

DE 6 À 11 ANS - POUR L'ENSEIGNANT

Les avions qui parlent : un cours de sciences pour le primaire en quatre leçons

Voici le cours tel que l'enseignant doit le connaître : la science expliquée un cran plus loin que ce que la classe entendra, l'ordre dans lequel les idées doivent venir, quoi dire à six ans et quoi ajouter à dix, les démonstrations qui portent chaque idée et pourquoi elles fonctionnent, et les idées fausses que les enfants apportent avec eux. Quatre leçons d'environ 50 minutes, généralement réparties sur deux semaines.

Apprendre - <https://radar.dataero.eu/fr/learning/ages-6-11> 2026-10-22

SOMMAIRE

Avant de commencer : ce que le cours enseigne, et pourquoi il vaut quatre leçons

LEÇON 1 Le ciel encombré et l'avion qui parle

LEÇON 2 La lumière invisible : ce qui porte le message

LEÇON 3 Les oreilles de métal et la Terre ronde : comment le message est attrapé, et de quelle distance

LEÇON 4 La carte : comment beaucoup d'oreilles font une seule image

Évaluation : savent-ils raconter l'histoire ?

ET ENSUITE Un récepteur sur le toit de l'école

Avant de commencer : ce que le cours enseigne, et pourquoi il vaut quatre leçons

Chaque avion de ligne dans le ciel européen diffuse, environ deux fois par seconde, un court message radio donnant son identité, sa position, son altitude et sa vitesse. Le système s'appelle l'ADS-B, et depuis 2020 il est obligatoire pour la plupart des avions. Les contrôleurs aériens s'y fient ; les cartes de vols en direct de n'importe quel téléphone aussi. Pour une classe de primaire, c'est un sujet presque parfait, parce qu'il relie des choses dont les enfants s'étonnent déjà, les avions qu'ils voient et entendent, à la physique que le programme vous demande d'enseigner : que la lumière et le son sont des choses de nature différente, que la lumière va en ligne droite, que les ondes ont une longueur, que la Terre est une sphère et que cela a des conséquences visibles, que l'information peut être codée et envoyée, et qu'une carte se construit à partir de mesures. Le sujet est réel et actuel ; rien n'y est un modèle jouet.

Le cours suit la logique du système lui-même, parce que cette logique est aussi le bon ordre d'enseignement. La classe doit d'abord saisir que le ciel est plein d'un trafic rapide et invisible que quelqu'un doit suivre. Puis que chaque avion sait où il est et le dit, encore et encore, dans un message à quatre parties. Puis que le message voyage sous forme d'onde radio, et qu'une onde radio est une forme de lumière. Puis qu'une antenne l'attrape, et que la Terre ronde limite la distance. Enfin que beaucoup

d'antennes ensemble construisent la carte. Chaque leçon ajoute un maillon à cette chaîne, et c'est la chaîne que vous évaluez à la fin : un enfant peut-il raconter l'histoire de l'avion à la carte, dans l'ordre, avec les bonnes raisons ?

Vous n'avez besoin d'aucune formation en aviation ni en radio. Chaque leçon ci-dessous s'ouvre sur la science telle que vous devez la comprendre, soit un cran plus loin que ce que la classe ira, pour que vous puissiez répondre à la question derrière la question. Si vous voulez le récit complet pour adulte, le cours de référence de la page d'accueil compte douze chapitres ; ceux qui comptent le plus pour cette tranche d'âge sont les chapitres 3, 6 et 7. Deux choses doivent rester clairement à l'esprit tout du long, parce que ce sont les deux endroits où les adultes enseignent le plus souvent quelque chose de faux. La radio n'est pas du son ; c'est de la lumière d'une couleur que nos yeux ne voient pas, et cette différence est le cœur de la leçon 2. Et l'avion n'est ni « vu par les satellites » ni « trouvé par le radar » dans ce système : il calcule sa propre position en écoutant les satellites, puis l'annonce. Personne ne trouve l'avion. L'avion le dit.

Sur la différenciation : le cours est écrit pour toute la tranche de 6 à 11 ans, et le texte de chaque leçon indique où les plus jeunes et les plus âgés se séparent. En gros, une classe de six à huit ans doit recevoir l'histoire, le jeu de rôle, la corde et la carte, et doit en sortir capable de dire « les avions envoient un message sur une onde, une antenne l'attrape, et ça fait la carte ». Une classe de neuf à onze ans peut prendre les chiffres (deux fois par seconde, 300 000 kilomètres par seconde, une onde de 27 centimètres, un horizon de 400 kilomètres), l'idée que le message est fait de réponses par oui ou par non, et le raisonnement sur l'horizon, et doit en sortir capable d'expliquer pourquoi chaque étape est nécessaire.

LEÇON 1

Le ciel encombré et l'avion qui parle

La science dont vous avez besoin

Un avion de ligne en croisière est à environ dix kilomètres d'altitude et avance à quelque 900 km/h, soit 250 mètres par seconde. À cette hauteur, il est difficile à voir et impossible à évaluer : un enfant qui repère un reflet ou une traînée n'a aucun moyen de dire à quelle distance il est, à quelle hauteur, ni où il va, et un pilote qui regarde un autre avion pas davantage. Au-dessus d'une ville belge, il y a presque toujours plusieurs avions dans le ciel à la fois, la plupart en transit à haute altitude entre d'autres pays. Pour les tenir à distance, le contrôle aérien a besoin de la position, de la hauteur et de la direction de chaque avion, en continu. Les règles de séparation sont simples : dans l'espace aérien que gèrent les contrôleurs, les avions doivent être à au moins 300 mètres l'un de l'autre verticalement, ou à plusieurs kilomètres horizontalement.

Pendant la majeure partie du siècle dernier, le moyen de savoir où étaient les avions était le radar : une grande antenne tournante qui envoie une impulsion radio et écoute le faible écho. Le radar existe toujours, mais le système dont traite ce cours retourne le problème. Chaque avion moderne embarque un récepteur de navigation par satellite, la même technologie que les cartes d'une voiture ou d'un téléphone, et connaît donc toujours sa propre position à quelques mètres près. Il embarque aussi une petite radio appelée transpondeur. L'ADS-B ne fait que relier les deux : environ deux fois par seconde, le transpondeur envoie un court message contenant l'identité de l'avion, sa position donnée par les

satellites, sa hauteur, sa vitesse et sa direction. Le message part automatiquement, sans que personne ne le demande et sans destinataire particulier : c'est une diffusion, comme une station de radio, et quiconque possède le bon récepteur peut l'entendre. C'est ce que signifient les lettres : Automatic (personne ne le déclenche), Dependent (il dépend des propres équipements de l'avion pour être juste), Surveillance (son but est de savoir où sont les avions), Broadcast (envoyé à tout le monde).

Le message lui-même est numérique. Un transpondeur ne peut pas envoyer directement des lettres ou des nombres ; il ne peut qu'envoyer une impulsion ou pas d'impulsion, et le message est donc une suite de 112 réponses par oui ou par non, d'un millionième de seconde chacune, dont tout le monde a convenu du sens à l'avance. Le premier groupe, long de 24 réponses, est le code d'identité permanent de l'avion, attribué lors de son immatriculation, un peu comme une plaque qui ne change jamais. Le reste porte la position, la hauteur, la vitesse ou l'indicatif du vol, selon le type de message. Les 24 dernières réponses sont une vérification : celui qui écoute fait un calcul fixe sur le message et compare le résultat avec la vérification, et s'ils ne concordent pas, quelque chose s'est brouillé en route et le message est jeté. C'est important, car au-dessus d'un aéroport fréquenté, beaucoup d'avions parlent en même temps et leurs messages se chevauchent parfois. La hauteur dans le message n'est pas mesurée par satellite mais à partir de la pression de l'air à l'extérieur de l'avion, qui diminue régulièrement quand on monte ; c'est pour la même raison que vos oreilles se bouchent dans un ascenseur ou un tunnel de montagne, et les plus grands apprécient le rapprochement.

Comment l'enseigner

Commencez par le ciel, pas par le système. Demandez qui a vu un avion cette semaine, où, à quelle hauteur il le pense, et comment un pilote peut bien savoir où il est sans routes. Laissez courir les hypothèses ; « le pilote regarde par la fenêtre » et « il y a une carte » viendront toutes deux, et toutes deux sont à moitié vraies. Puis projetez la carte en direct, zoomée sur la ville, et comptez les avions ensemble. L'écart entre ce que la classe attendait et ce que montre la carte est l'accroche de tout le cours, et il vaut la peine de s'y attarder : chacun de ces symboles est un avion en train de parler en ce moment même.

Racontez maintenant l'histoire centrale d'un seul souffle, parce que les enfants retiennent mieux une histoire qu'une définition : l'avion sait toujours où il est, parce qu'il écoute des satellites très haut au-dessus de lui ; et deux fois par seconde il crie, à personne en particulier, « voilà qui je suis, voilà où je suis, voilà ma hauteur, voilà ma vitesse ». Personne ne lui a demandé. Il ne s'arrête jamais. Et tous ceux qui ont la bonne sorte d'oreille peuvent l'entendre. Avec des enfants de six à huit ans, cette phrase, répétée puis jouée, est la leçon. Avec des enfants de neuf à onze ans, allez un pas plus loin et expliquez que le cri est fait de réponses par oui ou par non, que 24 d'entre elles épellent le nom de l'avion, et laissez-les calculer (avec de l'aide) que 24 réponses par oui ou par non donnent environ 17 millions de noms différents, bien plus qu'il n'en faut pour tous les avions jamais construits. Le point à faire passer est que l'avion n'est pas « surveillé » : il le dit. Dites-le dans les deux sens, « personne ne trouve l'avion, l'avion s'annonce lui-même », parce que l'idée contraire est profondément enracinée et refera surface à la leçon 4.

La démonstration est le jeu de la tour de contrôle, et c'est la demi-heure la plus précieuse de tout le cours. Collez une grille au sol, cinq cases sur cinq, avec des lettres sur un côté et des chiffres sur l'autre. La moitié de la classe est les avions ; chacun a une carte avec un indicatif, une hauteur et une vitesse. Ils

traversent lentement la grille et, tous les quelques pas, chacun annonce son message à voix haute : « DTA12, case C3, dix mille mètres, rapide ». L'autre moitié est la tour de contrôle, chacun avec une copie papier de la grille, et ils doivent dessiner chaque avion là où il dit être. Puis on échange. Puis, et c'est la partie qui enseigne, on recommence en n'autorisant les avions à parler qu'une fois par minute. Les dessins des tours s'effondrent ; les avions ont changé de case avant que quiconque le sache. Demandez à la classe pourquoi les vrais avions parlent deux fois par seconde, et elle vous le dira.

Avec le groupe des plus grands, ajoutez une seconde variante : deux avions annoncent exactement au même moment, et la tour doit noter ce qu'elle a entendu. Elle aura entendu un brouillamini. Expliquez que c'est pour cela que le vrai message a une vérification à la fin : un message brouillé échoue à la vérification et est rejeté, et l'avion se répète de toute façon une demi-seconde plus tard. Les enfants qui ont été la tour comprennent immédiatement pourquoi la répétition et la vérification sont toutes deux nécessaires.

Ce que les enfants comprennent de travers, et quoi dire

L'idée fausse la plus courante est que les satellites regardent vers le bas et voient les avions, ou que le radar les trouve. L'image correcte est que l'avion écoute les satellites pour se trouver lui-même, puis parle. Une façon utile de le dire : le satellite est comme une cloche d'église qui sonne l'heure ; elle dit l'heure à tout le monde, mais elle n'a aucune idée de qui écoute. La deuxième idée fausse est que le pilote envoie le message. Personne ne l'envoie ; le transpondeur l'envoie tout seul dès que l'avion commence à bouger. La troisième est que le message va « à l'aéroport ». Il va à tout le monde : les autres avions écoutent aussi et s'en servent pour s'éviter, et n'importe quelle antenne sur n'importe quel toit également, ce qui est là où la leçon 4 se terminera.

LEÇON 2

La lumière invisible : ce qui porte le message

La science dont vous avez besoin

Le message quitte l'avion sous forme d'onde radio, et l'unique idée que cette leçon doit établir, parce que toute la physique du secondaire se construit dessus, est qu'une onde radio et un faisceau de lumière sont la même sorte de chose. Tous deux sont des ondes électromagnétiques : des ondulations de force électrique et magnétique qui traversent l'espace, sans besoin d'air ni de matière pour les porter, à la vitesse de la lumière, soit très près de 300 000 kilomètres par seconde. Ce qui fait qu'une telle ondulation est de la lumière rouge, une autre bleue, une autre une onde radio, c'est uniquement la rapidité de son oscillation, sa fréquence. Nos yeux réagissent à une étroite bande de fréquences, que nous percevons comme les couleurs du rouge au violet. La radio oscille bien plus lentement, et les yeux ne la voient donc pas, exactement comme les oreilles n'entendent pas un sifflet à chien. Le message de l'avion est envoyé à une fréquence de 1 090 millions d'oscillations par seconde, ce qui est très rapide à l'échelle humaine et très lent à celle de la lumière : la lumière verte oscille environ un demi-million de fois plus vite.

Comme toute onde électromagnétique se propage à la même vitesse, la fréquence fixe la longueur d'onde, la distance d'une crête à la suivante : en une seconde, l'onde parcourt 300 000 km et accomplit f oscillations, donc chaque oscillation occupe 300 000 km divisés par f . Pour l'onde de l'avion, cela donne

27,5 centimètres, à peu près la longueur d'une règle d'écolier. Pour la lumière verte, c'est environ un demi-millième de millimètre. Pour une station de radio FM, c'est trois mètres. Ce nombre, 27,5 cm, est celui que la classe retrouvera à la leçon 3, parce qu'il décide de la taille de l'antenne.

La confusion que vous devez empêcher est celle entre la radio et le son, et il vaut la peine de comprendre pourquoi elle est si courante. Une « radio », dans le langage courant, est une boîte qui fait du son, si bien que les enfants (et beaucoup d'adultes) supposent que les ondes radio sont une sorte de son qui voyage dans l'air. Les deux n'ont aucun rapport. Le son est une onde de pression : des molécules d'air qui bousculent leurs voisines, qui bousculent les leurs. Il a besoin d'un milieu matériel pour se propager, il avance à environ 340 mètres par seconde, et dans le vide il n'y a pas de son. La radio n'a besoin de rien et traverse l'espace vide entre un satellite et l'avion ; elle voyage près d'un million de fois plus vite que le son. Si un avion à 20 km fait un bruit et envoie un message au même instant, le message vous parvient en environ 67 millièmes de seconde et le bruit environ une minute plus tard. Les enfants connaissent ce retard par le tonnerre et en regardant de loin un ballon de football qu'on frappe, et cette connaissance est votre meilleure alliée.

Comment l'enseigner

Partez de ce qu'ils savent : des choses qui existent mais que nous ne pouvons ni voir ni entendre. Les sifflets à chien, la vue qu'a l'abeille d'une fleur, la télécommande qui « envoie quelque chose » à la télévision, le Wi-Fi du bâtiment. Puis énoncez clairement l'affirmation : le message de l'avion voyage sur une sorte de lumière que nos yeux ne voient pas, et une lampe de poche et la radio de l'avion sont cousines. Allumez une lampe de poche et demandez où est sa lumière : partout dans la pièce, d'un coup, sans aucun retard que quiconque puisse remarquer. Puis la phrase clé pour le groupe des plus jeunes : la radio est une couleur que nos yeux ne voient pas, et elle traverse cette pièce en ce moment même, venant de chaque avion à moins de 400 kilomètres, et nous ne sentons rien. Beaucoup d'enfants trouvent cela légèrement grisant, et c'est vrai.

La démonstration de la corde donne un corps à l'idée d'onde. Par deux, un enfant tient une corde immobile et l'autre secoue l'extrémité libre. Secouer lentement produit quelques longues vagues paresseuses le long de la corde ; secouer vite en produit beaucoup de courtes. Faites-leur mesurer la distance entre les crêtes avec une règle d'un mètre dans chaque cas et remarquer la règle : plus on secoue vite, plus les vagues sont courtes. Ce n'est pas une vague analogie mais la relation réelle, parce que la vitesse de l'onde le long de la corde est fixée par la corde, et donc la fréquence et la longueur d'onde se compensent exactement comme pour la lumière. Dites à la classe que l'onde de l'avion est de la sorte longue et paresseuse comparée à la lumière, et que de crête à crête elle est longue comme une règle. Posez la règle par terre à côté de la vague de la corde et laissez-les voir. Avec le groupe des plus grands, écrivez la règle : $\text{vitesse} = \text{fréquence} \times \text{longueur d'onde}$, et laissez-les la vérifier sur la corde en comptant les secousses par seconde et en mesurant de crête à crête. Puis donnez-leur les chiffres de l'avion et laissez-les voir que 300 000 km par seconde divisés par 1 090 millions par seconde font 27,5 cm ; ils ne feront pas la division seuls, mais ils peuvent la suivre au tableau, et cela fait du nombre le leur.

Pour séparer la radio du son, organisez la course du messenger le plus rapide. Une file d'enfants fait passer un mot chuchoté d'un bout de la salle à l'autre ; chronométrez. Puis un éclair de lampe de poche depuis un bout, et l'autre bout lève la main ; aucun retard mesurable. Discutez pourquoi : le son doit être transmis de chaque morceau d'air au suivant, comme le chuchotement d'enfant en enfant, et cela prend

du temps ; la lumière n'a besoin de personne pour la transmettre. Puis, et c'est le moment d'être explicite, dites que le message radio de l'avion est comme la lampe, pas comme le chuchotement, et que le bruit de moteur d'un avion que vous entendez est comme le chuchotement, qui arrive longtemps après que l'avion est passé. On peut donner les chiffres au groupe des plus grands, 340 mètres par seconde contre 300 000 kilomètres par seconde, et leur demander combien de fois la lumière est plus rapide ; la réponse, près d'un million, est satisfaisante.

Ce que les enfants comprennent de travers, et quoi dire

La confusion avec le son a été traitée ci-dessus et devra être répétée aux leçons 3 et 4 ; attendez-vous à ce que « l'antenne entend l'avion » glisse de nouveau vers « l'antenne entend le bruit ». Une deuxième confusion est que les ondes radio sont « dans l'air » comme le sont les odeurs, en flottant ; elles ne sont pas du tout portées par l'air et voyageraient aussi bien dans l'espace vide. Une troisième, chez les plus grands, est de penser que secouer plus vite fait avancer l'onde plus vite ; non, cela rend les vagues plus courtes, et la corde le montre si vous les laissez suivre une seule crête du regard. Enfin, si un enfant demande pourquoi nous ne voyons pas la radio puisque c'est de la lumière, la réponse honnête est que nos yeux sont faits pour les couleurs que le soleil donne le plus et qui traversent le mieux l'air ; la radio était là depuis toujours, et nous ne l'avons remarquée que lorsque nous lui avons construit des yeux de métal, ce qui est la leçon 3.

LEÇON 3

Les oreilles de métal et la Terre ronde : comment le message est attrapé, et de quelle distance

La science dont vous avez besoin

Une onde radio qui passe sur un morceau de métal pousse les électrons du métal d'avant en arrière, au rythme de son oscillation. Ce minuscule courant alternatif, c'est « l'écoute » ; un récepteur relié au métal l'amplifie et y lit les impulsions. La poussée est la plus forte lorsque le morceau de métal a la bonne longueur pour l'onde : une tige d'un quart de longueur d'onde, dressée sur une surface métallique plane, réagit à l'onde comme une balançoire réagit à une poussée au rythme de son propre balancement. Pour l'onde de 27,5 cm de l'avion, un quart fait 6,9 cm, et c'est pourquoi la vraie antenne ADS-B, sur l'avion comme au sol, est une courte tige de quelques centimètres seulement. C'est une oreille accordée. Un fil d'une longueur tout autre capte encore quelque chose, mais bien moins, et on peut dire à la classe en toute vérité que le modèle qu'elle construira a la bonne taille pour la vraie chose.

De quelle distance l'oreille peut-elle entendre ? Deux choses la limitent. Le signal faiblit avec la distance, parce que l'émetteur de l'avion répartit son énergie dans toutes les directions et que la fraction qui atteint une petite antenne diminue à mesure que la distance grandit : deux fois plus loin, quatre fois moins. Mais avant que la faiblesse ne devienne le problème, c'est la géométrie qui l'est. Comme la radio est de la lumière, elle va en ligne droite, et comme la Terre est une boule, une ligne droite partant d'une antenne sur un toit rencontre vite le sol. Un avion ne peut être entendu que tant qu'il existe une ligne droite dégagée entre lui et l'antenne. Plus l'avion est haut, plus cette ligne peut aller loin avant que la Terre ne se mette en travers, et plus l'antenne est haute, plus loin encore. L'arithmétique (la distance à l'horizon en kilomètres vaut environ quatre fois la racine carrée de la hauteur en mètres) est pour le cours du secondaire ; pour le vôtre, le résultat suffit : un avion à dix kilomètres d'altitude s'entend depuis

un toit à plus de 400 km, plus loin que Bruxelles-Paris aller-retour, alors qu'un avion qui vient de décoller à 50 km peut être entièrement caché derrière la courbe de la Terre. C'est pourquoi les antennes sont sur les toits, les mâts et les collines, et pourquoi la même antenne entend les avions hauts de très loin et les avions bas seulement quand ils sont proches.

Comment l'enseigner

Ouvrez sur la question que la leçon 2 a laissée en suspens : si la radio est une lumière que nous ne voyons pas, qu'est-ce qui la voit ? La réponse est une oreille de métal, une antenne, et la première chose à faire est d'en trouver. La box Wi-Fi a des tiges ou les cache à l'intérieur ; la voiture dehors a un aileron sur le toit ; chaque téléphone en a une cachée le long de sa tranche ; le toit de l'école en a peut-être plusieurs. Envoyez la classe, ou allez-y vous-même avec une photo, et dressez une liste. Demandez ce qu'elles ont en commun : elles sont en métal, elles ont une forme et une taille particulières, et elles sont très souvent en hauteur. Ces deux observations sont la leçon, et vous pouvez promettre d'expliquer chacune.

Pour la taille, construisez l'antenne modèle. Chaque enfant découpe une bande de carton de 7 cm de long sur environ un centimètre de large, l'enveloppe de papier d'aluminium, et la dresse au milieu d'un carré de carton lui aussi couvert d'aluminium. Soyez honnête sur ce que c'est : c'est la bonne forme et la bonne taille pour l'onde de l'avion, et un vrai récepteur utilise exactement cette forme, mais seule elle ne peut rien décoder, parce qu'attraper l'onde n'est que la première étape et que la lecture des impulsions demande une radio et un ordinateur (que le cours du secondaire construit). Expliquez ensuite la taille avec la balançoire : une balançoire monte le plus haut quand on la pousse au rythme de son propre va-et-vient, et la tige de métal « se balance » le mieux, électriquement, quand elle mesure un quart de l'onde. Posez une règle de 27,5 cm à côté de la tige de 7 cm et montrez que la tige en fait le quart. Le groupe des plus grands peut mesurer et vérifier. Le carré d'aluminium en dessous est le miroir qui complète l'oreille, et on peut très bien le dire et s'en tenir là.

Pour la hauteur, sortez, et emportez la question avec vous : pourquoi les antennes sont-elles en hauteur ? Placez un enfant à un bout de la cour, accroupi, puis debout, puis sur un banc, et demandez ce qu'il voit à l'autre bout à chaque fois ; quelque chose de caché derrière un muret ou une voiture garée apparaît à mesure qu'il monte. Faites ensuite le saut vers la Terre : le sol lui-même est courbe, comme le sommet d'une boule immense, et tout ce qui est assez loin est caché derrière cette courbe, comme la coque d'un navire passé derrière l'horizon alors que son mât se voit encore. Une antenne sur un toit est debout sur un banc. Un avion en altitude est un navire au très grand mât. Dessinez-le au tableau : un cercle avec un bâton dessus et une ligne droite qui effleure le cercle ; tout ce qui est au-dessus de la ligne s'entend, tout ce qui est en dessous est derrière la Terre. On peut alors donner aux neuf à onze ans les vrais chiffres et leur demander de les comparer à des distances qu'ils connaissent : 400 km, c'est plus loin que Bruxelles-Paris aller-retour ; 50 km, c'est à peu près la largeur de la province.

S'il reste du temps, une petite démonstration de l'affaiblissement avec la distance mérite sa place : une lampe de poche au fond d'une salle sombre éclaire faiblement une feuille de papier ; rapprochée à la moitié de la distance, elle éclaire la même feuille nettement plus de deux fois plus fort, parce que le faisceau s'est étalé sur une surface plus petite. On peut donner aux plus grands la règle, moitié de la distance veut dire quatre fois la luminosité, et le lien : la radio de l'avion s'étale de la même façon, et c'est pourquoi il faut un récepteur sensible pour les avions lointains.

Ce que les enfants comprennent de travers, et quoi dire

Les enfants pensent souvent qu'une antenne plus grande doit être meilleure, comme le serait une plus grande oreille. Pour cette onde, non : c'est la bonne taille qui compte, et la bonne taille est petite. Ils pensent aussi que les antennes sont en hauteur « pour être plus près des avions » ; la distance vers le haut est dérisoire comparée à la distance horizontale, et la vraie raison est la courbure de la Terre, qui est une réponse plus intéressante. Enfin, la confusion avec le son revient ici sous la forme « l'antenne entend le bruit de l'avion ». Relevez-la à chaque fois : l'antenne attrape la lumière invisible, pas le son, et elle l'attraperait tout aussi bien d'un avion qui ne ferait aucun bruit.

LEÇON 4

La carte : comment beaucoup d'oreilles font une seule image

La science dont vous avez besoin

Une seule antenne, avec son récepteur, décode les messages qu'elle peut entendre et connaît donc la position, la hauteur et l'identité de chaque avion qui parle en deçà de son horizon, un cercle approximatif de quelques centaines de kilomètres de diamètre pour le trafic haut et bien plus petit pour le trafic bas. Pour voir un pays entier, il faut beaucoup de ces récepteurs, dispersés de façon que leurs cercles se chevauchent, et chacun envoie ce qu'il entend par internet à un ordinateur central. Cet ordinateur fait deux choses. Il fusionne : un avion haut est généralement entendu par dix ou vingt récepteurs à la fois, et le même message venant de tous doit être reconnu comme un seul avion, non vingt. Et il vérifie : si un récepteur rapporte une position que tous les récepteurs voisins contredisent, ce rapport est probablement une erreur de décodage et il est mis de côté. Le résultat est la carte en direct, mise à jour chaque seconde, construite entièrement à partir de ce que les avions ont dit et de ce que les antennes ont entendu. Les contrôleurs aériens voient une image semblable, avec le radar ajouté comme second avis indépendant, puisqu'un système qui dépend de la sincérité de l'avion en a besoin.

La carte ne montre que les avions qui parlent. Presque tous les avions de ligne le font ; beaucoup de petits avions privés, de planeurs et de ballons n'y sont pas tenus, et les avions militaires choisissent souvent de ne pas le faire. La carte est donc honnête mais pas complète, ce qui est une chose utile à apprendre pour un enfant à propos de n'importe quelle carte, et une façon naturelle de terminer le cours sur une question plutôt que sur un point final.

Comment l'enseigner

Revenez à la grille au sol de la leçon 1, mais cette fois les tours ne peuvent pas tout entendre. Placez trois ou quatre « antennes » (des enfants avec des grilles papier) aux coins de la salle et dites à chacune qu'elle ne peut entendre que les avions dans sa propre moitié ou son propre quart de la grille ; les avions annoncent comme avant. Demandez ensuite aux antennes de réunir leurs feuilles et de les poser côte à côte. L'image combinée contient tous les avions ; chaque feuille seule n'en a que certains. Certains avions figurent sur deux feuilles, et la classe doit convenir que ce sont les mêmes avions, pas deux. C'est tout le travail de fusion, fait par des enfants de dix ans en cinq minutes, et cela fixe l'idée que la carte est un puzzle de beaucoup d'écouteurs.

Puis rendez-le réel. Projetez la carte en direct, zoomée sur l'école, et donnez à chaque groupe un avion à suivre pendant dix minutes : son indicatif, sa hauteur, sa vitesse, d'où il vient et où il va. Faites-leur remplir une fiche et l'épingler sur une carte murale de la région, à l'endroit où il était quand ils l'ont vu pour la dernière fois. Pendant qu'ils travaillent, reliez ce qu'ils voient à la chaîne du cours, phrase par phrase : cet avion parle deux fois par seconde ; son message voyage sur de la lumière invisible ; une antenne sur le toit de quelqu'un, à moins de 400 km, l'a attrapé ; cette antenne a envoyé le message à l'ordinateur qui dessine cette carte ; et c'est pour cela que vous pouvez lire sa hauteur à l'écran. Demandez à la classe de vous raconter la chaîne avec ses propres mots ; c'est l'évaluation, et la plupart de la classe devrait y parvenir à ce stade.

Terminez par deux questions. Que se passerait-il si un avion arrêta de parler ? Il disparaîtrait de la carte, même si les contrôleurs auraient toujours le radar. Et tous les avions du ciel sont-ils sur la carte ? Non, et la discussion sur ceux qui manquent, et sur les raisons pour lesquelles quelqu'un pourrait ne pas vouloir être vu, est un bon endroit pour laisser une classe qui a compris qu'une carte est faite de mesures et n'est jamais plus complète que ses écouteurs.

Ce que les enfants comprennent de travers, et quoi dire

L'idée que « ce sont les satellites qui font la carte » revient ici avec une grande obstination, parce que la carte est sur un écran, que les écrans viennent d'internet et que, dans l'esprit des enfants, internet vient de l'espace. Démontez-la doucement : les satellites ne font que dire l'heure à l'avion ; l'avion calcule où il est ; l'avion le dit ; les antennes sur les toits l'entendent ; l'ordinateur le dessine. Chaque étape se passe au sol sauf la première, et la carte fonctionnerait tout aussi bien si les satellites étaient remplacés par n'importe quoi d'autre permettant à l'avion de se situer.

Évaluation : savent-ils raconter l'histoire ?

Le cours a un seul objectif d'apprentissage à quatre maillons, et l'évaluation consiste simplement à vérifier si un enfant peut raconter la chaîne dans l'ordre, avec des raisons. Demandez à chaque enfant, ou à chaque groupe, d'expliquer comment un avion arrive sur la carte, et guettez les quatre maillons : l'avion sait où il est et le dit, encore et encore, sans qu'on le lui demande ; le message voyage sous forme d'onde radio, qui est une lumière que nos yeux ne voient pas et qui n'a rien à voir avec le son ; une antenne, une oreille de métal accordée, l'attrape, mais seulement des avions au-dessus de la courbe de la Terre ; et beaucoup d'antennes ensemble, en partageant ce qu'elles entendent, font la carte. Un enfant de six à huit ans qui le raconte comme une histoire avec les quatre étapes dans le bon ordre a atteint l'objectif. Un enfant de neuf à onze ans doit aussi pouvoir donner une raison à chaque étape : pourquoi deux fois par seconde, pourquoi la lumière et pas le son, pourquoi 7 cm et pourquoi en hauteur, pourquoi beaucoup d'antennes et pas une seule.

La page de l'élève se termine par un court quiz que la classe peut faire sur tablette ou à main levée ; les réponses, avec le raisonnement que vous devez attendre, sont les suivantes. Un avion envoie son message environ deux fois par seconde, parce qu'en une minute il aurait parcouru 15 km et la carte serait inutilisable. Le message ne contient pas les noms des passagers, seulement l'identité, la position, la hauteur et la vitesse de l'avion. Une onde radio est une lumière que nos yeux ne voient pas, pas un son, parce qu'elle n'a pas besoin d'air et voyage près d'un million de fois plus vite. Une antenne est mise

sur un toit pour que sa ligne de visée droite porte plus loin par-dessus la courbe de la Terre, pas pour être plus près des avions. Et la carte a besoin de beaucoup d'antennes parce que chacune ne peut entendre qu'un cercle de ciel de quelques centaines de kilomètres de diamètre.

Une école qui souhaiterait héberger un petit récepteur sur son toit, pour que son propre coin de ciel apparaisse sur la carte en direct et que la leçon 4 se termine avec l'antenne de la classe elle-même, trouvera tout ce qu'il lui faut sur la page Devenir contributeur.

ET ENSUITE

Un récepteur sur le toit de l'école

Les quatre leçons se terminent naturellement par un récepteur qui appartient à l'école. L'atelier pratique est le guide complet : les pièces et leur prix (100 à 150 euros, ou un Raspberry Pi existant), l'antenne à choisir et où la placer, comment préparer l'ordinateur et installer le feeder Dataero, et les mesures qu'une classe peut faire avec lui sur une année. Une station scolaire apparaît sur la carte publique sous le nom de l'école, et son tableau de bord répond à « c'est quoi, cet avion ? » tous les jours de l'année.

Ouvrir l'atelier pratique <https://radar.dataero.eu/fr/learning/workshop>