

Pandémie

Cycle 4 et seconde

Une séquence du projet *Esprit scientifique, Esprit critique – Tome 2*

Résumé

La séquence a pour objectif de travailler la notion de causalité et l'outil de la modélisation pour explorer les causes et les caractéristiques de phénomènes qui ne peuvent pas être directement manipulés. Au cours de la première activité, les élèves mettent en place un premier modèle à partir de règles, puis le modifient pour tester des hypothèses de relations causales complexes. Ils utilisent les documents fournis (à imprimer pour chaque groupe d'élèves) et des dés. Ensuite, les élèves réalisent un débat autour de l'importance de partager les stocks de médicaments à l'échelle internationale, en cas de pandémie. Le débat motive le besoin de fabriquer un modèle (sous la forme d'un jeu de plateau) pour prendre une décision de façon éclairée. Enfin, les élèves produisent ou font dérouler un programme informatique (logiciel Scratch requis) pour simuler la propagation d'une épidémie et l'impact de certaines actions de prévention qui peuvent être prises. Le message principal à retenir est le suivant : pour chercher des explications, les scientifiques peuvent avoir recours à la construction de modèles (notamment quand l'expérimentation est impossible). Un modèle est un outil qui intègre des connaissances et des hypothèses, et qui permet de faire des prédictions sur le devenir d'une situation ou de proposer des explications pour un phénomène observé. À l'heure actuelle, les scientifiques ont largement recours à des modèles informatiques pour rendre plus fiables leurs prédictions. En effet, ceux-ci permettent d'exploiter les performances des ordinateurs pour reproduire un très grand nombre de fois la simulation et ainsi obtenir des résultats solides. Pour l'évaluation de la capacité des élèves à remobiliser les compétences travaillées, se référer à la fiche globale d'évaluation « Expliquer » et sélectionner la question 4.

Savoir-faire 4 : Modéliser, expliquer, prédire

Niveau 3 : Expliquer un phénomène par une modélisation

3 activités

CE QUE VOUS ALLEZ TROUVER DANS CETTE SÉQUENCE :

- ▶ Des activités de : Mathématiques, Géographie, SVT
- ▶ Des activités de type : Jeu de plateau et Investigation scientifique dans la peau d'un bio-informaticien
- ▶ Des activités sur le thème de : Épidémie, Modélisation, Programmation, Risque, Éthique

Activité 1: Propagation

Objectif : Concevoir et exploiter un modèle mathématique	
Résumé	Les élèves mettent en place un premier modèle à partir de règles puis le modifient pour tester des hypothèses de relations causales complexes.
Matériel	Documents fournis, dés.
Notions mobilisées	Mathématiques : Probabilités.
Compétences mobilisées	Mathématiques : Modéliser, Traduire en langage mathématique une situation réelle, par exemple à l'aide de configurations géométriques.
Production	Modèle très simplifié d'épidémiologie.
Durée	1 heure environ.
Message à emporter	
Pour chercher des explications, les scientifiques peuvent avoir recours à la construction de modèles (notamment quand l'expérimentation est impossible). Un modèle est un outil qui intègre des connaissances et des hypothèses et qui permet de faire des prédictions sur le devenir d'une situation ou de proposer des explications pour un phénomène observé.	

Clés pour la mise en œuvre

La modélisation est une activité omniprésente en sciences. Pourtant, cette activité est souvent source de malentendus pour le grand public voire pour les décideurs politiques peu familiarisés avec le monde de la science. Il existe donc un réel enjeu à comprendre la logique du travail du scientifique, ses objectifs, ses méthodes et sa perception de la notion d'incertitude.

La première phase de cette activité sert d'introduction aux éléments de base d'un modèle qui seront réutilisés plus tard. Elle permet également de positionner le modèle comme un outil qui intègre des connaissances et des hypothèses sous la forme de règles de construction (équivalent des instructions d'un algorithme) et qui cherche à répondre à une question.

L'objectif principal de la deuxième phase est de faire utiliser le modèle par l'élève pour qu'il en appréhende l'intérêt. Il s'agit ici de prédire les effets de différentes situations initiales (on parle de scénarios) : on fait varier une variable explicative et on observe l'évolution du système. Un autre intérêt

du modèle illustré ici est sa capacité à être réutilisé plusieurs fois pour s'affranchir du hasard. Ceci rejoint l'idée de recommencer plusieurs fois une expérimentation pour obtenir des conclusions exploitables.

Un modèle est une simplification maîtrisée de la réalité. Pour l'élève, elle crée une difficulté supplémentaire. Autant de fois que nécessaire et si possible en s'appuyant sur des éléments qui restent au tableau, la correspondance entre le modèle et la réalité devra être rappelée.

Les activités de cette séquence peuvent s'inscrire dans le contexte de la lutte contre une maladie émergente présentée dans les Séquences 1 et 2. Nous rappelons que des documents fournis sur la page dédiée au projet sur le site *La Main à la Pâte* permettent d'immerger les élèves dans ce contexte. Dans cette partie du Bloc, les activités impliquent un travail fortement interdisciplinaire (notamment les Activités 2 et 3). En effet, la résolution de telles problématiques de société impose une collaboration entre différentes disciplines complémentaires. Les élèves découvriront cet aspect de l'étude des phénomènes complexes si les enseignants les font travailler, sur une même période de temps, à la résolution d'une problématique unique.



Scène de la peste de 1720 à la Tourette (Marseille) de Michel Serre.

Déroulé possible de l'activité

Phase 1 : Un premier modèle

Objectif détaillé : Introduire la notion de modèle

Contexte : L'épidémie gagne encore du terrain et menace de prendre une ampleur mondiale. Les scientifiques cherchent à comprendre les mécanismes de propagation des épidémies à l'échelle du monde et de déterminer les conditions qui favorisent la propagation pour les éviter.

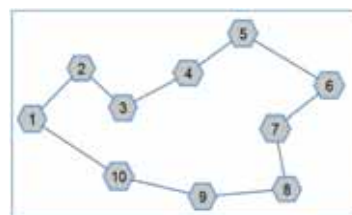
Objectif : Réaliser un modèle simplifié de la propagation d'une épidémie pour prédire le devenir d'une situation en connaissant son état initial.

Organisation : Par groupes de 2.

Matériel :

- Un plateau de jeu qui représente quelques villes et leurs liens.
- Une Liste de connaissances scientifiques à intégrer dans les « règles du jeu » (ou « instructions du modèle »).
- Des dés à 6 faces.

Règles : S'approprier et mettre en forme un modèle pour déterminer le temps nécessaire pour l'apparition d'une pandémie.



L'enseignant explique : « Vous allez mettre en place un modèle de propagation des épidémies pour en étudier l'évolution ! »

■ **L'enseignant présente aux élèves le contexte et l'objectif de l'activité.**

■ **L'enseignant explicite l'objectif de la modélisation :** on cherche à savoir en combien de temps apparaît une pandémie.

■ **L'enseignant laisse ensuite les élèves progresser en groupes.** Ils vont faire « tourner » le modèle construit, c'est-à-dire qu'ils vont réaliser la suite d'instructions qu'ils ont déterminées pour répondre à la question qui leur est posée : en combien d'étapes le seuil de pandémie est-il atteint ? On se servira de cette étape pour expliciter le fonctionnement et le rôle du modèle : celui-ci contient un certain nombre de règles basées sur des hypothèses. Son exécution donne un résultat (sortie du modèle) que l'on peut exploiter pour répondre à une question.

Note : on peut encore parler de « règles de jeu » à ce moment-là et attendre pour arriver à la notion de modèles et d'instructions

■ **Enfin l'enseignant demande aux élèves de communiquer leurs résultats au reste de la classe et un débat est engagé.** Les élèves pourront questionner la pertinence et les limites du modèle et il sera intéressant de permettre une discussion en classe entière à cette étape. Parmi les limites à évoquer, nous citerons : le caractère arbitraire ou non justifié de certaines hypothèses, le manque d'hypothèses indispensables à la fiabilité de la prédiction, le nombre faible de données obtenues. Ce dernier aspect, fondamental pour la compréhension des événements aléatoires et du lien entre probabilités, fréquences et taille de l'échantillon pourra être développé.

Conseils de mise en place et éléments de correction

- Tout au long de l'activité, l'enseignant veillera à ce que les élèves parviennent à établir la correspondance entre les éléments du modèle et les éléments modélisés :
 - le lancer de dé représente le hasard,
 - les cercles représentent les villes,
 - les traits représentent les liens entre les villes.
- Dans cette phase de l'activité, les élèves sont invités à s'approprier un modèle partiellement construit (voir Fiche élève). Ils doivent notamment transformer les données de l'énoncé en instructions (ou en règles de jeu). Par exemple, une des consignes précise qu'une ville passe du statut sain au statut épidémique avec une probabilité de $\frac{1}{3}$ si elle possède des voisines contaminées. Les élèves doivent fabriquer la règle correspondante : ils peuvent par exemple proposer de lancer un dé à 6 faces pour chacune des villes ayant des voisines contaminées et sur un résultat de 1 ou de 2, la ville devient à son tour contaminée (statut épidémique). Ici est donc mise en lumière la phase conceptuelle qui consiste à convertir des connaissances (même si dans ce cas on a utilisé des données arbitraires, comme la probabilité de $\frac{1}{3}$ de passage au statut épidémique) en une consigne opérationnelle.
- Si l'enseignant décide d'avoir une approche algorithmique, cette consigne opérationnelle peut s'écrire sous la forme d'une instruction, par exemple une instruction conditionnelle du type : SI une ville voisine est au statut « E » alors lancer un dé à 6 faces ET SI le résultat est 1 ou 2, alors la ville passe du statut « S » au statut « E ». SINON, elle reste au statut « S ».
- Des élèves pourraient faire remarquer le caractère arbitraire de certaines données de l'énoncé. Dans ce cas, il faudra leur expliquer qu'en effet, les prédictions du modèle sont conditionnées par les hypothèses qui le font fonctionner. Ces hypothèses doivent être appuyées sur des connaissances avérées et les plus précises possible. La complexification des modèles à partir de connaissances fiables fera l'objet des activités suivantes.

Phase 2: Scénarios critiques

Objectif: Comprendre que l'on peut utiliser un modèle pour explorer une relation de causalité

Contexte: La répartition actuelle des villes dans le monde est loin de celle présentée. La mondialisation connecte les villes entre elles en un vaste réseau et certaines sont plus connectées que d'autres. Cela doit être pris en compte pour comprendre comment une épidémie peut se propager à l'échelle mondiale. Un laboratoire s'intéresse aux évolutions très rapides de certaines épidémies pour mieux comprendre les facteurs qui aggravent leur propagation, dans le contexte de la mondialisation.

Objectif: Modifier un modèle simplifié de la propagation d'une épidémie pour déterminer les facteurs qui favorisent la progression de celle-ci.

Organisation: Par groupes de 2.

Matériel:

- Un plateau de jeu qui représente quelques villes et leurs liens.
- Nouvelles règles (données oralement).
- Des dés à 6 faces.

Règles: C'est un défi! Le groupe qui crée la propagation de la maladie la plus fulgurante remporte le défi. Les élèves doivent repartir du modèle et le modifier en suivant ces règles: Trois liens supplémentaires entre 2 villes vont pouvoir être rajoutés au modèle initial pour représenter une plus grande connexion des villes. Ces liens peuvent être placés n'importe où, sans contrainte. Par contre, ces liens doivent être placés avant de connaître le foyer initial (il sera tiré au sort au début de la partie).

L'enseignant explique: « Vous incarnez des scientifiques qui s'intéressent à un scénario catastrophe: la propagation très rapide d'une épidémie qui va envahir le monde. La question est la suivante: qu'est ce qui peut favoriser la propagation fulgurante d'une épidémie? Et plus précisément, quelle configuration du monde (la configuration du réseau des villes et des liens qui les unissent) favorise la propagation rapide de l'épidémie? À vous de créer la propagation la plus rapide de la maladie!

■ **L'enseignant présente le nouveau contexte, propre à cette phase.**

■ **L'enseignant explicite l'objectif:** on va repartir du modèle précédent et le modifier légèrement pour construire la situation qui entraîne la propagation la plus rapide de la maladie! Le groupe qui va générer le scénario le plus catastrophique remporte le défi!

Conseils de mise en place et éléments de correction

- Pour réaliser leur défi, les élèves doivent commencer par formuler des hypothèses explicites: ils peuvent par exemple proposer que la propagation va être favorisée si l'on crée une ville hyper connectée (un nœud). Ils peuvent au contraire penser qu'une répartition homogène des liens surnuméraires augmentera les chances d'atteindre une pandémie.
- Il est important de préciser aux élèves qu'ils ne peuvent pas savoir a priori quelle est la bonne hypothèse et donc qu'elles sont toutes acceptables du moment où il y a une correspondance correcte entre leur formulation et la position des liens qu'ils rajoutent.

Pour nourrir la discussion à l'issue de l'activité

■ La mise en commun commence après avoir identifié le groupe qui remporte le défi. L'enseignant demande aux élèves ce qu'ils ont obtenu de façon commune, au-delà du défi. Il s'agit en fait d'un jeu de données. En effet, les différents groupes d'élèves ont testé des hypothèses légèrement différentes et ont exploité le modèle pour prédire les effets en lien avec cette hypothèse, ce scénario. On obtient donc de façon commune les résultats prédits pour différents scénarios.

■ Comment des scientifiques exploiteraient-ils ces informations? Comment passer de ces tests à une connaissance? Les élèves doivent suggérer qu'il faudrait comparer les sorties du modèle dans les différentes configurations (correspondant aux différentes hypothèses). Lorsqu'on observe que la maladie se propage très rapidement, il faudra en déduire que les conditions initiales (la disposition des liens entre les villes dans notre cas) étaient peut-être propices à cette propagation. Inversement, lorsque la maladie se propage lentement, on pourra déduire que les conditions initiales étaient peut-être peu favorables à cette propagation.

Note: peu importe si les résultats des élèves montrent qu'une ou l'autre des configurations est favorable (dans notre modèle et avec les conditions imposées par l'exercice où on ne connaît pas la ville infectée au départ, les deux configurations peuvent de façon relativement équiprobable générer le scénario critique recherché). L'enseignant peut considérer l'une ou l'autre hypothèse comme « plus probable » au vu des données obtenues, l'important étant ici d'expliquer la méthode et non le fond scientifique lui-même.

■ Grâce à ces modèles, les scientifiques établissent des scénarios probables. Ces scénarios ne disent pas quoi faire. Ils exposent simplement les conséquences possibles de certains de nos choix. Ils peuvent ainsi guider les décideurs politiques à faire des choix en fonction des objectifs qu'ils se sont fixés. C'est ainsi qu'opèrent les experts du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat) qui présentent aux décideurs les conséquences en termes de variation de température de différentes décisions politiques. Ces idées seront reprises dans les activités suivantes.

■ Discuter des limites du modèle construit est fondamental. Par exemple, il est important que les élèves réalisent qu'il faudrait répéter un grand nombre de fois les tests de chaque hypothèse pour s'assurer des conclusions.

■ Finalement, la modélisation, si elle est bien réalisée, permet d'explorer des relations de causalité (modèles explicatifs qui recherchent les causes ou modèles prédictifs qui recherchent les effets). Dans le cas de notre étude sur les épidémies, la modélisation est particulièrement intéressante car trouver la cause d'une propagation rapide est très difficile (relation de causalité complexe) et impossible à tester expérimentalement (on ne va pas laisser des maladies se propager pour les étudier!). C'est aussi le cas dans la prédiction de l'évolution du climat où là encore l'expérimentation est impossible.

Propagation (fiche élève)

Objectif: Expliquer un phénomène par une modélisation.

Défi: Élaborez le pire scénario de propagation de l'épidémie!

Phase 1 : Un premier modèle

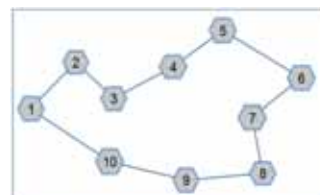
Contexte :

Nouvelle réunion de crise au CDC. La maladie gagne du terrain à une vitesse incroyable. L'urgence est de comprendre comment la situation va évoluer et sur quels facteurs on peut jouer pour éviter le pire. Il faut donc élaborer en urgence un modèle de propagation de la maladie pour anticiper une catastrophe mondiale.

Un modèle est une simulation qui permet de représenter les différents éléments expliquant un phénomène (comme ici la propagation des maladies) et peut nous aider à dessiner les scénarios d'évolution future de la situation. A vous d'élaborer un modèle, puis de l'exploiter pour faire avancer la connaissance scientifique et ainsi orienter la stratégie de lutte internationale et tenter d'enrayer la pandémie!

Matériel :

- Liste de connaissances scientifiques (à intégrer dans votre modèle).
- 4 dés (deux de 6 faces et deux de 10 faces) (ou un logiciel de lancer de dés).
- Des jetons (pour marquer les villes en statut « épidémique »).
- Un plateau qui représente 10 villes reliées entre elles, c'est-à-dire entre lesquelles on observe des flux de populations (chaque ville est reliée à exactement 2 autres).



Règles : Déterminez des règles du jeu et mettez-les en œuvre afin de répondre à la question suivante: en combien d'étapes le statut de pandémie est-il atteint ?

Coup de pouce : les règles ont été soulignées dans la liste des connaissances scientifiques !

Phase 2: Scénarios critiques

Contexte:

Le laboratoire de Boston spécialiste des maladies émergentes a été placé en première ligne de défense contre la maladie. Vous avez intégré une unité de chercheurs qui tente de comprendre dans quelles conditions se propagent les nouvelles maladies pour élaborer ensuite des protocoles qui permettront de lutter contre la propagation. Leur travail s'oriente sur la connexion des villes entre elles car elles semblent être un facteur clé de propagation des maladies.

Matériel:

- Plateau et dés comme dans la Phase 1.

Règles: élaborer la situation qui favorise l'expansion la plus rapide de l'épidémie. Le groupe qui gagne est celui qui atteint la pandémie en un minimum de tours!

► À partir de la situation initiale du plateau (phase 1), vous pouvez rajouter 3 liens. Discutez entre vous pour formuler de façon explicite une hypothèse sur l'organisation qui pourrait, selon vous, induire une expansion rapide de l'épidémie. Précisez ensuite comment vous allez rajouter les liens pour modéliser correctement votre hypothèse.

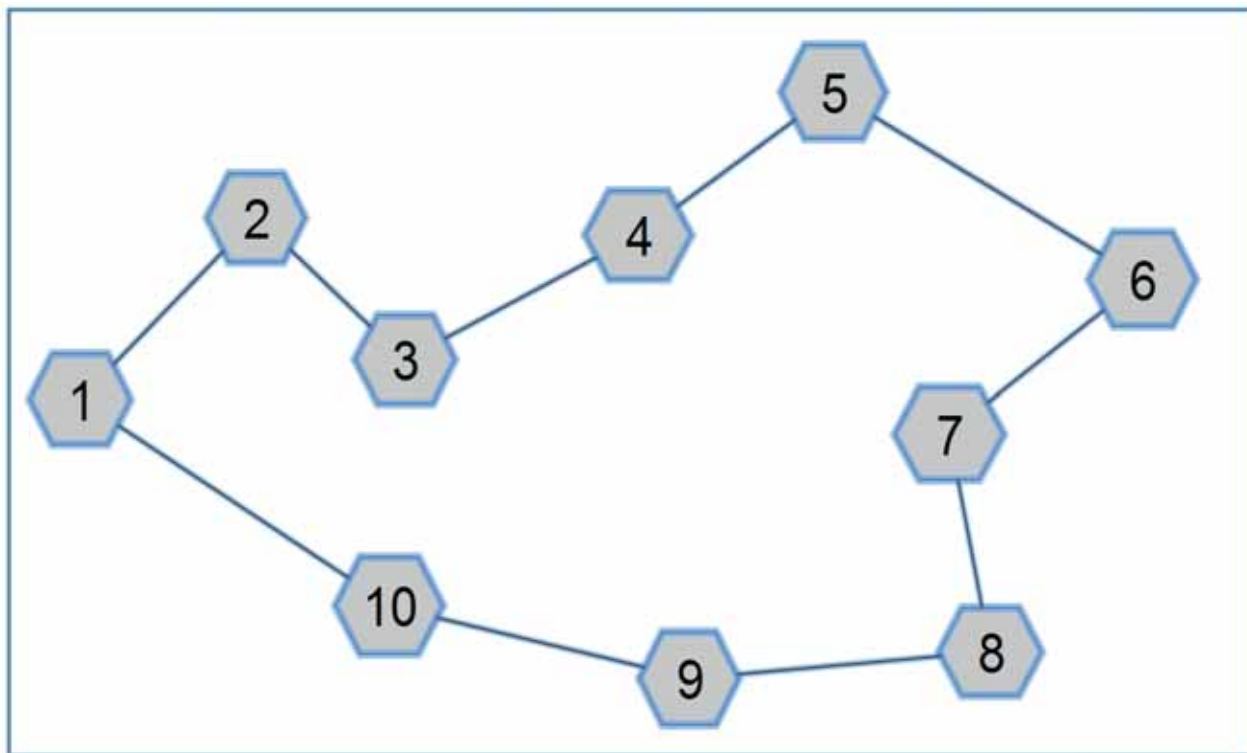
Remarque: toutes les idées sont bonnes, du moment que les liens sont placés de manière cohérente avec l'hypothèse formulée!

Attention: Le foyer initial sera tiré au sort après votre décision! Vous pourrez recommencer 3 fois pour atteindre votre meilleur score mais dans chaque cas, vous devez retirer votre foyer initial (sauf si vous ne changez pas la disposition de vos liens).



Propagation (fiche matériel)

• Le plateau de jeu



• Liste de connaissances scientifiques

1) La propagation d'une maladie est un **phénomène aléatoire**. Dans notre modèle, cela est représenté par l'utilisation de dés.

2) Les épidémies émergent généralement à un niveau local. Dans notre modèle, on considère qu'il n'y a au départ qu'**un seul foyer** contaminé, les autres foyers étant susceptibles de le devenir.

3) Une épidémie locale peut se propager et atteindre une échelle internationale: on parle alors de **pandémie**. Dans notre modèle on considère qu'elle est atteinte quand 70 % des villes sont en épidémie.

4) Dans une ville, lorsque le taux de malades dépasse un seuil, on considère qu'il y a épidémie. Dans notre modèle, chaque ville peut être dans deux états: «**S**» pour **susceptible** de déclencher la maladie OU «**E**» pour en état d'**épidémie**.

5) Les épidémies se propagent notamment par le déplacement des populations d'une ville à l'autre. Dans notre modèle, la propagation se fait de proche en proche: une ville susceptible «**S**» peut passer au statut épidémique «**E**» chaque fois qu'elle est reliée à une autre ville «**E**» et ce **avec une probabilité de 1/3**.

Activité 2 : Mondialisation

Objectif : Améliorer le modèle en le rendant plus complexe	
Résumé	Les élèves réalisent un débat autour de l'importance de partager les stocks de médicaments à l'échelle internationale en cas de pandémie. Le débat motive le besoin de fabriquer un modèle (sous la forme d'un jeu de plateau) pour prendre une décision de façon éclairée.
Matériel	Dés à 10 faces, documents fournis.
Notions mobilisées	Géographie : Des espaces transformés par la mondialisation.
Compétences mobilisées	Mathématiques : Modéliser (traduire en langage mathématique une situation réelle). SVT : Choisir des modèles (simples !) pour mettre en œuvre une démarche scientifique.
Production	Modèle (jeu de plateau) de propagation des épidémies.
Durée	5 à 6 heures.
Message à emporter	
<p>Les scientifiques sont sollicités pour répondre à des questions qui ont un impact sur la société et les politiques publiques. Le but de cette consultation est d'aider les pouvoirs publics à prendre les décisions les plus éclairées possibles.</p> <p>Pour réaliser des prédictions (c'est-à-dire envisager les conséquences les plus probables de nos actions d'aujourd'hui), les scientifiques utilisent des modèles. La qualité des prédictions dépend de l'état de nos connaissances sur les relations (notamment causales) entre les phénomènes.</p> <p>Les scientifiques peuvent avoir recours à des connaissances issues de plusieurs disciplines pour répondre à une problématique complexe.</p>	

Clés pour la mise en œuvre

Les élèves vont être immergés dans l'activité par la problématique suivante : « Les pays riches doivent-ils aider les pays pauvres ? ». Au cours du débat les élèves se rendent compte que la décision dépend non seulement du ressenti et de l'envie d'aider les autres, mais aussi de la prise en compte de données factuelles et de la capacité à prévoir l'effet que différentes décisions pourront avoir sur les pays pauvres et sur les pays riches. Ceci les amène à la nécessité de fabriquer un modèle et de le rendre aussi précis que possible.

L'activité est organisée en trois parties :

- nous avons appelé la première la phase préparatoire de l'activité. Les élèves sont invités à jouer le débat. L'enseignant les répartit en différents rôles. Cette partie peut être remplacée par une présentation par l'enseignant ou une petite discussion en classe qui introduit le cours. L'objectif du débat est de montrer la nécessité de faits scientifiques objectifs pour progresser.
- nous avons appelé la seconde partie le « cœur de l'activité ». Cette partie est indispensable. Elle représente la phase d'exploitation du modèle. Les élèves exploitent le modèle donné pour répondre à la problématique.
- nous avons appelé la dernière partie l'« extension » de l'activité. Cette extension, si les enseignants décident de la faire, aura lieu avant le cœur de l'activité. C'est un projet interdisciplinaire d'élaboration

du modèle. 2 ou 3 enseignants parmi ceux de mathématiques, géographie et SVT s'associent pour guider les élèves dans la conception du modèle sous la forme d'un jeu de plateau à créer (avec ses règles, ses jetons, ses cartes etc.).

Cette problématique est l'occasion d'un réel travail interdisciplinaire: elle inclut des considérations de l'ordre de la géographie du territoire (distribution des villes et connexions entre elles) et des sciences du vivant (caractéristiques de la maladie, caractéristiques des médicaments). Seule une approche multidisciplinaire peut donc permettre d'élaborer correctement ces règles. Quant aux mathématiques, elles sont ici nécessaires pour permettre de convertir les connaissances dans une mécanique de jeu et à inclure des probabilités puisque les liens de causalité incluent une part d'incertitude due au hasard. La construction du modèle va donc se faire par phases, en incluant les apports de chaque discipline.

Déroulé possible de l'activité

Phase préparatoire: Un débat pour se lancer

Contexte: L'épidémie fait rage. Face à l'urgence de la situation, un comité d'experts est créé et une première réunion a lieu entre scientifiques, philosophes et politiciens. L'enjeu est de déterminer la stratégie à mener à l'échelle mondiale pour enrayer la maladie. Cet enjeu a des aspects éthiques et économiques importants. Certains membres du comité font pression pour que les pays riches fournissent une aide sous forme de médicaments aux pays en voie de développement. En pratique, les pays riches devraient utiliser une partie de leurs stocks de médicaments pour les mettre à disposition d'un organisme international qui ensuite en fera la distribution aux pays pauvres. En effet, les pays riches possèdent des stocks de médicaments conçus en prévision d'une éventuelle pandémie alors que les pays pauvres n'ont aucun stock...

Objectif: ressentir le besoin d'un appui solide (faits scientifiques) pour faire avancer le débat.

Organisation: en demi-groupe si possible.

Règles: un tiers des élèves défend la thèse d'un partage des ressources (parti du partage forcé). Un autre tiers défend la thèse d'une conservation des stocks auprès des pays qui les possèdent (parti de la conservation des stocks). Un dernier tiers joue le rôle des décisionnaires. Après avoir dûment écouté les arguments des deux parties, ces derniers doivent prononcer une décision, en justifiant quelle partie les a convaincus.



L'enseignant explique: « Dans un premier temps, vous allez incarner des acteurs de ce comité d'experts. Travaillez ensemble pour prendre une décision concrète pour faire face à l'urgence de la situation! »

■ **L'enseignant explique les forces en présence et qui animent le débat.** Le parti du partage forcé est constitué d'hommes politiques, d'éthiciens, et de représentants d'ONG. Le parti de la conservation des stocks est constitué d'hommes politiques, d'économistes et de juristes. Les décisionnaires sont des politiciens actifs impliqués dans les gouvernements actuels des pays riches et pauvres.

■ **L'enseignant répartit les élèves en trois groupes correspondants, qui se réunissent autour de trois îlots.**

- Chaque groupe reçoit éventuellement des suggestions sur des arguments à défendre et se prépare à les présenter (15 minutes).
- Le débat s'ouvre avec la parole du parti du partage forcé. Pendant 5 minutes, ceux-ci exposent leurs arguments. S'en suivent 5 minutes de questions de la part du groupe de décisionnaires pour demander des précisions ou des clarifications.
- La parole est ensuite donnée au parti de la conservation des stocks et l'on procède de la même façon.
- Le verdict est enfin rendu par les décisionnaires, qui justifient leurs prises de décision.

Conseils de mise en place et éléments de correction

- Voici des arguments qu'on peut entendre ou proposer à la discussion.
 - « Bien évidemment qu'il faut aider les pays pauvres ! » Le débat s'oriente généralement sur des arguments d'ordre éthique, sur des intuitions altruistes qui suggèrent qu'il faut toujours partager pour aider les autres.
 - « Si les ressources sont limitées, moi j'aide d'abord ma famille ! ». De l'autre côté, on pourra défendre que, si les stocks sont limités, on veut défendre d'abord nos proches, nos concitoyens, et que l'on s'occupera du reste du monde plus tard... partager les stocks de médicaments est injuste, car il met en danger ceux qui sont actuellement en possession des stocks.
 - « C'est utile de partager si ça améliore vraiment la situation. Mais pas si ça empire pour nous... ». Comment évaluer les effets du partage ou du non partage ? Au final, l'objectif du comité est de parvenir à trouver la meilleure décision, celle qui permettra au mieux d'enrayer la maladie et de limiter au maximum sa diffusion, dans les pays riches comme dans les pays pauvres. Ainsi émerge le besoin d'arguments scientifiques tangibles et objectifs.
 - « De toute façon, c'est que du hasard, donc impossible de prédire quoi que ce soit... ».
- L'objectif de cette phase préparatoire est de soulever plusieurs points :
 - Dans ce type de débats, des faits sont nécessaires. Dans ce cas, il faut avoir recours à une approche scientifique.
 - Classiquement, on imagine que le travail des scientifiques se restreint à l'expérimentation et ici, cela est impossible ! On ne peut pas comparer une humanité altruiste et une humanité non altruiste après injection d'une maladie à la surface de la Terre ! Il est donc impossible d'avoir recours à l'expérimentation pour répondre à cette question. Dans ce cas, nous devons avoir recours à la modélisation pour permettre d'obtenir ces arguments tangibles qui nous font défaut.
 - Il semble donc pertinent de répartir d'un modèle, comme celui de l'Activité 1. Or, l'efficacité du modèle dépend des connaissances qui sont en notre possession et de la façon dont on les exploite pour construire le modèle (quel phénomène induit quel autre, avec quelle probabilité etc.). L'objectif va donc être d'améliorer le modèle avec des connaissances et de trouver une façon de construire le modèle à l'aide de ces connaissances. La problématique ici impose un apport de connaissances de différentes disciplines.
- Les élèves qui auraient fait l'Activité 1 devraient être déjà sensibilisés à ce dernier point. On rappelle si nécessaire qu'un modèle permet de faire des prévisions c'est-à-dire de simuler, à partir de conditions initiales données, différents scénarios futurs possibles. Si les conditions initiales sont

données et ne changent pas, la prévision et les scénarios qui se dessinent dépendent exclusivement des règles de fonctionnement qu'on introduit dans la simulation. Ces règles ont souvent la forme de chaînes d'implications causales aléatoires : si cet événement a lieu, alors, dans telles conditions, il y a tant de probabilités que cet autre événement se vérifie.

Cœur de l'activité : Utiliser le modèle pour obtenir des faits scientifiques en appui du débat

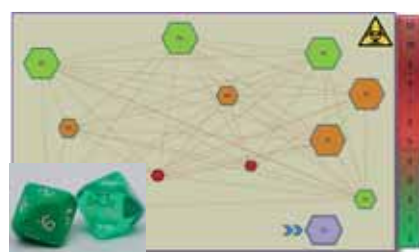
Contexte : Le débat est arrivé à une impasse. Intuitivement, le partage semblait le choix plus altruiste et éthique à faire... Mais est-ce aussi le plus efficace ? Pour qui et à quelles conditions ? Les membres du conseil réclament plus de faits scientifiques pour prendre les bonnes décisions.

Objectif : Utiliser un modèle pour obtenir les faits scientifiques nécessaires pour faire avancer le débat.

Organisation : en petits groupes

Matériel :

- Un Plateau Propagation indiquant les villes présentes.
- Des dés à 10 faces.
- Des jetons pour marquer les villes présentant le statut « Épidémique » à un tour donné.
- Un Tableau de Synthèse qui résume les caractéristiques de chaque ville et leur probabilité individuelle de passer au statut épidémique au début de la simulation et le stock de médicaments (à compléter tout au long du jeu).
- Une Grille d'aide qui facilite la détermination des résultats de dés qui entraînent une contamination (la grille donne le score maximum de sorte que ce résultat et tous les résultats inférieurs sont synonymes de contamination).
- Un jeu de Cartes Villes donnant des caractéristiques de chacune des villes du plateau.



Villes	Trafic aérien (millions de passagers / an)	Connexion	Score max pour contamination (sans modificateurs)	IDH	Stocks de médicaments initiaux	Stock de médicaments en cours
Paris	65	Élevée	4	Très élevé	7	
New York	57	Élevée	4	Très élevé	7	
Tokyo	75	Élevée	4	Très élevé	7	
Sydney	39	Moyenne	3	Très élevé	7	
Istanbul	62	Élevée	4	Élevé	5	
Shanghai	60	Élevée	4	Élevé	5	
Moscou	33	Moyenne	3	Élevé	5	
Mexico	38	Moyenne	3	Élevé	5	
Le Caire	3	Faible	2	Moyen	0	
Le Caire	15	Faible	2	Moyen	0	



Règles : la simulation finale (c'est-à-dire l'utilisation du modèle) se déroule ainsi :

- Au début du jeu, une seule ville est au statut « Épidémie » et toutes les autres au statut « Susceptible ».
- À chaque tour, on va lancer successivement 10 dés, un pour chacune des villes. Ce lancer représente un événement aléatoire : la ville concernée prend le statut « Épidémie » (la ville acquiert le statut ou le conserve si elle le possédait déjà).
- La probabilité de cet événement dépend de plusieurs facteurs. Nous en considérons 4 ici.
 - Le premier est le trafic aérien. Les villes à fort trafic aérien ont une probabilité de 4/10 de prendre le statut « Épidémie » à chaque tour. Les villes à trafic aérien moyen une probabilité de 3/10, celles à trafic faible une probabilité de 2/10. De façon arbitraire, on considère comme élevé un trafic supérieur à 55 millions de passagers par an, moyen entre 20 et 55, faible en dessous.
 - Le second est le statut au tour précédent (il est plus probable qu'une ville prenne le statut « Épidémie » si la maladie est déjà présente). On ajoute +2 au lancer de dé pour ce tour.
 - Le troisième est l'utilisation de médicaments (pour traiter la population ou en prophylaxie).

On enlève 2 au lancer du dé pour ce tour si la ville possède encore des médicaments. Au départ du jeu, les villes à IDH élevée possèdent un stock de 7 médicaments. Celles à IDH moyen 3 et celles à IDH faible 0.

– Le quatrième est l'état pandémique de la planète. Si plus de la moitié des villes sont touchées, tout s'accélère. Les probabilités initiales sont multipliées par deux avant les modificateurs: donc 8/10, 6/10 et 4/10 respectivement pour les villes à fort, moyen et faible trafic.

Note: le tableau de synthèse et la grille de lancers aident à déterminer rapidement la probabilité pour chaque ville donnée.

L'enseignant explique: «La situation est grave! L'épidémie se diffuse à l'échelle de la planète: on risque une pandémie! Quels facteurs vont favoriser sa diffusion? Quelles actions peuvent aider à la limiter?»

■ **L'enseignant rappelle aux élèves les conclusions du débat et la nécessité de recourir à la modélisation pour obtenir des faits objectifs.** La problématique du partage des stocks de médicaments à l'échelle internationale impose le recours à un modèle. Une fois ce modèle construit, il peut être exploité pour tester des hypothèses comme l'intérêt ou non de partager les stocks de médicaments.

■ **L'enseignant de Sciences introduit cette partie en présentant aux élèves l'ensemble des règles du jeu.** Il souligne le parallèle entre l'exploitation du modèle et une expérimentation scientifique: on teste une hypothèse et pour cela on modifie un paramètre et un seul et on multiplie les observations pour s'assurer de la qualité des résultats. Les élèves décident donc que la moitié des groupes travaillera sur une stratégie «altruiste» (partage des stocks de médicaments) alors que l'autre moitié travaillera sur une stratégie «égoïste» (non partage des stocks); que chaque groupe essaiera de faire le plus de tests possibles pour avoir un maximum de résultats; que ces résultats seront ensuite rendus publics pour l'ensemble des groupes et que l'on pourra comparer les conséquences de l'utilisation de l'une ou l'autre des stratégies. Une autre disposition (chaque groupe teste les deux hypothèses successivement) est envisageable.

■ **L'enseignant demande aux élèves comment traduire dans le jeu la stratégie «altruiste».** Avec l'aide de l'enseignant de géographie qui pourra évoquer les actions d'organisations mondiales de santé comme l'OMS, on élaborera l'idée de la création d'un fonds commun, qui recevra l'approvisionnement déterminé par la classe. Une possibilité est que chaque pays riche donne dès le début du jeu 2 unités de son stock au fonds commun. D'autres stratégies pourront être évoquées et utilisées. Dans tous les cas, cela devra être rajouté aux règles et être bien mis en place sur les plateaux au démarrage du jeu.

Note: dès le début de l'activité, des élèves peuvent avoir le raisonnement suivant: «de toute façon, on n'en sait rien car c'est du hasard». Cette vision est associée à une perspective erronée du hasard qui consiste à penser que tout événement aléatoire est complètement imprédictible. Il est important d'accompagner cette réflexion en montrant que l'on a des informations sur des phénomènes même aléatoires. On peut prédire quel événement a la plus grande probabilité de survenir et même sa fréquence si on recommence l'expérience un grand nombre de fois. Ce n'est pas parce que la météo du jour, les résultats sportifs ou la réussite aux examens sont des phénomènes aléatoires que je n'ai pas une plus grande chance d'observer une journée ensoleillée en été, la victoire de l'équipe la plus forte ou la réussite de celui qui se prépare mieux.

■ **Les enseignants laissent finalement les élèves exploiter le modèle dans les deux conditions.** Chaque « partie » dure 6 tours et les résultats finaux sont consignés dans un tableau commun.

Pour nourrir la discussion à l'issue de l'activité

■ La mise en commun commence par une phase de présentation des résultats obtenus. On discute des conclusions que l'on pourrait faire à partir de la comparaison des états du monde après 6 tours, avec ou sans partage des médicaments.

■ Quels que soient les résultats obtenus, il est absolument nécessaire d'aborder la réflexion sur la méthodologie employée. Premièrement, le nombre d'hypothèses étant limité dans notre modèle, on se gardera de penser que les résultats sont pertinents. Les scientifiques travaillent avec un grand nombre d'hypothèses et font des choix de paramètres basés sur des connaissances et non de façon arbitraire comme nous l'avons fait. Deuxièmement, le nombre de résultats à atteindre avant de considérer les résultats de façon significative est très élevé. C'est pourquoi les scientifiques ont recours à des ordinateurs lorsqu'ils doivent concevoir et exploiter des modèles.

■ Les résultats pourraient montrer qu'il n'y a pas de différences entre les deux stratégies ou que la stratégie altruiste est à privilégier. La discussion permettra de rechercher le mécanisme sous-jacent. En réalité, en aidant les pays pauvres, les pays riches empêchent la pandémie d'éclater et indirectement ils se protègent eux-mêmes. Dans le cas d'un phénomène réel et complexe comme les épidémies, les chaînes de causalité sont très dures à concevoir « de tête ». De plus, l'intervention de phénomènes aléatoires complique la compréhension intuitive des phénomènes. La modélisation permet aux scientifiques de prédire la conséquence de décisions ou de conditions quand ils ne peuvent le faire par un simple raisonnement. Cela montre que les scientifiques se méfient de leurs intuitions et basent leur travail sur des outils rigoureux.

■ Finalement, que vont dire les scientifiques aux décideurs ? Il est important de faire comprendre que la science n'a pas vocation à dicter à la société les comportements qu'elle doit adopter. C'est aux politiques ou aux citoyens de prendre des décisions. Mais prendre une décision basée sur ses simples intuitions est souvent très risqué, surtout lorsque les phénomènes sont complexes ou aléatoires. Au contraire, il sera raisonnable de guider notre décision sur des outils scientifiques. La science est là pour expliquer des phénomènes et prédire des conséquences, en se basant sur des connaissances fiables. Même s'il reste une part d'incertitude, il est plus raisonnable de se baser sur des prédictions fondées. C'est ensuite aux décideurs de prendre des décisions informées. Dans notre cas, le modèle pourrait motiver les politiques de pays riches à aider les pays pauvres car cela semble la meilleure façon de gérer une épidémie naissante.

Extension de l'activité : la construction du modèle

Conseils de mise en place des phases de l'activité

- Les enseignants peuvent décider de faire plus que demander aux élèves d'utiliser le modèle : ils peuvent le leur faire construire ! Nous donnons ici les indications pour faire construire de façon relativement guidée notre modèle. Les enseignants s'inspireront librement de ces suggestions pour

mener un projet de construction d'un modèle sous la forme d'un jeu de plateau avec ses règles. Ci-dessous sont présentées les différentes phases de la construction du modèle.

- La phase de construction du Plateau à partir des Cartes Villes et des Pions peut être réalisée en cours de Géographie (cf. Phase 1). C'est l'occasion d'aborder des notions relatives à la cartographie d'une part (représentation par des figurés de certaines données) et à la mondialisation d'autre part (on constatera notamment que, contrairement à l'Activité 1, les échanges ne se font pas de proche en proche mais de façon globalisée). L'enseignant de géographie abordera également le lien entre IDH (Indice de Développement Humain) et capacité de prodiguer des soins à la population car cela apparaîtra également dans les figurés de la carte.
- La réflexion sur la nécessité de comparer deux cas peut être mise en évidence en cours de science (cf. Phase 2). La simulation s'apparente à une expérimentation. On compare donc l'évolution dans deux cas (deux scénarios) : dans le premier où il n'y a aucun partage, en dans le second en cas de création d'un fonds international (l'enseignant de géographie peut revenir sur ce point). On attribuera à chaque niveau d'IDH une quantité initiale de médicaments.
- La réflexion sur la mécanique aléatoire du modèle peut être réalisée en cours de mathématiques (cf. Phase 3). On attribue des probabilités aux différents événements et on les convertit en règles de jeu (par exemple, une ville à fort trafic aérien, IDH très élevée, un statut « Susceptible » et en absence de pandémie prend le statut « Épidémie » sur un résultat de 1 ou de 2 à un lancer de dé de 10 faces, ce qui correspond à une probabilité de 0,2).
- Une fois que le modèle a été construit (ou donné), on peut passer à l'activité finale (cf. Cœur de l'activité). Celle-ci consiste à utiliser la simulation pour 6 tours successifs. Pour rebondir sur le débat, on comparera le nombre de villes contaminées à l'issue de ces 6 tours dans deux conditions :
 - Cas n° 1 : Pas de partage. Toutes les villes disposent du stock initial comme indiqué ci-dessus.
 - Cas n° 2 : Partage. On postule l'existence d'un organisme international de santé qui récupère 2 médicaments de chaque pays riche (d'autres variantes sont possibles). Ensuite, la simulation se déroule de la même façon que précédemment.
- Pour que les élèves conservent une trace de leur progression d'un cours sur l'autre et entre les disciplines, nous suggérons le recours à l'élaboration d'un « livret de règles » qui sera rempli à chaque fin de cours et consulté dès que nécessaire.

Phase 1 : Les effets de la mondialisation (géographie)

■ **L'enseignant introduit la première phase d'activité.** La géographie va nous éclairer sur l'état du monde au XXI^e siècle, bien loin des modèles utilisés dans l'activité précédente. Cette dernière peut servir comme point de départ pour réfléchir aux limites évidentes de cette première modélisation. Principalement, il apparaît que la connexion des villes deux-à-deux dans le modèle de l'activité 1 est irréaliste. De nos jours, la mondialisation bouleverse les liens entre villes et la distance géographique n'est plus le facteur principal qui conditionne ces liens. Ainsi, deux villes peuvent être très éloignées mais réaliser de nombreux échanges et bénéficier de voies de communication qui les rendent plus connectées que deux villes géographiquement proches. Le système que l'on va utiliser dans cette activité ne repose donc plus sur des liens de proches en proche. Une ville ne deviendra pas forcément plus infectée si ses voisines le sont. Quels facteurs déterminent alors si une ville sera infectée ou ne le sera pas ?

Note: si les élèves ont utilisé le modèle de l'activité précédente, ils risquent d'être surpris voire gênés par la nouvelle mécanique introduite ici. Il est bien plus intuitif de voir la maladie comme se déplaçant de proche en proche plutôt que de la voir « apparaître » à New-York du jour au lendemain. Pourtant, ce décalage nous intéresse car il prend tout son sens du point de vue de la mondialisation. Ce n'est pas que la maladie « apparaît », c'est que les éléments qui la véhiculent sont invisibles et les flux de personnes si importants que les épidémiologistes doivent combattre un ennemi invisible qui se propage facilement à grande échelle. Ce passage doit être explicité plusieurs fois aux élèves qui restent sinon bloqués sur la première modélisation effectuée.

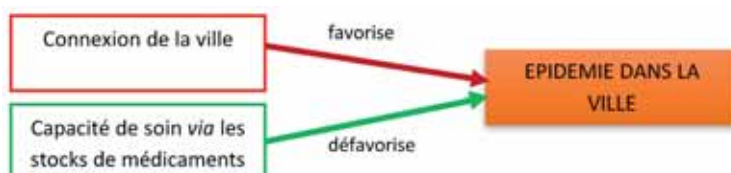
■ **L'enseignant distribue un jeu de Cartes Villes à chaque groupe d'élèves:** ce sont les villes qui vont être étudiées et prises en considération pour la construction du jeu-modèle. Même s'il est plus complexe, le modèle à construire ne cherche pas non plus à représenter exactement la réalité. Il la simplifie de façon raisonnée. L'enseignant précise aux élèves cette idée. On va donc se limiter à 11 villes (dont une infectée au début du jeu) mais en choisissant des villes avec des caractéristiques différentes pour représenter une certaine diversité.

■ **L'enseignant expose aux groupes leur première mission:** choisir une carte géographique pour bien identifier la position des villes et servant de fond pour le plateau de jeu. Des enseignants pourraient choisir d'introduire ici les différents types de représentation de la Terre et notamment la projection polaire. Les cartes géographiques (éventuellement avec des représentations différentes) sont ensuite distribuées à chaque groupe. Les élèves sont invités à localiser chaque ville et à placer un point sur la carte. Mais l'enseignant explique que la carte géographique n'a pas pour seule fonction de positionner des villes. Elle constitue un support pour le modèle car elle permet d'extraire des informations utiles pour modéliser correctement la diffusion de l'épidémie.



■ **L'enseignant peut maintenant amorcer la réflexion sur les causes possibles de l'arrivée de l'épidémie dans une ville.** Parmi les causes possibles, l'enseignant annonce que deux vont particulièrement nous intéresser ici :

- la connexion de la ville au reste du monde (via les aéroports principalement)
- la capacité de la ville à se défendre de la maladie (notamment via ses stocks de médicaments).



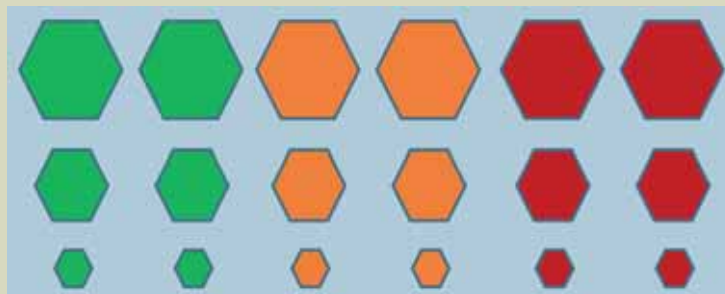
L'enseignant pourra utiliser une représentation graphique de ces liens de causalité comme montrée dans la Séquence 1.

■ **L'enseignant propose maintenant aux élèves de réfléchir aux deux éléments suivants:**

- Quels paramètres choisir pour représenter les deux causes (connexion et capacité de soin)?
- Comment représenter ces deux paramètres sur la carte?

Conseils de mise en place et éléments de correction

- Les Cartes Villes comportent plusieurs renseignements sur la ville : le pays auquel elle appartient, sa population (en million d'habitants), sa surface (en km²), son Indice de Développement Humain, et le nombre de passagers du principal aéroport (en millions par an). En groupe, les élèves se mettent donc d'accord. Si le nombre de passagers par an est facilement corrélé à la connexion de la ville, certaines classes n'ayant pas encore abordé l'IDH, une recherche ou des informations complémentaires peuvent être nécessaires pour ceux qui ne connaissent pas cet indice.
- L'étape de représentation va nécessiter deux efforts : le premier est d'établir des catégories. Cela va être facilité pour l'IDH car la catégorisation est déjà faite. Pour les aéroports, ce sera aux élèves d'établir, sur le même principe, trois catégories. Le deuxième effort sera de représenter ces informations par un code couleur. Pour des élèves qui découvrirait ces notions ou qui auraient des difficultés à réaliser cette tâche, nous proposons le coup de pouce suivant :



- Les élèves doivent dans tous les cas réaliser une légende explicite sur le bord de leur carte. Si possible, enfin de séance, ils présentent aux autres groupes les choix de symbole qu'ils ont effectués. Il est capital que pour la suite des séquences, ils aient acquis la capacité à se référer facilement à leur légende pour lire les caractéristiques d'une ville donnée.
- La phase 1 s'achève sur l'écriture d'une partie des règles du modèle dans le « livret de règles ». Ici, les élèves peuvent commencer à présenter la diversité des villes et de leurs caractéristiques sous la forme d'un tableau présentant pour chaque ville l'importance de son flux aérien et son IDH. Ils pourraient expliquer la nature de ces deux indices (surtout l'IDH) et leur rôle respectif dans la propagation de la maladie. Plus tard, ces éléments se traduiront par des règles plus fines sur l'impact de telle ou telle caractéristique sur la probabilité que l'épidémie se déclenche dans la ville à un tour donné.

Phase 2: La réflexion sur le modèle (SVT)

■ **L'enseignant introduit cette phase en rappelant que, en sciences, la manière la plus rigoureuse pour expliquer un phénomène ou événement (rechercher ses causes ou ses effets) consiste à mettre en place une démarche expérimentale** avec un test et un témoin, à expliciter les hypothèses et leurs prédictions (si l'hypothèse est vraie/fausse, alors...), à répéter le test pour obtenir des données significatives, à faire varier un seul paramètre à la fois... Cependant dans le cas en question, il est impossible de mettre en place une telle démarche : on ne peut pas distribuer les médicaments ou ne pas les distribuer et... attendre que l'épidémie se déclenche. Nous sommes dans un cas d'anticipation, de prévision, ce qui justifie le recours à une simulation ou modèle permettant des prédictions. Mais ce n'est pas pour cela que l'on va renoncer à la rigueur du test expérimental. Le modèle va donc servir de test, en l'absence de possibilité d'approche expérimentale directe.

■ **Pour bien expliciter ce raisonnement, l'enseignant pourra remplir avec les élèves la deuxième colonne du tableau suivant.** Il met en relation directe le modèle et une approche expérimentale directe classique :

Éléments d'un protocole expérimental rigoureux	Éléments méthodologiques correspondant dans le modèle
Comparaison d'un test et d'un témoin	On fait tourner le modèle avec un monde altruiste ou avec un monde égoïste
Multiplication des données	Pour chaque situation on recommence plusieurs fois
Variation d'un unique paramètre à la fois	On se met d'accord pour que tous les groupes ne changent rien à part le partage éventuel des médicaments
Comparaison des résultats obtenus notés avec soin avec ceux prédits si l'hypothèse est vraie/fausse	On note les résultats à chaque fois, on réalise des prédictions si l'hypothèse est vraie/fausse etc.

■ **L'enseignant présente alors la question de la représentation des stocks de médicaments dans le modèle.** Il demande aux élèves de ressortir leurs Cartes Villes et de chercher sur quel paramètre s'appuyer. Il leur fournit l'aide suivante :

La ville présente une capacité de lutte contre la maladie...	Stocks de médicaments au début du scénario (nombre d'unités disponibles)
... ÉLEVÉE	7
... MOYENNE	3
... FAIBLE	0

À partir de la mise en relation entre les données de la carte et le tableau d'aide ci-dessus, les élèves déterminent le stock de médicaments pour chaque ville. Ils peuvent alors compléter le « livret de règles » débuté à la séance de géographie, coller les tableaux distribués et commencer l'équivalent du Tableau de synthèse proposé dans la partie « Cœur de l'activité ».

■ **L'enseignant pourra revenir sur le schéma de causes évoqué en géographie :** l'utilisation des médicaments va diminuer la probabilité qu'une épidémie se déclenche dans une ville donnée, tant que son stock de médicaments n'est pas nul.

■ **L'enseignant pourra enfin expliquer** que dans ces périodes de crise (et pas n'importe quand), les médicaments comme des antiviraux peuvent être utilisés aussi bien pour soigner que pour prévenir tant que les vaccins ne sont pas disponibles (on parle de prophylaxie). Les élèves pourront donc rajouter la règle suivante à leur livret : « à chaque tour, le stock de médicaments descend obligatoirement de 1 pour chaque ville. »

Phase 3: La mécanique du modèle (Mathématiques)

■ **L'enseignant résume avec les élèves tout ce qui vient d'être fait jusque-là :** deux paramètres jouent sur le déclenchement de l'épidémie dans un tour donné. Comme les phénomènes sont aléatoires, ces paramètres vont augmenter ou diminuer la probabilité que l'épidémie se déclenche. Pour simuler cet aspect aléatoire, on utilisera un dé à 10 faces (D10), qu'on appellera Dé de contamination. Si le

résultat est inférieur à un certain nombre (par exemple 3 si la probabilité est de 30 %), alors la ville passe du statut « S » (Sain) au statut « E » (Épidémie).

■ **L'enseignant distribue l'aide suivante et explique la première étape:** elle consiste à tenir compte de la mondialisation : plus une ville est connectée aux autres villes, plus la probabilité qu'une épidémie s'y déclenche est élevée.

La connexion de la ville aux autres est...	Probabilité de passer de « S » à « E »
... ÉLEVÉE	2/5
... MOYENNE	3/10
... FAIBLE	1/5

Note: volontairement, nous n'avons pas mis toutes les fractions sous le même dénominateur. L'enseignant pourra augmenter ou enlever cette difficulté.

■ **L'enseignant demande aux élèves de compléter les règles du jeu** dans le « livret de règles » : initialement, la probabilité d'être contaminée peut être de 4/10, 3/10 ou 2/10 selon les villes. Cela doit se traduire très concrètement au niveau des règles. Voici un tableau que l'enseignant peut utiliser comme élément de correction :

Indicateur : Connexion de la ville :	Conséquence en termes de probabilités	Règle du modèle : La ville devient contaminée si je tire un D10 et que j'obtiens :
... ÉLEVÉE	$2/5 = 4/10$	1, 2, 3 ou 4
... MOYENNE	$3/10$	1, 2, ou 3
... FAIBLE	$1/5 = 2/10$	1 ou 2

Note: à partir de maintenant, toutes les règles supplémentaires vont être des modificateurs qui agissent sur cette probabilité de base.

■ **L'enseignant expose la mission suivante: il faut rajouter une règle sur l'action des médicaments.** Les élèves sont invités à réfléchir, par groupe, à des propositions concernant l'impact de l'utilisation des médicaments. L'important est qu'ils comprennent que, puisque l'utilisation des médicaments abaisse la probabilité de contamination, on va faire agir un modificateur négatif. On peut opter pour une des règles proposées par un groupe ou choisir la suivante : l'utilisation d'un médicament (que l'on rappelle obligatoire quel que soit le statut de la ville, tant que les stocks le permettent) induit un -2 sur le lancer de dé de contamination. Les élèves consignent ensuite leur nouvelle règle.

Note: on peut s'arrêter là et faire tourner le modèle. Cela permettra aux élèves de comprendre le déroulé global. On suggère dans ce cas de choisir des valeurs de contamination plus élevées dans les tableaux ci-dessus. Pour des raisons de réalisme, nous conseillons cependant d'ajouter une ou deux règles supplémentaires. C'est avec l'ajout de ces deux règles que la stratégie altruiste devient plus efficace que la stratégie égoïste. L'enseignant adaptera ses choix au temps qu'il a à disposition et au niveau de ses élèves.

■ **L'enseignant expose la mission suivante: il faut rajouter une règle concernant le statut de la ville:** si une ville était déjà contaminée au tour d'avant, c'est-à-dire que son statut est actuellement « S », on applique un modificateur de +2 qui traduit le fait qu'il est plus probable qu'elle soit à nouveau contaminée ce tour-là. La maladie étant présente dans la ville, il y a en effet plus de chance que l'épidémie perdure par rapport au cas où la ville est saine. Cette règle doit être rajoutée dans le « livret de règles ». Par ailleurs, une représentation graphique (voir Grille d'aide dans la Fiche matériel) peut être distribuée pour prendre en compte toutes ces considérations.

Note: toute cette réflexion sur la construction matérielle du jeu en regard des contraintes (par exemple le fait de ne pas colorier la case sans quoi le plateau devient inutilisable rapidement comme le font spontanément certains groupes d'élèves!) pourrait faire l'objet d'une séance en technologie. Le produit final aurait alors une ergonomie et une esthétique le rapprochant d'une vraie boîte de jeu. Nous ne pouvons qu'encourager cette approche qui sera gratifiante pour les élèves en termes de production finale. Nous proposons dans la Fiche Matériel une alternative simpliste qui peut largement être améliorée (Jetons Epidémiques).

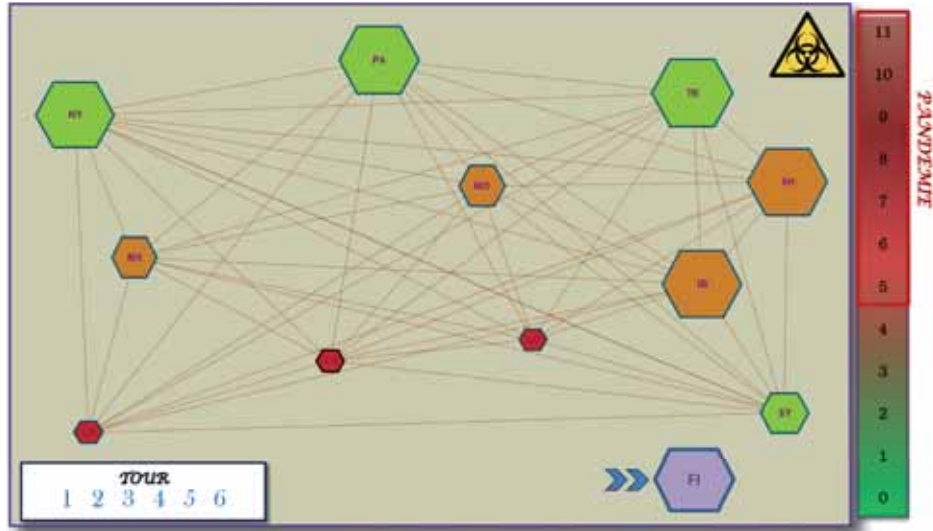
Note: une autre solution est de compléter un tableau tout au long du jeu. Si les élèves ont construit un Tableau de Synthèse au fur et à mesure, ils pourront rajouter des colonnes indiquant: le statut en cours de partie de la ville (épidémique ou non); le nombre de médicaments restant. L'enseignant pourra s'inspirer du Tableau de synthèse rempli proposé dans la Fiche matériel.

■ **L'enseignant expose la dernière mission : il faut rajouter une règle concernant le statut du monde.** C'est lui qui créera la bonne mécanique du jeu. Si l'enseignant décide d'utiliser cette règle, il l'imposera en l'explicitant bien. Une pandémie est déclarée quand la contamination prend une ampleur mondiale. On considèrera ici qu'elle est atteinte quand la moitié du plateau est contaminée (5 villes ou plus en statut «E»). Dans ce cas, les probabilités de base sont doublées. Cette règle doit être rajoutée dans le livret des règles.

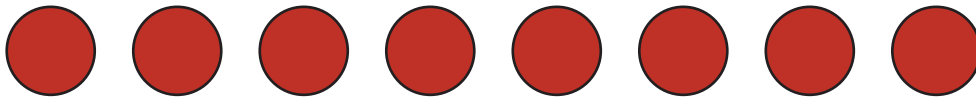
Note: en cas de manque de temps, il ne faudra pas essayer d'imposer cette règle. La discussion sur les modèles peut très bien se mener sans elle. Mais elle prend tout son sens car elle introduit un effet boule de neige assez réaliste. Si la maladie n'est pas éradiquée assez tôt, elle peut prendre une ampleur internationale plus difficile à gérer: c'est un exemple de boucle de rétroaction positive, un mécanisme qui complexifie grandement les réactions causales. C'est ce qui explique qu'un partage assez précoce des stocks de médicaments peut avoir un réel intérêt pour la communauté internationale. Dans notre modèle, ceci favorise une stratégie altruiste, en diminuant la probabilité que le statut pandémie soit atteint et donc que la maladie se propage de façon incontrôlable.

Mondialisation (fiche matériel)

• Plateau Propagation



• Jetons Épidémiques



• Tableau de synthèse

Villes	Trafic aérien (millions de passagers /an)	Connexion	Score max. pour contamination (hors modificateurs)	IDH	Stocks de médicaments initiaux	Stock de médicaments en cours
Paris	65	Élevée	4	Très élevé	7	
New-York	57	Élevée	4	Très élevé	7	
Tokyo	75	Élevée	4	Très élevé	7	
Sydney	39	Moyenne	3	Très élevé	7	
Istanbul	62	Élevée	4	Élevé	5	
Shanghai	60	Élevée	4	Élevé	5	
Moscou	33	Moyenne	3	Élevé	5	
Mexico	38	Moyenne	3	Élevé	5	
La Paz	3	Faible	2	Moyen	0	
Le Caire	15	Faible	2	Moyen	0	

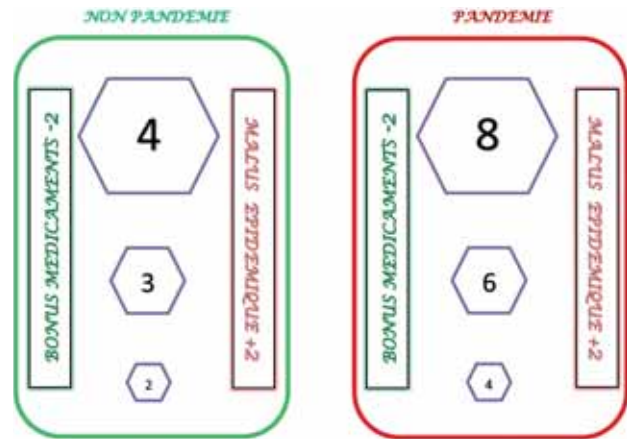
• Grille d'aide

La probabilité de base dépend du trafic aérien (4/10, 3/10 ou 2/10 selon la connexion de la ville) et :

- on rajoute -2 au lancer s'il reste des médicaments à la ville;
- on rajoute +2 si la ville est en statut «E».

Le score indiqué est celui qu'il faut strictement dépasser pour ne pas contaminer la ville.

Si 5 villes ou plus ont le statut «E» durant le même tour, le monde est au stade «Pandémie» et on utilise l'encadré de droite au lieu de l'encadré de gauche.



• Cartes Villes



Activité 3 : Éradication

Objectif : Modéliser à l'aide de l'outil informatique pour argumenter une décision	
Résumé	Les élèves comprennent l'intérêt interdisciplinaire de produire un programme informatique puis le réalisent progressivement.
Matériel	Ordinateurs et logiciel Scratch.
Notions mobilisées	Mathématiques : Décomposer un problème en sous problèmes; Écrire, mettre au point et exécuter un programme en réponse à un problème donné; Programmer des scripts se déroulant en parallèle.
Compétences mobilisées	Mathématiques : Modéliser, Traduire en langage mathématique une situation réelle.
Production	Simulation numérique de la propagation d'une épidémie avec ou sans vaccination et jeu de données correspondant.
Durée	3 à 5 heures.
Message à emporter	
À l'heure actuelle, les scientifiques ont largement recours à des modèles informatiques pour rendre plus fiables leurs prédictions. En effet, ceux-ci permettent d'exploiter les performances des ordinateurs pour reproduire un très grand nombre de fois la simulation et ainsi obtenir des résultats solides.	

Clés pour la mise en œuvre

La problématique étudiée ici s'ancre sur le risque de saturation des lits dans les hôpitaux pendant la phase d'épidémie. C'est un exemple de boucle de rétroaction positive (l'absence d'hospitalisation pouvant renforcer la propagation de l'épidémie et donc la saturation des hôpitaux). Il est possible pour l'enseignant de présenter ce type de boucle où la conséquence d'un phénomène renforce ce dernier. Les cascades de cause-conséquence qui présentent des rétroactions positives sont complexes à étudier et il est difficile de prédire leurs conséquences. Dans le cadre de l'activité, c'est aussi le cas de la propagation de l'épidémie : plus le nombre d'individus contaminés augmente et plus la propagation de la maladie s'accélère, jusqu'à un plateau. Les modèles informatiques permettent alors de diminuer l'incertitude en multipliant un grand nombre de fois les simulations.

Cette activité peut être utilisée de différentes façons : soit de façon autonome, elle constitue alors un projet interdisciplinaire entre SVT et Mathématiques ou Technologie. Elle peut également être réalisée après la Séquence 3 et elle représente alors une alternative aux Activités 1 et 2 de la Séquence 4 pour présenter la notion de modèle. Elle peut également être réalisée après les Activités 1 et 2 de la Séquence 4 et sert alors à remobiliser de façon autonome les acquis sur la modélisation et la vaccination. Elle permet également d'illustrer comment l'élaboration de modèles informatiques permet tout d'abord de concevoir différents scénarios. Ensuite, pour chacun d'entre eux, les performances informatiques permettent de reproduire un très grand nombre de fois la simulation afin d'obtenir des résultats statistiquement exploitables.

La phase 1 permet de présenter le problème et de définir les contraintes. Les phases 2 à 4 permettent de s'approprier les outils de programmation et de s'approprier le modèle. Finalement, la phase 5

pourrait être réalisée indépendamment par un professeur de SVT voulant se contenter d'exploiter le modèle sans le faire construire. L'objectif est donc d'utiliser le modèle de façon à comparer le devenir d'une population vaccinée par rapport à une population non vaccinée pour comprendre les effets de la vaccination à l'échelle de la population. Ceci permet notamment de se rendre compte, par un exemple concret, de l'importance de la modélisation dans la prédiction des conséquences de certains choix stratégiques, et donc dans la prise de décision.



Déroulé possible de l'activité

Contexte : Un vaccin a été mis en place mais une partie de la population est réfractaire à l'utiliser. Or pour les autorités, il y a un enjeu très grand à immuniser rapidement la population car les hôpitaux sont engorgés et cela risque de favoriser un nouveau départ de l'épidémie. Des politiciens demandent donc aux scientifiques d'évaluer les bénéfices de la vaccination de façon très concrète pour convaincre de la nécessité absolue qu'une très grande partie de la population se vaccine. Il est nécessaire d'étudier objectivement les effets d'une vaccination à l'échelle de la population sur le développement de l'épidémie.

Objectif : Créer un modèle pour étudier les effets de la vaccination à l'échelle d'une population.

Organisation : Par groupes de 2.

Matériel :

- Ordinateurs équipés du logiciel Scratch.

Règles : Découvrir les éléments constitutifs du modèle puis le construire progressivement.



L'enseignant explique : « Vous allez élaborer un modèle mathématique qui met en évidence les effets d'une campagne de vaccination ! »

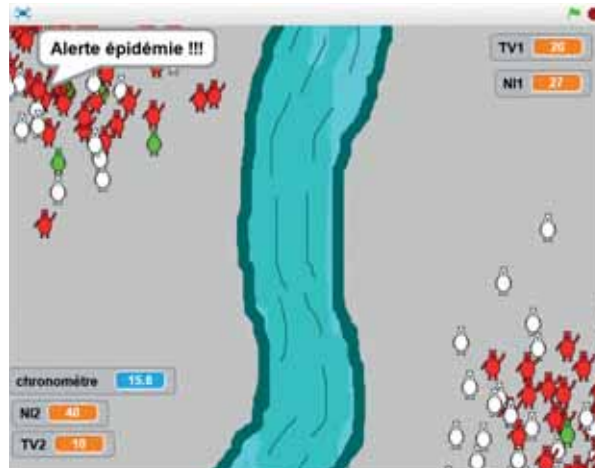
■ L'enseignant présente aux élèves le contexte et l'objectif de l'activité.

Note : la présentation peut avoir été amenée avant la séance par le professeur de SVT, ou être réalisée en début de séance si les deux professeurs sont présents dans la classe. Elle risque de susciter des réactions de la part de certains élèves. L'objectif de la séquence est bien de montrer la nécessité des campagnes de vaccination pour atteindre une immunisation de groupe. Le débat pourra s'orienter sur l'innocuité des vaccins mais, si un temps n'a pas été prévu pour, il devra être reporté. Nous vous présentons des pistes de réflexion sur l'immunité de masse et sur le ressenti par la population des vaccins sur la page dédiée du projet sur le site *La Main à la Pâte*.

Phase 1 : Réflexions préalables

Objectif détaillé : *engager une réflexion pour lister besoins, objectifs et contraintes avant de débiter la modélisation*

■ **L'enseignant de mathématiques ou de technologie présente une version du modèle final attendu**, éventuellement sur une version plus technique que Scratch. L'objectif n'est pas de dévoiler le travail à venir des élèves mais au contraire de les guider dans leur réflexion, car le modèle est complexe.



■ **L'enseignant distribue la Fiche élève : Phase 1 et initie une démarche par groupes.**

- Les élèves commencent par essayer d'identifier les besoins et contraintes du modèle : thème : enjeu des campagnes de vaccination ; objectif : besoin de preuves solides et argumentées d'un point de vue scientifique (aspects économiques, sociétaux...) ; destinataire : les décideurs publics, etc.
- La suite de la réflexion porte sur la méthode à respecter. Du point de vue scientifique, on cherchera à modéliser une expérimentation : on attend donc deux populations (test et témoin) pour lesquelles on fait varier un unique paramètre (en l'occurrence le taux de vaccination). Du point de vue technique, il va falloir décomposer le problème en sous-problèmes, et pour chacun d'eux identifier les éléments nécessaires à leur programmation. La discussion doit donc permettre d'arriver aux ingrédients nécessaires à la modélisation et à les ranger dans deux catégories :

- les ingrédients nécessaires pour répondre à la problématique scientifique : deux populations soumises à la même infection et partageant les mêmes caractéristiques mais présentant un taux de vaccination différent et pour lesquelles on compare le nombre d'individus infectés au cours du temps.
- les ingrédients nécessaires pour construire le programme : un décor, des lutins qui se déplacent aléatoirement et qui se contaminent entre eux quand ils se rencontrent, puis qui guérissent, des compteurs etc... et même des outils mathématiques (les élèves peuvent souligner que l'on n'est pas obligé de tomber malade lorsque l'on croise un individu malade. Il s'agit donc d'un événement aléatoire dont on doit estimer la probabilité et cela va impliquer de traduire ce fait en langage informatique).

Note : la suite dépend du temps à disposition, des objectifs de l'enseignant et des connaissances préalables que possèdent les élèves. Nous avons rédigé la séquence de façon à ce que les élèves prennent en main le logiciel puis développent par étapes l'ensemble du programme. Il est cependant tout à fait envisageable de choisir des objectifs plus ciblés et de proposer aux élèves de compléter le programme déjà en partie établi.

Phase 2: Prise en main du logiciel

Objectif détaillé: découvrir et s'appropriier les bases de Scratch

■ **L'enseignant répartit les élèves en groupes de 2 devant un poste informatique et leur explique que Scratch est un langage de programmation conçu spécifiquement pour apprendre à programmer.** Écrire un programme se fait simplement en emboîtant des blocs d'instructions. Lorsque l'on ouvre le logiciel, un chat apparaît à l'écran (un « lutin » qui peut représenter l'avatar du joueur, ou tout autre objet animé à l'écran). On peut lui donner des instructions simples.

■ **L'enseignant donne alors aux élèves une série de petites missions pour les aider à prendre en main le logiciel:**

- trouver une façon de faire avancer le lutin de 10 pas (10 pixels à l'écran). Après correction, on peut demander aux élèves de trouver comment faire avancer le chat de 20 pas.
- conditionner l'avancée du chat à un clic sur un drapeau vert afin de montrer le système d'emboîtement des blocs et la logique événementielle de ce type de programmation.
- faire avancer le chat de 20 pas quand on clique sur le drapeau, puis lui faire dire « Bonjour! ».

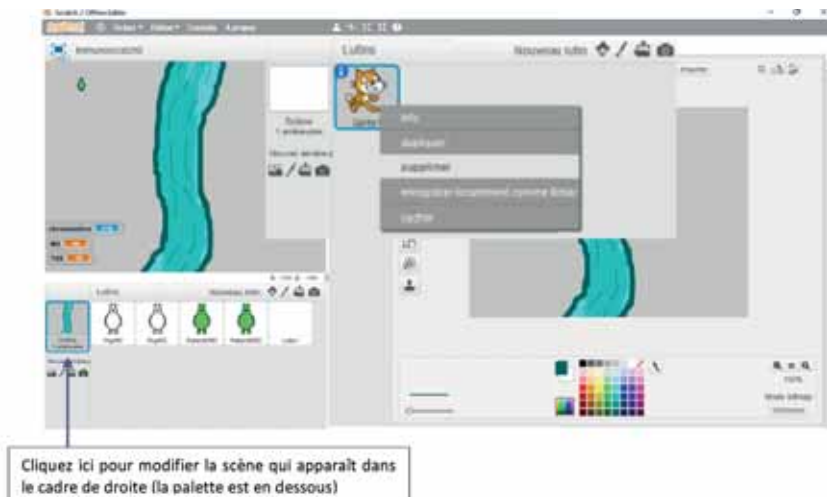


Une fois ce premier programme obtenu, l'enseignant peut dégager la notion de programme, d'instructions et expliciter ce qui vient d'être fait.

■ **L'enseignant peut ensuite présenter l'ensemble des catégories d'instructions, identifiables facilement par leur couleur** (celles relatives au mouvement du lutin sont en bleu (et on les trouve dans la palette bleue), toutes celles sur les événements sont en marron (comme par exemple « quand le drapeau vert est cliqué »), celles sur l'apparence du lutin (taille, costume, mais aussi parole, son...) sont en violet. Il peut inviter les élèves à explorer l'environnement *Scratch* par eux-mêmes.

■ **Dans la suite de l'activité, l'enseignant explique aux élèves que l'on peut modifier les lutins et les décors.** Les élèves sont invités à supprimer le chat, et à créer un ours (ou tout autre lutin de leur choix) en bas à droite de la scène. Enfin, ils doivent dessiner une rivière au milieu du décor. On peut les laisser chercher comment faire pour chaque objectif et les guider dès que nécessaire:

- Pour supprimer le chat, il faut cliquer (bouton droit) sur son icône, en bas à gauche de la fenêtre *Scratch*, et choisir « supprimer ».
- Pour créer un nouveau lutin, il faut, dans la même zone, cliquer sur l'une des icônes en fonction de l'option choisie: importer depuis la bibliothèque Scratch, dessiner « à la main », importer depuis un fichier, ou prendre une photo (si l'ordinateur possède une webcam).
- Pour modifier le décor, cliquer sur Arrière-plans puis utiliser les outils à disposition pour dessiner les figurés de son choix.



■ **Dans la dernière partie de l'activité, l'enseignant écrit les objectifs au tableau et invite les groupes à écrire leur premier programme de façon autonome :** le lutin (un ours par exemple) doit se déplacer de façon aléatoire dans le décor après que l'on ait cliqué sur un drapeau vert. L'enseignant peut faciliter la réussite de cette activité de 2 manières :

- à l'oral, expliciter les éléments nécessaires dans un tel programme : 1) ajouter le bloc « quand on clique sur le drapeau vert » ; 2) modifier les variables x ET y ; 3) rajouter un caractère aléatoire à l'aide de l'instruction « ajouter un nombre aléatoire compris entre a et b » ; 4) répéter cette action 10 fois ; 5) espacer les répétitions d'une seconde.
- directement sur Scratch, on peut proposer un programme contenant les blocs nécessaires, présentés dans le désordre, et inviter l'élève à les agencer et éventuellement à leur compléter par des valeurs de façon à rendre le script efficace.

Phase 3 : Les outils de la programmation

Objectif détaillé : Introduction de séquences d'instructions et de tests, création de variables

■ **L'enseignant poursuit le travail par missions :**

- Pour distinguer les individus susceptibles, malades et remis, on va utiliser des costumes différents : les élèves doivent utiliser un code couleur (blanc/rouge/vert) et leur donner un nom approprié.

■ **L'enseignant introduit ensuite la notion de variable.** Une variable est un nom que l'on donne à une zone de mémoire. Elle permet de stocker une valeur et de la réutiliser plus tard, ou de la modifier. Pour commencer, les élèves doivent d'abord modifier le programme pour créer 60 clones du lutin. Pour cela, il faut utiliser les deux blocs d'instructions nécessaires dans l'onglet « Contrôle ».



Note : un si grand nombre de clones n'est pas obligatoire dans un premier temps mais il sera utile par la suite. Un grand nombre de clones implique que les lutins soient de petite taille. Il est possible de modifier la taille du clone à partir de l'onglet « Costumes ». Il est très utile de penser à recentrer le clone après avoir réduit sa taille. Pour cela, utilisez l'onglet « Définir le centre du costume » en haut à droite.

- Les élèves doivent maintenant créer une variable « NT1 » (pour nombre total d'individus de la population 1) puis modifier le programme pour qu'il crée un nombre de clones du lutin correspondant à l'effectif choisi pour la population. Pour créer une variable, ils doivent cliquer sur l'onglet « Données ».

Pour attribuer une valeur à cette variable, utiliser le bloc d'instructions « mettre NT1 à ». Pour utiliser une variable, faites-la glisser dans un bloc d'instructions.



■ L'enseignant introduit la notion d'instruction conditionnelle.

- Les élèves doivent faire en sorte que les lutins ne traversent pas la rivière pour conserver deux populations séparées. Plusieurs solutions peuvent être suggérées ou trouvées par les élèves. Parmi celles-ci:
 - « si le lutin touche un pixel bleu alors il doit rebondir dans la direction opposée »;
 - dans le cas où la rivière est droite: « si le lutin dépasse cette abscisse, il doit revenir à un point particulier ».



■ L'enseignant introduit les notions de contamination et de guérison.

- Les élèves introduisent un « patient 0 » dans chaque population: cet ours commence la simulation dans son état « contaminé ». Attention: ce lutin doit être ajouté à la main, car il ne peut pas faire partie des clones générés automatiquement.
- Les élèves doivent ensuite gérer la contamination: lorsqu'un ours « sain » croise un ours « contaminé », alors il devient malade à son tour. Il faut donc repérer les éléments nécessaires:
 - « Croiser un individu malade » revient à: toucher un pixel de couleur rouge.
 - « Devenir malade » revient à: basculer du costume 1 au costume 2.
- Enfin, chaque ours dispose d'une période de rémission. Grâce à une variable notée « TpG » (pour temps de guérison), chaque ours guérit automatiquement au bout de « TpG » secondes, et passe dans son état « remis » (costume 3)
- Pour terminer, les ours « remis » ne peuvent plus être soumis à la contagion: il faut donc vérifier que seuls tombent malades les ours « sains » (costume 1) qui croisent des ours « contaminés » (pixels rouges)

■ L'enseignant introduit une alerte à la contamination

- Les élèves doivent créer un système de comptage du nombre d'infectés pour créer un système d'alerte. Dès que le nombre d'infectés atteint 30 (si on a bien choisi 60 clones initialement), un message doit apparaître: « Alerte épidémie! ».

- Par exemple, les élèves commencent par créer une variable nommée « NI1 » (pour nombre d’infectés dans la population 1). Chaque fois qu’un ours bascule du costume « sain » au costume « malade », il faut rajouter 1 à la valeur de la variable. Chaque fois qu’on bascule sur un costume « remis », il faut enlever 1 à la valeur de la variable. Ensuite, il faut utiliser la commande « attendre jusqu’à ». Bien relire la consigne pour trouver comment compléter cette commande.
- Enfin, il faut utiliser la commande « dire... pendant 2 secondes » pour que le message s’efface ensuite.



Phase 4: Représenter le hasard dans un programme informatique

Objectif détaillé: Utiliser les variables aléatoires pour simuler une probabilité dans le programme

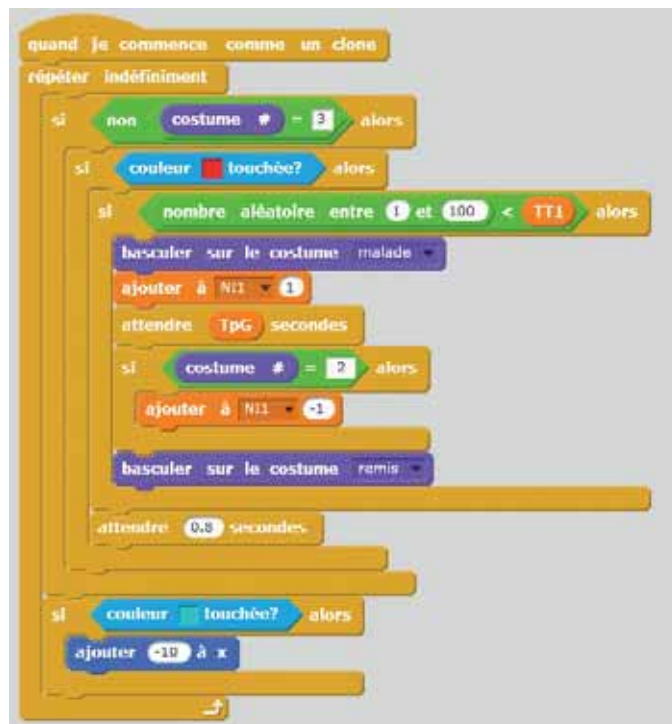
■ **L’enseignant explique que l’on va rajouter un nouvel événement aléatoire dans le programme:** on souhaite qu’à chaque fois qu’un individu malade rencontre un individu sain, celui-ci ait une chance sur deux de tomber malade. Cela donne un peu plus de réalisme à la simulation, qui jusqu’à présent imposait une contamination automatique (on peut reformuler « 100 % de chances de contamination »).

- Pour répondre à la consigne, il faut tout d’abord concevoir qu’elle est formulable ainsi: « Si un individu sain croise un individu malade, alors il a une chance sur deux de devenir malade à son tour. »

• Pour introduire le caractère aléatoire, il faut utiliser la commande « nombre aléatoire entre 1 et 100 » qui consiste à tirer un nombre aléatoire entre 1 et 100 puis faire un test d’inégalité. Voici ci-dessous une partie du script intégrant cette commande.

• Dans ce script, nous n’avons pas choisi de fixer une valeur précise mais de créer une nouvelle variable « TT1 » pour taux de transmission dans la population 1. Plus cette valeur est élevée, plus la contagiosité de la maladie sera élevée. Cela permettra de travailler sur l’importance de la vaccination en fonction de la contagiosité.

• Finalement, on souhaite conditionner le déclenchement de la campagne de vaccination. On peut par exemple déterminer que celle-ci débute au moment où l’on appuie sur la touche V du clavier.





- Comme précédemment, nous ne nous contentons pas de vacciner sur un taux fixe mais nous créons une variable aléatoire «TV1 ». Dans un premier temps, les élèves seront simplement invités à comparer une population vaccinée et une population non vaccinée. Dans un second temps (avec des élèves rapides ou sur l'ordinateur de l'enseignant en classe entière), les élèves vont affiner leur analyse: ils pourront créer les variables analogues pour l'autre population et notamment imaginer le devenir de deux populations, l'une ayant une couverture vaccinale («VT1») supérieure à l'autre («VT2») soit parce que la seconde a moins accès à la vaccination que la première, ou alors parce que le nombre de personnes sceptiques augmente dans cette population. Tout ceci fera l'objet de la Phase 5.

Phase 5: Exploitation du modèle

Objectif détaillé: Utilisez le modèle pour justifier une décision.

- **L'enseignant de SVT rappelle l'objectif initial de l'activité:** évaluer les conséquences d'une campagne de vaccination pour convaincre la population de la nécessité de celle-ci.
- **L'enseignant répartit les élèves par groupes et les laisse progresser de façon autonome.**

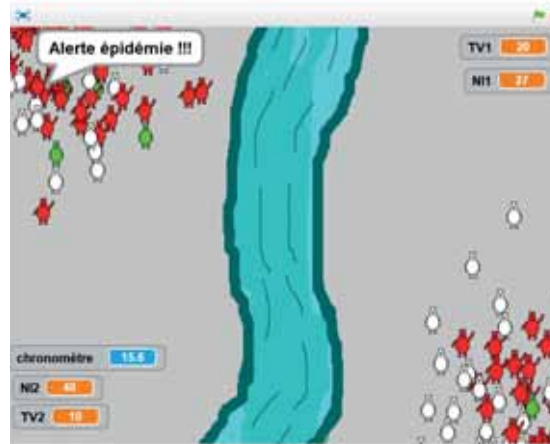
Conseils de mise en place et éléments de correction

- Les élèves doivent transformer la problématique en démarche de résolution: l'objectif est donc de comparer le nombre maximal d'individus malades à la suite d'une campagne de vaccination et de le comparer avec celui obtenu en l'absence d'une telle campagne.
- Dès que cela sera utile, l'enseignant pourra donner aux groupes l'une des aides suivantes:
 - Pensez à fixer correctement toutes vos variables, y compris le seuil de déclenchement de l'alerte!
 - Déclenchez la vaccination après 4 secondes, le temps que tous les clones se forment. Il faut la déclencher dans une seule population pour pouvoir comparer.
 - Dans un second temps, après avoir constaté l'effet de la vaccination, on introduit une nouvelle variable: TV1 (pour taux de vaccination). Cette fois, on peut modifier l'effet du taux de vaccination, représentant les chances d'un individu donné d'être vacciné, et le faire varier de façon plus fine qu'en mode tout ou rien. On va pouvoir rechercher le seuil à partir duquel il n'est pas besoin de vacciner 100 % de la population pour tout de même éviter d'enclencher la réaction en chaîne (voir fin de la Phase 4).

Pour nourrir la discussion à l'issue de l'activité

- L'enseignant invite les élèves à discuter en commun de leurs résultats. Dans la situation ci-dessous, on notera que la population 2 (à gauche) ayant un taux de vaccination de 10 % atteint le stade

épidémique au bout de 15 secondes. Voici une donnée. Un ensemble de données doit être récolté pour atténuer les effets du hasard. Des moyennes seront réalisées. Les élèves présenteront leurs conclusions et notamment leur réponse à la problématique. L'objectif étant de désengorger les hôpitaux, ils justifieront le seuil de vaccination qu'ils jugent utile d'atteindre (a-t-on besoin de 0 nouveaux cas? de ne pas franchir un nombre donné de nouveaux cas? quelles données supplémentaires nous faudrait-il pour se prononcer?...)



- L'enseignant pourra revenir sur l'importance de la modélisation pour prendre des décisions comme celle imposée par la problématique. Celle-ci demande de considérer des relations causales complexes où les paramètres sont nombreux et le hasard est présent. L'évolution de ce type de situations est difficile à prévoir. Les simulations informatiques sont alors particulièrement utiles.
- Nous l'avons vu : les cascades de causes-conséquences sont souvent très complexes. Un autre élément vient rajouter une difficulté pour les appréhender correctement. C'est l'existence de boucles de rétroaction positives : la conséquence d'un événement devient sa cause et le renforce. C'est le cas ici pour le lien entre saturation des hôpitaux et propagation de la maladie ou entre nombre d'individus contaminés et propagation de la maladie. Il existe aussi des boucles de rétroaction négatives.
- L'enseignant peut guider les élèves pour qu'ils reconnaissent de tels exemples dans la vie quotidienne. Si A dit une méchanceté à B, B en dit une autre à A, qui lui en répond une plus grande encore ! Voilà une belle boucle de rétroaction qui amplifie un phénomène ! Et à la fin, difficile de démêler la succession d'événements... Les sciences du climat fournissent d'autres exemples : la fonte des glaces entraîne une diminution de l'albédo qui accélère le réchauffement du climat... et donc la fonte des glaces.
- Pour étudier des phénomènes complexes et prédire leur évolution, les scientifiques établissent des hypothèses (scénarios) et testent leurs effets. Dans certains cas, les relations causales que prend en compte le modèle sont complexes : cela signifie que l'on sera plus ou moins confiant dans les prédictions réalisées par le modèle. Cependant, il reste préférable de baser nos prédictions sur des méthodes scientifiques même imparfaites plutôt que sur le simple hasard.

Éradication (fiche élève)

Phases 1 à 4

Objectif: Expliquer un phénomène par une modélisation.

Mission: Élaborez un programme informatique pour simuler une épidémie!

Contexte:

La pandémie continue de progresser à un rythme soutenu bien que légèrement plus faible. Un vaccin est enfin disponible et marque l'espoir d'une sortie de crise dans les semaines à venir. Pourtant, si une grande partie de la population accueille la découverte avec enthousiasme, une petite partie est méfiante. Sur les réseaux sociaux, une guerre de communication naît entre partisans et opposants au vaccin. Certains prétendent que la maladie s'essouffle et que le vaccin est au mieux inutile, au pire dangereux. Les scientifiques clament pourtant qu'il est indispensable que la quasi-totalité de la population se vaccine pour lutter contre la pandémie.

Matériel:

- Ordinateurs équipés du logiciel Scratch



Règles:

- Phase 1 : Déterminez dans l'exemple qui vous est montré les éléments qui vous semblent nécessaires à la construction du modèle (éléments scientifiques, éléments informatiques...).
- Phases 2 à 4: Suivez les consignes pour progresser dans l'élaboration du programme.

Phase 5

Objectif : Expliquer un phénomène par une modélisation.

Mission : Élaborez un programme informatique pour simuler une épidémie !

Contexte :

Face à la controverse, les scientifiques de l'OMS veulent apporter une preuve destinée aux décideurs politiques et au grand public pour les convaincre de l'importance d'un succès majeur de la campagne de vaccination. Un des points critiques est le taux de remplissage des hôpitaux. Celui-ci est en train d'augmenter de façon inquiétante. Une saturation des services hospitaliers pourrait entraîner une non-prise en charge d'une partie des malades et entraîner des effets négatifs en chaîne.

Matériel :

- Tablettes ou ordinateurs équipés du logiciel Scratch



Règles : Utilisez le programme construit pour obtenir, par simulation, des données justifiant l'intérêt de la réussite d'une campagne de vaccination ! Vous réaliserez un poster qui résume vos résultats.

Consignes :

► Vous devez utiliser les données suivantes, obtenues par d'autres études ou pertinentes au regard de notre simulation :

- taille des populations : 60 individus
- contagiosité de la maladie : 30 %
- temps de guérison : 15 secondes

► Vous devez ensuite déterminer un protocole permettant d'attester l'intérêt d'une campagne de vaccination pour empêcher la pandémie de créer des effets négatifs en chaîne. On considère qu'un taux supérieur à 30 % de la population contaminée enclenche la spirale négative évoquée dans l'introduction.

Objectif : Évaluer la capacité de l'élève à reconnaître l'erreur ou la stratégie inadaptée pour répondre à une tâche

Modalité : Questionnaire (Oui/Non) avec justification du choix

Contenu : Scientifique / Vie de tous les jours (*Des explications douteuses*)

Des explications douteuses (Fiche Evaluation Expliquer)

◆ **Trouvez l'erreur ! Justifiez en quoi les affirmations suivantes ne sont pas satisfaisantes pour expliquer les phénomènes présentés.**

1. Le mystère de l'île de Pâques

On s'intéresse à la disparition d'une civilisation : celle des habitants de l'île de Pâques, une île polynésienne située au milieu de l'océan Pacifique. On pense que ce peuple consommait une très grande quantité de bois pour déplacer des statues géantes qu'ils construisaient. On étudie l'hypothèse selon laquelle cette consommation de bois excessive aurait mené à leur perte.

Proposition d'explication : « *Le peuple de l'île de Pâques a disparu car ses habitants ont manqué de bois pour aller pêcher en mer.* »

Utilisez les deux documents mis à votre disposition. Lisez les documents puis répondez à la question.

Document 1 : La pirogue dans la vie des Polynésiens

L'objet phare de la culture polynésienne est sans aucun doute la pirogue. Cet outil de navigation a permis l'installation des populations insulaires dans le Pacifique, parfois à plus de 2000 km de leurs terres d'origine. Outre la colonisation de nouveaux territoires, la pirogue était un outil indispensable à la survie sur les îles. Elle permettait la pêche bien sûr, mais servait également à se déplacer entre les îles, pour assurer le commerce ou appuyer des guerres entre les peuples.

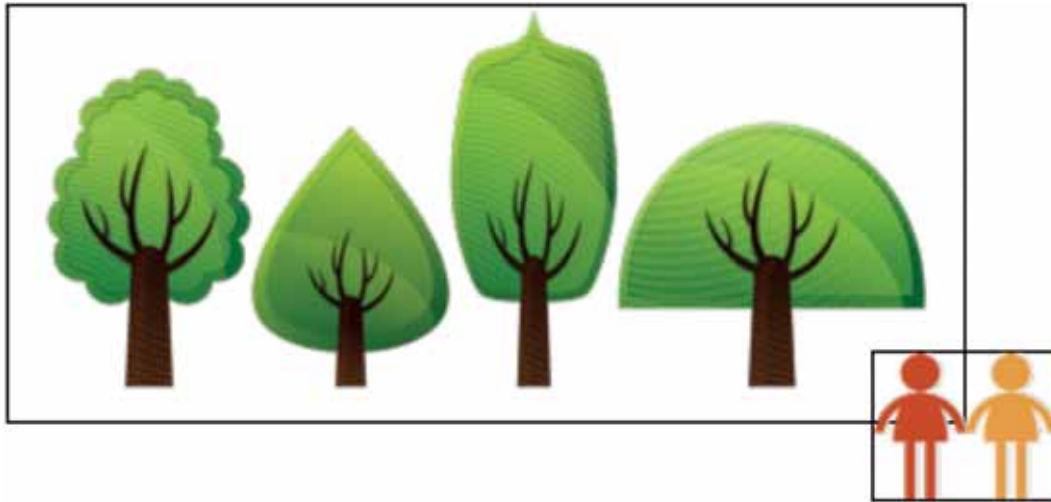
Ces pirogues étaient notamment construites à partir du bois récupéré sur les arbres de l'île.

Document 2 : La déforestation et l'érosion des sols

Aujourd'hui, la déforestation (c'est-à-dire la perte de surface de sol recouvert par des forêts) est un problème majeur dans de nombreuses régions du monde. A Madagascar par exemple, la déforestation montre de façon criante ses effets les plus terribles : l'érosion des sols. Les racines des arbres permettent de stabiliser le sol. En leur absence, les fortes précipitations emportent la terre avec l'eau jusqu'aux rivières. Les conséquences sont nombreuses : les rivières deviennent polluées et les populations de poissons qui y vivent peuvent disparaître ; les sols érodés ne peuvent plus être cultivés et les récoltes s'effondrent ; le milieu devient plus aride et la sécheresse s'installe.

► **Coup de pouce :** Réalisez un diagramme qui révèle l'ensemble des liens causes-conséquences suggérés par ces documents

2. Allergies en forêt



Une jeune fille se retrouve à être prise d'allergies à chaque fois qu'elle va en forêt.

Excédée, elle décide d'arrêter d'aller se balader car elle ne supporte plus d'éternuer tout le temps !

Sa sœur déclare qu'il n'est pas nécessaire de ne plus jamais aller en forêt, il suffit de déterminer la cause précise de l'allergie.

Dans le bois que fréquentent les deux sœurs sont présentes 4 espèces d'arbres. Ces arbres produisent du pollen en cette période.

L'un d'eux (ou plusieurs d'entre eux) est probablement la cause des allergies de la jeune fille.

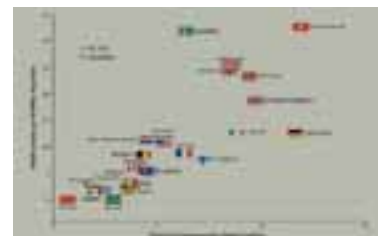
La sœur de la jeune fille décide de lui faire sentir chaque jour une fleur de chaque espèce d'arbre. Mais cette dernière est pressée et préfère sentir les fleurs de deux espèces le même jour.

► Coup de pouce : Développez le protocole complet qui permettra de savoir quelle(s) fleur(s) est (sont) responsable(s) des allergies de la jeune fille

3. Ils font tous la même erreur! Ou mais... laquelle? Comparez les trois cas, trouvez ce qu'ils ont en commun, justifiez!

L'Franz H. Messerli affirme en 2010 qu'il existe un lien causal entre la consommation de chocolat à l'échelle d'un pays (axe des abscisses sur le graphique ci-contre) et le nombre de prix Nobel obtenus par le même pays (axe des ordonnées).

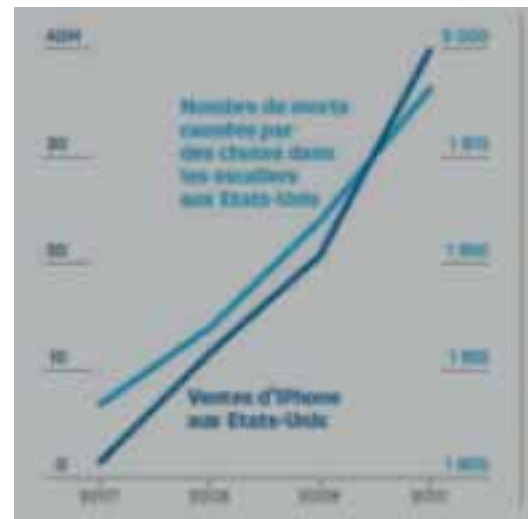
Il est évident que manger du chocolat augmente les chances de gagner un prix Nobel !



CONTEXTE

Le fameux site d'enquêtes *Spurious correlations* met en relation différentes données. Dans le cas illustré ci-contre, le nombre de décès causés par des chutes dans les escaliers aux USA (axe des ordonnées de droite) est mis en relation avec le nombre de ventes d'Iphone aux USA (en millions, axe des ordonnées de gauche) pour les années 2007 à 2010.

« Il est évident qu'il faut lancer des campagnes de prévention contre l'utilisation de l'Iphone dans les escaliers. L'Iphone tue les gens qui empruntent les escaliers, et le phénomène s'aggrave d'année en année. »



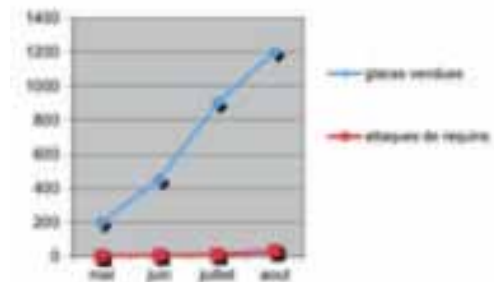
The Gazette

Une étude américaine menée par les chercheurs du laboratoire de Port Ralunac (Oregon) vient de révéler une inquiétante découverte : la consommation de glaces à la plage serait directement liée à une augmentation du nombre d'attaques de requins !

Comme le montre le graphique, le nombre d'attaques de requins connaît un pic majeur lorsque la vente de glaces est la plus forte. Dès que ces ventes diminuent, les attaques se calment.

On peut supposer que ces aliments chargés en sucres et en lipides ont un effet attirant sur les requins, à la recherche d'une nourriture riche en calories, comme bien d'autres carnivores à l'odorat développé.

Suite à cette préoccupante découverte, la mobilisation a déjà commencé pour mettre fin au carnage, et une pétition (à signer ici) est d'ores et déjà disponible pour faire interdire la vente de glaces sur les plages, et ainsi espérer protéger les baigneurs !



Objectif : Évaluer la capacité de l'élève à reconnaître l'erreur ou la stratégie inadaptée pour répondre à une tâche

Modalité : Questionnaire (Oui/Non) avec justification du choix

Contenu : Scientifique / Vie de tous les jours (*Des explications douteuses*)

Des explications douteuses (Fiche Evaluation Expliquer)

◆ **Trouvez l'erreur ! Justifiez en quoi les affirmations suivantes ne sont pas satisfaisantes pour expliquer les phénomènes présentés.**

1. Le mystère de l'île de Pâques

On s'intéresse à la disparition d'une civilisation : celle des habitants de l'île de Pâques, une île polynésienne située au milieu de l'océan Pacifique. On pense que ce peuple consommait une très grande quantité de bois pour déplacer des statues géantes qu'ils construisaient. On étudie l'hypothèse selon laquelle cette consommation de bois excessive aurait mené à leur perte.

Proposition d'explication : « *Le peuple de l'île de Pâques a disparu car ses habitants ont manqué de bois pour aller pêcher en mer.* »

Utilisez les deux documents mis à votre disposition. Lisez les documents puis répondez à la question.

Document 1 : La pirogue dans la vie des Polynésiens

L'objet phare de la culture polynésienne est sans aucun doute la pirogue. Cet outil de navigation a permis l'installation des populations insulaires dans le Pacifique, parfois à plus de 2000 km de leurs terres d'origine. Outre la colonisation de nouveaux territoires, la pirogue était un outil indispensable à la survie sur les îles. Elle permettait la pêche bien sûr, mais servait également à se déplacer entre les îles, pour assurer le commerce ou appuyer des guerres entre les peuples.

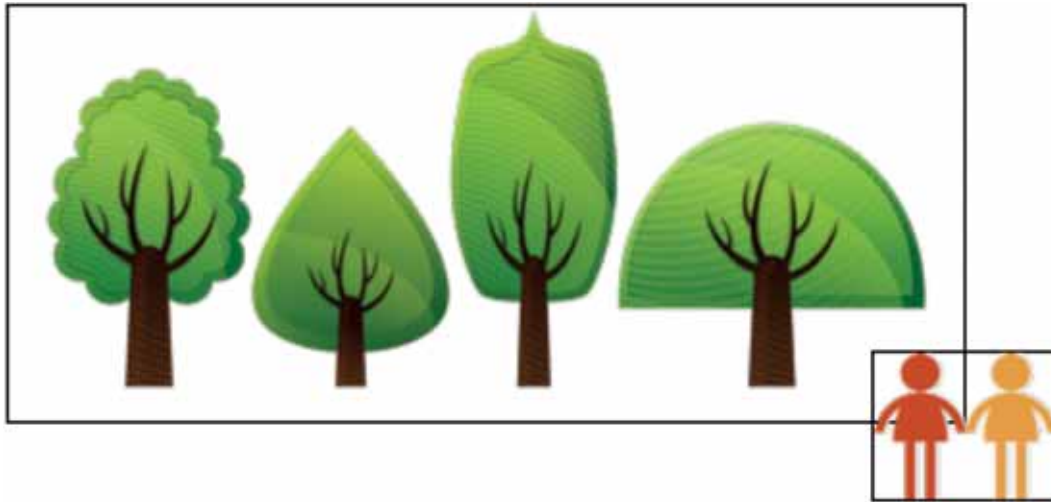
Ces pirogues étaient notamment construites à partir du bois récupéré sur les arbres de l'île.

Document 2 : La déforestation et l'érosion des sols

Aujourd'hui, la déforestation (c'est-à-dire la perte de surface de sol recouvert par des forêts) est un problème majeur dans de nombreuses régions du monde. A Madagascar par exemple, la déforestation montre de façon criante ses effets les plus terribles : l'érosion des sols. Les racines des arbres permettent de stabiliser le sol. En leur absence, les fortes précipitations emportent la terre avec l'eau jusqu'aux rivières. Les conséquences sont nombreuses : les rivières deviennent polluées et les populations de poissons qui y vivent peuvent disparaître ; les sols érodés ne peuvent plus être cultivés et les récoltes s'effondrent ; le milieu devient plus aride et la sécheresse s'installe.

► **Coup de pouce :** Réalisez un diagramme qui révèle l'ensemble des liens causes-conséquences suggérés par ces documents

2. Allergies en forêt



Une jeune fille se retrouve à être prise d'allergies à chaque fois qu'elle va en forêt.

Excédée, elle décide d'arrêter d'aller se balader car elle ne supporte plus d'éternuer tout le temps !

Sa sœur déclare qu'il n'est pas nécessaire de ne plus jamais aller en forêt, il suffit de déterminer la cause précise de l'allergie.

Dans le bois que fréquentent les deux sœurs sont présentes 4 espèces d'arbres. Ces arbres produisent du pollen en cette période.

L'un d'eux (ou plusieurs d'entre eux) est probablement la cause des allergies de la jeune fille.

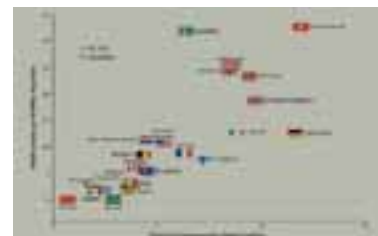
La sœur de la jeune fille décide de lui faire sentir chaque jour une fleur de chaque espèce d'arbre. Mais cette dernière est pressée et préfère sentir les fleurs de deux espèces le même jour.

► Coup de pouce : Développez le protocole complet qui permettra de savoir quelle(s) fleur(s) est (sont) responsable(s) des allergies de la jeune fille

3. Ils font tous la même erreur! Ou mais... laquelle? Comparez les trois cas, trouvez ce qu'ils ont en commun, justifiez!

L'Franz H. Messerli affirme en 2010 qu'il existe un lien causal entre la consommation de chocolat à l'échelle d'un pays (axe des abscisses sur le graphique ci-contre) et le nombre de prix Nobel obtenus par le même pays (axe des ordonnées).

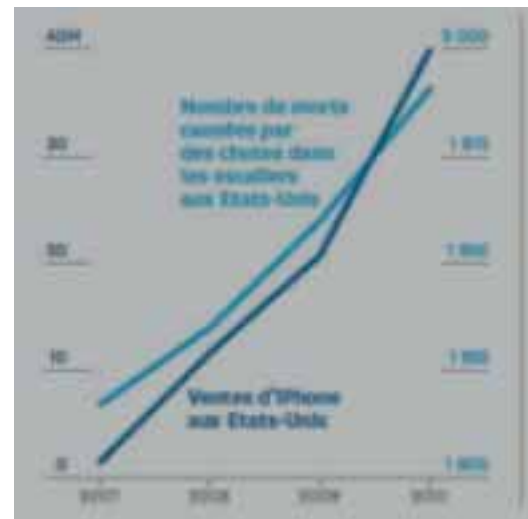
Il est évident que manger du chocolat augmente les chances de gagner un prix Nobel !



CONTEXTE

Le fameux site d'enquêtes *Spurious correlations* met en relation différentes données. Dans le cas illustré ci-contre, le nombre de décès causés par des chutes dans les escaliers aux USA (axe des ordonnées de droite) est mis en relation avec le nombre de ventes d'Iphone aux USA (en millions, axe des ordonnées de gauche) pour les années 2007 à 2010.

« Il est évident qu'il faut lancer des campagnes de prévention contre l'utilisation de l'Iphone dans les escaliers. L'Iphone tue les gens qui empruntent les escaliers, et le phénomène s'aggrave d'année en année. »

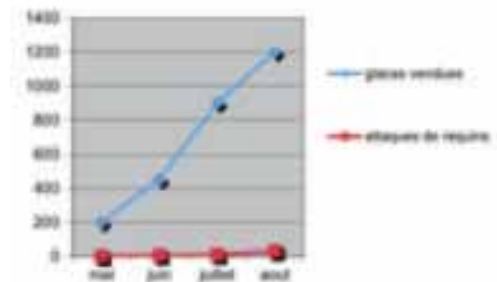


The Gazette

Une étude américaine menée par les chercheurs du laboratoire de Port Ralunac (Oregon) vient de révéler une inquiétante découverte : la consommation de glaces à la plage serait directement liée à une augmentation du nombre d'attaques de requins !

Comme le montre le graphique, le nombre d'attaques de requins connaît un pic majeur lorsque la vente de glaces est la plus forte. Dès que ces ventes diminuent, les attaques se calment.

On peut supposer que ces aliments chargés en sucres et en lipides ont un effet attirant sur les requins, à la recherche d'une nourriture riche en calories, comme bien d'autres carnivores à l'odorat développé.



Suite à cette préoccupante découverte, la mobilisation a déjà commencé pour mettre fin au carnage, et une pétition (à signer ici) est d'ores et déjà disponible pour faire interdire la vente de glaces sur les plages, et ainsi espérer protéger les baigneurs !

Cette ressource est issue du projet thématique *Esprit scientifique, Esprit critique – Tome 2*, paru aux Éditions Le Pommier.



Retrouvez l'intégralité de ce projet sur : <https://www.fondation-lamap.org/projets-thematiques>.

Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes
75006 Paris
01 85 08 71 79
contact@fondation-lamap.org

Site : www.fondation-lamap.org



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