

Vulgarisation scientifique et objectif d'un cours de Physique

Visualisation de la K7 vidéo "C'est pas Sorcier. Ici l'onde" dont la transcription des commentaires est donnée ci-dessous.
Jamy et Fred sont dans leur camion, en rase-campagne. Le camion s'arrête.

Jamy. Est...qu'est-ce qui se passe ?

Fred. Ouais, ben laisse tomber, on est en panne, en pleine campagne. Moi, je finis en mob. Tu me prêtes ta mob ?

Jamy. Ouais, mais t'en prends soin, hein ? Elle est presque neuve ! (J'espère qu'il ne va pas la casser).

Fred. (*bruit de casseroles à l'extérieur du camion*) Ouah, la marche ! j'ai oublié la marche !

Jamy. Ma mob ?! Il sait même pas la conduire ! Alors pour faire de la radio, on utilise des ondes é-lec-tro-ma-gné-tiques. Et ces ondes là on en trouve partout : sur terre, mais aussi dans l'espace !

Fred : Oh là là Jamy, elle marche mal ta mob, ça doit être la bougie ! J'aurais mieux fait de prendre un cheval ! Et puis j'voudrais pas dire : moi je ne fais pas de radio mais j'utilise aussi des ondes quand je te parle, c'est pour ça que tu m'entends. Et si je veux que ces ondes aillent plus loin, tu sais ce que j'utilise ? Et bien tu vas le savoir : UN PORTE-VOIX !!!

Jamy : Elle marche très bien ma mob ! Et puis d'abord, lui, quand il parle, il n'utilise pas des ondes électromagnétiques, il utilise des ondes acoustiques ! Autrement dit : il fait vibrer de l'air, qui fait vibrer nos tympanes, et c'est pour ça qu'on entend ! D'ailleurs ces ondes là, on peut presque les voir. Regardez : (*expérience d'un seau frappé au dessus d'une membrane sur laquelle on a placé des petites billes*) quand je frappe (*toc, toc, toc*) ça fait vibrer de l'air qui fait vibrer la membrane, donc les petites billes ! Ces ondes là, elles ne vont pas très vite : elles vont à 340 mètres-seconde. Ce qui n'est pas du tout le cas des ondes électromagnétiques !

Fred (*par la radio*). Jamy pour Fred ! Jamy pour Fred ! Oh, oh ! je suis là ! dans la petite boîte noire, sur l'établi ! Eh ! ça y est, j'ai compris ce que c'est les ondes électromagnétiques : ça permet de se parler quand on est loin, sans avoir besoin de se signer. Eh ! Jamy ! (*la télévision s'allume, le visage de Fred apparaît à l'écran*). Viens voir par là ! Regarde : je suis au moins à 1 km de toi et pourtant tu m'entends ! Il n'y a pas de fil entre nous : il y a juste ces 2 petites antennes ! C'est magique ! C'est pas comme ta mob !

Jamy. Doucement avec ma mob ! elle est unique ! C'est pas comme les ondes électromagnétiques. Là, il y en a tout un tas de sortes, c'est ce qu'on appelle "le spectre". Alors d'abord il y a les ondes électromagnétiques qui nous permettent de voir le monde en couleur depuis la nuit des temps. Ben oui : les couleurs de l'arc-en-ciel, ce qu'on appelle "la lumière visible" ce sont des ondes électromagnétiques.

Les ondes électromagnétiques avec lesquelles on fait de la télé ou de la radio sont de même nature, sauf qu'elles sont beaucoup plus grandes (*geste de Jamy qui montre une sinusoïde*), mais ça, on y reviendra tout-à-l'heure.

Lorsqu'on fait de la radiographie, on utilise encore des ondes électromagnétiques, mais celles -ci sont beaucoup plus courtes que la lumière.

Alors toutes ces ondes électromagnétiques n'ont rien à voir avec les ondes acoustiques : celles-ci, elles vont à 300 000 kilomètres-seconde, autrement dit : la vitesse de la lumière, alors que les autres (les ondes acoustiques) elles n'allaient qu'à 340 mètres-seconde.

Fred (*la mobylette arrive devant le club de radio-amateurs*). Et voilà, on est arrivé Jamy ! Hé dis-donc : t'as vu les antennes qu'ils ont ici ? (*Fred montre du doigt une antenne fixée au toit*). C'est autre chose que celle de tes petits engins, hein ? (*Fred désigne le talky-walky du début de l'émission*). Avec le matériel qu'ils ont à l'intérieur, ils sont capables de communiquer avec le monde entier, mes potes !

Voix off (*qui désigne un téléviseur sur lequel la carte du monde est représentée*) : Ouah la carte ! Mais avec qui vous parlez monsieur ?

Radio-amateur 1 : je suis en communication avec un autre radio-amateur à Kourou en Guyanne. Ici Foxtrot 6 , KiloWatt Bravo France à Maison-Laffite qui vous écoute ...

Radio-Amateur 2 : appel général, appel général de Foxtrot 6 KBF ...

Voix off : oh, mais qu'est-ce qu'il dit, lui ? J'aimerais bien apprendre à décoder tout ça ! Dis-donc : comment on fait pour devenir radio-amateur ?

Radio-amateur 2 : J'ai passé ma licence de radio-amateur à 13 ans qui me permet de moduler sur certaines fréquences. A 16 ans je passerai une autre licence qui me permettra d'aller encore plus loin et de parler avec le monde entier.

Voix off : avec le monde entier ? Et ça c'est grâce aux ondes électromagnétiques !!!

Fred. Hé Jamy : tu sais ce que j'ai appris ? Les ondes électromagnétiques qu'on utilise pour faire de la radio, elles ne tombent pas du ciel ! Il faut les fabriquer ! Et pour les fabriquer, tu sais ce qu'on utilise ? De l'é-lec-tri-ci-té ! Contact !

Jamy. Evidemment ! Et c'est pas toi qui la découverte, c'est un certain monsieur Hertz au siècle dernier !

Alors qu'a-t-il découvert, monsieur Hertz ? Bien sûr, il n'avait pas de radio, puisque c'est grâce à lui qu'on a inventé la radio ! N'empêche qu'avec son matériel, il s'est aperçu qu'en faisant circuler un courant électrique puis en le coupant, c'est - à - dire en faisant varier le champ électrique, ce que je fais avec cette lime et ce fil (*Jamy déplace la pince crocodile sur la lime*), on créait une réaction à distance : des parasites (*bruit qu'on entend provenant de la radio*). En fait, pour la première fois, monsieur Hertz a mis en évidence qu'une sorte de force partait d'un point (*Jamy désigne la lime*) pour aller à un autre point (*il désigne la radio*) et que cette force, c'était une onde électromagnétique (*Jamy fait un geste en vague de la lime vers le poste de radio*).

Fred (*qui transporte une antenne*). Attention : chaud devant ! Hé, tu sais Jamy, chez nous ça marche exactement pareil : pour fabriquer une onde on envoie un courant électrique qui varie dans une tige de métal, sauf qu'on n'utilise pas une lime mais une véritable antenne, parce que ta lime à toi, elle joue le rôle d'une antenne ! Mais je te rassure tout de suite : il y a plus petit comme modèle ! (*Fred présente une antenne de petite taille*).

Jamy. Et quelle que soit la taille de l'antenne, ce sont toujours des ondes électromagnétiques qui sont émises. Jamais du courant électrique. Regardez (*Jamy présente une bobine*) : lorsqu'on fait circuler un courant dans une bobine (*Jamy branche les 2 fils de la bobine à une batterie*), on crée un champ magnétique (*le noyau plongeur de la bobine se déplace de gauche à droite*) et une réaction (*Jamy désigne la radio*) : un parasite. Si on inverse le sens du courant électrique (*Jamy inverse les fils de branchement de la bobine et le noyau plongeur se déplace dans le sens opposé*) on inverse également le champ magnétique : on le fait varier, et on a une nouvelle réaction (*Jamy désigne la radio*) !

Et bien c'est exactement ce qu'il se passe avec la lime : en interrompant et en rétablissant le courant, en le faisant varier, on fait varier le champ magnétique : on obtient une onde électromagnétique (*Jamy effectue un geste en forme de vague qui part de la lime pour aller vers la radio*). Et bien c'est encore ce qu'il se passe à l'intérieur d'une antenne (*Jamy présente la coupe longitudinale d'une antenne sur laquelle sont présentés des billes qui simulent des électrons*) : on y fait circuler un courant alternatif qui produit une onde électromagnétique. En fait lorsque les électrons montent, la vague monte, lorsque les électrons descendent, la vague descend : l'onde électromagnétique a exactement le même rythme que les électrons : on dit qu'ils ont même "fréquence". La fréquence, c'est le nombre de vagues en 1 seconde, et ça se mesure en Hertz : hommage, bien sûr, à monsieur Hertz !

Fred. Pour le moment on a donc réussi à créer une onde avec une fréquence. C'est bien, mais ça on sait le faire depuis plus d'un siècle. Maintenant, si je veux faire voyager ma voix sur cette onde, c'est un autre problème ! D'ailleurs, lorsqu'on a commencé à utiliser les ondes radio, en 1901, on était incapable de se parler. Alors pour communiquer on utilisait le "Morse", vous savez : ce code de signaux ! Alors on prend un appareil comme celui-ci (*Fred désigne un appareil sur sa table*), ça s'appelle une "pioche" : c'est une sorte d'interrupteur. Lorsque j'appuie, l'onde passe (le courant s'établit dans un circuit électrique), et lorsque je n'appuie pas, l'onde ne passe pas, évidemment ! Et vous allez voir : "S" = Di-Di-Di, "O" = Da-Da-Da, "S" = Di-Di-Di, Da-Da-Da, Di-Di-Di...

Jamy. Di-Di-Di, Da-Da-Da, Di-Di-Di, Di-Di-Di, Da-Da-Da, Di-Di-Di..."S"- "O"- "S" ??? Ma mob ?!

Voix off. T'inquiète pas Jamy : c'était pour rire ! Au siècle dernier la télégraphie existait déjà. Mais les transmissions s'effectuaient par fil sur des milliers de Km, jusqu'au jour où un Italien, monsieur Marconi, inventa la télégraphie sans fil : la "TSF". Il a envoyé son premier message par ondes radio en 1895 (*des bruits de code Morse se font entendre*).

La radio-télégraphie a d'abord été utilisée par les marins. En 1912, les S-O-S radio transmis par le Titanic ont permis de sauver 700 passagers. Très vite les liaisons radio deviennent intercontinentales, mais ce n'est toujours que du Morse.

Le Canadien Fessenden en 1906 a réussi à faire voyager la voix grâce aux ondes radio. La radiotélégraphie est alors devenue la radiophonie !

Fred (*devant un micro*). Appel à tous, appel à tous, est-ce que quelqu'un me reçoit ? Hé oui, pour réussir à envoyer la voix sur les ondes, l'outil indispensable était le micro. Parce qu'avec un micro on arrive à transformer les vibrations de la voix en signaux électriques, et avec des signaux électriques et une antenne, on l'a vu, on arrive à fabriquer une onde électromagnétique ! Finalement, c'est pas plus dur que ça !

A partir d'ici Fred et Jamy expliquent le fonctionnement du micro. Les antennes n'ont pas une longueur de 60 km et comme la voix a une fréquence basse « comprise entre 20 Hz et 15000 Hz » il devient nécessaire de "moduler" avec une "porteuse" pour émettre la voix puis de "démoduler" la porteuse pour recevoir la voix. On parle alors des fréquences porteuses autorisées, des tuners, des ondes courtes OC et des grandes ondes GO.

Questions :**1. Où trouve-t-on des ondes électromagnétiques ?**

« On en trouve partout : sur terre mais aussi dans l'espace ». *Cette réponse de Jamy sera modulée par la suite.*

2. Qu'est-ce qui distingue une onde acoustique d'une onde électromagnétique ?

« l'onde acoustique fait vibrer de l'air, qui fait vibrer les tympans [...] Ces ondes là, elles ne vont pas très vite : elles vont à 340 mètres-seconde. Ce qui n'est pas du tout le cas des ondes électromagnétiques ! [...] Alors toutes ces ondes électromagnétiques n'ont rien à voir avec les ondes acoustiques : celles-ci, elles vont à 300 000 kilomètres-seconde, autrement dit : la vitesse de la lumière, alors que les autres (les ondes acoustiques) elles n'allaient qu'à 340 mètres-seconde.»

Attention : la distinction porte ici uniquement sur la vitesse de propagation de l'onde, l'expérience de vibration met seulement en évidence une propriété de l'onde acoustique...qui pourrait, pourquoi pas, être identique pour une onde électromagnétique ! L'émission distingue les ondes électromagnétiques des ondes acoustiques par leur vitesse de propagations seulement.

En fait la distinction fondamentale n'est pas la vitesse mais son mode de propagation (lié à la nature de l'onde) : le son est une onde mécanique qui a besoin d'un milieu pour se propager, contrairement à l'onde électromagnétique qui peut se propager dans le vide. Ici l'émission peut faire croire aux étudiants que les ondes diffèrent par leur vitesse de propagation seulement.

3. Que pensez-vous de l'unité de la vitesse de l'onde acoustique ?

« Ces ondes là, elles ne vont pas très vite : elles vont à 340 mètres-seconde »

L'unité [m.s] est fautive et laisse supposer qu'une vitesse est une distance [m] multipliée par une durée [s] alors qu'il s'agit d'une distance [m] divisée par une durée [s], soit des mètres par seconde [m/s]. Le langage courant de la vulgarisation peut induire les étudiants en erreur. Ainsi les étudiant ne savent plus, par exemple, retrouver la relation qui lie l'énergie à la puissance : l'énergie [kW.h] est une puissance [kW] multipliée par une durée d'utilisation [h], soit des [kW.h] et non une puissance divisée par des heures [kW/h] (erreur fréquemment faite).

4. Que pensez-vous de l'affirmation de Fred : « j'ai compris ce que c'est les ondes électromagnétiques : ça permet de se parler quand on est loin, sans avoir besoin de se signer ».

Ici Fred confond "nature" et "application" de l'onde électromagnétique. Il n'explique pas sa nature (« ce que c'est ...»). Comme les étudiants, il a du mal à faire la distinction entre la simple observation (ou application) d'un phénomène et son explication (dur en T.P. de se battre contre cette idée).

5. Qu'est-ce que le "spectre" d'une onde électromagnétique ?

La réponse n'est pas évidente dans le discours de Jamy. Ce serait l'ensemble des différentes "longueurs" plus ou moins courtes des ondes électromagnétiques (il expliquera en fin d'émission qu'il s'agit de "longueurs d'ondes").

Aucun ordre de grandeur de longueur n'est donné (il n'en donnera aucun dans toute l'émission), alors que les ordres de grandeurs sont fondamentaux en physique car ils permettent de négliger certains phénomènes devant d'autres, et donc de simplifier l'étude d'un phénomène. Il parle comme Aristote : « c'est plus petit, c'est plus grand »

6. Jamy compare les vitesses des ondes acoustiques et électromagnétiques : qu'est-ce qui se déplace dans une onde ?

Ne cherchez pas : il n'en a jamais parlé ! il s'agit en fait de la "vitesse de groupe" d'une onde, c'est - à - dire la vitesse de propagation de l'énergie. Intuitivement l'étudiant va répondre "la vitesse de déplacement d'une crête" de la vague : il s'agit là seulement de la "vitesse de phase", qui peut être infinie (en particulier >> 300 000 km/s).

L'émission parle de vitesse de l'onde comme si c'était quelque chose d'évident, ce qui laisse place à toutes les idées fausses possibles. Les étudiant en électronique, qui doivent calculer un vitesse de propagation d'onde, confondent ainsi souvent "vitesse de groupe" et "vitesse de phase". Un des objectif du cours de physique est de ne pas laisser place à l'ambiguïté, ce qui passe par une définition rigoureuse de tous les termes employés dans un cours. C'est pourquoi il existe de nombreuses relations dites "de définition".

7. Lorsque Fred appuie sur "la pioche" le courant passe et une onde est émise. Lorsqu'il relâche la pioche, le courant ne passe plus et l'onde n'est pas émise : est-ce que ces explications qu'il donne sont compatibles avec les explications précédentes de Jamy ?

Et non : Jamy nous dit qu'il faut faire varier un courant pour émettre une onde : une fois le courant établi (donc constant) il n'y a alors plus d'émission d'ondes ! En fait, Fred confond la transmission télégraphique avec fil (où l'on envoie du courant) et la télégraphie sans fil (où l'on envoie une onde électromagnétique).

8. Fred et Jamy parlent, tout au long de l'émission, des ondes. Qu'est-ce qu'une onde ?

Ne cherchez toujours pas : ils n'en ont jamais vraiment parlé (« sorte de force »), ils n'ont parlé que de ses propriétés et de ses applications !!!

En fait la notion "d'ondes" est relativement complexe. Une onde se définit à la fois pour un milieu et à une date donnée. Une onde est la variation, éphémère mais répétée d'un endroit à l'autre, d'une propriété physique d'un milieu. Par exemple il existe une onde de pression au point M_1 (position x_1 , date t_1) s'il y a variation de pression et si cette variation de pression apparaît également plus tard (date t_2) au point M_2 situé à côté de M_1 . Les dates d'apparition t_1 et t_2 des perturbations aux points M_1 et M_2 distants de d permettent de mesurer la vitesse de propagation de l'énergie de l'onde (sa "vitesse") : $C = d/(t_2 - t_1)$. On parle plus souvent de célérité (et non de vitesse) car il n'y a pas de déplacement de matière.

Exemple : onde tellurique (= mécanique) des tremblements de terre qui consiste en une variation de pression qui se propage dans la terre et dont les effets sont visibles par le craquement de la terre au cours du temps.

9. Qu'est-ce qu'une onde acoustique ?

L'onde acoustique est une variation de pression qui se propage de point en point : elle fut appliquée sur les billes situées sur une membrane, ces variations de pressions déplacent les billes. L'onde acoustique est finalement une onde mécanique.

10. Qu'est-ce qu'une onde électromagnétique ?

L'onde électromagnétique est une variation de champ magnétique qui se propage de point en point. On démontre, en physique, qu'un champ magnétique variable existe en même temps qu'un champ électrique variable, c'est pourquoi on parle plus généralement d'onde "électromagnétique".

La notion de champ magnétique n'a jamais été abordée lors de l'émission, c'est pourquoi la définition de l'onde électromagnétique, pourtant sujet principale de l'émission, n'a jamais été faite !

11. Y a-t-il des endroits où il n'y a pas d'ondes électromagnétiques ?

La question se pose car Jamy dit qu'on en « trouve partout... ». En fait il suffit de placer une radio à l'intérieur d'une boîte en fer pour s'apercevoir qu'elle ne reçoit plus rien. De même dans un garage, la radio de la voiture ne capte plus grand chose : il y a "blindage électromagnétique". Ces procédés seront utilisés en électrotechnique pour éviter, entre autres, que les appareils de mesure ne soient perturbés.

Conclusion.

Il est assez remarquable que la nature de l'onde électromagnétique, sujet principal de l'émission, n'a jamais été abordée... et on s'en est même pas aperçu ! En fait, une émission de vulgarisation n'a pas pour objectif la compréhension des phénomènes qu'elle expose, elle présente plutôt les applications d'un phénomène observé.

La vulgarisation scientifique fonctionne très souvent sur le mode Aristotien : on observe, on compare, on explique par analogie mais on ne quantifie pas, on ne prévoit pas (pourquoi fallait-il une antenne de 60 km pour émettre la voix sans passer par la modulation ? l'émission ne l'explique pas, ce n'est pas sa vocation).

Parfois même on oublie la pensée d'Aristote : on fait croire qu'une observation est une explication, ce qui est anti-scientifique. Il y a même des erreurs : la voix n'a pas une fréquence de 20 Hz à 15 kHz comme il est dit dans l'émission ; il y a confusion entre les *sons* (que peuvent entendre l'oreille humaine) et la *voix humaine* qui émet seulement de quelques 100^{aines} de Hz à quelques kHz. D'autre part elle peut induire en erreur (les ondes se distinguent par leur vitesse), l'unité des vitesses n'est pas des m.s mais des m/s (cette distinction est importante pour retrouver des relations oubliées). Hertz n'a pas découvert l'électricité : c'est Thalès il y a 2600 ans ! Ensuite c'est Volta (\approx 1800) qui a créé la première pile électrique, ce qui a autorisé les expériences électriques. Ampère a inventé le principe du télégraphe avec fil et Hertz a finalement inventé le 1^{er} télégraphe sans fil.

La Physique du lycée doit aller plus loin que la physique Aristotienne : outre observer et prévoir, elle a pour objectif de donner des ordres de grandeur et de quantifier les grandeurs utilisées : une onde électromagnétique se mesure avec un champ-mètre sensible à un vecteur champ électrique [V/m] ou à un vecteur champ magnétique [T]. On peut ainsi comparer les ondes, non pas grâce à la vitesse de propagation de leur énergie, mais grâce à leur amplitude et à leur fréquence. Il faut faire une Physique galiléenne.

La vulgarisation scientifique a pour objectif de **montrer**, et renonce parfois à expliquer... la Physique a pour objectif d'**expliquer** et renonce parfois à montrer.

La physique peut être amenée à manipuler des grandeurs qui échappent au "palpable" (qu'est-ce qu'un champ magnétique ? qu'est-ce qu'un électron ? un photon ?). Il ne faut donc pas chercher à trouver un cours de vulgarisation scientifique lorsqu'on entre dans la salle de Physique, il ne faut pas se tromper d'objectif ! Il faut alors faire un effort au niveau de l'abstraction, il faut pouvoir raisonner sur des données abstraites.

En cours : on ne cherche pas forcément à dire "à quoi ça sert ?" : c'est le rôle du vulgarisateur (ou de l'ingénieur) mais pas du physicien. Pierre et Marie Curie ont découvert la radioactivité qui ne servait à rien au début du siècle !!! On ne montre pas uniquement des courbes pour les utiliser : notre rôle est de montrer comment on construit ces courbes. Evidemment, c'est une caricature et le professeur commence souvent par donner une application directe de ce qui est étudié, mais ce n'est pas son objectif premier (même si c'est important). **Les étudiants doivent comprendre que la Physique c'est chercher à comprendre ce qu'il se passe, même si ça n'a pas forcément d'application directe...et ça tient rarement en une explication de 10 min seulement !!!**

En T.P. : les montages marchent rarement du 1^{er} coup. Il faut alors se débrouiller tout seul pour chercher la source d'erreur, pour comprendre l'origine de la panne, ou remettre en cause son interprétation du phénomène (les mesures doivent y aider). Le professeur n'est pas là pour donner la réponse à l'étudiant : il ne la connaît pas forcément. Il est là pour diriger l'étudiant dans ses réflexions, il est là pour l'aider à se poser les "bonnes questions". **L'étudiant ne doit pas se contenter d'observer : il n'est pas là pour faire de la vulgarisation. Il doit aller encore plus loin que la vulgarisation : il doit chercher à comprendre un phénomène, à le quantifier et à le prévoir avec précision.**

En exposé : on peut reprendre les idées de l'émission : nombreuses illustrations, vocabulaire pas trop compliqué. Il est recommandé de bouger, de faire des exclamations qui rendent l'exposé vivant, de faire des petites expériences qui illustrent le propos. Attention : il faut cependant expliquer ce que l'on montre, ne pas se contenter de donner des applications.