FONDATION La main à la pâte
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE

Cycle 4 (SVT/Maths)

Séquence de classe

Phénotype, génotype et environnement

Cette ressource peut s'inscrire dans le projet Aux origines des maladies (séquence 2/6).

Certains états de caractère sont associés à des pathologies. Dès lors, comprendre ce qui façonne ces caractères peut aider à comprendre certaines maladies et à envisager des traitements.

Comme les mécanismes qui contrôlent le phénotype sont complexes, mettre en évidence le rôle d'une variable en particulier est une tâche délicate. Certaines personnes adoptent des comportements néfastes (fumer, par exemple), tout en restant en bonne santé. Il peut être tentant de voir là un argument pour dire que le comportement n'agit pas sur le développement de maladies. Or, on sait maintenant qu'un comportement donné peut constituer une condition nécessaire, mais non suffisante au déclenchement d'une maladie (on parle de facteur de risque). Ainsi, deux individus qui adoptent un même comportement n'auront pas la même probabilité de déclencher une maladie, du fait d'autres composantes (génétique, microbiote, niveau socio-économique…).

Pour décrypter l'impact d'un facteur sur le phénotype, les scientifiques étudient un grand nombre d'individus et recherchent des mécanismes explicatifs. C'est à partir d'un faisceau de preuves qu'ils peuvent affirmer l'existence d'une relation de cause à effet entre un facteur et une maladie.

Dans cette séquence, les élèves explorent les multiples causes qui participent au déclenchement d'une maladie : la carie dentaire. Ils cherchent ensuite à établir le lien qui relie la consommation de sucre et l'apparition de caries.

Les objectifs résumés de la séquence 2 :

- Présenter/rappeler le vocabulaire : phénotype, caractère, génotype, environnement, fréquence ; introduire de nouveaux concepts : micro-organismes pathogènes.
- Développer une analyse critique : importance de s'appuyer sur des observations nombreuses, d'accepter la multicausalité, de comprendre la différence entre corrélation et causalité.
- Présenter les outils de la démarche scientifique (observation, expérimentation, modélisation).
- Montrer que les recommandations de santé publique reposent sur des connaissances fiables.

Activité 1 : Aux origines des caries dentaires

Résumé	
Disciplines	SVT et/ou mathématiques
Déroulé et modalités	Les élèves exploitent un petit jeu de données (sous la forme de cartes) pour apprendre à en extraire des informations, tout en identifiant les limites d'une telle démarche (biais). Un coenseignement SVT/mathématiques est envisageable.
Durée	Une ou deux séances d'une heure
Matériel	Par groupe : • jeu de cartes « biais », à imprimer recto verso (fiche 1) ; • jeu de cartes « données » (livret en annexe). Pour la classe : • vidéo d'un scientifique.

Message à emporter

Compétence (esprit critique) : Collecter des données peut nous permettre d'identifier des facteurs à l'origine de certaines maladies. Il faut cependant apprendre à interpréter les données avec prudence, et notamment :

- ne pas conclure sur la base d'un nombre restreint d'observations ;
- envisager d'autres explications possibles que celles imaginées spontanément ;
- ne pas confondre corrélation et causalité.

Phase 1 : Recueillir les conceptions des élèves

L'enseignant rappelle le vocabulaire découvert lors de la séquence 1. Il précise ensuite que certains états de caractère sont associés à des maladies. Il cite quelques exemples classiques, comme le daltonisme.

Il évoque ensuite une maladie bien connue des enfants : les caries. L'enseignant interroge la classe pour collecter les représentations des élèves : qu'est-ce qu'une carie ? Comment apparaissent-elles ? Comment se soignent-elles ? Certains élèves voudront peut-être raconter une anecdote personnelle. Les caries sont douloureuses et laissent des souvenirs durables.

La plupart des enfants associent tout de suite les caries à la consommation de sucre (à juste titre). L'enseignant pose alors la question suivante à la classe : comment a-t-on pu déterminer qu'il existe un lien de *cause* à *effet* entre le sucre et les caries ? Les élèves répondront peut-être que « tout le monde le

sait » ou encore qu'ils connaissent « quelqu'un qui a des caries et qui mange tout le temps des bonbons ». L'enseignant doit les amener à comprendre que de tels arguments ne constituent pas des preuves.

Pour l'instant, il se focalise sur le point suivant : dans le domaine de la santé, il existe de nombreuses « idées reçues ». Ces croyances sont répétées par tout le monde, si bien que l'on finit par les trouver convaincantes. En l'absence de preuves, une affirmation ne peut être considérée comme fiable.

Un document pour réfléchir

Ajouter du piment dans votre soupe ou dans un autre plat ne permet PAS de prévenir ni de guérir la COVID-19.

Les piments relèvent très bien les plats, mais ne permettent pas de prévenir ni de guérir la COVID-19. Le meilleur moyen de se protéger contre le nouveau coronavirus est de se tenir à au moins 1 mètre de distance des autres et de se laver les mains soigneusement et régulièrement. Une alimentation équilibrée, une bonne hydratation, une activité physique régulière et un sommeil de qualité contribuent également à un bon état de santé général.

Source : https://www.who.int/fr/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/myth-busters

L'enseignant distribue ou affiche la première carte « biais » de la fiche 1 : « Idée reçue ». Elle invite à ne pas considérer comme fiable une affirmation sous prétexte que tout le monde la répète (sans expertise particulière ou sans argument ni preuve).

Phase 2 : Concevoir un protocole

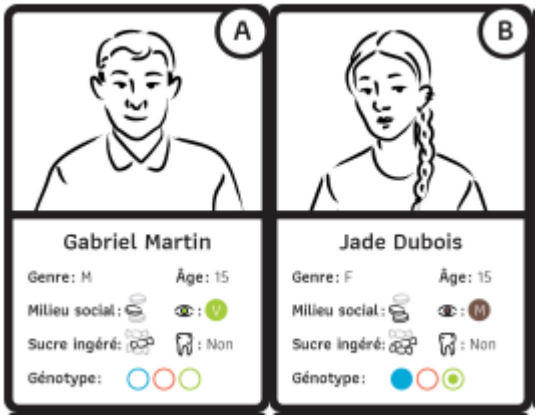
L'enseignant interroge les élèves : comment faire alors pour obtenir une preuve *fiable* du lien entre consommation de sucre et caries ?

Éclairage sur la démarche scientifique pour identifier les causes d'une maladie

Les élèves proposent spontanément de faire une *expérience*. L'idée est correcte. En médecine, cependant, il est souvent difficile de procéder ainsi : exposer des individus à un facteur de risque ne serait pas éthique. On mène alors des *études observationnelles*. Dans l'exercice qui suit, les élèves conçoivent une *étude cas-témoins* : il s'agit d'une étude rétrospective dans laquelle on compare la fréquence de la maladie chez les individus exposés à un facteur, par rapport à un groupe témoin. Les élèves n'ont pas à connaître ce vocabulaire, mais évoquer avec eux les différents niveaux de preuve en médecine et les implications des études menées peut enrichir leur compréhension du fonctionnement de la science.

L'enseignant peut visionner (pour lui-même, dans un premier temps) l'interview de Thomas Bourgeron, scientifique de l'Institut Pasteur. L'exploitation de cette vidéo en classe est développée dans la séquence 6, mais l'enseignant pourrait vouloir la présenter aux élèves à l'issue de cette activité.

Les élèves sont placés par groupes de quatre pour imaginer un protocole (basé sur l'observation) qui répondrait au problème posé par l'enseignant. Ils doivent proposer de calculer, puis de comparer la fréquence de l'état de caractère « caries présentes » entre deux populations : l'une qui consomme beaucoup de produits sucrés et l'autre qui en consomme peu. Si des élèves n'ont pas d'idées au point de départ, l'enseignant peut leur rappeler l'outil mathématique découvert lors de la séquence 1.



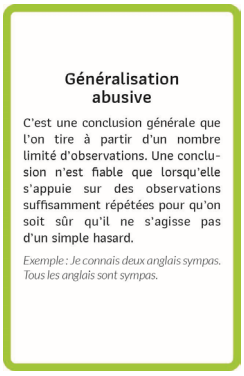
Quand la réflexion des élèves est suffisamment avancée, le professeur leur distribue le jeu de cartes personnages du livret en annexe. Les élèves reçoivent le défi suivant : utiliser les jeux de données pour déterminer le ou les facteur(s) susceptible(s) d'expliquer le développement des caries.

Dans un premier temps, tous les élèves doivent tester l'hypothèse « alimentation sucrée ». L'enseignant attend une comparaison de la fréquence des caries entre la population qui consomme beaucoup de sucre et celle qui en consomme moyennement ou peu (le choix de la population « témoin » est discutable : on peut aussi vouloir comparer les trois populations, ou uniquement la population fortement consommatrice de sucre à celle qui en consomme peu).

Dans un second temps, les élèves pratiquent la même démarche sur un autre facteur de leur choix : la couleur des yeux, le genre, l'origine sociale (voir phase 3) ou encore des facteurs génétiques (voir phase 4).

L'enseignant passe dans les rangs pour amener les élèves à réfléchir sur leur conclusion. Il met notamment en évidence les deux points suivants :

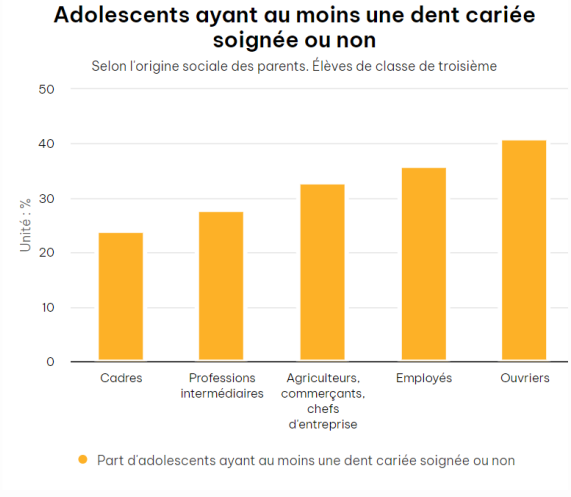
- Si l'on observe que quelques individus ont les yeux bleus et des caries, on ne peut pas conclure d'emblée à un lien causal, car il peut s'agir d'un effet du hasard. Certains élèves font spontanément remarquer que raisonner sur des échantillons aussi petits (20 individus) ne permet pas de parvenir à une conclusion fiable. Dans le cas de la santé humaine, il existe toujours de nombreuses exceptions aux règles que l'on essaie de mettre en évidence. C'est pourquoi les scientifiques étudient toujours un grand nombre de cas. Au moment opportun, l'enseignant distribue à chaque groupe la deuxième carte de la fiche 1 (cartes « biais ») : « Généralisation abusive ».



- Plus généralement, observer une association entre deux variables A et B ne permet pas d'affirmer que A est bien la cause de B. On dit que « corrélation n'est pas causalité ». Dans notre exemple, nous trouvons une association entre consommation de sucre et apparition de caries (et nous en trouvons une autre entre origine sociale et apparition de caries), mais nous devons considérer, à ce stade, qu'il ne s'agit que de simples hypothèses. Au moment opportun, l'enseignant distribue à chaque groupe la troisième carte de la fiche 1 (cartes « biais ») : « Corrélation vs causalité ».

Phase 3 : L'hypothèse de l'origine sociale (optionnel)

L'étude des cartes suggère l'existence d'un lien entre l'origine sociale et le déclenchement des caries. Comment l'expliquer ? L'enseignant présente aux élèves le graphique ci-contre et les laisse réagir. Les élèves comprennent que l'origine sociale influence l'accès aux soins : certaines populations sont donc plus vulnérables face à certaines maladies (dont les caries) parce qu'elles ont moins accès que d'autres aux soins (ou à une prévention efficace).



Source : ministère de la Santé - Données 2017 - © Observatoire des inégalités

Note : Cette thématique intéresse souvent les élèves et on peut s'attendre à des réactions vives de leur part. Il est indispensable d'aborder le sujet avec transparence, tout en veillant à ne pas stigmatiser certains élèves. L'enseignant peut amener la classe à dénoncer le caractère injuste du lien entre appartenance à un milieu social et vulnérabilité face à certaines maladies puis à se demander quelles solutions apporter. L'éducation peut en partie compenser ces inégalités sociales en transmettant au plus grand nombre les connaissances indispensables pour prendre soin de sa santé.

Phase 4 : L'hypothèse des facteurs génétiques (optionnel)

L'enseignant porte l'attention des élèves sur le fait suivant : un individu dont le frère (ou la sœur) présente des caries semble avoir lui-même plus de chances d'en avoir. (Il faut notamment regarder les cartes B et L ou H et R.) Ce fait peut orienter les élèves sur la nouvelle piste à considérer : les facteurs génétiques.

Sur le jeu de cartes de la fiche 2, chacun des trois ronds situés tout en bas représente un gène en particulier. Trois génotypes sont illustrés : « rond vide » correspond à un génotype de type (AA), « rond plein » à (aa), rond partiellement rempli à (Aa).

Note : Cette activité peut être réalisée par des élèves n'ayant pas de connaissances en génétique. Elle pose alors quelques bases qui seront reprises plus tard. Dans ce cas, les génotypes ne sont pas explicités.

L'activité se déroule de la même façon que lors de la phase 2, dont elle peut constituer une forme d'évaluation. Les élèves calculent la fréquence des caries pour chaque génotype. Ils vont se rendre compte que deux gènes en particulier semblent impliqués dans l'émergence de caries. Quelle est l'action de ces gènes et comment peuvent-ils avoir un impact sur les caries ? La réponse est complexe : certains gènes peuvent affecter l'appétence pour le sucré, d'autres la formation de l'émail de la dent, d'autres l'acidité de la salive… Ces questions font encore aujourd'hui l'objet de recherches scientifiques qui s'appuient sur l'observation de vastes jeux de données génétiques.

Phase 5 : Bilan intermédiaire

En étudiant les cartes, les élèves auront peut-être remarqué quelques éléments surprenants à première vue, mais qu'ils peuvent maintenant tenter d'expliquer :

- deux personnes qui consomment la même quantité de sucre n'ont pas toujours la même probabilité de déclencher des caries ;
- certaines personnes qui consomment beaucoup de sucre peuvent ne pas avoir de caries.

Envisager des explications à ces paradoxes apparents est délicat, car nous avons souvent tendance à considérer que les phénomènes naturels ont une cause unique. La réalité est tout autre : le plus souvent, plusieurs causes participent à expliquer le même phénomène. Ainsi, même si le sucre est un facteur à l'origine des caries, il n'est pas le seul. Cela donne une piste pour comprendre qu'un même comportement (par exemple, une alimentation riche en sucre) n'aboutit pas aux mêmes conséquences chez deux individus. Nous reviendrons sur ce point lors de la séquence 3.

Activité 2 : Sucre et caries dentaires

Résumé	
Discipline	SVT (prolongement en chimie possible)
Déroulé et modalités	Les élèves réalisent une étude documentaire et une petite expérience. Ils croisent ensuite l'ensemble des conclusions obtenues pour proposer un lien entre la présence d'une espèce donnée de bactérie et l'apparition de caries.
Durée	Une séance d'une heure
Matériel	Par groupe : • documents fournis dans la fiche 2 ; • petits béchers ou pots en verre, coquilles (d'escargot ou d'œuf) ou os (ou dents !), vinaigre, solution d'acide lactique (optionnel).

Message à emporter

Connaissance (SVT) : Certaines maladies sont causées par la présence de micro-organismes pathogènes dans l'organisme. Après avoir proliféré (infection), les agents pathogènes modifient des paramètres biologiques de l'organisme, ce qui entraîne l'apparition des symptômes de la maladie.

Compétence (SVT) : Mettre en relation des informations pour parvenir à une conclusion.

Phase 1 : Introduire l'activité

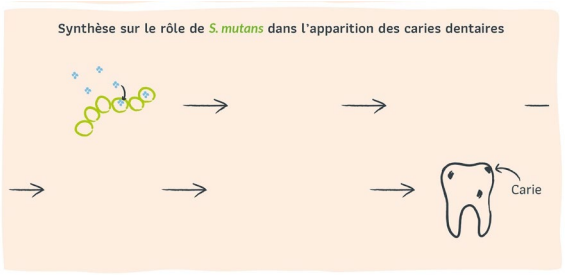
L'enseignant introduit la séance en demandant aux élèves s'ils savent précisément ce qu'est une carie. Après avoir recueilli leurs idées, il montre les photographies d'une dent cariée et d'une dent saine, et demande aux élèves de les comparer. La carie dentaire apparaît souvent noire, formant un creux dans la dent. Certains élèves évoqueront peut-être l'émail qui protège la dent et qui se trouve alors lésé (la carie peut affecter le cément, la dentine ou même la pulpe).

L'enseignant interroge ensuite les élèves sur la cause de cette lésion de l'émail. Les élèves rappelleront certainement le rôle de la consommation de sucre découvert lors de l'activité 1. Mais quel lien concret peut-on établir entre la consommation de sucre et le développement des caries ?

Note : Si les élèves ont déjà traité le programme sur les maladies infectieuses, l'enseignant pourra s'appuyer sur leurs connaissances pour orienter la discussion sur la recherche du pathogène responsable de la dégradation de la dent. Sinon, il pourra poser quelques bases (le lien entre maladies infectieuses et pathogènes) qui seront reprises et développées plus tard.

Le professeur explique ensuite qu'en 1924, un chercheur a montré qu'une bactérie (*Streptococcus mutans*) est très souvent présente dans les lésions carieuses. Cependant, montrer une association entre la présence d'une bactérie et les caries ne prouve pas que la bactérie soit la cause de la carie ! L'enseignant peut laisser les élèves énoncer cette conclusion, éventuellement en s'appuyant sur la carte « Corrélation vs causalité » de la fiche 1.

Les élèves ont donc pour mission de chercher un mécanisme possible qui relierait la présence de *S. mutans* à l'apparition de caries dentaires. Pour clarifier son propos, l'enseignant peut déjà leur montrer le document final qu'ils auront à remplir (fiche 2).



Afin de remplir ce document de synthèse, les élèves vont devoir :

- étudier un dossier (fiche 2) constitué de deux documents et d'une expérimentation (observations) ;
- tirer une conclusion de chacune des trois pièces du dossier (interprétations) ;
- mettre en relation les différentes conclusions pour apporter une réponse à la question du lien entre *S. mutans* et l'apparition d'une carie (synthèse).

Phase 2 : Place à l'enquête

Les élèves reçoivent l'ensemble des documents de la fiche 2. Au fur et à mesure de la progression de leur enquête, ils notent leurs conclusions sur la partie « Carnet d'expériences ».

Le **document « Anatomie d'une dent cariée »** montre qu'une carie est une déminéralisation de l'émail (structure très minéralisée, d'où sa dureté).

Le texte **« Biologie de S. mutans »** explique le fonctionnement d'une bactérie (*S. mutans*) souvent associée aux dents cariées. Cette bactérie peut vivre et se multiplier grâce à l'énergie qu'elle tire du milieu, essentiellement du sucre. Pour cela, elle réalise une réaction appelée fermentation lactique, au cours de laquelle du sucre est consommé et un déchet, l'acide lactique, est rejeté dans le milieu. Ce rejet d'acide lactique est responsable d'une acidification du milieu.

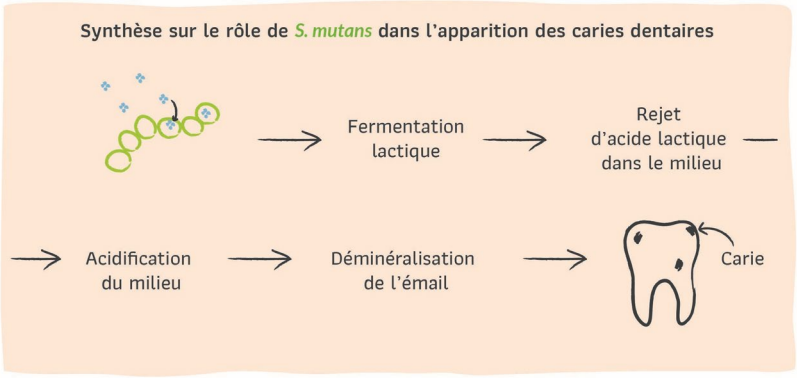
L'**expérimentation** permet ensuite de montrer l'impact de l'acide lactique sur un minéral proche de celui de l'émail (l'émail contient surtout de l'hydroxyapatite, un phosphate de calcium ; la coquille de l'œuf est un carbonate de calcium). Après quelques jours, ces structures minérales, mises en contact avec un acide, se déminéralisent (contrairement à celles mises dans l'eau = expérience témoin).

Notes :

- L'expérimentation en elle-même ne prend que peu de temps, mais les résultats ne peuvent être interprétés qu'au bout de quelques jours, car la cinétique de la réaction est lente. L'enseignant peut donc décider de la faire réaliser à la fin d'une séance et d'observer les résultats lors de la séance suivante. Il peut aussi vouloir préparer lui-même l'expérience quelques jours en amont et demander aux élèves d'interpréter directement les résultats.
- Il s'agit de tester l'impact du milieu acide sur la déminéralisation de l'émail. La coquille d'œuf ou l'os servent de modèles, car ce sont des structures minéralisées proches de la dent. Si un élève est capable de ramener une dent de lait, alors l'expérience peut être testée directement sur une dent !
- Dans cette activité, nous parlerons d'acidité du milieu. Mais l'enseignant de chimie peut modifier ou prolonger cette activité en introduisant la notion de pH et de mesure du pH.

Phase 3 : Bilan

L'enseignant interroge un groupe pour réaliser la correction ; les autres complètent la réponse donnée. La classe doit parvenir à la conclusion suivante : une partie du sucre que l'on consomme est utilisée par la bactérie *S. mutans.* Celle-ci en tire de l'énergie et rejette dans le milieu un déchet qui augmente l'acidité de la bouche. Une acidification prolongée de la bouche peut déminéraliser l'émail et induire l'apparition de caries. L'enseignant fait ensuite noter le bilan (en s'inspirant du « Message à emporter » du tableau).



Fiche 1 : Cartes « biais »

Idée reçue

C'est une opinion répandue que l'on considère comme allant de soi : elle est tellement évidente qu'elle n'aurait plus besoin d'être démontrée. Sans preuve, une opinion populaire ne peut pas être considérée comme fiable au seul prétexte que « tout le monde le dit » ou « tout le monde le sait ».

Exemple : tout le monde dit que les cheveux repoussent plus vite quand la Lune est montante, mais c'est faux.

Solution à mettre en œuvre

Chercher des données ou des informations pour vérifier si l'opinion en question est soutenue par des preuves ou non.

Généralisation abusive

C'est une conclusion générale que l'on tire à partir d'un nombre limité d'observations. Une conclusion n'est fiable que lorsqu'elle s'appuie sur des observations suffisamment répétées pour qu'on soit sûr qu'il ne s'agisse pas d'un simple hasard.

Exemple : Je connais deux anglais sympas. Tous les anglais sont sympas.

Solution à mettre en œuvre

Multiplier les observations pour s'assurer que la tendance supposée en est bien une (ou rester très prudent sur ses conclusions).

Corrélation VS causalité

Lorsque l'on observe une association entre deux facteurs, il est tentant d'y voir un lien de cause à effet. En réalité, l'association peut être le simple fruit du hasard (on parle de coïncidence). Elle peut parfois s'expliquer autrement que par un lien direct de cause à effet.

Exemple : plus nos pieds sont grands, moins on fait de fautes aux dictées. Mais ce n'est pas parce que notre intelligence orthographique se trouve dans nos chaussures (les enfants plus âgés ont tout simplement de meilleures compétences en orthographe).

Solution à mettre en œuvre

Chercher un mécanisme qui valide l'existence d'un lien de cause à effet entre les deux facteurs (ou rester prudent sur ses conclusions).

Manière de présenter les résultats

Certaines sources d'information cherchent à influencer notre manière d'interpréter des données. Par exemple, on peut s'appuyer sur la moyenne d'un jeu de données tout en sachant qu'elle n'est pas représentative d'une situation générale, pour faire passer un certain message.

Exemple : affirmer, qu'en moyenne, les Français roulent aux vitesses règlementaires ne nous dit rien du nombre de personnes qui commettent des excès, ni de la gravité de tels comportements.

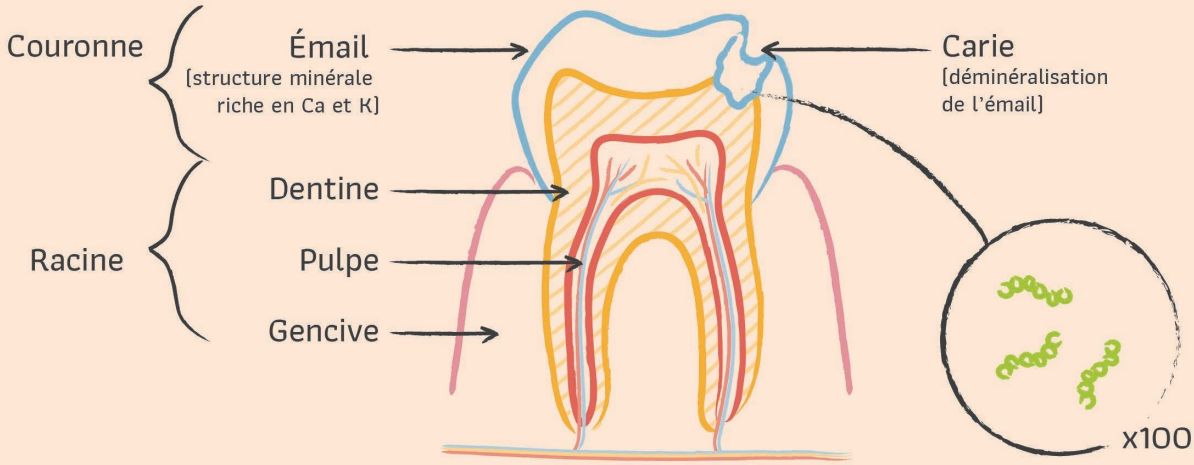
Solution à mettre en œuvre

S'assurer que la source qui présente les données n'a pas de raison de vouloir nous convaincre des conclusions qu'elle affirme et qu'elle a une expertise dans le domaine. Réfléchir aux autres conclusions que l'on pourrait tirer à partir des mêmes données.

Fiche 2 : Identifier un nouveau coupable

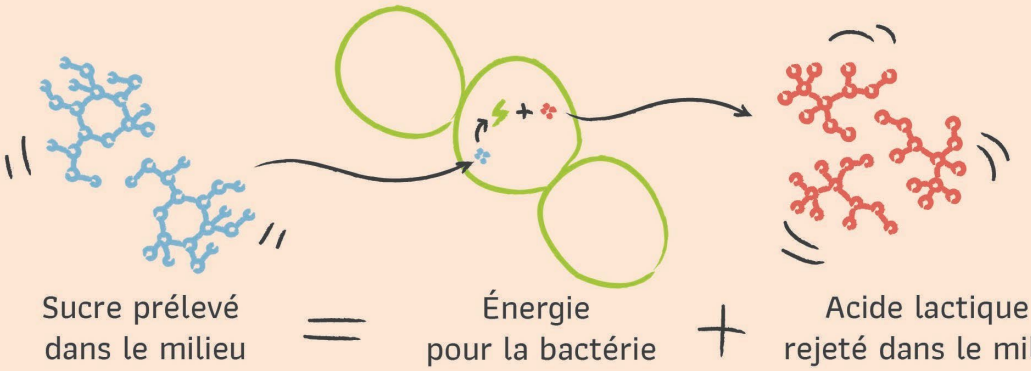
Cartes « indices à collecter »

Anatomie d'une dent cariée



Biologie de *S. mutans*

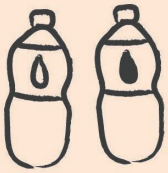
Au cœur des lésions associées aux caries dentaires, on trouve très souvent une bactérie nommée *Streptoccus mutans*. Cette bactérie tire de l'énergie des sucres présents dans la bouche, grâce à une réaction chimique appelée fermentation lactique (la même qui se déroule dans nos muscles à l'effort). On peut résumer ainsi cette réaction :



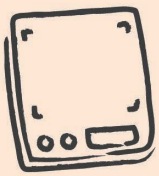
Carnet d'expériences à compléter

Matériel à disposition

Coquilles
Elles sont constituées d'un minéral proche de l'émail.



Solutions : eau, acide lactique ou vinaigre



Balance

Pipettes, pinces

Protocole expérimental

Hypothèse testée

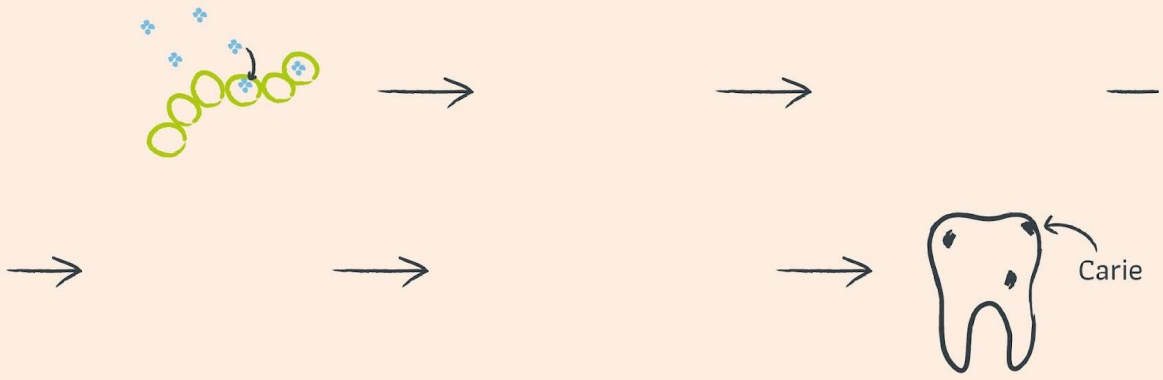
Résultats attendus

Informations pertinentes sur les caries
[à partir de la carte Anatomie d'une dent cariée]

Informations pertinentes sur *S. mutans*
[à partir de la carte Biologie de *S. mutans*]

Informations pertinentes sur l'acide lactique
[à partir de la carte Expérience]

Synthèse sur le rôle de *S. mutans* dans l'apparition des caries dentaires



Coordination
Mathieu FARINA pour la Fondation *La main à la pâte*

Contribution
Mathieu FARINA

Crédits illustrations
Marjorie GARRY, sauf graphique p. 5 (voir mention accolée) ; photographies de classe : Fondation *La main à la pâte*

Remerciements
Tests et relecture pédagogique : Julien BOQUET, Geoffrey HOURNON, Émilie KORNOBIS, Anne LEVERT, Fatima RAHMOUN, Damien RANGER, Léa SCHABO, Charlotte SOUSTRE
Consultation et relecture scientifique : Egija ZAURA, Thomas BOURGERON, Nicolas RASCOVAN, Anne BERNARD-DELORME

Cette ressource a été produite avec le soutien de :

INSTITUT PASTEUR — INCEPTION — FRANCE 2030

Date de publication
Mars 2024

Licence
Ce document a été publié par la Fondation *La main à la pâte* sous la licence Creative Commons suivante : Attribution + Pas d'utilisation commerciale + Partage dans les mêmes conditions.

Le titulaire des droits autorise l'exploitation de l'œuvre originale à des fins non commerciales, ainsi que la création d'œuvres dérivées, à condition qu'elles soient distribuées sous une licence identique à celle qui régit l'œuvre originale.

Fondation *La main à la pâte*
43 rue de Rennes
75006 Paris
01 85 08 71 79
contact@fondation-lamap.org
www.fondation-lamap.org

FONDATION La main à la pâte
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE