

Exposition des Sciences 2011

Dossier pédagogique

Mesure en physique

Détection et mesures des aérosols

De Gernier Robin, Delannoy Hugo, Suret Guillaume

1/Introduction

Notre atmosphère, source vitale et infiniment complexe, influe quotidiennement sur nos vies. Il est donc primordial d'en connaître les composantes, telles que les aérosols, principal élément de notre expérience. L'étude de leur évolution est un atout indéniable pour de nombreuses questions d'ordre public telles que la santé, le réchauffement climatique ou dernièrement le transport aérien.

2/Qu'est-ce qu'un aérosol ?

Il est important de bien définir ce qu'est un aérosol. Il s'agit de fines particules ou gouttelettes en suspension dans l'atmosphère. On les classe en deux groupes selon leur origine :

- les aérosols primaires émis directement dans l'atmosphère sous forme solide.
- les aérosols secondaires, résultat de la condensation des vapeurs et donc d'une réaction physico-chimique en altitude.

Leur taille peut varier d'une centaine de micromètres pour les aérosols primaires à quelques nanomètres pour les aérosols secondaires.

Chaque jour, plusieurs millions de tonnes d'aérosols sont émis directement dans l'atmosphère que ce soit naturellement (érosion, éruption, embrun marin,...) ou par l'action de l'homme (pollution industrielle, combustion des énergies fossiles).

3/Instruments de mesure des aérosols

Nous avons choisi de nous limiter à deux instruments.

- Le LIDAR (Light Detection And Ranging) : un instrument permettant de déterminer la répartition verticale (profil) des aérosols dans l'atmosphère. Il émet une impulsion laser et mesure la puissance du rayonnement absorbé puis réémis par les particules en suspension dans l'air.
- Le photomètre¹ : mesure le rayonnement solaire arrivant jusqu'à nous au travers de l'atmosphère et en déduit la quantité d'aérosols que cette dernière contient.

3/Expériences

Nos expériences et démonstrations ont pour but premier d'illustrer le fonctionnement des deux instruments évoqués plus haut : le LIDAR et le photomètre. Elles sont aisément reproductibles, moyennant un minimum de matériel.

Le plan laser

Matériel : un pointeur laser (de préférence vert), une fine tige de verre, quelques bâtons d'encens, un récipient aux parois transparentes (ex : aquarium).

¹ Plus d'informations : <http://calipsooutreach.hamptonu.edu/sunphoto-sim/sunphotometer.html> (en anglais)
Et bien sûr, à notre stand à l'expo du Printemps des Sciences !

Réalisation : allumer les bâtons d'encens de manière à ce qu'ils produisent un maximum de fumée, et les placer au fond du récipient transparent. Refermer ce dernier. En centrant le faisceau laser sur la tige de verre tenue verticalement, créer un plan laser horizontal qui va mettre en évidence les différences de densité en fumée et les mouvements de convection dans le récipient.

But : illustrer la réémission de la lumière par de fines particules en suspension dans l'air, en fonction de leur densité, pour faire le lien avec la technologie LIDAR.

Atténuation infrarouge

Matériel : une taque électrique, de la cendre fine, un tamis, un brumisateuse d'eau, un détecteur de rayonnement infrarouge (IR).

Réalisation : allumer la taque électrique, la caler verticalement et la laisser chauffer. En plaçant le détecteur IR bien en face de la taque on peut directement constater que le rayonnement IR augmente avec la température de la plaque, et ainsi savoir quand elle a fini de chauffer. Dès ce moment, écarter la taque et le détecteur d'environ 50cm et faire tomber un rideau continu de cendres entre eux à l'aide du tamis : l'intensité mesurée du rayonnement infrarouge chute, c'est l'atténuation. Reproduire l'expérience en vaporisant de l'eau à la place de la cendre, comparer les résultats (l'atténuation devrait être plus faible pour l'eau).

Notes : on peut s'amuser à remplacer l'eau et la cendre par d'autres matériaux (papier, plastique, emballage à bulle, ...) et observer les différences d'atténuation. Si on ne dispose pas d'un détecteur IR, l'expérience peut être tentée qualitativement en sentant la chaleur avec la main.

Atténuation laser

Matériel : un pointeur laser (de préférence vert), de la cendre fine, un tamis, un brumisateuse d'eau, un photomètre².

Réalisation : la manipulation est identique à celle de l'atténuation infrarouge, à la différence qu'il faudra prendre soin de bien viser la diode photoréceptrice du photomètre avec le laser, de manière à ce qu'il affiche une mesure maximum (pour mieux observer l'atténuation ensuite).

But : illustrer le principe de la mesure au photomètre et montrer la variation de l'atténuation en fonction de la taille et de la quantité des aérosols.

² Vous pouvez vous procurer un photomètre dans le cadre du projet pédagogique CALISPH'AIR du CNES, références : <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/7167-calisph-air.php>

Mesure de distances

Patrick Connor, Duc Thanh, Jérémy El Aïssaoui, Laurent Annaert

Introduction

Nous présentons deux aspects forts différents de la mesure de distance, mais aussi originaux, ludiques et accessibles au grand public que possible. La première illustre l'aspect pratique et répété de distances à l'aide d'un appareil appelé « télémètre optique à parallaxe » ; la seconde illustre la mesure de la « circonférence de la Terre », telle que réalisée à l'époque des Grecs, à l'aide d'une maquette. La compréhension de ces deux mesures demande peu d'efforts et juste un peu de géométrie euclidienne. Pour les passionnés, il est facile d'approfondir.

Télémètre optique à parallaxe

Lors d'une randonnée en montagne, on est souvent tenté de montrer un point du paysage à un ami, et chacun s'est rendu compte qu'il ne suffisait pas de pointer du doigt. Il faut rapprocher les têtes et tenter d'aligner les bras comme un seul, et encore, ce n'est pas gagné. Autre exemple, quand l'on tend le doigt, et que l'on regarde par un oeil à la fois en alternance, le doigt ne désigne en apparence pas le même point. C'est ce que l'on appelle « l'effet de parallaxe », c'est-à-dire que la différence de la position apparente d'un objet observé de vues différentes.

En général, on essaie d'éviter cet effet; ici en revanche, on en tire parti. Un télémètre désigne un appareil de mesure de distance; un télémètre optique désigne un appareil de mesure de distances au moyen de l'optique géométrique; ici, nous en avons construit un type particulier, appelé télémètre optique à parallaxe.

L'appareil de mesure est relativement simple : il consiste en l'alignement de deux périscopes. Chaque périscope possède un miroir orientable. On choisit un objet dont on veut connaître l'éloignement, et on règle l'orientation des miroirs de façon à faire coïncider les deux images en regardant simultanément dans les deux périscopes (d'où la parallaxe). L'orientation des miroirs est suffisamment précise pour qu'on puisse mesurer un angle précis au demi-degré près. Grâce à un calcul de trigonométrie, on peut connaître la distance de cet objet, avec une précision très raisonnable.

Ce type d'appareil servit dans l'artillerie lors de la 2^e Guerre Mondiale. Aujourd'hui, en raison de la place importante que cet instrument requiert (et de sa fragilité), il a été remplacé par des télémètres plus petits, plus légers, plus précis, plus résistants, plus chers, et surtout plus compliqués (ce qui, finalement, les rend bien moins intéressants). On utilise également des télémètres en urbanisme.

Circonférence de la Terre

Il est difficile à chacun d'entre nous de monter dans une fusée pour vérifier de loin que la Terre est bien sphérique. Cependant, sur la plage, on peut déjà se douter qu'elle n'est pas plate en regardant s'éloigner un voilier sur la mer : le mât subsiste au-dessus de l'horizon, alors que le reste du bateau a disparu. Alors s'il s'agit d'une sphère, on voudrait connaître la circonférence de la Terre, et ainsi aussi son rayon.

La mesure proposée ici est celle réalisée par Ératosthène pendant l'antiquité : il mesura d'une part la longueur d'un arc de cercle en suivant un méridien et d'autre part les angles correspondants grâce à l'ombre du soleil aux deux extrémités de cet arc; on en déduit la circonférence de la planète par un calcul de proportionnalité, et le rayon de la Terre en conséquence directe grâce à $2\pi/R$.

Les valeurs données par cette méthode sont remarquablement précises pour les moyens de l'époque. Une maquette illustre la mesure, en reproduisant les rayons solaires à l'aide d'une simple lampe de bureau. Aujourd'hui, on possède d'autres méthodes pour une telle mesure. En effet, la Terre, du fait de sa rotation, n'est pas parfaitement sphérique : elle est (très) légèrement aplatie.

Questions

Qu'est-ce qu'un télémètre ?

Qu'est-ce qu'un télémètre optique à parallaxe.

Qu'est-ce que l'effet de parallaxe ?

Donnez un exemple quotidien d'effet de parallaxe.

Qui était Ératosthène ?

Quelle est la différence entre un parallèle et un méridien ?

Qu'est-ce que le Tropique du Cancer ?

Où est située Syène (ou Assouan, c'est la même ville) ?

Dans quels domaines utilise-t-on des télémètres ?

Qu'a mesuré Ératosthène ?

...

Groupe 1

ARCS-EN-CIEL

Sarah Goethals, Maxime Lucas, Pierre Corvilain

Nous présentons le phénomène des arcs-en-ciel, au travers de plusieurs expériences. Vous aurez l'occasion d'admirer des arcs-en-ciel reconstitués à l'aide de microbilles, modélisant la pluie. Nous expliquerons également le rôle de la goutte d'eau individuelle.

Pour notre première expérience, nous envoyons un rayon laser sur une sphère de gel (dont l'indice de réfraction est proche de celui de l'eau). Nous observons le trajet du rayon, et en partie l'endroit où il sort. Pour expliquer cela, nous invoquerons les phénomènes de réflexion et de réfraction.

Ensuite, nous faisons varier la hauteur d'impact du rayon sur la goutte. Pour une certaine hauteur, le rayon atteint un angle de déviation maximum à la sortie de la goutte. C'est l'occasion d'illustrer une application de la dérivée en retrouvant cet angle et cette hauteur d'impact par calcul.

Nous continuerons en réitérant les manipulations précédentes avec des lasers de couleurs différentes. Ceci permet de mettre en évidence le fait que l'angle maximal dépend de la longueur d'onde, elle-même associée à une couleur. En effet, l'indice de réfraction varie en fonction de la longueur d'onde.

Nous remplaçons la « goutte d'eau » par une « goutte » en plexiglas pour comparer l'angle de déviation maximum d'une certaine couleur. Nous illustrons ainsi la dépendance de cet angle de déviation maximale en le milieu de propagation. En d'autres termes, l'indice de réfraction dépend également du milieu.

La variation de l'indice de réfraction et de l'angle maximum de déviation en fonction de la couleur permettent alors d'expliquer la dispersion de la lumière solaire. Nous plaçons alors la goutte de gel sous un faisceau de lumière blanche et observons sur un écran les couleurs de l'arc-en-ciel. Attention le phénomène décrit ci-dessus diffère de l'arc-en-ciel naturel ! La différence vient du fait que l'écran intercepte tous les rayons sortant de la goutte, quelque soit l'angle de sortie. Au contraire, notre œil ne peut « voir », pour chaque goutte, que le rayon particulier arrivant à l'œil.

Il est maintenant temps d'augmenter le nombre et d'en diminuer la taille. Pour ce faire nous avons collé des microbilles en verre sur un panneau. Le visiteur pourra alors admirer un magnifique arc-en-panneau ! Le phénomène de l'arc-en-ciel est cependant plus qu'un seul arc coloré. En effet, le visiteur observera également un deuxième arc à l'extérieur du premier, dont l'ordre des couleurs est inversé, une zone sombre entre les

deux arcs (appelée bande d'Alexandre), et une zone plus lumineuse à l'intérieur du premier. Tout cela peut être expliqué par les mêmes phénomènes fondamentaux que par le premier arc. Des arcs appelés surnuméraires existent également à l'intérieur de ce premier arc, leur explication fait appel aux phénomènes d'interférence.

Nous simulerons également la présence de lacs par des miroirs. D'autres arcs-en-ciel peuvent alors être perçus : l'un est dû à la lumière blanche qui se réfléchit d'abord sur le miroir avant d'arriver sur le panneau ; l'autre est dû aux rayons sortants des gouttes qui se réfléchissent sur le miroir avant d'arriver à notre œil. Ces gouttes sont différentes de celles qui « créent » l'arc direct. Ceci explique le fait que l'on puisse voir un arc qui semble être la réflexion de l'arc direct (comme une montagne peut-être réfléchi dans un lac), alors qu'un arc-en-ciel est image virtuelle, elle ne peut donc pas être réfléchi.

En résumé, nous présenterons plusieurs notions physiques et mathématiques intéressantes avec pour ligne directrice l'arc-en-ciel et sa beauté colorée.

Pourquoi l'arc-en-ciel est-il de forme circulaire ? Quel est son rayon ? Pourquoi faut-il être dos au soleil pour le voir ? Peut-on en voir à tout moment de la journée ? Pourquoi n'arrive-t-on pas à le prendre en photo dans son entièreté avec un appareil classique ?

Nous espérons qu'en venant voir notre stand, toutes ces questions, peut-être restées sans réponses, que vous avez pu vous poser sur l'arc-en-ciel s'éclairciront.

Mélange réversible

Fabian Hoffman, Jean Spièce,

Dans la vie courante, on connaît peu de situations dans lesquelles deux liquides mélangés peuvent être « démélangés » ! On pourrait même s'interroger sur la possibilité d'un tel phénomène, puisqu'il est assez rare d'observer, par exemple, que le lait se sépare du café !

Pourtant, notre expérience montre que la réponse n'est pas clairement si évidente!

Nous disposons une petite tache de glycérol coloré dans du glycérol pur, translucide ($C_3H_8O_3$) placé entre deux cylindres concentriques. En appliquant une rotation au cylindre du centre alors que le cylindre extérieur reste immobile, la tache colorée se disperse dans le glycérol pur. Et en appliquant la rotation inverse, on se rend compte que la tache réapparaît comme si rien ne s'était passé !

Pour expliquer ce phénomène, il convient d'introduire une grandeur physique assez intuitive : la **viscosité** (μ), qui s'exprime en Pascals-secondes : [Pa.s]. En mécanique des fluides, la viscosité est une caractéristique d'un fluide, qui dépend des propriétés intrinsèques de ce fluide et éventuellement de la pression et de la température. Elle indique la résistance du fluide à s'écouler, et peut également être vue comme une mesure des forces de friction intervenant dans le fluide (fig. 1). Par exemple, la viscosité de l'eau est de l'ordre de 10^{-3} Pa.s, celle de l'air vaut environ 10^{-5} Pa.s et celle du glycérol que nous avons utilisé est d'environ 1,5 Pa.s.

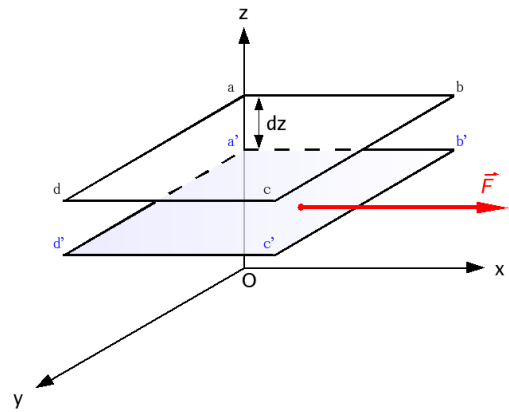


Fig. 1 - Si deux couches de fluide sont en mouvement l'une par rapport à l'autre (leur différence de vitesse est notée dv), alors la viscosité crée une force de friction entre ces deux couches, directement proportionnelle à la viscosité selon la formule : $F = \mu S \frac{dv}{dz}$, où S est la surface des deux couches

Voyons maintenant comment la viscosité du glycérol permet d'observer une expérience comme la nôtre.

Une approche analytique consisterait à écrire l'équation du mouvement pour les fluides (qui est une application de la seconde loi de Newton $F = ma$ dans le cas d'un fluide), et de vérifier si cette équation est *inchangée* si on remplace la vitesse par son opposé. En effet, on cherche à savoir si notre écoulement est réversible, c'est-à-dire s'il est possible de mettre le fluide en mouvement dans un sens, puis dans l'autre. Cela sera possible si les équations qui donnent l'évolution au cours du temps de la vitesse sont exactement les mêmes quel que soit le sens de v . L'équation en question s'appelle l'**équation de Navier-Stokes**, et il s'avère que dans le cas où la viscosité est grande, on peut négliger les termes de cette équation qui ne sont pas invariants si on change le sens de la vitesse, ce qui explique que la (quasi-)réversibilité d'un écoulement soit possible pour les liquides très visqueux.

Cependant, on peut également comprendre ce phénomène par une approche un peu plus phénoménologique.

Concrètement, on peut donner deux processus qui tendent à nous empêcher d'observer des mélanges réversibles : la **diffusion moléculaire** et la **turbulence**.



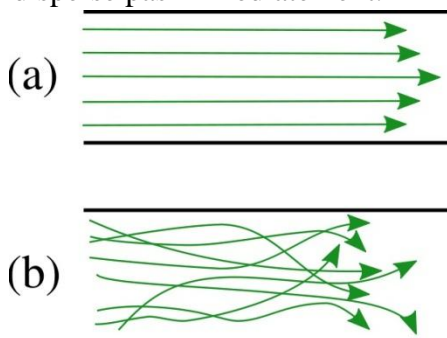
La diffusion moléculaire est un phénomène très courant qui tend à rendre homogène tout fluide qui ne l'est pas (Fig. 3). Ainsi, lorsque nous déposons une goutte d'encre dans de l'eau, par exemple, on observe très rapidement que l'encre se disperse dans l'eau alors même qu'on ne lui a communiqué aucun mouvement.

La **physique statistique** (qui est une théorie permettant de déduire beaucoup de propriétés macroscopiques de la matière à partir de calculs statistiques concernant le mouvement des atomes et molécules) permet d'expliquer ce phénomène à partir de deux résultats simples : les molécules dans un liquide sont en mouvement les unes par rapport aux autres, et statistiquement leur mouvement doit être uniforme (c'est-à-dire que spontanément, les mouvements des molécules se comportent de sorte que le mouvement global soit nul). Mais alors, comment se fait-il que dans le glycérol, la diffusion soit si lente, de sorte que notre expérience soit possible ? C'est la viscosité qui intervient encore ici : plus la viscosité du liquide est grande, plus les mouvements au sein du liquide sont « figés », c'est-à-dire que moins d'échanges seront possibles entre le colorant et le solvant, et que la diffusion sera moins importante.

La diffusion peut être quantifiée par un **coefficient de diffusion** (D), qui mesure le « déplacement quadratique moyen » des molécules du fluide via. Einstein a déduit des lois de la physique statistique une relation qui montre en effet que la viscosité tend à diminuer la vitesse de diffusion :

$$D = \frac{R}{6\pi N a} \cdot \frac{T}{\eta r}$$

C'est donc bien la viscosité du glycérol qui permet que la tache de colorant qu'on y injecte ne se disperse pas immédiatement.



La turbulence est plutôt un effet dû au mouvement qu'on impose au fluide, qui permet d'expliquer que si on tourne trop vite les cylindres, on ne puisse revenir à la situation de départ. On parle de **régime turbulent** lorsqu'un écoulement est irrégulier et difficile à prévoir, par opposition au **régime laminaire** dans lequel le fluide s'écoule de manière ordonnée (voir Fig. 2). Pour qu'un écoulement soit réversible, il faut bien évidemment que l'écoulement soit laminaire !

Fig. 2 – Un écoulement laminaire (a) et un écoulement turbulent (b)

Or la mécanique des fluides fournit un nombre sans dimension physique, appelé **nombre de Reynolds**, qui permet de déterminer si un écoulement est plutôt laminaire ou turbulent, en fonction de la viscosité : $Re = \frac{\rho UL}{\mu}$, où ρ est la masse volumique du

fluide, U la vitesse de l'écoulement, L sa longueur caractéristique et μ la viscosité. Généralement, on considère que si $Re < 1$, l'écoulement est laminaire et si $Re > 2000$, l'écoulement est turbulent (entre ces deux valeurs, on parle d'écoulement transitoire puisque le régime n'est ni strictement laminaire, ni strictement turbulent).

On a donc bien que si la viscosité est suffisamment grande par rapport à la vitesse de l'écoulement, le nombre de Reynolds est relativement petit, et l'écoulement est donc relativement laminaire, ce qui permet d'éviter les perturbations qui rendraient notre expérience impossible.

Radioactivité

Félix Petizon, Laurent Graulich, Vincent Dufresnoy

Introduction à la radioactivité

Les noyaux des atomes, de part leur composition même, peuvent être stables ou instables.

Les noyaux instables, dans leur quête de stabilité, peuvent se désintégrer en émettant différents types de rayonnements. Ces rayonnements sont des particules émises avec une grande énergie.

On distingue trois grands types de rayonnements radioactifs :

*Les rayonnements α : les particules constituant les rayonnements α sont des noyaux d'hélium. Ces rayonnements sont les plus puissants des trois cités ici.

*les rayonnements β : nous pouvons distinguer deux sous-catégories de rayonnements β . Nous avons d'une part les rayonnements β^+ formé de positrons et provenant de nuclides avec excès de protons); et d'autre part les rayonnements β^- formé d'électrons et provenant de nuclides avec excès de neutrons).

*les rayonnements γ : les rayons gamma sont des rayonnements électromagnétiques. On peut les comparer à de la lumière extrêmement énergétique.

Le rayonnement α est le plus puissant des trois. Il est également le plus facilement arrêté. En effet une simple feuille de papier (ou même une couche d'air de quelques centimètres) suffit à arrêter ce type de rayonnement. Une feuille d'aluminium suffit pour stopper les rayons β , tandis qu'il faut une épaisse couche de matière comme du plomb est nécessaire pour atténuer l'effet des rayons gamma.

Mesure de la radioactivité

Le compteur le plus utilisé pour mesurer la radioactivité est le compteur Geiger, compteur dont nous avons construit un exemplaire afin que les visiteurs puissent en voir et en comprendre le fonctionnement.

Ce compteur consiste en un tube en verre rempli de gaz neutre ainsi que d'une anode et d'une cathode. Nous appliquons aux électrodes une différence de potentiel de l'ordre du 500 V. Lorsque que des rayonnements radioactifs traversent le tube, ils interagissent avec le gaz en lui arrachant des électrons, en l'ionisant. Les électrons arrachés sont accélérés par la différence de potentiel et vont acquérir suffisamment de force que pour arracher des électrons d'autres, produisant une avalanche. Le condensateur formé par les électrodes se décharge, l'avalanche s'arrête, le courant ne passe plus, et il faut une nouvelle particule radioactive pour déclencher à nouveau la réaction en chaîne.

Le bref passage de courant est utilisé pour faire le comptage. Il suffit de compter le nombre d'impulsions électriques provoquées par l'ionisation du gaz pour avoir la mesure de l'activité d'un élément radioactif, exprimée en Becquerel (1 Bq = 1 désintégration/s). Dans le cas du compteur que nous avons constitué, les impulsions sont amplifiées et envoyées un haut-parleur. Nous pouvons ainsi entendre en temps réel un crépitement lorsque le compteur capte un rayonnement.

Durant une courte période de temps qui suit une détection, le compteur Geiger est incapable de mesurer une nouvelle fois. Cette période est appelée le temps mort. C'est le temps nécessaire pour que la différence de tension se remette en place et que le gaz revienne à l'équilibre. Le temps mort, dans le cas du compteur que nous avons construit, est de l'ordre de la centaine de microseconde, ce qui signifie que nous ne verrons pas la différence entre une source radioactive émettant 20 000 ou 50 000 désintégrations par seconde.

Un autre type de compteur utilisé est le compteur proportionnel. Ce compteur mesure non seulement la quantité de désintégrations, mais également la puissance du rayonnement émis. Cependant, de part sa conception, il est moins sensible à de faibles taux de désintégrations.

Les phénomènes aléatoires

La désintégration d'un atome instable est impossible à prédire. Il s'agit d'un phénomène totalement aléatoire et imprévisible pour un atome donné. Néanmoins, si on a un grand nombre d'atomes identiques, il est possible de prédire le nombre de désintégration pour l'ensemble des atomes. Pour cela, on utilise un outil fourni par les mathématiques : la distribution de Poisson.

Applications

La radioactivité possède de nombreuses applications. On peut citer la lutte contre le cancer, en irradiant les cellules malades ; la fabrication de scanners ; l'observation des mouvements des fluides sous la croûte terrestre. Certaines applications provoquent débat comme la production OGM par irradiations de l'ADN et, bien sûr, la production d'énergie électrique.

La mesure de vitesse

Vandestruck Philippe, Lucchetti Frederico, Lecomte Lucas

Pour introduire le sujet de manière claire et précise, il nous faut commencer par une idée intuitive de la vitesse puis par une définition formelle du concept.

Intuitivement nous avons une notion de la vitesse comme étant la distance parcourue par un mobile pendant un intervalle de temps. Elle décrit comment la position varie dans le temps.

La vitesse moyenne se définit de la façon suivante :

$$\langle v \rangle = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

où le symbole Δ signifie une variation d'une quantité ici la position et le temps.

On en déduit facilement à la définition de la vitesse instantanée d'un mobile par un passage à la limite:

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right)$$

Cette définition permet de tenir compte que la vitesse peut varier au cours du temps.

Lorsqu'on roule en voiture, à vélo, ..., la vitesse s'affiche sur un cadran. Celle-ci est déterminée au départ de la vitesse de rotation de la roue. Les deux vitesses sont reliées par la relation:

$$V = \omega R$$

où ω est la vitesse angulaire et R est le rayon par rapport à l'axe de rotation. On remarque dans cette relation que la vitesse de la roue est liée au rayon.

La période de rotation est donnée par

$$T = \frac{2\pi R}{\omega}$$

Sur base de ces quelques concepts, nous illustrons quelques méthodes de mesure de vitesse.

Mesure de vitesse par induction électromagnétique

Cette expérience va nous permettre d'expliquer le fonctionnement d'un compteur de vitesse (par exemple ceux qu'on utilise sur un vélo). Le principe qu'on utilise ici est celui d'induction électromagnétique. Lorsque l'on fait varier l'intensité d'un champ magnétique à proximité d'un circuit fermé, on observe un courant induit dans le circuit. Par variation du champ magnétique on veut dire que le champ magnétique doit varier au cours du temps en intensité. Et donc au plus vite on approche ou éloigne l'aimant au plus l'intensité (courant électrique) dans le fil est importante. La tension électro-motrice, U_e , qui donne lieu à ce courant est donnée par la loi d'induction de Lenz-Faraday:

$$U_e = -d\Phi/dt$$

où Φ est le flux du champ magnétique.

Lorsqu'un aimant fixé sur une roue en rotation passe au voisinage d'une bobine de fil conducteur la variation du flux magnétique dans la bobine produit un courant dans le fil. Nous mesurons la brutale

variation d'intensité qui s'observe sur un ordinateur. A chaque passage de l'aimant il y aura un saut d'intensité ce qui nous permettra d'obtenir une mesure de la fréquence de passage de l'aimant.

Mesure optique de la vitesse

Un faisceau laser est envoyé sur un miroir fixé sur la roue. A chaque passage, un capteur convertit le signal lumineux en signal électrique. On récupère celui-ci sur un ordinateur. La fréquence de passage est calculée et on en déduit la vitesse.

Mesure de vitesse par courant de Foucault

L'expérience permet de montrer comment on procédait pour déterminer la vitesse avant la mise au point de systèmes électroniques. L'expérience consiste à faire tourner un aimant de forte intensité sur son axe. A quelques centimètres de celui-ci, on place un disque en aluminium qui est relié au un fil de torsion par son axe de rotation. Selon la loi de Faraday, un courant induit est généré dans le métal, qui s'oppose à la variation du flux magnétique. Il s'agit de courant local dans le métal et qui porte le nom de courant de Foucault. Dès-lors que des électrons sont en mouvement, une force de Lorentz apparaît. Le courant de Foucault n'étant pas concentrique à l'axe de rotation du disque d'aluminium, un moment de force apparaît qui va faire induire une rotation au disque. Cette rotation va tordre le fil de torsion. Lorsque les moments de forces du disque et du fil se compensent, on arrive à une situation d'équilibre. L'angle de torsion est proportionnel à la vitesse instantanée. Le moment de force est en effet directement lié à la vitesse de rotation de l'aimant.

Les courants de Foucault

Sébastien De Ridder, Sohail Jaidi, Doumen Wandt

L'expérience d'Oersted :

Jusqu'au début du 19^{ème} siècle, l'électricité et le magnétisme étaient deux disciplines indépendantes. En 1820, le professeur de physique danois Hans Christian Oersted fit une grande découverte en donnant cours à ses élèves. Il mit une boussole à côté d'un fil transportant un courant électrique et remarqua par hasard que l'aiguille de la boussole était déviée : cela indique que le courant électrique avait créé un champ magnétique qui a fait dévier la boussole. Ceci fut le premier lien entre l'électricité et le magnétisme, l'électromagnétisme était né ! Plus tard, les physiciens ont remarqué qu'un solénoïde crée un champ magnétique équivalent à celui d'un aimant.

L'induction magnétique de Faraday :

Grâce à Oersted, on sait qu'un courant électrique génère un champ magnétique. Les physiciens se sont donc demandé si l'inverse était possible : un champ magnétique peut-il créer un courant électrique ? En fait c'est la variation d'un flux magnétique qui induit un courant électrique (le champ magnétique est la densité du flux magnétique). En effet, lorsqu'on met un aimant dans un solénoïde relié à un ampèremètre pour détecter un courant, l'instrument de mesure réagit lorsqu'on bouge l'aimant. Plus on le fait bouger, plus le courant produit est important car la variation du flux magnétique est plus grande. Le courant électrique est positif ou négatif suivant le sens du mouvement de l'aimant.

On sait, grâce à Oersted, qu'un courant électrique crée un champ magnétique, donc le courant induit par le mouvement de l'aimant va aussi créer un champ magnétique. Le sens du champ magnétique et donc du courant induit est donné par la loi de Lenz :

Le champ magnétique induit s'oppose à la variation initiale du flux magnétique qui l'a induit. Ainsi lorsque l'aimant sort de la bobine, le champ magnétique induit va s'y opposer et se diriger dans l'autre sens, le champ magnétique induit rentre dans l'aimant.

Les courants électriques induits sont aussi appelés courants de Foucault, ils se manifestent ainsi dans toutes variations du flux magnétique dans un conducteur.

La chute d'un aimant dans un tube métallique :

Notre expérience consiste à utiliser ce principe en faisant tomber des aimants dans des tubes métalliques (non-ferreux) :

Puisque ces tubes ne sont pas en fer, l'aimant ne s'y accroche pas. Lorsqu'on fait tomber un aimant dans un tube en cuivre par exemple, le déplacement de l'aimant va créer une variation du flux magnétique dans le tube. Cette variation va donc induire des courants de Foucault qui eux-mêmes vont créer un champ magnétique. Ce champ va s'opposer à la variation du flux magnétique qui provient de la chute de l'aimant : l'aimant va donc freiner !

On peut faire varier le freinage de différentes manières :

Avec des aimants plus puissants, le champ magnétique sera plus grand, et donc la variation du flux magnétique aussi, ce qui entrainera une chute encore plus lente de l'aimant.

La taille et la forme de l'aimant ont aussi leur importance : plus l'aimant est proche de la paroi du tube, plus le champ magnétique y sera grand, et donc le freinage sera plus puissant.

On peut aussi faire varier les caractéristiques du tube :

Plus le tube est épais, plus les courants de Foucault seront intenses et donc l'aimant sera mieux freiné. Changer le diamètre du tube est équivalent à changer la taille de l'aimant.

Le type de métal du tube est aussi important. Par exemple l'aimant sera plus rapide dans l'aluminium que dans le cuivre. Cela est dû au fait que le cuivre est meilleur conducteur que l'aluminium, donc les courants de Foucault y seront plus intenses et leur effet plus puissant.

Avec plusieurs aimants, on pourrait penser qu'ils seront plus lents qu'avec un seul aimant car le champ magnétique sera plus intense. Mais c'est le contraire qui se produit : avec plusieurs aimants, l'aimant total aura un plus grand champ magnétique mais sera aussi plus lourd et donc le freinage devra être plus intense pour le freiner. Le champ magnétique total ne compense pas cette augmentation du poids car deux aimants ensemble ne doublent pas la variation du flux du champ magnétique. Il est augmenté, mais pas assez pour compenser le poids doublé de l'aimant total. Ainsi, plus il y aura d'aimants, plus le poids de l'aimant total sera grand, et plus il tombera vite !

Plus l'aimant sera rapide, plus la variation du flux magnétique sera grande, et donc plus l'aimant sera freiné. On peut visualiser le freinage à l'aide d'un dynamomètre relié à l'aimant : en remontant le dynamomètre avec l'aimant dans le tube à différentes vitesses, on remarque que la force est plus grande à grande vitesse.

Ce principe est utilisé dans la vie quotidienne :

La plaque induction d'une cuisinière contient un solénoïde. Comme celui-ci est alimenté par un courant alternatif (50 Hz alternatif du réseau), une variation du champ magnétique est produite. En mettant une casserole conductrice par dessus, des courants de Foucault apparaissent dans le fond de celle-ci, qui chauffe par effet Joule.

Les freins magnétiques dans les camions et les trains utilisent aussi ce principe :

Deux électroaimants sont placés de part et d'autres des roues. En les activant, un champ magnétique est créé dans les roues. Une variation du flux magnétique est créée par le mouvement de la roue. La loi de Lenz dit que les courants de Foucault dans la roue s'opposent à la variation du flux magnétique, donc la roue va ralentir et ainsi freiner. Mais il faut ajouter un frein traditionnel car plus la roue tourne lentement, moins la variation du flux est grande et donc le freinage diminuera.

La lumière: une onde et une particule

Lekeu Victor, Salavrakos Alexia, Zwickel Céline

La physique classique décrit la lumière comme une onde, mais avec l'avènement de la physique quantique au début du XX^{ème} siècle, on découvrit qu'elle présente également le comportement d'une particule.

Notre projet a pour but d'illustrer cette dualité onde/corpuscule.

La lumière vue comme une onde

En 1864, les travaux du physicien James Clerk Maxwell aboutissent à un ensemble d'équations qui décrivent le comportement du champ électromagnétique. On en tire une équation d'onde, qui prévoit l'existence d'une onde associée aux oscillations des champs électriques et magnétiques. Il s'agit de la lumière : « l'accord des résultats semble montrer que la lumière et le magnétisme sont deux phénomènes de même nature et que la lumière est une perturbation électromagnétique se propageant dans l'espace suivant les lois de l'électromagnétisme. » (*Maxwell, 1864, dans A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*)

On peut donc observer les propriétés ondulatoires de la lumière telles que la diffraction, les interférences, etc. Ainsi, notre expérience consiste à montrer ces phénomènes et de les illustrer par diverses applications (par exemple, au moyen de bulles de savon).

La lumière vue comme une particule

L'effet photoélectrique fut découvert en 1887 par H.R. Hertz. Il consiste en l'émission d'électrons par un matériau lorsque celui-ci est exposé à la lumière. La physique classique ne pouvait apporter aucune explication à ce phénomène, mais il fut expliqué par Einstein en 1905, ce qui lui valut son prix Nobel de physique. En s'appuyant sur les conclusions de Planck concernant le rayonnement du corps noir, il introduisit l'idée que la lumière se propage par « paquets d'énergie » appelés photons.

Autrement dit, la lumière présente également un comportement corpusculaire, et ces photons ont une énergie (E) proportionnelle à la fréquence (ν) de la lumière selon la relation

$$E = h\nu.$$

Notre expérience consiste à mesurer la constante intervenant dans cette relation, h, appelée la constante de Planck. Dans ce but, nous utilisons des diodes électroluminescentes (LED) qui émettent de la lumière quand une certaine différence de potentiel leur est appliquée.

La conservation de l'énergie nous donne ainsi une relation entre la fréquence de la LED et la différence de potentiel (ΔV) à laquelle celle-ci s'allume: $\Delta E = q_e \Delta V = h\nu$ (où q_e est la charge de l'électron). Nos mesures, simples, fournissent une bonne approximation de la valeur de h.

Techniques de mesures appliquées

Exploration des multiples facettes de la mesure physique. Entre aspects environnementaux et écologie informatique, les domaines d'applications sont variés : mesure de la radioactivité, traitement d'image, filtrage de spam... L'ingénieur se doit plus que jamais de jouer la carte de la pluridisciplinarité.

Optimisation de portique de sécurité nucléaire

La surveillance du transport, illicite ou involontaire, de matières radioactives a été fortement développée depuis une dizaine d'années. Deux objectifs sont à l'origine d'un tel développement, à savoir la protection de la population et des travailleurs, ainsi qu'un contrôle de la prolifération des matières nucléaires stratégiques.

Dans cette optique, des portiques ont été conçus pour contrôler de manière dynamique les personnes, le chargement des véhicules ou des containers, ... Ces portiques qui utilisent souvent des détecteurs plastiques très sensibles et de grandes dimensions permettent de générer une alarme en cas de dépassement d'un certain seuil de radioactivité mais ne permettent pas l'identification de la matière radioactive détectée. Lorsque l'identification s'avère nécessaire, un autre type de détecteur doit être implémenté dans le portique. Le recours à l'utilisation d'un deuxième détecteur implique deux désavantages : l'augmentation du coût en matériel de détection à investir aux points de contrôles (douanes, ports), mais également la nécessité d'immobiliser le convoi le temps d'effectuer la seconde analyse, ce qui peut également se traduire par des pertes financières !

L'objectif de l'optimisation de portique de sécurité nucléaire est de permettre une identification de la matière radioactive détectée sans devoir utiliser un autre détecteur que le portique. Pour cela nous exploitons la méthode de déconvolution spectrale, qui pourrait permettre de récupérer une information spectrométrique permettant cette identification à partir des mesures faites avec le portique.

La méthode de déconvolution spectrale repose sur deux étapes successives. Basons-nous sur l'équation suivante pour illustrer cette dernière :

$$y = a \cdot x$$

où y est le signal de sortie du portique (spectre acquis par le portique)

a est la matrice de réponse du portique

x est le signal en entrée du portique (la radiation émise par la matière radioactive)

Notre but est de trouver x en n'ayant initialement que notre y comme donnée connue.

Premièrement nous devons calculer la matrice de réponse du portique a à l'aide de simulations informatique de type Monte Carlo.

Ensuite, nous pouvons isoler x et en déterminer sa valeur. Le calcul du produit $y \cdot a^{-1}$ est ce que nous appelons le calcul de déconvolution du spectre acquis par le portique.

Une fois le spectre déconvolué, nous devrions être capable de cibler le(s) radioélément(s) ayant été détecté(s) par le portique, sans passer par l'utilisation d'autre(s) détecteur(s).

Amélioration des performances d'une sonde environnementale de détection de rayonnement ionisant par application de techniques mathématiques

Le développement de systèmes de surveillance permanente de la radioactivité dans l'environnement a connu un grand essor après la catastrophe de Tchernobyl. Récemment, ce développement a encore été amplifié par le souci de détecter les activités nucléaires illicites et les trafics de matériaux nucléaires, tout en étant supporté par une attention croissante aux possibilités de concentration de la radioactivité naturelle dans l'industrie et aux rejets associés.

Ce projet de surveillance du rayonnement γ se situe dans le cadre du contrôle environnemental, en particulier des milieux aquatiques : canaux, rivières, lacs, mers,... Cette surveillance permet entre autres le contrôle des rejets radioactifs des installations nucléaires (centrales, usines de retraitement) ou non nucléaires (hôpitaux, industries des phosphates), mais aussi la détection de fuites de radioactivité (anciens sous-marins nucléaires, sites sous-marins d'essais de bombes nucléaires,...) ou encore la contamination des chaînes alimentaires aquatiques suite à un éventuel accident nucléaire ou à ses répercussions.

Le rayonnement gamma joue un rôle essentiel dans ce contexte car son caractère très pénétrant permet la détection des sources radioactives à distance. Il importe cependant de pouvoir distinguer les sources naturelles de rayonnement des sources artificielles, qui sont en général celles qui sont visées par le contrôle. Cette discrimination est particulièrement importante lors de mesures dans l'eau de mer, qui contient une activité naturelle appréciable sous forme de ^{40}K .

La discrimination est possible par l'analyse spectrométrique du rayonnement gamma. Malheureusement, les détecteurs les plus performants en la matière (détecteurs au Germanium, HPGe) sont très coûteux et fonctionnent à basse température (refroidissement en continu à 77 K), ce qui implique une alimentation électrique permanente, non disponible sur de nombreux sites d'installation. C'est pourquoi on leur préfère, pour ces raisons de même que pour des critères supplémentaires de robustesse, de coût et de maintenance, les détecteurs à scintillation, comme le NaI(Tl). Ces détecteurs à scintillation ont néanmoins une résolution en énergie médiocre, ce qui implique un étalement du spectre et donc des capacités limitées d'identification et de discrimination de radioéléments naturels et artificiels.

Ce manque de résolution des scintillateurs ne permet actuellement pas d'atteindre des limites de détection aussi basses qu'avec un détecteur HPGe. Nous avons montré, dans ce projet, qu'il est possible de corriger partiellement cet inconvénient par l'application des techniques de déconvolution des spectres expérimentaux. Ce traitement, purement mathématique, permet de reconstituer un spectre de raies plus étroites, et il devient alors possible de distinguer dans le spectre des raies spectrales indécélables par un simple dépouillement visuel du spectre expérimental, spectre dans lequel elles sont masquées par la présence d'un important fond continu.

Il est donc possible, après déconvolution, de détecter et de quantifier des activités artificielles sensiblement plus faibles!

Bien que cette technique soit complexe et actuellement exclusivement réservée à des applications de laboratoire, les perspectives d'industrialisation semblent réelles, ce qui amènerait à une information plus performante, mais également plus fiable et plus précise...

La fonction de réponse du détecteur CZT SPEAR

Le détecteur CZT SPEAR de la firme eV Microtronics est un détecteur à semi conducteur qui peut être utilisé à température ambiante. Il consiste en un cristal de CdZnTe de 5x5x5 mm³ inséré dans une structure compacte.

Le but de l'étude présentée ici est de caractériser la fonction de réponse du détecteur CZT SPEAR dans la gamme d'énergie allant de 10 à 150 keV. Le problème principal avec ce type de détecteur provient d'une différence de traitement entre les deux types de porteur de charges (électrons et trous) qui perturbe la formation de l'impulsion électrique.

Des mesures sont réalisées pour obtenir les spectres gamma de différents radioisotopes. Les spectres montrent une structure constituée d'un pic (structure assez étroite) et d'une asymétrie vers la gauche. Ce phénomène est d'autant plus important que l'énergie du rayonnement gamma augmente. Un modèle, utilisant un code de type Monte Carlo (MCNP) et un autre code réalisé en C++, a été utilisé pour définir la fonction de réponse. Ce modèle a été validé par les expériences réalisées avec le détecteur. Les paramètres nécessaires à la simulation ont été obtenus expérimentalement.

La fonction de réponse du CZT SPEAR a pu être définie comme une combinaison d'un pic (allure gaussienne) et d'une exponentielle avec des paramètres spécifiques à chaque détecteur.

Mesure de distance par traitement d'image

De nos jours, le traitement d'image par ordinateur fait partie intégrante des outils que l'on utilise quotidiennement : adaptation de contraste en fonction de la luminosité ambiante lors de conférences vidéo, détection de mouvements des nouvelles consoles de jeux, applications de réalité augmentée, etc.

Les applications de traitement d'image par ordinateur sont extrêmement nombreuses. Nous nous consacrons plus particulièrement à la réalisation d'applications dans le domaine de la 3D. La méthode utilisée le plus couramment est de filmer la scène avec deux caméras mises côte à côte et de reconstruire ensuite une image en 3D (stéréoscopie). Cette approche s'appuie sur le même principe que celui qui permet à l'être humain de voir en 3D.

Une autre méthode consiste à utiliser une caméra infrarouge. En envoyant un rayon infrarouge depuis une seule caméra vers la scène que l'on filme, on obtient une image de l'intensité des rayons réfléchis. Plus le rayon parcourt une longue distance, plus il s'atténue. Son intensité diminue donc proportionnellement à la distance parcourue. Chaque pixel de l'image infrarouge donnera alors la valeur de l'intensité du rayon réfléchi. Nous pouvons ainsi récupérer des informations sur la distance des objets d'une scène par rapport à la caméra, et donc reconstruire une image 3D.

Mesure de la "spamicité" par la reconnaissance optique des caractères.

Le courrier électronique, l'un des moyens de communication le plus employé dans notre société, est devenu également un excellent véhicule pour des mails non sollicités.

Ceux-ci peuvent contenir des virus, de chevaux de Troie, des annonces publicitaires malhonnêtes, de la pornographie, des escroqueries et canulars de toutes sortes. Regroupés sous le terme générique de *spams*, ils se sont développés de manière spectaculaire ces dernières années. Selon une étude réalisée par la société américaine Marshal (<http://www.marshal8e6.com/newsitem.asp?article=748>), spécialisée dans la sécurité Internet, 150 milliards de spams sont envoyés chaque jour, ce qui représente près de 85 % du trafic quotidien des courriers électroniques (2008).

Les coûts entraînés par la gestion des spams croissent de plus en plus. La Commission Européenne estime, qu'au niveau mondial, ils représentent près de 39 milliards d'euros par an. Cela représente, pour les entreprises, un coût compris entre 600 € et 1000 € par an et par employé.

Au niveau écologique, selon une étude conduite par ICF International en 2008, l'électricité nécessaire pour la gestion des 62 milliards de messages indésirables correspond à l'émission de 17 millions de tonnes de CO₂, soit 0.2 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) ou l'équivalent des émissions de GES de 3,1 millions de voitures en un an. De plus, certains utilisateurs impriment encore de nos jours, de manière systématique, l'ensemble de leurs mails y compris les spams. La diminution de ces derniers économisera une quantité importante de papier.

Il existe différentes techniques de mesure du taux de **spamicité**. La spamicité est une mesure estimant la probabilité que le mail soit un spam. Pour les spams de type « image », c'est la reconnaissance optique de caractères (OCR) qui est utilisée. L'OCR désigne les procédés informatiques pour la traduction d'images de textes imprimés ou dactylographiés en fichiers de texte.

Les étapes de traitement de la technique OCR peuvent être schématisées ainsi:

1. Pré-analyse de l'image : le but est d'améliorer éventuellement la qualité de l'image. Ceci peut inclure le redressement d'images inclinées ou déformées, des corrections de contraste, le passage en noir et blanc, etc.
2. Segmentation en lignes et en caractères (ou analyse de page) : vise à isoler dans l'image les lignes de texte et les caractères à l'intérieur des lignes.
3. Reconnaissance proprement dite des caractères : chaque caractère à reconnaître est comparé à une bibliothèque de formes connues, et on retient pour l'étape suivante la forme la plus « proche » (ou les N formes les plus proches), avec un score ou une distance.
4. Post-traitement : utilisant des règles linguistiques et contextuelles pour réduire le nombre d'erreurs de reconnaissance: dictionnaires de mots, de syllabes, etc.
5. Génération d'un fichier de sortie : création d'un fichier contenant le texte reconnu (.doc ou .txt).

Les mots ainsi extraits sont ensuite analysés. Une de ces techniques d'analyse est le filtrage dit « Bayésien ». En connaissant la probabilité que chaque mot a de se retrouver dans un spam, il est possible d'estimer la probabilité globale que le mail entier soit lui-même un spam.