schwann. Ces ramifications formes des **varicosités en grappe** : les **boutons synaptiques**

Au niveau postsynaptique : la fibre musculaire s'invagine en **fentes synaptiques secondaires**, avec des **crêtes en superficie**, et des **gouttières en profondeur**

Structure des récepteurs à l'Ach : **glycoprotéine transmembranaire** constitué de sites récepteurs et de **5 sous-unités** protéiques formant un canal ionique (dont l'ouverture est contrôlée par la liaison d'un ligand)

NOTES PERSONNELLES

CHAPITRE 13 : THERMOREGULATION

I - INTRODUCTION

Température centrale : T °C des organes situés à l'intérieur des cavités crâniennes, thoraciques, et abdominales, regroupés sous le terme de noyau. ≃ 37 ° C (=> correspond aux conditions optimales de bon fonctionnement de l'organisme.)

36,1°C < La T°C corporelle normale **< 37,8°C**.

L'homéothermie: l'humain est homéotherme, il est capable de maintenir une **T°C centrale constante.**

Cette notion d'homéothermie ne s'applique qu'au **noyau. /!**

En effet, notre peau et muscles superficiels (= écorce) sont bien souvent à une température + haute ou + basse par rapport à l'intérieur de notre corps (variations entre 10 et 40°C en fonction des conditions)

II - LES MECANISMES D'ECHANGES THERMIQUES

Conduction thermique: transfert **direct** de chaleur par propagation de proche en proche, *sans déplacement de matière,* essentiellement lorsque la peau se trouve **directement** au contact du milieu extérieur de température plus basse

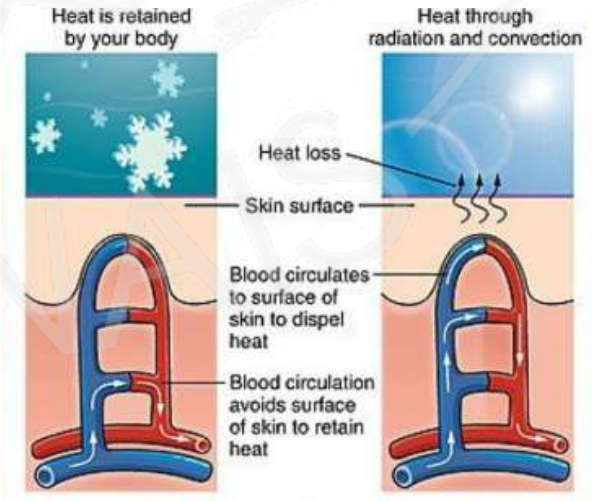
Exemple: lorsque l'on met sa main sur sa tasse de café bien chaude, notre main va se réchauffer, ou lorsque l'on s'assoit sur un banc bien froid en hiver.

Convection thermique: liée au **mouvement d'un fluide** (liquide, air), donc à un transport de matière, essentiellement lorsque l'organisme se trouve dans un milieu extérieur fluide (eau, air) de température plus basse

Mnémo : Con**V**ection => mou**V**ement d'un fluide

Exemple du sang: La régulation de la chaleur peut se faire avec le débit sanguin . Lorsque notre corps a chaud, il va essayer d'évacuer la chaleur en augmentant le débit sanguin, les transferts de chaleur seront plus importants.

Ce débit est régulé via le diamètre de nos vaisseaux : vasodilatation ou vasoconstriction (cf loi de Poiseuille pour mieux comprendre).



Lorsque notre corps est froid, il se produit le phénomène contraire, nos vaisseaux vont être en vasoconstriction, et le sang va éviter de circuler à la surface de notre peau (d'où les mains toutes blanches quand on a froid).

Evaporation: passage progressif de l'état liquide à l'état gazeux à la surface d'un liquide. Ce changement d'état absorbe de l'énergie thermique ce qui dissipe la chaleur.

Dans le corps humain = perte thermique au niveau de la peau et des muqueuses par:

- transpiration (R post ganglionnaire cholinergiques muscariniques, phénomène ACTIF)
- perspiration cutanée (diffusion PASSIVE)
- perspiration alvéolaire passive (lors de la respiration)

/!\ La sueur elle même n'élimine pas la chaleur, c'est **l'évaporation de la sueur qui en élimine**

L'évaporation dépend de la température ambiante, de la vitesse du vent et de l'humidité atmosphérique (gradient de pression de la vapeur).

Évaporation +++ face à un vent chaud et sec.

<table>
<tr><td></td><td></td><td></td><td rowspan="7">Pertes d'efficacité de la dissipation de chaleur par
● Convection, conduction et rayonnement si T°C externe > T°C corporelle (↘ gradient thermique)
● Evaporation si air ambiant humide (↘ gradient de pression de la vapeur d'eau)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Pertes obligatoires</td><td>Conduction + Convection</td><td>15-20%</td></tr>
<tr><td>Rayonnement IR</td><td>55-60%</td></tr>
<tr><td>Perspiration cutanée et alvéolaire (évaporation)</td><td>20-25%</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Pertes facultatives</td><td>Transpiration (évaporation)</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Conduction + Convection</td></tr>
<tr><td>Perspiration alvéolaire</td></tr>
</table>

III - LES CENTRES ET VOIES DE LA THERMOREGULATION

2 systèmes sont concernés:

- le **SNA** (système nerveux autonome ou végétatif)
- le **système endocrinien**

Les récepteurs sont de types terminaisons **libres.**

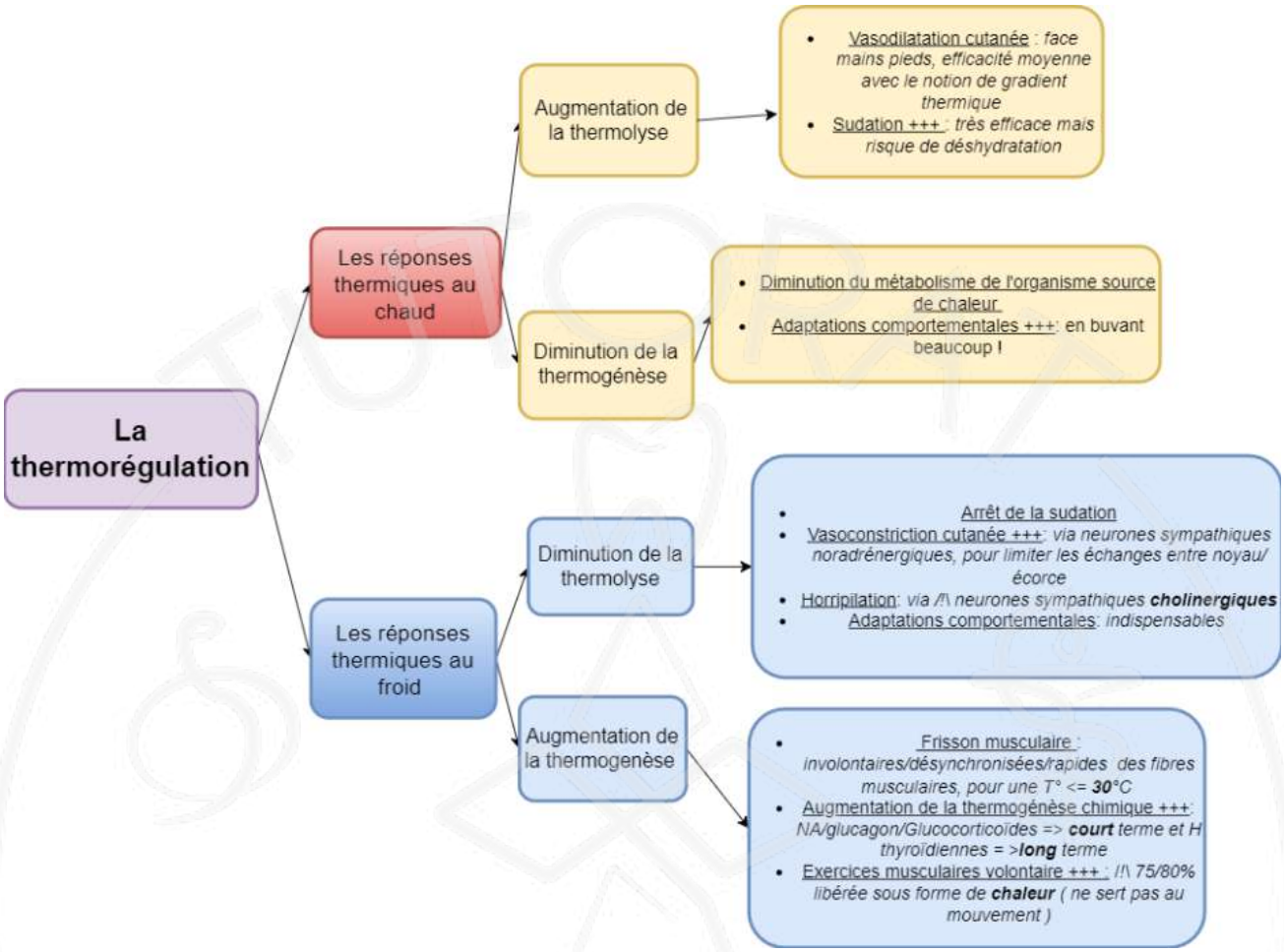
Les fibres afférentes périphériques sont

- de petit diamètre,
- à conduction lente,
- peu ou **pas myélinisées**
- de type **Aδ** (froid) et **C** (chaud, C comme Chaud).
- véhiculent les infos nociceptives (de la douleur)

Les thermorécepteurs PÉRIPHÉRIQUES :	Thermorécepteurs sensibles au FROID	Thermorécepteurs sensibles au CHAUD
Localisation	situé dans l'épiderme surtout au niveau de la face (c'est là où il y en a le +)	situé dans le derme
Nombre	>> thermoR sensibles au chaud	
Fréquence maximale de décharges de potentiels d'action pour une T°C de :	20-30°C	44-46°C

les thermorécepteurs CENTRAUX détecter les variations de T°C du noyau, et sont surtout sensibles au chaud,

Mnémo : centraux ça rime avec chaud



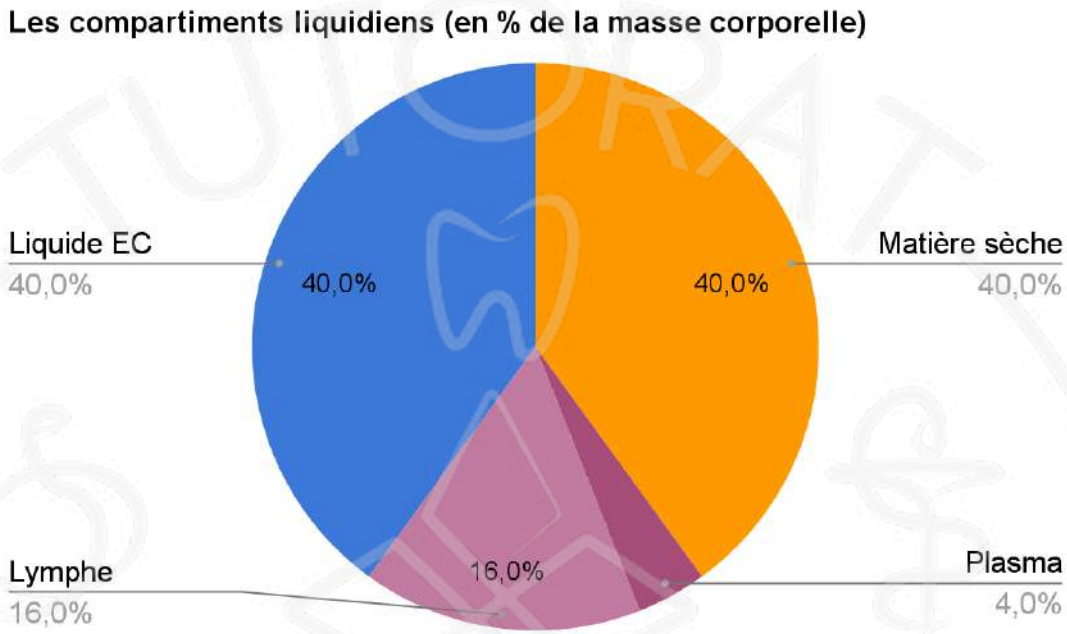
Attention à bien différencier l'hyperthermie de la fièvre.

L'hyperthermie		La fièvre = pyrexie
Physiologique (sport) ou pathologique La valeur de consigne de la T° centrale n'est pas changée L'organisme ne peut pas évacuer suffisamment de chaleur => la T°C monte	VS	La **valeur de consigne de l'hypothalamus est augmentée**, sous l'effet de substances pyrogènes. La valeur est fixée à un seuil + haut, contrôle de la production de chaleur par l'organisme

NOTES PERSONNELLES

CHAPITRE 14 : MILIEU INTERIEUR

I- LES COMPARTIMENTS LIQUIDIENS



+ Le compartiment transcellulaire comprenant:
- L'humeur aqueuse et l'humeur vitreuse
- Le liquide cérébro-spinal (150mL) dans le SNC
- Le liquide séreux
- Le liquide synovial

II- MESURE DU VOLUME EN EAU DANS L'ORGANISME

On mesure avec de **l'eau tritiée.**

$$\text{Volume de l'eau dans le corps (ml)} = \frac{\text{Quantité d'eau ingérée - Quantité d'eau excrétée (mg)}}{\text{Concentration de l'eau tritiée (mg/ml)}}$$

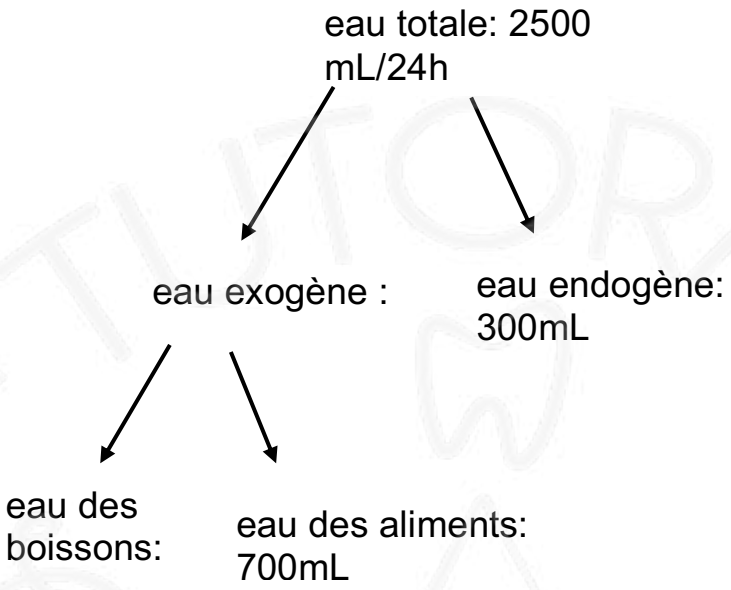
La teneur en eau de l'organisme dépend de plusieurs facteurs :

- Age
- Corpulence
- Sexe

<u>% de graisse ↗ ⇒ - il y a d'eau dans le corps</u>



III- L'HOMEOSTASIE DE L'EAU



L'eau est **renouvelée** et **éliminée en permanence par 5 mécanismes** :

1. **Pertes urinaires**
2. **Élimination fécale**
3. **Transpiration** (phénomène actif, synonyme : sudation). La transpiration permet de contrôler la température corporelle
4. **Perspiration cutanée** (diffusion passive à travers la peau, sans sudation apparente)
5. **Perspiration alvéolaire** (évaporation de l'eau par la respiration)

La régulation de l'eau repose sur **les mécanismes de la soif et le fonctionnement du rein.**

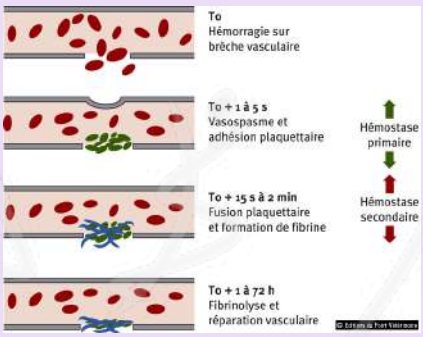
IV- VARIATIONS DES SORTIES HYBRIDES

La gueule de bois vient de la déshydratation car quand on élimine l'alcool on élimine de l'eau. *(donc ne pas oublier de boire de l'eau lors d'une soirée bien arrosée)*

Sorties ml/24h	T° Tempérée	Temps chaud	Exercice prolongée
Urines	**1500**	**1200**	**500**
Selles	100	100	100
Transpiration	**0**	**1400**	**5000**
Perspiration cutanée	500	350	350
Perspiration alvéolaire	400	250	650
Total	2500	3300	6600

Bien retenir les valeurs en gras.

V- COMPOSITION DU PLASMA

Composants du plasma sanguin			
solvant	Eau		**A bien noter:**
solutés minéraux	cations	○ Na^+ : **140** mmol/L ○ Cl^- : **105** mmol/L ○ K^+ : **4,8** mmol/L ○ Ca^{2+} ○ Mg+	Osmolalité du plasma = **300 mosmol/L**
	anions	Cl- PO3 4- SO4 3-	
	oligo-éléments	fer Iode Zinc Fluor Cuivre	
Solutés organiques:	Protéines : - Albumine 60% : transporteur - patho hépatique : chute de l'albuminémie (car - de synthèse) - Globulines 35% - protéines de coagulation 5% : fibrinogène		<u>Rôles:</u> Maintiennent la **pression oncotique** (/!\ **protéinurie**) Participent à **l'équilibre** électrique du plasma Stabilisent le **pH** plasmatique Rôle dans le processus **d'hémostase** 
	Substances azotées non protéiques		Urée: produit de dégradation des **urines** /!\ hyperurémie => Insuffisance rénale Acide urique: produit de dégradation des **acides nucléiques** /!\ hyperuricémie => calculs rénaux
	Glucose		régulé par deux hormones: - **l'insuline** (hypoglycémiante) - le **glucagon** (hyperglycémiante) **3.9mmol/L < Normoglycémie < 6.1 mmol/L**

			Glycémie à jeun > 7 mmol/L : diabète
	Lipides	Triglycérides	HDL et LDL
		Cholestérol	
	Hormones		
	Vitamines		
Gaz respiratoires	O_2 CO_2		Transport via l'hémoglobine pour l'O_2 Transport avec le bicarbonate pour le CO_2
Autres	- Microbes et parasites - Molécules d'origine exogène : médicaments, résidus de pesticides, métaux lourds…		

Rôles du plasma :

- Transport des cellules sanguines, de l'eau, des nutriments, des hormones, des molécules du système immunitaire **vers les tissus**
- transport des déchets depuis les tissus **ver les sites d'évacuation**

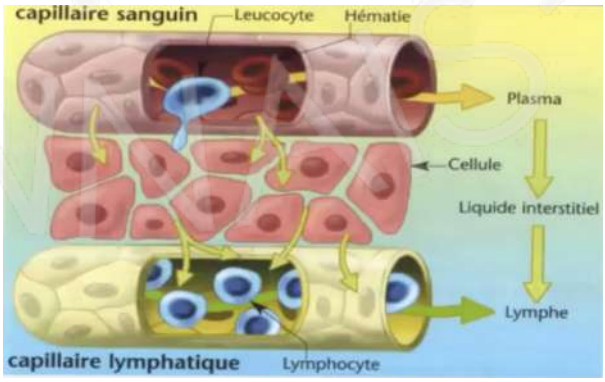
Rôle de la lymphe:

- Liquide interstitiel : milieu de vie des cellules, intermédiaire entre le sang/plasma et les cellules
- Lymphe canalisée: **transport des AG** vers les tissus, et des déchets vers les sites d'évacuation

V- COMPOSITION DE LA LYMPHE ET DU PLASMA

La lymphe et le plasma ont une composition relativement proche SAUF:

- Le liquide interstitiel et la lymphe canalisée sont dépourvues d'hématies et des plaquettes
- Beaucoup - de protéines dans la lymphe.



Les protéines du plasma ne peuvent pas traverser la paroi des capillaires sanguins SAUF les leucocytes qui peuvent faire la diapédèse en se déformant. Ainsi, la lymphe est composée de beaucoup - de protéines.

Normes des protéines:

- **60-80 g/L dans le plasma**
- **20-40 g/L** dans la lymphe

VI- MECANISMES D'ECHANGES ENTRE COMPARTIMENTS DU MILIEU INTERIEUR

Transport membranaire

Transport PASSIF selon gradient de [C]

Diffusion simple

possible pour :
les molécules liposolubles
(Gaz, AG, Vit A D E K, Stéroïdes, Alcools simples)
+ Urée (molécule polaire mais assez petite pour diffuser simplement)
+ Eau (une petite partie)

Diffusion facilitée par un canal

possible pour les molécules hydrosolubles:
utilisation d'une protéine transmembranaire de transport
/!\ pas de changement de conformation du canal
3 types de canaux ioniques:
- Ligand dépendant
- Voltage dépendant
- Mécano dépendant
L'eau : la majorité diffuse grâce à des protéines canaux = les aquaporines (ne laissent passer QUE l'eau)

Diffusion facilitée par un transporteur membranaire

/!\ changement de conformation des transporteurs
interaction direct entre le transporteur et la molécule qui le traverse
2 exemples : perméases et transporteurs de glucose (GLUT)

Transport ACTIF contre gradient [C]

Primaire: Pompes
Energie = ATP

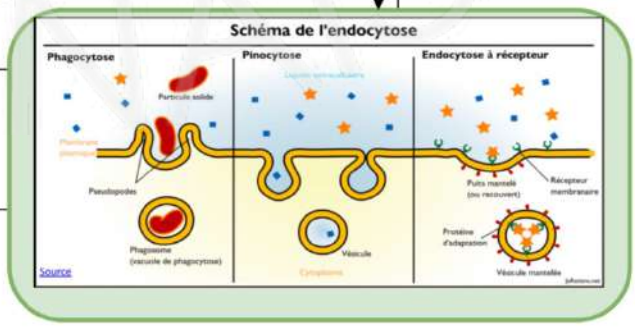
hydrolyse de l'ATP avec changement de conformation de la pompe
exemples:
pompes à protons pompes à Ca / Pompes sodium potassium (3 Na sortant contre 2 K entrant)

Secondaire:
Energie = gradient de [C]

utilisation de l'énergie du cotransporteur qui passe la membrane dans le sens de son gradient.

Vésiculaire
Energie = ATP

bourgeonnement de la membrane plasmique ou autre membrane
déplacement des vésicules au sein de la cellule grâce au cytosquelette



transcytose: passage de la vésicule sans modif de celle ci

l'exocytose
- dans l'hypophyse
- pancras exocrine
- neurones

NOTES PERSONNELLES

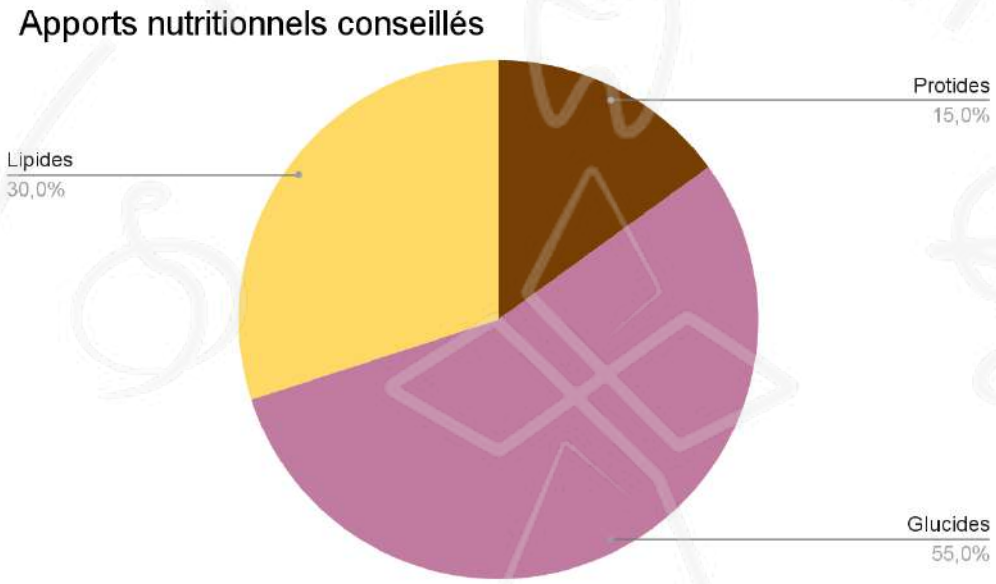
CHAPITRE 15 : BIOENERGETIQUE

I . NORMES A CONNAITRE

1 cal = 4.186 J

Besoins énergétiques moyens:

- **2600 kcal/j** pour les hommes âgés de 18 à 69 ans
- **2100 kcal/j** pour les femmes âgées de 18 à 59 ans

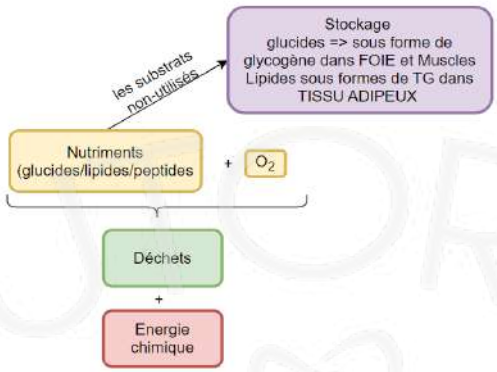


- Glucides dont moins de 10% de sucres libres.
- lipides dont moins de 10% de graisses saturées et moins de 1% d'acides gras trans

/!\ les graisses INsaturées sont les **bonnes** graisses (*Mnémo : parce que les eINs (seins) c'est bon,*

Energie chimique du glucose récupérée sous forme d'ATP = **2800 kJ/mol** de glucose (/ !\ unités)

II. PRODUCTION DE L'ENERGIE PAR L'ORGANISME



III. PRODUCTION DE L'ENERGIE VIA LE GLUCOSE

Le glucose est la principale source d'énergie de l'organisme. C'est la seule source d'énergie pour le **cerveau**, les **muscles squelettiques** se contractant **rapidement** et les **érythrocytes**

A retenir:

Lactose = glucose + galactose (gaLACTOSE => LACTOSE)

Saccharose = glucose + fructose (SACcharose , dans un sac on met des fruits, FRUCTose)

Raffinose = glucose + galactose + fructose (le raffinose est raffiné donc possède les 3 oses)

(Ces moyens Mnémo sont peu pertinent, je vous l'accorde)

1. Le glucose est digéré par des enzymes qui agissent à deux niveaux: dans la bouche et dans l'intestin.

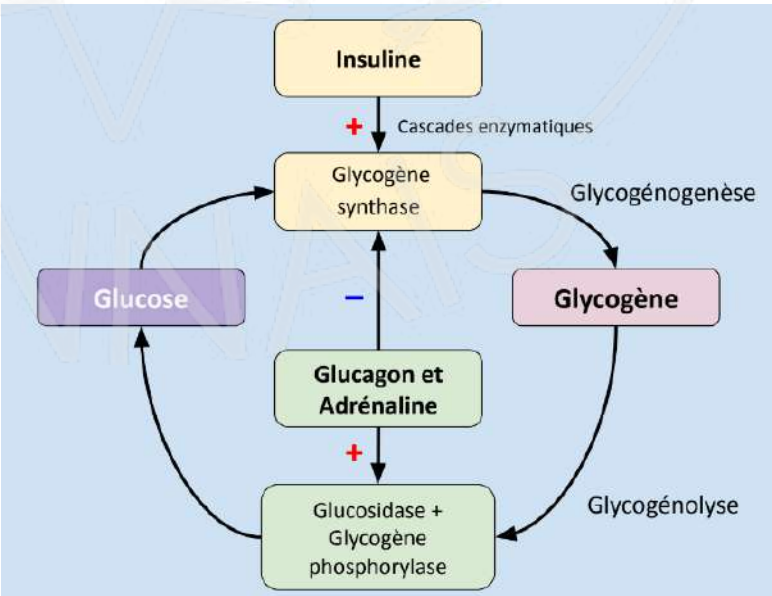
2. Le glucose est absorbé par les entérocytes par un phénomène ACTIF.
3. a) Une partie de glucose est utilisée directement par le cerveau, les érythrocytes et les cellules de l'intestin.

3. b) Le glucose qui n'est pas utilisé directement va être stocké dans le foie et les muscles sous forme de glycogène qui est contrôlé par plusieurs hormones.

L'insuline est HYPOglycémiante. Lorsqu'il y a trop de glucose dans le sang, elle va agir en favorisant l'action de la glycogène synthase, donc du stockage du glucose en glycogène. Cela diminue le taux de glucose présent dans le sang.

A l'inverse, le glucagon et l'adrénaline sont HYPERglycémiantes. Ces hormones vont donc favoriser la transformation du glycogène en glucose, via les enzymes glucosidase, et glycogène phosphorylase.

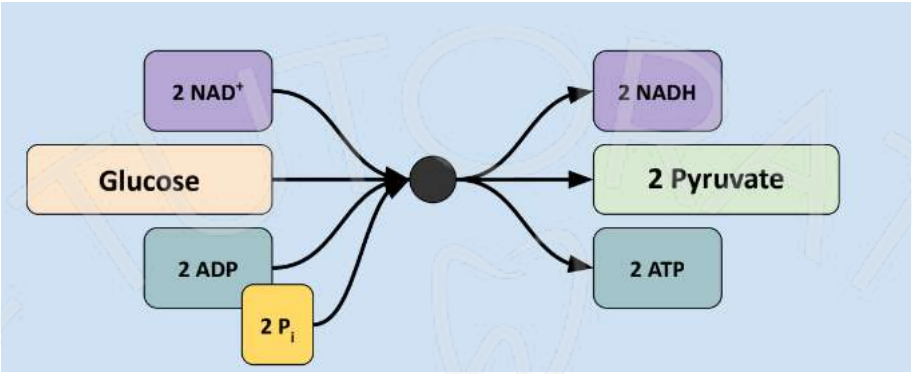
Le glucagon et l'adrénaline inhibe l'action de la glycogène synthase.

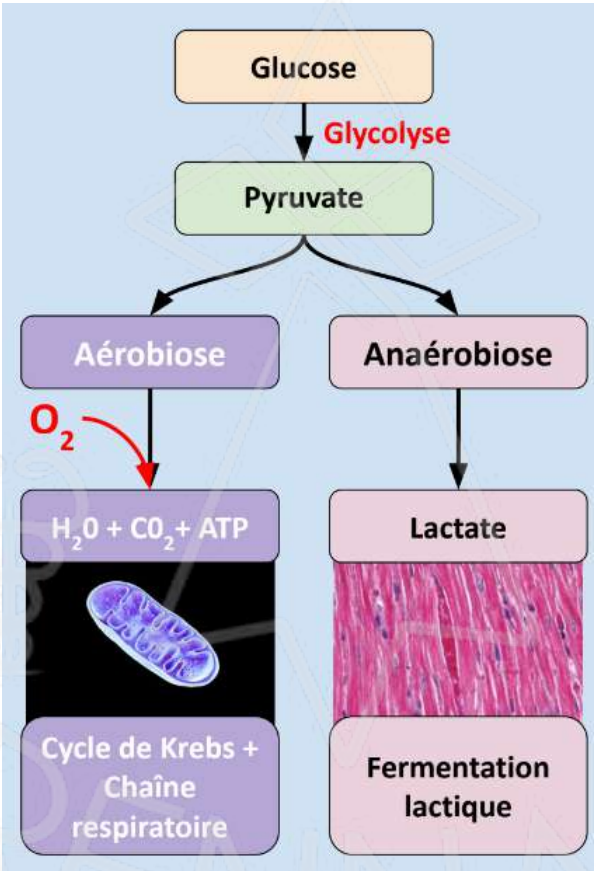


III - LA GLYCOLYSE

La glycolyse est un mécanisme ANaérobie = ne nécessite pas d'oxygène.

Elle produit deux molécules d'ADP et d'ATP et réduction de deux molécules de coenzyme NAD+ en NADH.





- rendement élevé
- 30 molécules d'ATP produites
- Production lente d'ATP
- franchissement de la mb mitochondriale

Rendement faible

2 molécules d'ATP produites

production d'ATP rapide

NOTES PERSONNELLES

CHAPITRE 16 : TRANSFERTS PASSIFS A TRAVERS UNE MEMBRANE

Chapitre mêlant biophysique et physiologie, décrivant les principaux transferts d'ions, de molécules, de protéines etc… à travers les membranes de l'organisme (membrane nucléaire, plasmique, vasculaire, rénale…). Auparavant le professeur faisait souvent tomber les mêmes QCMs à l'examen, mais depuis quelques années des QCMs plus variés ont été posés. Certaines applications de formules peuvent aussi tomber, mais plus rarement. Les formules sont surtout à comprendre, plus qu'à apprendre par cœur.

GENERALITES / DEFINITIONS (+++)

Diffusion : mouvement lié à une différence de concentration
Convection : mouvement lié à une différence de pression hydrostatique
Migration : mouvement lié à une différence de potentiel électrique

Membrane : **interface entre 2 compartiments liquidiens**. Ex : membrane cellulaire (compartiment cellulaire/interstitiel), paroi capillaire (compartiment vasculaire/interstitiel)
Mb hémiperméable : ne laisse passer que l'eau
Mb dialysante : ne laisse passer que l'eau et les petits ions (Na+ / K+ / Cl-)

Transfert actif : énergie fournie par la membrane (enzyme)
Transfert passif : énergie fournie par un phénomène extérieur (diffusion, convection, migration)

J : transfert molaire du soluté considéré
Q : débit volumique (équivalent pour le solvant) = débit volumique de la solution

k : porosité de la membrane → $k = \frac{aire\ totale\ des\ pores}{aire\ totale\ de\ la\ membrane}$
σ : coefficient de réflexion → $\sigma = \frac{aire\ des\ pores\ imperméables\ au\ soluté}{aire\ totale\ des\ pores}$

- S' : aire totale des pores perméables :

$$S' = (1 - \sigma) \cdot k \cdot S$$ (S : aire totale de la membrane)

TRANSFERT DIFFUSIF / DIFFERENTIEL DE CONCENTRATION

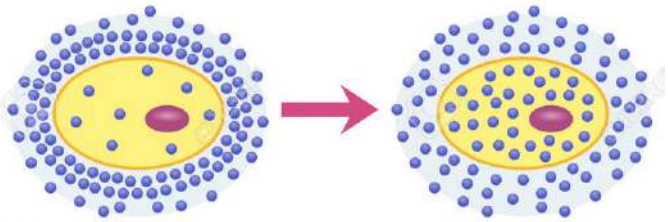
A. Soluté à travers une membrane (+++)

Loi de Fick - le débit molaire diffusif du soluté (mole/sec) :

$$J_d = D \cdot S' \cdot dc/dx$$

- **Coefficient de diffusion du soluté** (m^2/sec) : $D = R \cdot T \cdot b$; $D = kT/6\pi\eta r$; $D = kT/\sqrt[3]{M}$
  - Proportionnel à : température T, mobilité mécanique molaire b
  - Inversement proportionnel à : viscosité η, taille de la molécule r, masse molaire de la molécule M

- **S' : aire des pores perméables** au soluté (m²)
- **dc : gradient/différence de concentration** à travers la membrane (mol/L)
- **dx : épaisseur** de la membrane (m)



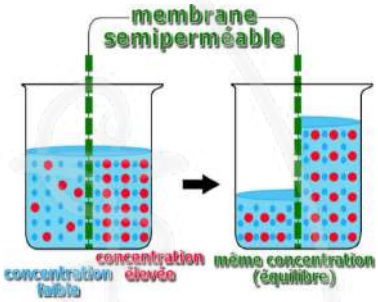
Le transfert diffusif se fait <u>du plus concentré vers le moins concentré</u> : le soluté vient enrichir le milieu pour équilibrer les concentrations ! Attention, le gradient, quant à lui, orienté vers la concentration max, est dirigé vers le plus concentré !

<u>Perméabilité diffusive</u> : $P = D_m/L$ avec L : épaisseur de la membrane

B.Solvant à travers une membrane : l'osmose

<u>Débit volumique Qd de l'eau</u> = volume transféré par unité de temps :

$$Q_d = D_m \cdot S \cdot V_{H2O} \cdot dc_{osm}/dx$$



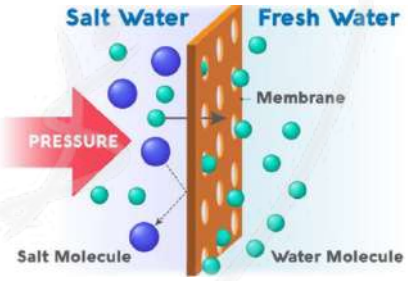
→ **La diffusion de l'eau se fait <u>du moins concentré au plus concentré (en soluté)</u>** : l'eau vient diluer le milieu pour équilibrer les concentrations ! Sa diffusion est dans le sens du gradient de concentration (dirigé vers la [c] max).

TRANSFERT CONVECTIF / DIFFERENTIEL DE PRESSION

A. Solvant à travers une membrane : la filtration

<u>Transfert convectif Qf</u> : $Q_F = b_{H2O} \cdot V_{H2O} \cdot S \cdot k \cdot dP/dx$

<u>Perméabilité hydraulique L_H</u> (m².s.kg-1) : $L_H = (b_{H2O} \cdot V_{H2O} \cdot k) \,/\, L$



Le transfert par filtration se fait toujours <u>de la pression la plus forte vers la plus faible</u>.

B.Soluté à travers une membrane : solvent drag

C'est le **transfert de soluté entraîné par le débit volumique Q** : possible <u>uniquement si des pores y sont perméables</u>

<u>Débit molaire convectif Jc</u> : $Jc = (1-\sigma) \cdot Q \cdot c_r$

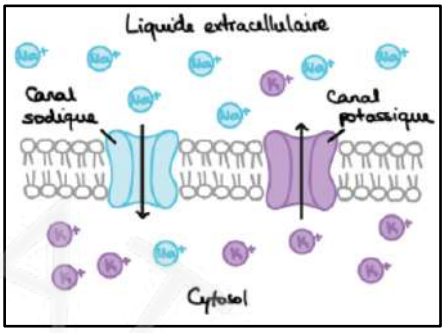
- Fraction (1-σ).Q : participe seule au débit volumique (fraction des pores perméables au soluté)
- Cr : concentration du soluté dans le rétentat (compartiment initial)

<u>Transmittance membranaire du soluté T</u> : $T = c_f/c_r = 1-\sigma$

- **Transmittance nulle : membrane imperméable au soluté (σ = 1)**
- **Transmittance égale à 1 : membrane ne distingue pas le soluté du solvant (σ = 0)**

MIGRATION ELECTRIQUE / DIFFERENTIEL DE POTENTIEL ELECTRIQUE

Ce transfert **ne concerne que les ions** : existence d'une **différence de potentiel électrique** dv/dx entre les 2 faces d'une membrane.



Transfert électrique Je :

$$Je = z \cdot F \cdot b_m \cdot S \cdot C \cdot dv/dx = U_m \cdot S \cdot C \cdot dv/dx$$

- Proportionnel à : valence z, mobilité mécanique molaire membranaire bm, surface de la membrane S, concentration molale du soluté, mobilité électrique de l'ion dans la membrane Um

Récap :

	Diffusion	Convection	Migration
Soluté	**Loi de Fick**	**Solvent drag**	**Que les ions en solution**
Solvant	**Osmose**	**Filtration**	

DIFFUSION + CONVECTION DU SOLVANT A TRAVERS UNE MEMBRANE (+++)

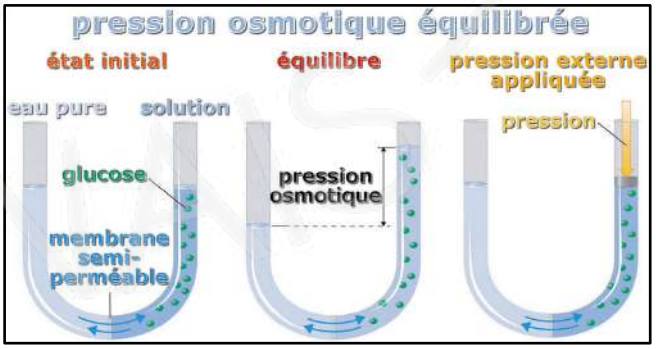
Situations où interviennent, pour l'eau : une **différence d'osmolalité** (de concentration) et une **différence de pression hydrostatique.**

A. Un transfert convectif tend à annuler un transfert osmotique : pression osmotique (+++)

Gaz parfaits : les molécules (n moles), dans une enceinte close de volume V, exercent, dû à leur agitation thermique T, une pression P0 contre la paroi égale à : $P_0 = (n \cdot R \cdot T) / V$

Si des molécules peuvent s'échapper (fraction 1-σ) par des pores de la membrane, la pression P est donc : $P = \sigma \cdot P_0$

→ C'est pareil avec la pression osmotique : les molécules de soluté rebondissent sur la membrane et y exercent une pression. Soit une membrane hémiperméable séparant un compartiment avec de l'eau pure, et un compartiment avec un soluté en solution aqueuse : l'eau passe librement et n'exerce pas de pression, mais le soluté exerce une pression sur la membrane, appelée pression osmotique.



Pression osmotique d'une solution = pression hydrostatique qu'il faudrait exercer sur la solution pour empêcher le flux diffusif de solvant.

La pression osmotique est fonction de la **nature +/- perméable de la membrane** considérée vis à vis des solutés considérés

- Complètement imperméable au soluté : $\pi_s = (n_s RT) / V = c_{s\,osm} \cdot RT$ (loi de Van't Hoff)
- Complètement perméable au soluté : pas de pression osmotique

- Partiellement perméable au soluté : une fraction σ exerce une pression en rebondissant / une fraction 1-σ traverse les pores sans exercer de pression → $\pi_s = (\sigma nRT) \ / \ V = \sigma \cdot c_{s\ osm} \cdot RT$
- Si plusieurs solutés différents ET membrane imperméable à tous les solutés : $\pi_s = (\Sigma_i \cdot n_i)\ RT \ / \ V$
- Si plusieurs solutés différents ET membrane partiellement perméable à tous les solutés : $\pi_s = (\Sigma_i \cdot \sigma_i \cdot n_i)\ RT \ / \ V$

→ La loi de Van't Hoff n'est valable que pour les solutions diluées (molécules de soluté totalement indépendantes les unes des autres) : souvent le cas pour les solutions biologiques. On peut alors confondre les concentrations molales et molaires.

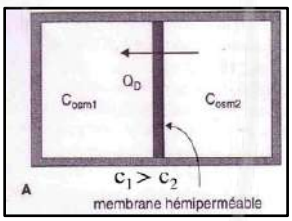
Concentration osmolale (≠ molale) : nombre de moles par kg ou litre de solvant
Concentration osmolaire (≠ molaire) : nombre de moles par litre de solution

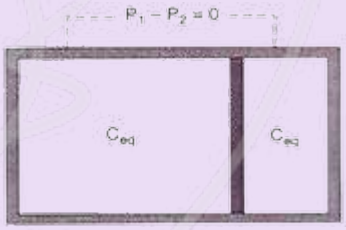
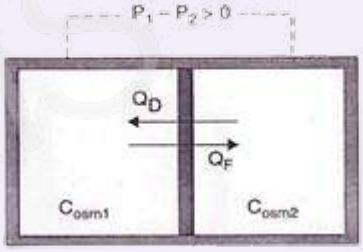
Pour vous rappeler de cette différence : dans "molaire" il y a "air", or l'air est un mélange de gaz, tout comme la solution est un mélange (solvant + solutés).

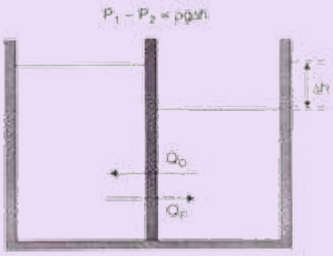
- Particularité de ces types de concentrations (osmolale ou osmolaire, par rapport à molale ou molaire) : prise en compte de la dissociation des molécules
  - **Électrolyte fort** (dissociation complète en n ions) : $c_{osmol} = n \cdot c_{mol}$
  - **Électrolyte faible** (dissociation incomplète en n ions) : $c_{osmol} = (1 + \alpha(n-1)) \cdot c_{mol}$
    → α étant le coefficient de dissociation : nombre de moles dissociées/nombre initial de moles

Signification de la pression osmotique

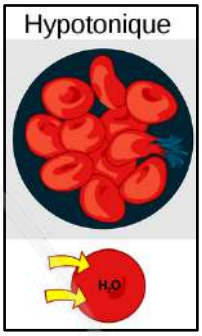
Soit une **membrane hémiperméable** séparant un compartiment 1 et 2 :
Si c(osm1) > c(osm2) → flux osmotique QD su solvant du compartiment 2 vers le compartiment 1, par gradient transmembranaire d'osmolalité.



Les volumes des compartiments peuvent varier sans modification de la pression hydrostatique (membrane déplaçable ou déformable)	L'eau diffuse 2 → 1 jusqu'à **égalisation des osmolalités**. Comme les volumes ont varié, plus de différence de pression osmotique, et **pas de différence de pression hydrostatique**	
Les volumes des compartiments ne peuvent pas varier	Apparition d'une **différence de pression hydrostatique** jusqu'à un seuil, où un flux de **filtration QF d'eau** (égal et opposé au QD) tend à annuler ce dernier. A l'équilibre, les volumes n'ont pas varié, ni l'osmolalité (car le QF a annulé le QD), mais une **différence de pression est apparue** (P1 > P2), témoignant d'une **différence de pression osmotique**	

Les volumes peuvent varier avec modification de la pression hydrostatique	Le flux osmotique QD entraîne une **variation de hauteur des compartiments**, responsable d'une **différence de pression hydrostatique ρgΔh.** C'est une méthode pour mesurer la pression osmotique en cm d'eau (osmomètre de Duchet).	

Effet de la pression osmotique



1. Hémolyse et perfusion de soluté hypo-osmolaire

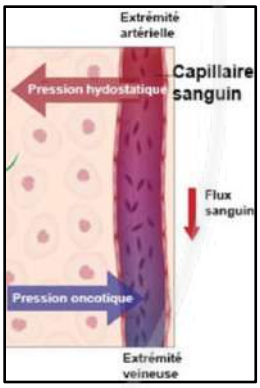
La pression osmotique sur la membrane cellulaire est en rapport avec une **différence d'osmolalité entre le compartiment cellulaire** (ex : GR) **et interstitiel** (ex : sang).

Le NaCl isotonique, soluté de remplissage, a la même osmolalité que les compartiments liquidiens.

Les GR ont une osmolalité environ égale à **300 mOsmol/L** :

Perfusion d'un soluté hypo-osmolaire

a. **Flux d'eau du sang vers le GR**, qui devient une **sphère** (200 mOsm/L)
b. **Différence de pression hydrostatique** quand le GR ne peut plus gonfler, avec flux de filtration du GR vers le sang
c. **Rupture de la membrane** quand cette différence de pression est trop importante (< 100 mOsm/L) : c'est l'hémolyse.



2. Protéines plasmatiques

La paroi capillaire étant imperméable aux protéines, il y a une **différence de concentration importante des protéines entre le plasma et le milieu interstitiel** → **pression oncotique** (pression osmotique liée aux protéines), responsable d'un **flux osmotique du milieu interstitiel vers le plasma**, contrebalancé par le surcroît de pression hydrostatique du sang.

Cryoscopie

- **L'introduction d'un soluté dans le solvant abaisse la température du début de congélation**

$$\Delta\theta c = \theta_{solvant} - \theta_{solution} = Kc \cdot c_{osmol}$$

  ⇨ L'abaissement cryoscopique est égal à la température de congélation du solvant pur, moins la température de congélation de la solution, il est proportionnel à la constante cryoscopique du solvant, et à la concentration osmolale totale de la solution

- Utilisée pour **mesurer l'osmolalité** d'une solution, déterminer le **taux de dissociation** d'un électrolyte…

B. Un transfert diffusif parasite un transfert convectif : ultrafiltration (+++)

Ultrafiltration = filtration d'une solution à travers une membrane sélective (ex : dialysante, perméable aux micromolécules et imperméables aux macromolécules comme les protéines)

Soit une **membrane dialysante** séparant une solution ne contenant qu'une macromolécule, d'une solution d'eau pure. On applique une **pression hydrostatique → flux de filtration QF de l'eau** → majoration de la différence de concentration de part et d'autre de la membrane → **majoration du gradient d'osmolalité** responsable d'un **flux osmotique QD de l'eau en sens opposé** (parasitant le QF)

Flux net d'ultrafiltration :

$$Q_{UF} = Q_F - Q_D = L_H \cdot S \cdot (\Delta P - \Delta\pi) = L_H \cdot S \cdot P_{eff} = L_H \cdot S \cdot P_{eff}$$

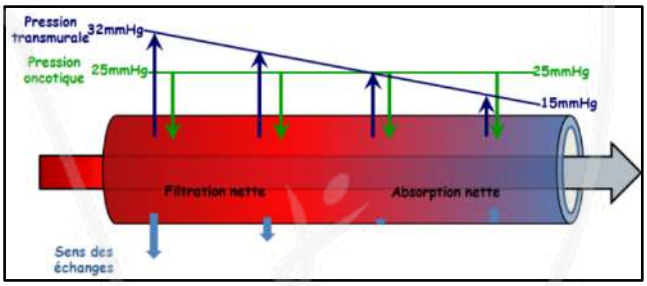
→ Avec LH la perméabilité hydraulique de la membrane, S la surface, ΔP la différence de pression hydrostatique, $\Delta\pi$ la différence de pression osmotique, P(eff) la pression efficace de filtration

1. Phénomène de Starling (+++)

Il décrit les **échanges entre les compartiments plasmatique et interstitiel à travers la paroi des capillaires** : échanges de substrats (glucose, O2) et déchets (urée, CO2) permettant la vie de la cellule.

On peut assimiler ces échanges à des phénomènes d'ultrafiltration, avec : $P_{eff} = (P_{cap} - P_{int}) - \Delta\pi$

- **$\Delta\pi$: pression osmotique** (= oncotique) → dirigée de l'interstitium vers le sang car l'eau veut venir "diluer" le sang pour équilibrer les concentrations en protéines (plasma riche en protéines)
- **P(int) : pression hydrostatique dans l'interstitium**, constante
- **P(cap) : pression hydrostatique dans le capillaire**, élevée par action de la contraction cardiaque. Elle diminue au fur et à mesure qu'on avance dans le capillaire, à cause de la perte de charge, due à la résistance du capillaire à l'écoulement sanguin



Entrée du capillaire	P(cap) élevée	P(cap) - P(int) > $\Delta\pi$	**Flux d'eau et de solutés (substrats) du sang vers l'interstitium**
Sortie du capillaire	P(cap) faible	P(cap) - P(int) < $\Delta\pi$	**Flux d'eau et de solutés (déchets) de l'interstitium vers le sang**

2. Physiopathologie des œdèmes (+++)

Œdème = augmentation du volume du secteur interstitiel → gonflement indolore gardant quelques temps l'empreinte du doigt. Il est dû à une **surcharge hydrosodée** (apport excessif d'eau et de sodium dans l'interstitium), créé par un **déséquilibre** entre le flux net sortant du capillaire à son entrée, et le flux net entrant dans le capillaire à sa sortie.

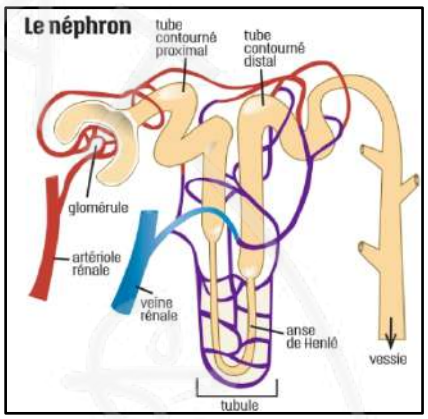
Dans les œdèmes, Q_{UF} augmente : grâce à la formule de l'ultrafiltration, on peut retrouver les différentes étiologies !

- Augmentation de ΔP : **hausse de la pression en amont** (excès d'apport hydrosodé ou insuffisance d'élimination par insuffisance rénale oligo-anurique ; hypertension artérielle) ou en aval par **augmentation de la pression veineuse** (thrombose ou compression veineuse par une tumeur, un ganglion ; insuffisance cardiaque)

- Diminution de $\Delta\pi$: **diminution du stock de protides** (dénutrition, malabsorption intestinale, insuffisance de synthèse hépatique par une cirrhose, excès d'élimination par une protéinurie du syndrome néphrotique), **augmentation de la perméabilité de la paroi capillaire aux protéines** (brûlures, œdème aigu du poumon de la grippe, traitement anticancéreux de l'interleukine, œdème cyclique idiopathique)

3. Filtration glomérulaire : ultrafiltration du sang par les reins (+++)

L'unité fonctionnelle du rein est le néphron (10^6/rein) :



- **Glomérule : où arrive le sang** → **ultrafiltration par une membrane dialysante**. 2 propriétés du capillaire glomérulaire : **résistance négligeable à l'écoulement** (la pression hydrostatique reste uniforme, contrairement aux autres capillaires), **perméabilité hydraulique élevée** (→ fraction de filtration élevée)

- **Tubule** : **où partent les déchets** (et l'urine a fortiori). Le glomérule laisse passer dans le tubule toute l'eau et les petites molécules : **l'eau et les solutés nécessaires à l'équilibre de l'organisme sont réabsorbés** dans les capillaires près des tubules, et les déchets et excédents continuent leur route et sont éliminés dans l'urine définitive

Dans le glomérule, le débit d'ultrafiltration est :

$$Q_{UF} = L_H \cdot S \cdot P_{eff} = L_H \cdot S \cdot (\Delta P - \Delta\pi) = N \cdot K_f \cdot [(P_{cg} - P_t) - \pi]$$

- **N : nombre de néphrons** → sa diminution (seulement si > 50%) peut créer une insuffisance rénale
- **Kf (= LH*S) : constante de filtration** → une diminution de la perméabilité hydraulique ou de la surface glomérulaire peut créer une insuffisance rénale
- **P(cg) : pression hydrostatique régnant dans le capillaire** → sa diminution (diminution de la PA, perte de charge dans les artères rénales par artériosclérose) peut créer une insuffisance rénale
- **P(t) : pression hydrostatique régnant dans le tubule** → son augmentation (obstacle sur la voie excrétrice urinaire) peut créer une insuffisance rénale
- **π : pression oncotique** → son augmentation (diminution du débit sanguin glomérulaire) peut créer une insuffisance rénale

NB : **une insuffisance rénale est une diminution pathologique du débit de filtration glomérulaire** (< 110 mL/min chez l'homme et < 95 mL/min chez la femme). Même en cas d'insuffisance rénale grave, le débit de filtration va toujours du glomérule vers le tubule (il ne peut jamais s'inverser, contrairement aux autres capillaires)

Notion de clairance (+++)

La clairance est le volume de solution totalement épuré du soluté considéré par unité de temps : sert à quantifier l'efficacité d'un système à épurer une solution vis-à-vis d'un soluté donné. Par ex, le rein épure le sang de ses solutés.

La clairance rénale, exprimée en mL/min, est la quantité de soluté J épurée par unité de temps :

$$K = (c_u \cdot V) \,/\, c_p$$

- Avec c_p **la concentration plasmatique** (solution à épurer), c_u **la concentration urinaire**, et **V le débit urinaire**
- Sa mesure nécessite un ***prélèvement sanguin*** (→ c_p) et un ***recueil d'urine*** (→ c_u et V)

La mesure de la clairance d'une molécule ni réabsorbée, ni sécrétée par le tubule, permet d'estimer le débit de filtration glomérulaire (cas où la quantité de soluté épurée par unité de temps = quantité de soluté filtrée par le glomérule par unité de temps)

- Créatinine : molécule endogène d'origine musculaire, de PM faible, et de transmittance égale à 1 (passe librement la membrane), et ni réabsorbée, ni sécrétée par le tubule. On mesure sa clairance (donc le DFG) avec une prise de sang et un prélèvement des urines sur 24h. **Pour éviter ce recueil des urines, on peut estimer sa clairance grâce aux formules de Cockcroft**, basées sur la créatininémie, le sexe, l'âge, et le poids

- Inuline : en cas d'insuffisance rénale sévère, le tubule sécrète de la créatinine donc la clairance calculée surestime le vrai DFG → on utilise l'inuline, substance exogène, aux mêmes propriétés de filtration que la créatinine, qu'on administre par voie IV pendant toute la mesure, ou pendant 24h.

DIFFUSION + MIGRATION ELECTRIQUE DES IONS A TRAVERS UNE MEMBRANE

A. Potentiel d'équilibre d'un ion

Soit une membrane séparant 2 solutions contenant des ions diffusibles : **flux diffusif Jd du plus concentré vers le moins concentré → différence de potentiel** (potentiel d'équilibre de l'ion V_{ieq}) **→ flux électrique Je annulant ce flux diffusif Jd**

Le potentiel d'équilibre d'un ion est le potentiel créé par un ion en concentration différente à l'équilibre de part et d'autre d'une membrane. D'après la loi de Nernst :

$$V_{ieq}^{12} = V2 - V1 = -(RT/zF) \cdot ln(c_{i2}/c_{i1})$$

B. Courant transporté par un ion

Si on impose une différence de potentiel ΔV à cette membrane (telle que $\Delta V > Vieq$), il existe un flux électrodiffusif de cet ion tel que : $I_i = z_i \cdot F \cdot J_i = \Gamma \cdot S \cdot (\Delta V - V_{ieq})$ avec Γ la conductance membranaire de l'ion i

C. Effet Donnan

S'observe entre 2 compartiments séparés par une membrane dialysante si l'un des compartiments comporte une protéine dissociée : Pr(z-) et zC+

<table>
<tr><td>Compartiment 1 : protéine en concentration et ses cations
<u>Compartiment 2 : eau pure</u>
Membrane dialysante</td><td rowspan="2">Flux diffusif des cations de 1 vers 2
/!\ Rupture de l'électro-neutralité /!\</td><td>Flux de migration électrique Je de 2 vers 1, annulant Jd
A l'équilibre, ΔV = 0.</td><td>
</td></tr>
<tr><td>Compartiment 1 : protéine en concentration et ses cations
<u>Autres ions en équilibre dans les compartiments 1 et 2</u>
Membrane dialysante</td><td>Flux de migration électrique :
Cations passent du 2 au 1
OU anions passent du 1 au 2
Les ions diffusibles se répartissent de part et d'autre de la membrane, en concentration inégale, pour conserver l'électroneutralité dans chaque compartiment.</td><td>
</td></tr>
</table>

<u>Pour chaque ion diffusible</u> : **potentiel d'équilibre** (car en concentration inégale de part et d'autre de la membrane). A l'équilibre, différence négative du potentiel du côté de la protéine : les potentiels d'équilibre de chaque ion sont identiques et égaux au potentiel de Donnan.

<u>Equilibre de Donnan</u> : $V_{C+eq}^{12} = V_{K+eq}^{12} = V_{Cl-eq}^{12}$

<u>Le rapport de Donnan</u> s'exprime : $r = [C^+]_2/[C^+]_1 = [K^+]_2/[K^+]_1 = [Cl^-]_1/[Cl^-]_2$

EXERCICE RESOLU - L'EFFET DONNAN

On considère deux compartiments, 1 et 2, séparés par une membrane dialysante contenant au début de l'expérience les solutés suivants en concentration suivantes :

Compartiment 1	*Compartiment 2*
Pr- : 10 mmol/L	*Na+ : 10 mmol/L*
Na+ : 10 mmol/L	*Cl- : 10 mmol/L*

On donne :

- *La constante des gaz parfaits R = 8,31 J.osmole^{-1}.K^{-1}*
- *Le faraday F = 96500 C*
- *Température de l'expérience = 37°C*

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (sont) exacte(s) ?

A. Il s'agit d'une situation d'équilibre
B. Les ions diffusibles partent du compartiment 2 pour aller dans le compartiment 1
C. A l'équilibre les concentrations de Na+ dans les compartiments 1 et 2 sont identiques
D. A l'équilibre les concentrations de Na+ et de Cl- sont identiques dans le compartiment 1
E. A l'équilibre les concentrations de Na+ et de Cl- sont identiques dans le compartiment 2
F. Toutes les propositions précédentes sont inexactes

C'est un exercice qui peut sembler déroutant au début, mais avec une bonne méthode ce genre de QCM passera tout seul !

Vous repérez ce type d'exercices par un tableau symbolisant 2 compartiments séparés par une membrane dialysante, avec des concentrations en protéines (Pr), ions sodium (Na), ions chlore (Cl).

Attention aux unités ! Peu importe lesquelles sont utilisées ici (mol ou mmol, L ou m3) l'important est qu'elles soient **toutes homogènes**. Pensez donc à les changer dès le début de l'exo pour simplifier la suite des calculs.

NB : sauf exception, **la valeur de la concentration en protéines ne sera pas utile pour répondre à cet exercice**. Par ailleurs, on peut d'ores et déjà noter dans le compartiment 1 que la concentration en Cl- est de 0 mmol/L.

1ère étape : est-on en situation d'équilibre ? (item A)

Le système est en situation d'équilibre si et seulement si : $C(Na)1 \times C(Cl)1 = C(Na)2 \times C(Cl)2$

On calcule donc chaque terme : $C(Na)1 \times C(Cl)1 = 10 \times 0 = 0$; $C(Na)2 \times C(Cl)2 = 10 \times 10 = 100$

$0 \neq 100 \Rightarrow C(Na)1 \times C(Cl)1 \neq C(Na)2 \times C(Cl)2$ → La situation n'est pas à l'équilibre ! L'item A est faux.

2ème étape : dans quel sens circulent les ions ? (item B)

La situation n'étant pas à l'équilibre, les ions vont circuler dans un sens particulier, **du compartiment au produit le plus élevé, vers le compartiment au produit le plus faible**.

$100 > 0 \Rightarrow C(Na)2 \times C(Cl)2 > C(Na)1 \times C(Cl)1$ → les ions vont circuler du compartiment 2 (produit plus élevé) vers le compartiment 1 (produit moins élevé). L'item B est vrai.

3ème étape : quelles sont les concentrations des ions à l'équilibre ? (items CDE)

Maintenant que le sens du déplacement est déterminé, il faut calculer la quantité d'ions déplacés pour obtenir les concentrations à l'équilibre. On appelle cette quantité x, elle est la même pour tous les ions.

On peut alors redessiner le tableau en ajoutant « +x » à toutes les concentrations dans le compartiment vers lequel se dirigent les ions et « -x » dans le compartiment que les ions quittent. Cela donne :

Compartiment 1	Compartiment 2
Na+ : 10+x mmol/L	Na+ : 10-x mmol/L
Cl- : x mmol/L	Cl- : 10-x mmol/L

On reprend alors l'équation des concentrations à l'équilibre, en y ajoutant les x pour qu'elle devienne correcte :

$$C(Na)1 \times C(Cl)1 = C(Na)2 \times C(Cl)2 \Leftrightarrow (10+x) \cdot x = (10-x)(10-x)$$

→ Il faut alors résoudre l'équation, en isolant x ! Pour cela, on développe d'abord les expressions de chaque côté.

$$10x + x^2 = (10-x)^2 \Leftrightarrow 10x + x^2 = 10^2 - 2 \times 10 \times x + x^2 \Leftrightarrow x^2 + 10x = x^2 - 20x + 100$$

On peut enlever x² de chaque côté, on a alors : $10x = 100 - 20x \Leftrightarrow 30x = 100 \Leftrightarrow x = 100/30 = 3{,}33$

On peut maintenant remplir le tableau avec le x que l'on a déterminé :

Compartiment 1	Compartiment 2
Na+ : 10+x = 13.33 mmol/L	Na+ : 10-x = 6,67 mmol/L
Cl- : 3,33 mmol/L	Cl- : 10-x = 6,67 mmol/L

On peut alors répondre au QCM : item E vrai !

NB - on peut parfois vous demander de calculer le potentiel à l'équilibre du système :

C'est le même pour tous les ions du système, il se calcule à l'aide de la formule : $V_{ieq}^{12} = -(RT/zF) \cdot ln(c_{i2}/c_{i1})$

- R : constante des gaz parfaits → R = 8.31 J.osmole-1.K-1
- T : température en Kelvin. Ici, T = 37°C = 37 + 273 K = 310 K
- C1 et C2 : concentrations pour un ion donné dans les compartiments 1 et 2. Le potentiel à l'équilibre est le même quel que soit l'ion avec lequel vous ferez le calcul, vous pouvez donc prendre l'un ou l'autre (ici Na ou Cl). Par exemple, on prend, pour Na+ : C1 = 13,33 mmol/L et C2 = 6,67 mmol/L
- F : le Faraday (F = 96500 C)
- z : la valence de l'ion considéré, c'est-à-dire par exemple +1 pour Na+ ou -1 pour Cl-

L'inversion des concentrations (faire $C1/C2$ au lieu de $C2/C1$) ne changera pas la valeur numérique mais simplement le signe du résultat, or il est le plus souvent demandé en valeur absolue car la numérotation des compartiments est arbitraire.

On calcule : $V_{ieq}^{12} = -(RT/zF) \cdot ln(c_{i2}/c_{i1}) = \frac{-8{,}31 \times 310}{1 \times 96500} \times ln(\frac{6{,}67}{13{,}33}) = 1{,}85 \cdot 10^{-2}\ V = 18{,}5\ mV$

PETIT TIPS

Ce chapitre est long, et fait en plusieurs fois en cours. Il y a beaucoup de formules et de sigles. La régularité est encore une fois votre alliée. Revenez-y assez souvent en prenant le temps de bien vous poser et vous comprendrez tous les concepts. Le formules ne sont que l'expression des concepts théoriques sous forme d'équation. Si vous oubliez une formule, vous aurez la théorie pour vous en souvenir et vice versa !

NOTES PERSONNELLES

FICHES DÉTACHABLES - FORMULES UE6

Cette fiche rassemble les principales formules dont vous aurez besoin pour résoudre les QCMs à calcul en UE6. Attention : elle n'est pas exhaustive, elle ne vous dispense pas de connaître les autres formules données dans les cours.

NOTIONS DE BASE

Mécanique		
Force de gravitation	$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$	
Force de pesanteur	$\lvert\vec{P}\rvert = m\lvert\vec{g}\rvert = G\frac{mM_T}{r^2} = G\frac{mM_T}{(R_T + z)^2}$	
Champ de gravitation	$g = G\frac{M_T}{(R_T + z)^2}$	
Quantité de mouvement	$\vec{p} = m\vec{v}$	
Travail d'une force	$W = \vec{F}.\overrightarrow{AB} = F.AB.cos\theta$	
Énergie cinétique	$Ec = \frac{1}{2}mv^2$	
Énergie potentielle de pesanteur	$Epp = mgh$	
Forces de frottement	$\boldsymbol{v}$ < 5 m.s^{-1} $\boldsymbol{F} = -\boldsymbol{k}.\boldsymbol{n}.\boldsymbol{v}$	5 m.s^{-1}< $\boldsymbol{v}$ < 20 m.s^{-1} $\vec{F} = -C.\frac{1}{2}p.S.\vec{v}$

Électrostatique		
Force électrostatique	$F = \frac{kqq'}{r^2}$	
Champ électrique	$\lvert\overrightarrow{E(M)}\rvert = \frac{1}{4\Pi\varepsilon_0}\frac{\lvert q\rvert}{r^2} = k_0\frac{\lvert q\rvert}{r^2}$	
Champ électrique créé par une charge linéique	$E_{eff} = \frac{\lambda}{2\Pi\varepsilon_0 d}$	
Champ électrique créé par une charge surfacique	$E_{eff} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}(1 - cos\theta_0)$	$E_{eff} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$
Potentiel électrique	$V = \frac{1}{4\Pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$	
Travail effectué pour déplacer une charge électrique	$W_{1\to2} = -Q(V_2 - V_1) = Q\frac{q}{4\Pi\varepsilon_{à}}\left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right]$ $= Qqk\left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right]$	
Moment dipolaire	$p = \lvert q\rvert l$	

Électrocinétique	
Loi d'Ohm	$U = R \times I$
Puissance calorifique dissipée	$P = U \times I = R \times I^2$
Loi des nœuds	$\sum i(entrants) = \sum i(sortants)$
Loi des mailles	$\sum U_i = 0\ V$
Simplification des résistances	Série : $R_{tot} = \sum R_i$
	Dérivation : $\frac{1}{R_{tot}} = \sum\left(\frac{1}{R_i}\right) = \frac{1}{R_1} + \ldots$ Donc $R_{tot} = \left(\sum\left(\frac{1}{R_i}\right)\right)^{-1}$
	Triangle: $R_\alpha = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$ $R_\beta = \frac{R_1 \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$ $R_\gamma = \frac{R_2 \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$

DOMAINE DE L'OPTIQUE

Généralités	
Loi de la réfraction	$n_1 sin_{i1} = n_2 sin_{i2}$
Miroirs	$L_{miroir} = \frac{taille}{2}$
Angle de réflexion totale	$i1 = sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$

Prismes	
Réfraction dans le prisme	$n.sin(i) = n'.sin(r)$ $n'.sin(r') = n.sin(i')$
Angle au sommet	$A = r + r'$
Déviation	$D = i + i' - A$
Dans le cas d'une déviation minimale	$i = i'$ $r = r'$ $A = 2r \Rightarrow r = \frac{A}{2}$ $D_m = 2i - A \Rightarrow i = \frac{D_m + A}{2}$

Les systèmes centrés	
Le dioptre sphérique	
Vergence	$\frac{n'}{\overline{SA'}} - \frac{n}{\overline{SA}} = \frac{n' - n}{\overline{SC}} = \phi$
Foyer objet	$\overline{SF} = \frac{-n}{\phi}$
Foyer image	$\overline{SF'} = \frac{n'}{\phi}$
Grandissement	$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{n\overline{SA'}}{n'\overline{SA}}$
Le dioptre plan	
Vergence	$\overline{SC} \to \infty \Rightarrow \phi = \frac{n' - n}{\overline{SC}} = 0$
Relation de conjugaison	$n\overline{SA'} = n'\overline{SA}$
Grandissement	$\gamma = 1$
Lames à faces parallèles	

Relation objet-image	$\overline{AA'} = e\left(1 - \frac{1}{n}\right)$
Miroir plan	
Relation de conjugaison	$\overline{SA'} = -\overline{SA}$
Grandissement	$\gamma = 1$
Miroir sphérique	
Vergence	$\phi = \frac{n' - n}{\overline{SC}} = \frac{-2n}{\overline{SC}} = \frac{2n'}{\overline{SC}}$
Relation de conjugaison	$\frac{1}{\overline{SA'}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{2}{\overline{SC}}$
Foyer objet / image	$\overline{SF} = \overline{SF'} = \frac{\overline{SC}}{2}$
Grandissement	$\gamma = \frac{\overline{SA'}}{-\overline{SA}}$
Lentille mince	
Vergence	$\frac{n1}{\overline{OA'}} - \frac{n1}{\overline{OA}} = (n2 - n1)\left(\frac{1}{\overline{OC1}} - \frac{1}{OC2}\right) = \phi$
Foyer objet	$\overline{OF} = \frac{-n1}{\phi}$
Foyer image	$\overline{OF'} = \frac{n1}{\phi}$
Grandissement	$\gamma = \frac{\overline{AB'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$
Association de deux lentilles	
Intervalle optique	$\Delta = \overline{F_1{}'F_2}$
Vergence	$\phi = \phi_1 + \phi_2 - e\phi_1\phi_2$

MÉCANIQUE DES FLUIDES

Statique des fluides	
Équation barométrique	$\Delta P = -\rho g dh$
Fluide incompressible	$P_1 + \rho g h_1 = P_2 + \rho g h_2$
Poussée d'Archimède	$P_A = V_{liquide\ déplacé} \cdot \rho_{liquide} \cdot g$

Tension superficielle		
Force de tension superficielle	$F(T) = \gamma . a . cos\theta$	
Loi de Jurin	$P = F(T)$	
Surpression de Laplace	Goutte : $P_i - P_e = \frac{2\gamma}{R}$	Bulle : $P_i - P_e = \frac{4\gamma}{R}$

Statique des fluides	
Vitesses	Fluide parfait : $v_{moy} = v_0$
	Fluide réel laminaire : $v_{moy} = \frac{v_0}{2}$
	Fluide réel turbulent : $v_{moy} = 0{,}8 . v_0$
Débits	Volumique : $Q_v = S . v_{moy}$
	Massique : $Q_m = \rho . Q_v = \rho . S . v_{moy}$
Fluides non visqueux (équation de Bernoulli)	$P_A + \frac{1}{2} . \rho . v_A^2 + \rho . g . h_A = P_B + \frac{1}{2} . \rho . v_B^2 + \rho . g . h_B$
Fluides visqueux	Perte de charge : $\Delta P_C = RQ$ avec $R_h = \frac{8\eta L}{\pi R^4}$
	Nombre de Reynolds : $R_e = \frac{\rho . v . D}{\eta}$ C. < 2000 = laminaire D. > 3000 = turbulent

Gaz parfaits	
Équation d'état	$P . V = n . R . T$

ÉLECTROMAGNÉTISME

Champ magnétique créé par un courant		
Par un courant rectiligne	$B = \frac{\mu_0 . i}{2\pi d}$	
Par un courant circulaire	Une seule spire : $B = \frac{\mu_0 . i}{2R}$	Bobine plate N spires : $B = \frac{\mu_0 . N . i}{2R}$
Par un solénoïde	$B = \frac{\mu_0 . N . i}{l}$	

Action d'un champ magnétique sur un courant		
Loi de Laplace	$F = i.l.B.sin(l,B)$	
Travail des forces électromagnétiques	B est perpendiculaire au plan des rails : $W = i.S.B$	B n'est pas perpendiculaire au plan des rails : $W = i.S.B.cos\theta$
Flux d'induction	$\phi = S.B.cos\theta$	Si le circuit est composé de N spires : $\phi = N.S.B.cos\theta$
Loi de Maxwell	$W = i.\Delta\phi$	

Force électromotrice d'induction	
Force électromotrice d'induction	$f.e.m = e = -\frac{d\phi}{dt} = -B.l.v$
Loi de Pouillet	$e = RI$

DOSIMÉTRIE ET RADIOPROTECTION

Dosimétrie	
Dose absorbée	$D = \frac{dE}{dm}$
Dose équivalente	$H_T = \sum (W_D \times D_{T,R})$
Dose efficace	$E = \sum (W_T \times H_T) = D_{T,R} \times W_T \times W_R$
Débit de dose	$D = \frac{dD}{dt}$
Transfert linéique d'énergie	$TLE = \frac{dE_d}{dl}$
Décroissance de la dose	$\Delta Dose \Leftrightarrow \frac{1}{Distance^2}$

ULTRASONS

Fréquence d'une onde	$f = \frac{1}{T}$
Longueur d'onde	$\lambda = c \times T = \frac{c}{f}$
Impédance acoustique	$Z = \rho \times c$
Profondeur d'exploration d'une onde US / Résolution axiale	$d = \frac{1}{2} \times c \times t$

ONDES ELECTROMAGNETIQUES

Fréquence	$f = \frac{1}{T}$
Longueur d'onde	$\lambda = c \times T = \frac{c}{f}$
Nombre d'onde	$\sigma = \frac{1}{\lambda}$
Vitesse d'une onde électromagnétique	$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r}}$ *Si μ_r non précisé :* $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}$
Indice de réfraction d'un milieu	$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r} = \sqrt{\varepsilon_r}$
Puissance surfacique d'une onde électromagnétique	$P_S = \frac{P_0}{4\pi r^2} = \frac{E \cdot B}{\mu_0}$
Amplitude du champ électrique créé par l'onde	$E = \sqrt{P_S \cdot \mu_0 \cdot c}$
Amplitude du champ magnétique créé par l'onde	$B = \frac{E}{c}$
Energie de l'onde	$E(J) = h \times v$

RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE

Energie de transition	$\Delta E = h \cdot \nu_0$
Fréquence de Larmor	$F_0 = \gamma \cdot B_0$
Loi de Boltzmann	$\frac{n-}{n+} = e^{-\frac{\Delta E}{kT}}$
Angle de l'aimantation B1	$\alpha = \gamma \cdot B_1 \cdot \tau$
Séquence saturation-récupération T1	$Signal = M_0 \cdot (1 - e^{-\frac{TR}{T1}})$
Séquence saturation-récupération T2	$Signal = M_0 \cdot e^{-T/T2}$
Séquence écho de spin	$Signal = M_0 \times e^{-TE/T2} \times (1 - e^{-TR/T1})$
Spectroscopie – Déplacement chimique	$\delta(ppm) = \frac{\Delta fréquence}{fréquence\ de\ résonance\ du\ proton} \cdot 10^6$

RAYONNEMENTS IONISANTS

Interactions des particules chargées avec la matière	
Forces coulombiennes	$F = k\ qq'/x^2$
Transfert d'Énergie Linéique	$TEL = Kq^2nZ\ /\ v^2$
Longueur de trajectoire des particules légères	Longueur (cm)= énergie initiale (Mev)/2ρ
Parcours moyen des particules lourdes	$R\ (cm) = 0{,}31E^{\frac{3}{2}}$ $R_{mat} = R_{air}\rho_{air}/\rho_{mat}$

ÉTATS DE LA MATIÈRE

Les différents états	
Énergie nécessaire pour un changement d'état	$\Delta Q = C \cdot \Delta T + L_{\text{changement d'état}}$

Les gaz	
Équation d'état des gaz parfaits	$PV = nRT \; ; P = \frac{nRT}{V}$
Loi de Dalton	$P = \frac{nRT}{V} = \frac{(n_A + n_B)RT}{V} = \frac{n_A RT}{V} + \frac{n_B RT}{V} = P_A + P_B$
Humidité relative	$HR = \frac{P_{H_2O}}{P_{satH_2O}} \times 100$

Les solutions	
Loi de Raoult	$Psat_A = \frac{n_A}{n_{solution}} . Psat_{A\,pur}$

RADIOACTIVITÉ

Radioactivité et rayonnements ionisants	
Activité	$A = \lambda N$
Décroissance radioactive	$T = \frac{\ln(2)}{\lambda}$ $\frac{1}{T_{eff.}} = \frac{1}{T} + \frac{1}{T_b}$
Rapport d'embranchement	$= \frac{\lambda_{partielle}}{\lambda_{totale}}$
atténuation d'un faisceau de photons	$n = n_0 \, e^{-\mu x}$ $dn = -\mu \, n \, dx$
Intensité lumineuse	$I = I_0 e^{-\mu x}$
Couche de demi-atténuation (CDA)	$x_{1/2} = \frac{ln(2)}{\mu}$
Coefficient massique d'atténuation linéique	$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$

Page de Fin.

Salut les petits PASS,

On voulait vous souhaiter bon courage pour ce dernier semestre, c'est la dernière ligne droite, ne lâchez rien !!

Ce livret est un projet qui nous tenait vraiment à cœur et dont on est très fiers, on espère qu'il vous plaira et vous sera utile.

La physique est une matière très dure en PASS donc ne vous découragez pas dès les premiers exercices ! Entrainez-vous régulièrement et c'est comme ça que vous allez réussir à faire la différence. Si vous avez des questions n'hésitez pas à venir nous voir en conf, c'est avec plaisir qu'on vous répondra :).

Des bisous

Bastian ROUILLARD
Tuteur 2023/25

Niels LE DOUARIN
Tuteur 2022/24

Gaspard FONTAINE
Tuteur 2022/24

Sidonie CHATELLIER
Tutrice 2023/25

Titouan Olivier
Tuteur 2025/26

Mathis PAUGAM
Tuteur 2024/25

Simon Gallais
Tuteur 2024/25

Enora Zurbach
Tuteur 2025/26

Tomin Guiho
Tuteur 2025/26