

GUIDE POUR LE PERSONNEL ENSEIGNANT



En collaboration avec



Participez à une initiative de science citoyenne et partez sur les traces de l'ADN environnemental!

PERSONNES-RESSOURCES

Questions techniques, réservation, livraison et commentaires Noémie Rio Spécialiste, Promotion de la culture scientifique Génome Québec	nrio@genomequebec.com 514 398-0668, poste 228
Informations sur les activités en réseau Marie-Claude Nicole Directrice générale École en réseau	marie-claude.nicole@eer.qc.ca

Quoi faire avant la réception de la trousse?

- **Lire les documents**
 - Cahier de l'élève
 - Grille d'observation
 - Fiche hypothèse de l'élève
 - Fiche explicative de la filtration
- **[Visionner la vidéo sur l'installation de la bouteille à la perche](#)**
- **[Visionner la vidéo sur la filtration](#)**
- **[Visionner la vidéo sur l'étiquetage et la fermeture des sacs](#)**

Tous les documents et vidéos sont également disponibles sur le site [Mission ADN-eau](#)

<https://genomequebec.com/educative-content/espace-educatif/activites/mission-adn-eau/>

Table des matières

Introduction	3
Buts	4
Contexte.....	4
Objectif général	4
Mandats	4
Notions théoriques	5
L'ADN environnemental	5
Premièrement, qu'est-ce que l'ADN?	5
Et l'ADN environnemental (ADNe), c'est quoi?	6
Pourquoi est-ce utile?.....	6
La biodiversité	7
Mandat	8
Présentation	8
Chronologie.....	9
PHASE 1 : Collecte - Les élèves.....	9
PHASE 2 : Analyse - L'équipe scientifique.....	10
PHASE 3 : Retour - Ensemble	10
Méthodologie	14
PHASE 1 : Les élèves	14
Étape A : L'échantillonnage.....	14
Étape B : La filtration	16
Étape C : Les hypothèses	18
PHASE 2 : L'équipe scientifique	19
Étapes D-E-F-G : L'extraction, l'amplification, le séquençage et les analyses bio-informatiques	19
PHASE 3 : Ensemble, l'attestation de l'état de santé des cours d'eau	19
Étape H : L'analyse des résultats	19
Glossaire	21

Introduction

Buts

- Faire vivre aux élèves un projet de recherche participatif et collectif en génomique dans une optique d'éducation à la citoyenneté.
- Permettre aux élèves d'expérimenter une démarche scientifique suivant un protocole de recherche établi par des experts afin de leur permettre d'intégrer les concepts de biologie et de génétique, de biodiversité, d'écosystèmes et de développement durable, propre au cursus des cours de science au secondaire.
- Enrichir l'environnement d'apprentissage des élèves par le travail en collaboration avec des classes à distance et des partenaires scientifiques tout au long du projet.

Contexte

Le volet éducatif de Génome Québec a pour objectif de sensibiliser les élèves à la science et de les informer sur le potentiel, les avancées et les enjeux de la technologie génomique. Pour ce faire, nous avons développé une plateforme éducative qui présente les concepts de base de la génomique, ainsi que des activités en classe permettant de faire découvrir cette science aux élèves du secondaire. Pour en apprendre plus sur notre plateforme éducation, visitez <https://genomequebec.com/educative-content/espace-educatif/activites/mission-adn-eau/>.

Comme, d'une part, plusieurs études démontrent l'intérêt marqué des jeunes pour l'environnement et pour la science citoyenne, et comme, d'autre part, ces derniers apprécient particulièrement les activités offrant une expérimentation pratique de la science, nous avons développé une activité d'apprentissage sur le thème de l'environnement et de la santé de nos cours d'eau. À travers une démarche d'investigation scientifique, les élèves développent leurs connaissances autant que leurs habiletés et leurs attitudes relatives au travail scientifique. Cette initiative a été développée en collaboration avec le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs et le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques et l'Institut de biologie intégrative et des systèmes de l'Université Laval.

Objectif général

Plonger les élèves du secondaire au cœur d'un projet collaboratif de science citoyenne pour leur permettre de mieux comprendre l'état de la biodiversité de certains cours d'eau du Québec grâce aux interactions privilégiées avec des experts et à une technique innovante : l'ADN environnemental.

Mandats

Cette initiative de science citoyenne permettra de :

- Contribuer à une meilleure compréhension de l'état de la biodiversité des cours d'eau du Québec.
- Récolter des données scientifiques précieuses pour le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. Ces données pourront servir à déployer les actions nécessaires à la conservation de la biodiversité des cours d'eau visés.
- Ouvrir le dialogue entre les chercheurs(ses) du ministère et les élèves pour mieux comprendre l'influence de l'activité humaine sur l'état de cette biodiversité.

Notions théoriques

L'ADN environnemental

Premièrement, qu'est-ce que l'ADN?

L'ADN, l'acide désoxyribonucléique, est le code génétique unique que les êtres vivants portent dans chacune de leurs cellules. N'oublions pas que les êtres vivants microscopiques, comme les bactéries, les champignons ou les levures, possèdent aussi un code génétique sous forme d'ADN.

Un peu à la manière d'un livre, ce code renferme les « recettes » nécessaires à la production de protéines chez tous les êtres vivants. Étonnamment, ces centaines de recettes ne sont écrites qu'avec quatre lettres : A-T-C-G. Elles représentent respectivement les quatre bases azotées : adénine, thymine, cytosine et guanine. On dénombre plusieurs millions, voire milliards de lettres dans chacune des cellules des êtres vivants. Ce qui est primordial dans l'ADN, c'est l'ordre de ses lettres. Il varie d'un être vivant à l'autre et même d'un individu à l'autre. Lorsqu'on « lit » l'ADN, c'est-à-dire lorsqu'on décode l'ordre des lettres, on dit alors qu'on le séquence.

Fait intéressant

Même si le siège principal de l'ADN se trouve habituellement dans le noyau des cellules, d'autres organites possèdent aussi du matériel génétique. La mitochondrie, centre de la production d'énergie (ATP) chez les animaux, renferme de l'ADN mitochondrial et les ribosomes, usines de protéines, sont un assemblage de protéines et d'ARN (acide ribonucléique). Chez les plantes et les autres organismes photosynthétiques, les chloroplastes (responsables de la photosynthèse) possèdent aussi de l'ADN.

Pour en apprendre plus sur la structure de l'ADN, visitez notre espace éducatif. <https://genomequebec.com/educative-content/espace-educatif/>.

Et l'ADN environnemental (ADNe), c'est quoi?

Maintenant que nous savons que l'ADN se trouve dans toutes les cellules, de tous les êtres vivants, imaginons qu'un être vivant perd une cellule. Comment? Une plante perd une feuille, un humain se gratte et perd les cellules superficielles de sa peau, un animal perd ses poils, etc. Les organismes vivants déposent constamment du matériel génétique dans leur environnement.

Ainsi, l'ADN peut être libéré dans l'environnement par l'intermédiaire de fèces, d'urine, de gamètes, de mucus, de salive, de peau et il peut également provenir de la décomposition d'organismes morts. Dans les environnements aquatiques, les organismes morts, en décomposition, libèrent une quantité phénoménale de matériel génétique.

Donc, l'ADNe, ce sont ces cellules perdues (intactes ou non) qui se retrouvent dans l'environnement. Scientifiquement, on dira **l'ADNe est du matériel génétique issu d'un échantillon environnemental (eau douce, eau salée, sédiments, humus, fèces, etc.)**.

Pourquoi est-ce utile?

Dans un contexte de changements climatiques, il est plus qu'impératif de bien connaître les écosystèmes qui nous entourent afin de pouvoir mieux les protéger. Les perturbations climatiques entraînent plusieurs conséquences telles que l'augmentation du niveau des océans¹, l'augmentation de la rapidité de l'acidification des océans³, l'augmentation du gaz carbonique dans l'atmosphère², l'augmentation de la température moyenne³ et la disparition massive des espèces animales³. Ces perturbations affectent grandement les écosystèmes ainsi que la faune et la flore qui les habitent. À cet effet, pour mettre en place des stratégies et des actions pertinentes visant à protéger nos écosystèmes, nous nous devons de savoir quelles espèces les peuplent. À l'aide du séquençage, l'ADNe permet aux chercheurs(ses) d'identifier des organismes et d'avoir une vue d'ensemble de la communauté d'êtres vivants qui habitent un écosystème particulier, et d'en déduire les liens trophiques ainsi que les espèces clés.

Petite histoire de l'ADNe

L'ADNe fût utilisé pour la première fois pour aider les recherches en microbiologie. Comme plusieurs microorganismes ne se développent pas bien en milieu de culture, il était difficile pour les chercheurs(ses) d'avoir une idée précise de la communauté de microorganismes qui habitait réellement les échantillons de sols et de sédiments récoltés. Ils ont donc décidé d'extraire tout l'ADN de l'échantillon pour ainsi avoir un portrait fidèle et précis des microorganismes présents... sans avoir besoin de les faire croître. Astucieux!

Fait intéressant

Une des premières études à avoir utilisé l'ADNe pour identifier des espèces macroscopiques en eaux douces a été faite en 2005 par une équipe de recherche de l'Institut national de la recherche scientifique, à Laval, ici au Québec.

Pour bien protéger un écosystème et sa biodiversité, il faut avant tout l'étudier et le comprendre. Avez-vous envie de faire avancer les connaissances sur un cours d'eau de votre région?

¹ Bryndum-Buchholz, A, Tittensor, DP, Blanchard, JL, et al. Twenty-first-century climate change impacts on marine animal biomass and ecosystem structure across ocean basins. *Glob Change Biol.* 2019; 25: 459– 472.

² Kellogg, W. (1981). *Climate Change and Society*. New York: Routledge

³ Novacek, M. J. *The Biodiversity Crisis: Losing What Counts* (The New Press, 2001)

La biodiversité

« *La biodiversité se définit comme la diversité spécifique d'une communauté écologique, correspondant au nombre d'espèces et à leur abondance relative*⁴. »

Pourquoi la biodiversité est-elle importante?

La biodiversité est importante pour la survie de toutes les espèces. **Dans tous les habitats, on retrouve différentes espèces qui se sont adaptées à la vie dans ce milieu.** Par exemple, les animaux et les végétaux qui peuplent la forêt boréale ne sont pas les mêmes que ceux qui habitent la forêt tropicale, c'est évident. Il en va de même pour la faune et la flore des cours d'eau québécois qui diffèrent grandement de celles du golfe du Saint-Laurent ou de l'océan Arctique.

La totalité des espèces qui vivent ensemble et qui dépendent les unes des autres forme la biodiversité de cet écosystème. Chaque espèce est unique et adaptée à un ensemble particulier de conditions du milieu. Si l'une des espèces de l'écosystème disparaît, elle met alors en péril toutes les espèces qui dépendent d'elle. Certaines espèces sont résilientes, c'est-à-dire, qu'elles pourront éventuellement s'adapter à une perturbation dans leur environnement alors que d'autres sont plus sensibles et risquent de disparaître si les espèces sur lesquelles elles dépendent subissent un choc. **La présence d'espèces sensibles dans un écosystème donné est un bon indicateur de la santé générale du milieu.** Elle nous permet de déduire que cet écosystème n'est confronté qu'à un faible taux de polluants et/ou de perturbations.

Analysons un exemple concret : les algues bleu-vert (les cyanobactéries)

Prenons un cours d'eau en santé et ajoutons-lui une bonne dose de phosphore, l'élément perturbateur!

Le phosphore est essentiel à la croissance des végétaux et est habituellement présent en petites quantités dans les environnements aquatiques. Une grande dose de phosphore va donc permettre à plus de végétaux de se développer et engendrer la croissance de bactéries, par exemple les cyanobactéries, aussi appelées algues bleu-vert. Présentes en petites quantités dans l'environnement, l'ajout de phosphore leur permettra de se multiplier en grand nombre jusqu'à devenir si nombreuses qu'elles seront visibles à l'œil nu. Ces cyanobactéries utiliseront la lumière du soleil et le gaz carbonique dissous dans l'eau du cours d'eau pour faire de la photosynthèse et se multiplier davantage. De plus, elles utiliseront l'oxygène dissous en l'absence de lumière (la nuit) pour faire de la respiration cellulaire. Elles ne sont pas les seules à avoir besoin de l'oxygène dissous dans l'eau, les poissons, les grenouilles et les autres végétaux vivant dans cet écosystème ont aussi besoin de l'oxygène.

Une trop grande quantité de cyanobactéries privera donc les autres espèces de la quantité nécessaire d'oxygène. Plusieurs espèces ne sauront pas s'adapter et risqueront la mort.

Les grands amas verdâtres de cyanobactéries flottant à la surface de l'eau bloquent aussi une bonne partie des rayons du soleil. Les rayons n'atteignant plus les végétaux ancrés au sol, ceux-ci ne pourront plus faire de photosynthèse et commenceront à se décomposer. Si le problème persiste, les cyanobactéries peuvent devenir si nombreuses dans l'eau qu'elles risquent de bloquer les branchies des poissons et de modifier le pH du cours d'eau.

⁴ Campbell Neil A., Reece Jane B., *Biologie*, 2^e édition, ERPI, 2004, pp. G-5.

Dans cet exemple, un seul élément perturbateur a entraîné plusieurs conséquences dispersées dans le temps (sur les poissons, les plantes aquatiques, le pH de l'eau, etc.). Dans les écosystèmes, ce ne sont pas toutes les espèces qui réagissent de la même façon à une perturbation. Les espèces qui réagissent gravement et rapidement à un polluant sont habituellement **appelées des espèces polluosensibles (versus polluorésistantes)** et les chercheurs(es) les utilisent comme **bio-indicateurs**. Selon le polluant (hydrocarbures, polluant organique, métaux lourds, contamination microbienne, manque d'oxygène, acidité, etc.), ce ne sera pas la même espèce qui réagira en premier ni qui sera utilisée comme bio-indicateur. Parfois, ce n'est pas un polluant qui perturbe l'équilibre de l'écosystème, mais une autre espèce. Si cette nouvelle venue a la capacité de s'implanter massivement dans le nouvel écosystème, de s'y nourrir et de s'y reproduire, **on la qualifiera alors d'espèce envahissante**. Si elle provient d'une autre région du monde, on ajoutera alors l'adjectif « exotique ». En supplantant les autres espèces, les espèces envahissantes engendrent habituellement plusieurs conséquences sur la biodiversité d'un écosystème. C'est pourquoi la biodiversité de chaque écosystème doit être attentivement étudiée pour nous permettre de mieux la comprendre et de mieux la protéger en cas de perturbations.

Nous savons que la biodiversité de nos écosystèmes aquatiques est importante et que les espèces sont dépendantes les unes des autres et de leur environnement. Heureusement, avec des équipes de chercheurs(es) dévouées, nous nous sommes dotés de règles de conduite et de réglementations qui protègent nos cours d'eau.

Souhaitez-vous nous aider à protéger la biodiversité des cours d'eau du Québec?

Mandat

Présentation

Des chercheurs du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs ont besoin de votre aide!

Vous devrez récolter des dizaines de litres d'eau provenant de différents cours d'eau du Québec pour établir le portrait de leur biodiversité.

Grâce à l'ADNe que nous pourrions extraire de ces échantillons d'eau, nous aurons une meilleure idée de l'état actuel de la biodiversité des cours d'eau qui nous entourent et nous pourrions ainsi mieux les comprendre et mieux les protéger. **Nous chercherons à détecter la présence, d'une ou plusieurs espèces de poissons, d'invertébrés et de microorganismes qui sont importants pour évaluer l'état de santé des cours d'eau étudiés.**

Chronologie

Le projet de recherche auquel vous participerez se déroulera en trois phases :



Introduction

Objectif: développer le sentiment d'appartenance à la communauté d'apprentissage et à l'atteinte des objectifs nommés dans le cahier de l'élève.

Placer l'élève au cœur du projet, lui remettre une responsabilité et lui permettre d'être un citoyen engagé dans sa communauté. Lui offrir une occasion unique de participer à la lutte contre les changements climatiques.

PHASE 1 : Collecte - Les élèves

Ce projet ne pourrait pas avoir lieu sans votre aide! Vos élèves seront les chercheurs(ses) en herbe qui permettront à ce projet de prendre son envol. Vous suivrez un protocole de recherche précis et établi par une équipe scientifique professionnelle. Celui-ci vous permettra de récolter et de filtrer des échantillons d'eau de grande qualité desquels pourra ensuite être extrait l'ADNe.

Vous devez vous assurer que vos élèves respectent bien le protocole scientifique.

Lors de la collecte d'échantillons, les élèves seront aussi invités à remplir **une grille d'observation**. Celle-ci permet de rassembler des informations sur le milieu et de faciliter l'élaboration de l'hypothèse. Ceux qui le désirent pourront présenter leur site d'échantillonnage (surtout les éléments nommés dans la grille d'observation) grâce à une vidéo ou des photos prises avec un téléphone cellulaire.

Pour des raisons éthiques, il ne doit pas avoir d'élèves sur les vidéos et les photos.

La vidéo et les photos peuvent être commentées en direct ou lors d'un montage à l'aide d'une application de votre choix. Par exemple, avec l'application **Thinglink**, il est facile d'annoter une photo est d'y ajouter toutes les informations demandées. Les fonctions annotations d'un iPad ou d'un cellulaire sont aussi très utiles.

PHASE 2 : Analyse - L'équipe scientifique

À l'aide des échantillons que vous aurez récoltés et filtrés, les chercheurs(ses) procéderont à l'extraction de l'ADNe et au séquençage. Les chercheurs(ses) pourront identifier plusieurs espèces qui peuplent les différents cours d'eau que vous, et les autres écoles participantes aurez échantillonnés. Ce portrait de la biodiversité nous permettra de mieux comprendre comment nos cours d'eau s'adaptent aux changements climatiques et aux autres perturbations environnementales.

PHASE 3 : Retour - Ensemble

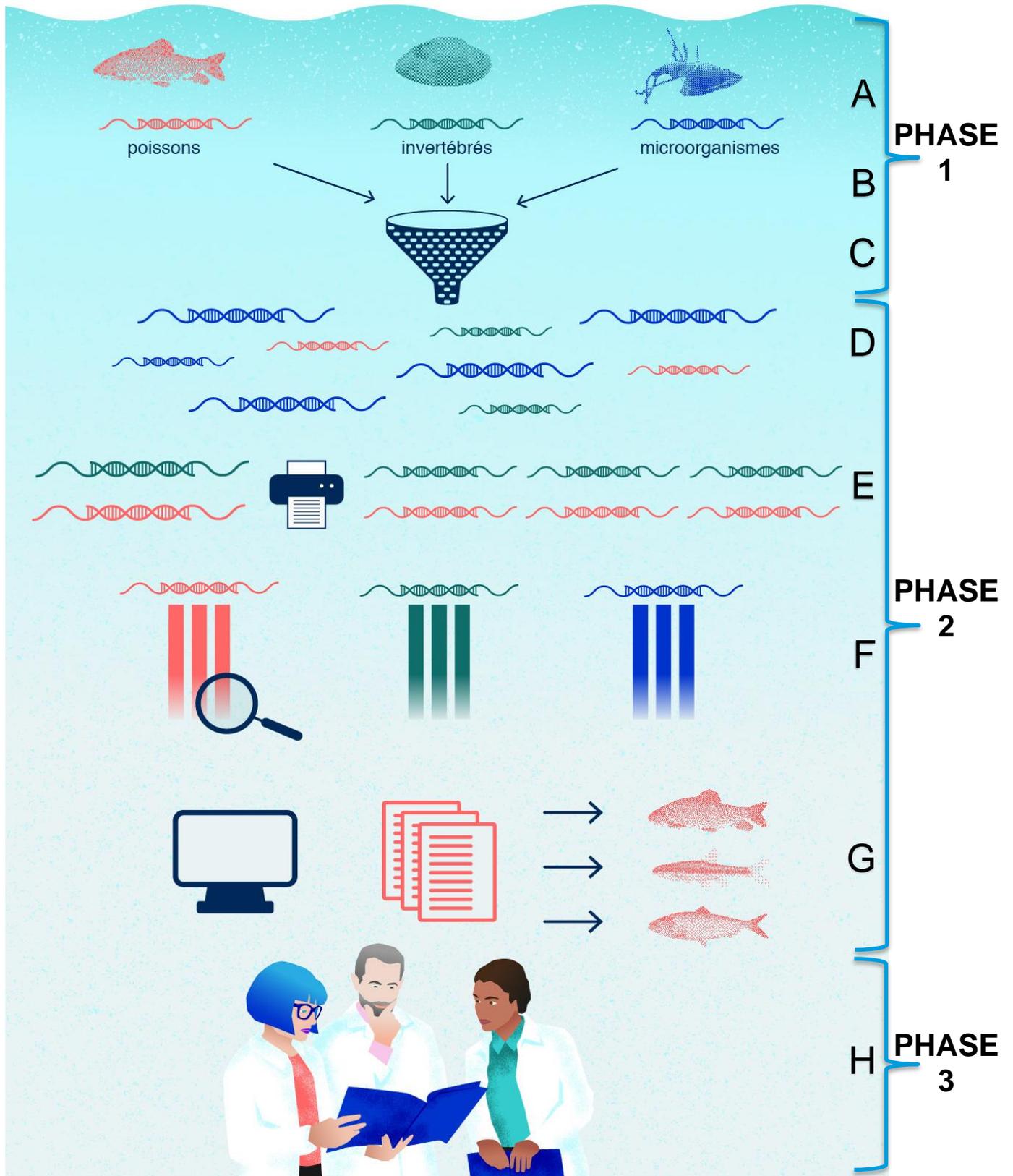
L'attestation de l'état de santé des cours d'eau

Une fois les espèces identifiées, les élèves recevront une vidéo présentant les résultats ainsi que l'analyse des chercheurs(ses) qui parleront de la santé des cours d'eau du Québec.

- Quelles sont les plus grandes menaces qui affectent (ou affecteront probablement) les cours d'eau québécois?
- Comment pouvons-nous les protéger?
- Qu'est-ce que les données génomiques nous ont permis de savoir sur les cours d'eau échantillonnés?

Les résultats détaillés obtenus par votre groupe vous seront transmis par courriel ainsi que sur une affiche.

Vue d'ensemble de l'expérience



PHASE 1 : Les élèves

- A. **L'échantillonnage** : un échantillon d'eau est prélevé d'un cours d'eau. Il contient des traces d'ADN provenant de poissons, d'invertébrés et de microorganismes, c'est l'ADNe.
- B. **La filtration** : l'échantillon d'eau est passé à travers un filtre fin par les élèves afin de récupérer les fragments d'ADN.
- C. **Les hypothèses** : les élèves sont invités à émettre une hypothèse.

PHASE 2 : L'équipe scientifique

- D. **L'extraction** : l'ADN est nettoyé et conservé tandis que tout le reste est jeté (débris, poussières, sédiments, etc.).
- E. **L'amplification** : notre échantillon contient beaucoup plus d'ADN d'origine microbienne que d'ADN provenant des poissons et des invertébrés. Comme dans la vaste majorité des écosystèmes, la communauté de microorganismes de notre cours d'eau, bien que microscopique, est beaucoup plus importante que celle des espèces macroscopiques. Les quantités d'ADN récoltés feront état de cette différence et nous pouvons donc nous attendre à ce que notre échantillon contienne 90 % d'ADN microbiens, contre 10 % d'ADN provenant d'autres sources (poissons, invertébrés, amphibiens, humains, végétaux, etc.). Afin de pallier les possibles biais que cela peut comporter lors de l'analyse, on amplifie (on copie en plusieurs exemplaires) l'ADN des poissons et des invertébrés puisque ce sont des espèces que nous voulons aussi étudier. L'amplification se fait grâce à une réaction en chaîne par polymérase : la PCR. Cette technique, qui s'effectue sur plusieurs cycles de trois étapes à différentes températures, permet de fabriquer des millions de copies d'une molécule d'ADN en utilisant l'enzyme ADN polymérase *Taq*.
- F. **Le séquençage** : les fragments d'ADN sont lus par un séquenceur. On utilise l'affinité des paires de bases pour décoder l'ordre dans lequel elles sont disposées. Pour ce faire, on dépose un fragment d'ADN simple brin dans une solution contenant des bases azotées libres modifiées. Des molécules luminescentes ont été préalablement liées aux différentes bases azotées. (Ex. : Adénine - rouge, Cytosine - jaune, Thymine - vert et Guanine - bleu). On laisse les bases azotées modifiées former le brin d'ADN complémentaire à notre fragment. Les bases azotées s'associent toujours avec la même spécificité : adénine avec thymine (A-T ou T-A) et cytosine avec guanine (C-G ou G-C). Avec le séquenceur, il est possible de lire la séquence « de couleur » attachée à notre fragment d'ADN initial. Pour une séquence donnée : rouge-bleu-vert-jaune-vert-bleu-rouge-rouge, on pourra déduire que la séquence des bases azotées luminescentes est : A-G-T-C-T-G-A-A et que la séquence d'ADN initial était : T-C-A-G-A-C-T-T. On consigne ces lectures dans un fichier informatique.
- G. **Les analyses bio-informatiques** : des bases de données publiques contiennent la séquence complète du génome de différentes espèces étudiées et nous pouvons donc comparer la séquence que nous avons lue avec celles enregistrées. On fouille donc les bases de données des poissons,

des invertébrés et des microorganismes à la recherche de l'espèce à laquelle appartient l'ADN que nous avons récolté et séquencé.

PHASE 3 : Ensemble

H. Les résultats et l'interprétation : les chercheurs(es) analysent les résultats et tentent de comprendre ce qu'ils signifient.

- a. Pourquoi retrouve-t-on plus de microorganismes dans une rivière plutôt que dans une autre?
- b. Pourquoi ne retrouve-t-on pas telle espèce de poissons dans ce cours d'eau?
- c. Que disent ces données sur la santé des cours d'eau que nous avons échantillonnés?

Les données obtenues vous seront transmises par courriel ainsi que sur une affiche.

De plus, l'équipe scientifique produira une vidéo pour parler de la santé des cours d'eau du Québec. Nous tenterons de répondre à ces questions.

- Quelles sont les plus grandes menaces qui affectent (ou affecteront probablement) les cours d'eau québécois?
- Comment pouvons-nous les protéger?
- Qu'est-ce que les données génomiques nous ont permis de savoir sur les cours d'eau échantillonnés?

MÉTHODOLOGIE

PHASE 1 : Les élèves

Étape A : L'échantillonnage

Avant la sortie

Nous vous invitons à dire aux élèves d'apporter des bottes de pluie pour la sortie.

1. Recevez la trousse de l'initiative **Mission ADN-eau** et vérifiez que tout le matériel est présent :

Matériel d'échantillonnage et de filtration

- a. 1 bouteille de 300 ml de solution stérilisante (eau de Javel 0,5 %)
- b. 200 gants (100 paires)
- c. 1 sac thermique
- d. 14 bouteilles d'échantillonnage avec leur capuchon
- e. 1 bouteille remplie d'eau distillée (contrôle négatif)
- f. 15 seringues de 50 ml
- g. 15 têtes de filtrations (chacune dans un sac contenant 40 gr de billes de gel de silice)
- h. 1 *Ice pack* (**À faire geler avant la sortie**)
- i. 1 perche et 15 *tie wrap* noirs réutilisables
- j. Des étiquettes servant à identifier les bouteilles d'échantillonnage et les sacs contenant les têtes de filtrations.

Documents

- k. 30 badges autocollants
 - l. Liste de vérification
 - m. 1 enveloppe adressée et affranchie pour le retour des échantillons au Centre d'expertise et de services Génome Québec
2. Chaque trousse contient suffisamment de matériel pour prélever 14 échantillons d'eau. Séparez votre groupe en 14 équipes (solo, duo ou trio). **Vous devez ABSOLUMENT prélever les 14 échantillons.** Au besoin, certains élèves peuvent prélever plusieurs échantillons.
 3. **Les élèves sont encouragés à lire le cahier de l'élève avant la sortie.**
 4. Les enseignants sont fortement encouragés à visiter le site d'échantillonnage qu'ils ont choisi avant la sortie avec les élèves pour s'assurer d'un accès à l'eau sécuritaire. **Assurez-vous d'envoyer les coordonnées GPS (format décimal : 46.759694 -71.227786)** à l'intention de Noémie Rio à l'adresse courriel suivante : nrio@genomequebec.com
 5. Associez chaque bouteille d'échantillonnage à une équipe et demandez aux élèves d'étiqueter leur bouteille.

Pendant la sortie

6. Rendez-vous sur le site d'échantillonnage avec :
 - a. 14 bouteilles d'échantillonnage
 - b. Des paires de gants pour chaque élève
 - c. Les grilles d'observation
 - d. Des crayons (*non inclus dans la trousse*)
 - e. Bottes de pluie (*non inclus dans la trousse*)
 - f. Le sac thermique contenant le **ice pack préalablement gelé**.
 - g. POUR LES ÉCOLES CONCERNÉES : 1 perche, 15 *tie wrap* réutilisables (il suffit d'appuyer sur la languette pour défaire l'attache)
7. Invitez les élèves à porter des bottes de pluie le jour de l'échantillonnage. Ils pourront ainsi s'approcher sans crainte du point d'eau.
8. Une fois sur le site, demandez à une équipe de s'avancer vers le site d'échantillonnage.

VERSION PERCHE : SI VOUS AVEZ BESOIN D'UNE PERCHE POUR L'ÉCHANTILLONNAGE

9. Demandez aux élèves de mettre les gants.
10. Remettez à chaque équipe sa bouteille d'échantillonnage.
11. À tour de rôle, demandez à chaque équipe de fixer la bouteille sur la perche en serrant la sangle et en sécurisant le tout avec le *tie wrap*. Retirez le capuchon lorsque vous êtes prêts à plonger la bouteille dans l'eau (voir la [vidéo sur l'installation](#)).
12. À l'aide de la perche, demandez-leur de plonger la bouteille dans l'eau à environ 30 cm sous la surface, le plus loin possible du bord (ou de la berge), mais sans toucher les sédiments.
13. Demandez-leur de sortir la bouteille et de vider l'eau. **Rincez ainsi la bouteille 3 fois**.
14. Pour prendre l'échantillon, ils doivent maintenir la bouteille sous l'eau jusqu'à ce qu'elle soit remplie (que des bulles arrêtent de s'en échapper).
15. À l'aide de la perche, demandez-leur de ramener la bouteille vers eux, de visser fermement le capuchon et d'appuyer sur la languette pour défaire le *tie wrap*. Ils peuvent maintenant retirer la bouteille de la sangle.
16. Demandez-leur de déposer la bouteille d'échantillonnage remplie dans le sac thermique contenant le **ice pack préalablement gelé**.
17. Les équipes qui attendent de faire leur prélèvement sont encouragées à remplir la grille d'observation, prendre des photos ou des vidéos. Une fois la grille d'observation complétée, prenez une photo ou faites-en une photocopie. Ce document sera très utile pour la formulation de l'hypothèse.

Attention : Plusieurs facteurs accélèrent la dégradation de l'ADNe, dont la chaleur et l'oxygène. Les bouteilles contenant les prélèvements d'eau doivent rester au froid jusqu'à la filtration. Entrez-les dans le réfrigérateur pour un **maximum de 24 heures** au besoin.

Étape B : La filtration

Après la sortie

Idéalement, faites cette section du protocole le plus rapidement possible après l'échantillonnage. Le mieux est de planifier l'échantillonnage en avant-midi et la filtration (la section ci-dessous) en après-midi. Le délai maximum entre les deux étapes ne devrait pas dépasser 24 heures.

Vous avez 14 bouteilles d'eau échantillonnée et 1 bouteille remplie d'eau stérile (contrôle négatif). Vous devez maintenant filtrer l'eau des 15 bouteilles. Oui, même le contrôle négatif doit être filtré.

10. Lors de votre retour en classe, assurez-vous que l'environnement de travail a été stérilisé avec la solution stérilisante (eau de Javel 0,5 %) incluse dans la trousse.
11. Demandez à chaque équipe de mettre de **nouveaux** gants et de débiter la filtration.
12. Distribuez à chaque équipe 1 bouteille d'eau échantillonnée ainsi que la seringue et un sac contenant une tête de filtration. Les élèves doivent **étiqueter leur sac** avec le même code que celui indiqué sur la bouteille d'échantillonnage. (**Voir la vidéo d'étiquetage et d'ensachage**)
13. Demandez aux élèves de plonger l'embout de la seringue dans l'échantillon d'eau prélevé dans la bouteille et de tirer délicatement le piston de la seringue pour la remplir complètement (50 ml).
Attention : assurez-vous de ne pas aspirer de l'eau avec la tête connectée pour ne pas abîmer le filtre.
14. Ensuite, demandez aux élèves de visser méticuleusement la tête de filtration sur la seringue et d'appuyer délicatement (mais de façon soutenue) sur le piston pour débiter la filtration. Assurez-vous que la tête de filtration est bien vissée sur l'embout de la seringue (voir **la fiche explicative** et **la courte vidéo**).
15. L'eau expulsée de la seringue peut être vidée dans un bocal et jetée. Elle n'a pas besoin d'être conservée.
16. Lorsque tout le volume de la seringue a été filtré (50 ml), demandez-leur de dévisser la tête de filtration et de replonger l'embout de la seringue dans l'échantillon d'eau. Ils doivent la remplir de nouveau.
17. Les élèves devront répéter 5 fois ces étapes pour filtrer un volume total de **250 ml** (5 x 50 ml = 250 ml).

Attention : si le filtre d'une équipe se bouche durant la filtration, les élèves devront calculer le nombre de millilitres qu'ils ont réussi à filtrer et **l'indiquer sur le sac de la tête de filtration à l'aide d'un stylo**.

18. Lorsqu'une équipe a terminé la filtration de ses 250 ml d'eau, elle doit assécher le filtre en faisant passer 150ml d'air à travers la tête de filtration. Pour ce faire, simplement remplir la seringue d'air (volume 50ml), visser la tête et pousser le piston pour que l'air traverse le filtre. **Répétez 3 fois.**
19. Lorsque le filtre a été séché, l'équipe dévisse la tête de filtration et la place dans le sac *Whirlpack* contenant 40 g de billes de gel de silice. (voir [vidéo d'étiquetage et ensachage pour bien refermer le sac.](#)) Elle dépose ensuite ce sac dans la grande enveloppe à bulles adressée et affranchie destinée au Centre d'expertise et de services Génome Québec.
20. Lorsque les 15 sacs contenant les têtes de filtration (14 échantillons et 1 d'eau distillée) ont été placés dans la grande enveloppe affranchie, scellez l'enveloppe.
21. Une fois l'enveloppe prête, veuillez aviser Noémie Rio par courriel (nrio@genomequebec.com) ou par téléphone au 514 398-0668, poste 228. Nous nous occuperons de faire ramasser l'enveloppe au secrétariat de votre école.

QUOI FAIRE AVEC LE MATÉRIEL RESTANT?

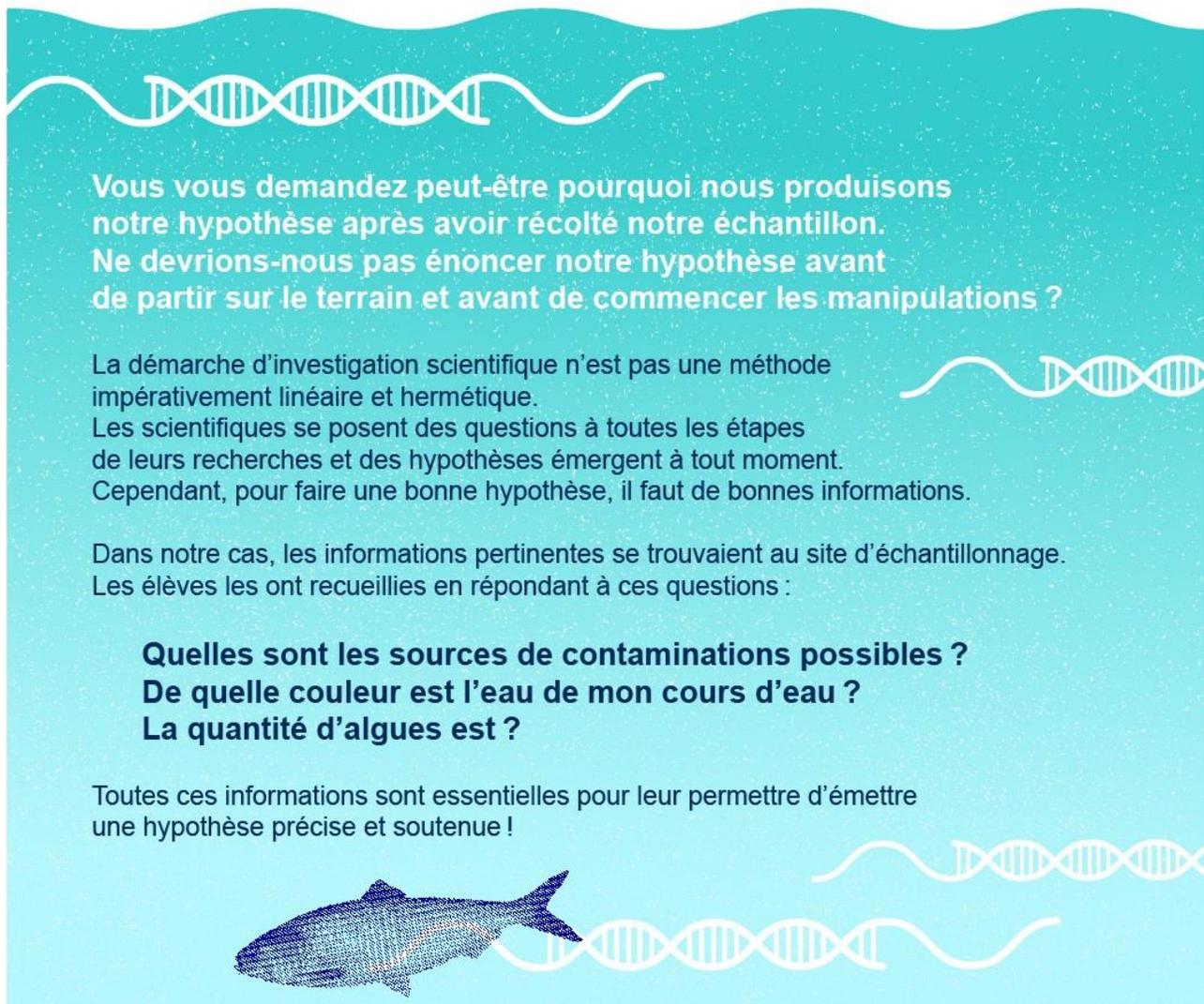
Déposez tout le matériel restant **EXEMPT D'ÉTIQUETTES** dans la boîte que vous avez reçue et mettez la perche dans le tube (pour les écoles concernées). Ensuite, veuillez aviser Noémie Rio par courriel nrio@genomequebec.com ou par téléphone au 514 398-0668, poste 228.

Le matériel sera ramassé au secrétariat de votre école.

Étape C : Les hypothèses

Les informations récoltées par les élèves sur leur **grille d'observation** lors de la visite au site d'échantillonnage sont précieuses pour la formulation d'une hypothèse solide. Chaque équipe doit maintenant consulter **la fiche hypothèse de l'élève** et faire des liens entre leurs observations et la santé présumée du cours d'eau.

Une fois la fiche hypothèse remplie, nous vous invitons à les conserver afin d'y référer au besoin. Elles vous permettront aussi de faire un retour à la suite de l'annonce des résultats par l'équipe scientifique au printemps 2025.



Vous vous demandez peut-être pourquoi nous produisons notre hypothèse après avoir récolté notre échantillon. Ne devrions-nous pas énoncer notre hypothèse avant de partir sur le terrain et avant de commencer les manipulations ?

La démarche d'investigation scientifique n'est pas une méthode impérativement linéaire et hermétique. Les scientifiques se posent des questions à toutes les étapes de leurs recherches et des hypothèses émergent à tout moment. Cependant, pour faire une bonne hypothèse, il faut de bonnes informations.

Dans notre cas, les informations pertinentes se trouvaient au site d'échantillonnage. Les élèves les ont recueillies en répondant à ces questions :

**Quelles sont les sources de contaminations possibles ?
De quelle couleur est l'eau de mon cours d'eau ?
La quantité d'algues est ?**

Toutes ces informations sont essentielles pour leur permettre d'émettre une hypothèse précise et soutenue !

PHASE 2 : L'équipe scientifique

Étapes D-E-F-G : L'extraction, l'amplification, le séquençage et les analyses bio-informatiques

Tel qu'indiqué dans le schéma de la méthodologie, lorsque les chercheurs(es) recevront les échantillons, ils les nettoieront. L'ADN des poissons et des invertébrés récoltés sera amplifié* (copié). Tous les fragments d'ADN (poissons, invertébrés et microorganismes) seront séquencés. Dès que leurs séquences d'ADN seront identifiées, nous pourrons fouiller les bases de données pour savoir à quelles espèces elles appartiennent. Nous aurons ensuite une meilleure idée de la biodiversité du cours d'eau échantillonné.

Vidéo YouTube de vulgarisation <https://youtu.be/TCnG7R50IU>

PHASE 3 : ENSEMBLE, l'attestation de l'état de santé des cours d'eau

Étape H : L'analyse des résultats

Une fois les données séquencées, nous saurons quelles espèces grouillent dans les cours d'eau près de chez nous!

Attention : nous ne pourrons pas savoir si les animaux que nous avons détectés étaient morts ou vivants ni s'ils étaient sur place ou en amont. Ces incertitudes ne remettent pas en doute la validité des résultats obtenus.

Serons-nous étonnés?

L'équipe scientifique transmettra ses analyses par vidéo. Retrouve-t-on plus d'espèces sensibles ou envahissantes dans nos cours d'eau? Détecte-t-on la présence de microorganismes? Si oui, lesquels?

Nous discuterons des résultats obtenus et nous nous demanderons comment nous pouvons protéger la biodiversité des cours d'eau québécois.

Vos échantillons...utilisés par de vrais scientifiques...pour trouver de vraies solutions!

* Voir l'explication à la page 12 : Phase 2 - Amplification.

Génome Québec tient à remercier les membres des comités pédagogiques et scientifiques pour leur précieuse collaboration

Collaboration École en réseau

Marie-Claude Nicole, Directrice générale
École en réseau

Comité pédagogique

Brigitte Loiselle, enseignante en science et technologie au 2^e cycle du secondaire
École Curé-Antoine-Labelle

Marilyn Perras, professeure de science et technologie
Collège Ville-Marie

Érick Sauvé, conseiller pédagogique
Centre de services scolaire de Laval

Comité scientifique

Guillaume Côté
Direction de la gestion des espèces aquatiques, Direction principale de l'expertise sur la faune aquatique, Direction générale de la gestion de la faune
MELCCFP *

Vani Mohit
Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
MELCCFP *

Vincent Fugère
Université du Québec à Trois-Rivières

Roger C. Levesque, professeur titulaire médecine
Institut de biologie intégrative et des systèmes, Université Laval

Patrick Blondin, vice-président, Centres technologiques
Génome Québec

Isabel Thibault
Direction de la gestion des espèces aquatiques
MELCCFP *

Gaëlle Triffault-Bouchet
Direction des expertises et des études
MELCCFP *

Daniel Verreault
Direction des expertises et des études
MELCCFP *

* Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs

Glossaire

Acide désoxyribonucléique (ADN)

Le produit chimique se trouvant dans le noyau d'une cellule. L'ADN contient les instructions génétiques pour fabriquer des organismes vivants. L'ADN est une longue molécule, habituellement assemblée en chromosomes. Elle encode l'information génétique sous la forme d'une double hélice, dont la cohésion est assurée par des liaisons entre les paires de bases.

Acide ribonucléique (ARN)

Un produit chimique semblable à un brin d'ADN. Dans l'ARN, la lettre U, qui représente l'uracile, se substitue au T, la thymine, dans le code génétique. L'ARN transporte le message génétique de l'ADN au cytoplasme de la cellule où les protéines sont synthétisées.

Algues bleu-vert : Les algues bleu-vert, aussi appelées cyanobactéries, sont des organismes microscopiques présents à l'état naturel dans les lacs et les cours d'eau. *Source : MAPAQ, 2015*

Bases azotées

Les bases sont les « lettres » qui transcrivent le code génétique. Dans l'ADN, les lettres du code sont A, T, C et G, représentant les produits chimiques adénine, thymine, cytosine et guanine, respectivement. Dans l'appariement des bases, l'adénine s'apparie toujours avec la thymine et la cytosine s'apparie toujours avec la guanine. Dans l'ARN, on ne retrouve pas de thymine, mais plutôt de l'uracile. Elle s'apparie à l'adénine. Pour former un nucléotide d'ADN, les bases azotées s'arriment à une molécule de sucre et une molécule d'acide phosphorique. *Source : National Human Genome Research Institute*

Biocénose

Communauté d'espèces animales ou végétales en équilibre dynamique plus ou moins stable dans un territoire défini. *Source : Centre national de ressources textuelles et lexicales (CNRTL, 2012)*

Bio-indicateurs

Organisme ou ensemble d'organismes qui, par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques, permettent, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées. *Source : Banaru et Perez, 2010*

Bio-informatique (aussi biologie computationnelle)

La biologie computationnelle (aussi appelée bio-informatique) intègre les thèmes de la biologie couplés à des outils informatiques et à des bases de données biologiques pour acquérir de nouvelles connaissances sur le système étudié.

Cellule

Unité de base de tout organisme vivant; une cellule est un petit contenant aqueux rempli de produits chimiques et contenant une copie complète du génome de l'organisme.

Chloroplaste

Un endroit de la cellule végétale contenant la chlorophylle où se produisent la photosynthèse et la fabrication d'amidon.

Endémique

Se dit des espèces vivantes propres à un territoire bien délimité.

Espèce

Une classe d'êtres vivants dont les caractéristiques les distinguent des autres.

Espèce exotique envahissante

Une espèce exotique envahissante est un végétal, un animal ou un micro-organisme (virus ou bactérie) introduit hors de son aire de répartition naturelle, et dont l'établissement ou la propagation constitue une menace pour l'environnement, l'économie ou la société. Définition : ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, <https://www.environnement.gouv.qc.ca/biodiversite/especes-exotiques-envahissantes/index.asp>

Génome

L'ensemble complet du matériel génétique d'un être vivant. Un génome est une copie de tout l'ADN dans la cellule d'un organisme (animal, plante ou microbe) et comprend, à la fois, les chromosomes à l'intérieur du noyau et l'ADN dans les mitochondries. Une copie du génome se trouve dans la plupart des cellules. Notre génome est composé de 3 400 000 000 de paires de bases, assemblées en 23 paires de chromosomes. Les bactéries peuvent n'avoir que 1 500 000 paires de bases dans un unique chromosome.

Mitochondrie

Ces organites à double membrane ont un rôle très important à jouer pour tout organisme (végétal ou animal). C'est dans ces structures ovales que se produisent les réactions de combustion. Elles convertissent l'énergie qui provient du milieu pour la rendre utilisable par la cellule. Ces organites possèdent aussi leur propre chromosome circulaire composé d'ADN, on parlera alors d'ADN mitochondrial. *Source : Définition adaptée d'Alloprof et Futura Sciences, 2019*

Paire de bases

Deux bases formant un « échelon de l'échelle d'ADN ». Un nucléotide d'ADN est composé d'une molécule de sucre, d'une molécule d'acide phosphorique et d'une molécule appelée « base ». Les bases sont les « lettres » qui transcrivent le code génétique. Dans l'ADN, les lettres du code sont A-T-C-G; elles représentent respectivement l'adénine, la thymine, la cytosine et la guanine. L'adénine est toujours jumelée à la thymine et la guanine, à la cytosine.

pH

Le pH est une grandeur sans unité chiffrée entre 0 et 14. C'est un indicateur de l'acidité, lorsque le pH est inférieur à 7; ou de l'alcalinité, lorsque le pH est supérieur à 7, d'une solution. Un milieu neutre affiche un pH égal à 7. Le pH est un indice qui permet de mesurer l'activité de l'ion hydrogène dans une solution.

Source : Futura Sciences

Photosynthèse

La photosynthèse est une réaction de synthèse se produisant dans les cellules possédant des chloroplastes (majoritairement des plantes). Cette réaction combine la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone et permet ainsi aux plantes de produire du glucose grâce à l'énergie solaire. *Source : Définition adaptée d'Alloprof 2019*

Respiration cellulaire

La respiration cellulaire est une réaction de combustion ayant lieu dans les mitochondries des cellules qui permet de transformer le glucose en énergie. Pour avoir lieu, cette réaction nécessite de l'oxygène. Les déchets produits sont du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau. *Source : Définition adaptée d'Alloprof 2019*

Ribosome

Organite cellulaire où se fait la synthèse des protéines.

Séquençage

En biochimie, la détermination de l'ordre linéaire des composants d'une macromolécule (les acides aminés d'une protéine, les nucléotides d'un acide nucléique, comme l'ADN, les monosaccharides d'un polysaccharide, etc.). En génétique, la détermination de la séquence des gènes ou des chromosomes, voire du génome complet, ce qui techniquement revient à effectuer le séquençage de l'ADN constituant ces gènes ou ces chromosomes. *Sources : Wikipédia et Futura Sciences*

Nous vous invitons à consulter notre glossaire complet en ligne
<http://www.genomequebec.com/glossaire/>