

## GUIDE POUR LE PERSONNEL ENSEIGNANT



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

## PERSONNES-RESSOURCES

### Quoi faire avant la réception de la trousse?

<b>Questions techniques</b> Noémie Poirier Stewart Consultante, volet éducation Génome Québec	<a href="mailto:npoirierstewart@genomequebec.com">npoirierstewart@genomequebec.com</a> 581-997-4114 514 398-0668, poste 228
<b>Réservation, livraison et commentaires</b> France Lescarbeau Coordonnatrice, Marketing et communications Génome Québec	<a href="mailto:fllescarbeau@genomequebec.com">fllescarbeau@genomequebec.com</a> 514 398-0668, poste 232
<b>Informations sur les activités en réseau</b> Marie-Claude Nicole Collaboratrice Science et technologie École en réseau	<a href="mailto:marie-claude.nicole@eer.qc.ca">marie-claude.nicole@eer.qc.ca</a> (819) 345-3091

#### - Lire les documents

- [Guide pour le personnel enseignant](#)
- [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](#)
- [Créer un compte sur la plateforme LARA](#)

Tous les documents et vidéos sont également disponibles sur le site [Mission ADN-eau](http://www.genomequebec-education-formations.com/missionadn)

<http://www.genomequebec-education-formations.com/missionadn>

## Table des matières

---

<b>Introduction</b> .....	3
Buts .....	4
Contexte .....	4
Objectif général .....	4
Mandats .....	5
<b>Notions théoriques</b> .....	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
<b>Mandat</b> .....	8
Présentation .....	8
Chronologie .....	9
PHASE 1 : Collecte - Les élèves .....	9
PHASE 2 : Analyse - L'équipe scientifique .....	10
PHASE 3 : Retour - Ensemble .....	10
<b>Méthodologie</b> .....	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
<b>Glossaire</b> .....	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://www.genomequebec-education-formations.com/education>.

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.

De plus, grâce à la collaboration [d'École en réseau](#), tous les élèves participants au projet pourront échanger entre eux et également avec plusieurs partenaires scientifiques impliqués, tout au long de l'année scolaire. La séquence chronologique en trois phases de ce projet, comprenant les étapes de récolte sur le terrain et d'échange à l'écrit et en visioconférence, sont décrits aux pages 9-10 et 11.

## 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.
- Récueillir des données scientifiques précieuses pour le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs et le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. 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(es) des différents ministères impliqués 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, visionner la vidéo [De la cellule à l'ADN](https://www.genomequebec-education-formations.com/education) sur notre plateforme éducation. <https://www.genomequebec-education-formations.com/education>

## 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 océans<sup>1</sup>, l'augmentation de la rapidité de l'acidification des océans<sup>3</sup>, l'augmentation du gaz carbonique dans l'atmosphère<sup>2</sup>, l'augmentation de la température moyenne<sup>3</sup> et la disparition massive des espèces animales<sup>3</sup>. 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?

<sup>1</sup> 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.

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

<sup>3</sup> 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*<sup>4</sup>. »

### 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.

---

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

Dans cet exemple, un seul élément perturbateur a eu 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 des Forêts, de la Faune et des Parcs et du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques 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

Lancement du projet en visioconférence avec tous les enseignants des classes participantes. 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(es) 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 serez aussi invité à collaborer avec les autres classes participantes et à échanger vos réflexions et vos découvertes avec la communauté d'apprentissage.

**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. Les élèves et les enseignants qui le souhaitent, pourront déposer leur montage sur la plateforme d'échange [LARA](#).*

## **PHASE 2 : Analyse - L'équipe scientifique**

À l'aide des échantillons que vous aurez récoltés et filtrés, les chercheurs(es) procéderont à l'extraction de l'ADNe et au séquençage. Les chercheurs(es) 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.

Au cours de cette deuxième phase, nous organiserons aussi des rencontres en visioconférence avec nos partenaires scientifiques.

*Les visioconférences en direct sont une des options, il est possible de faire des vidéos et aussi que les scientifiques échantillent à l'écrit avec les élèves pour cette phase.*

## **PHASE 3 : Retour - Ensemble**

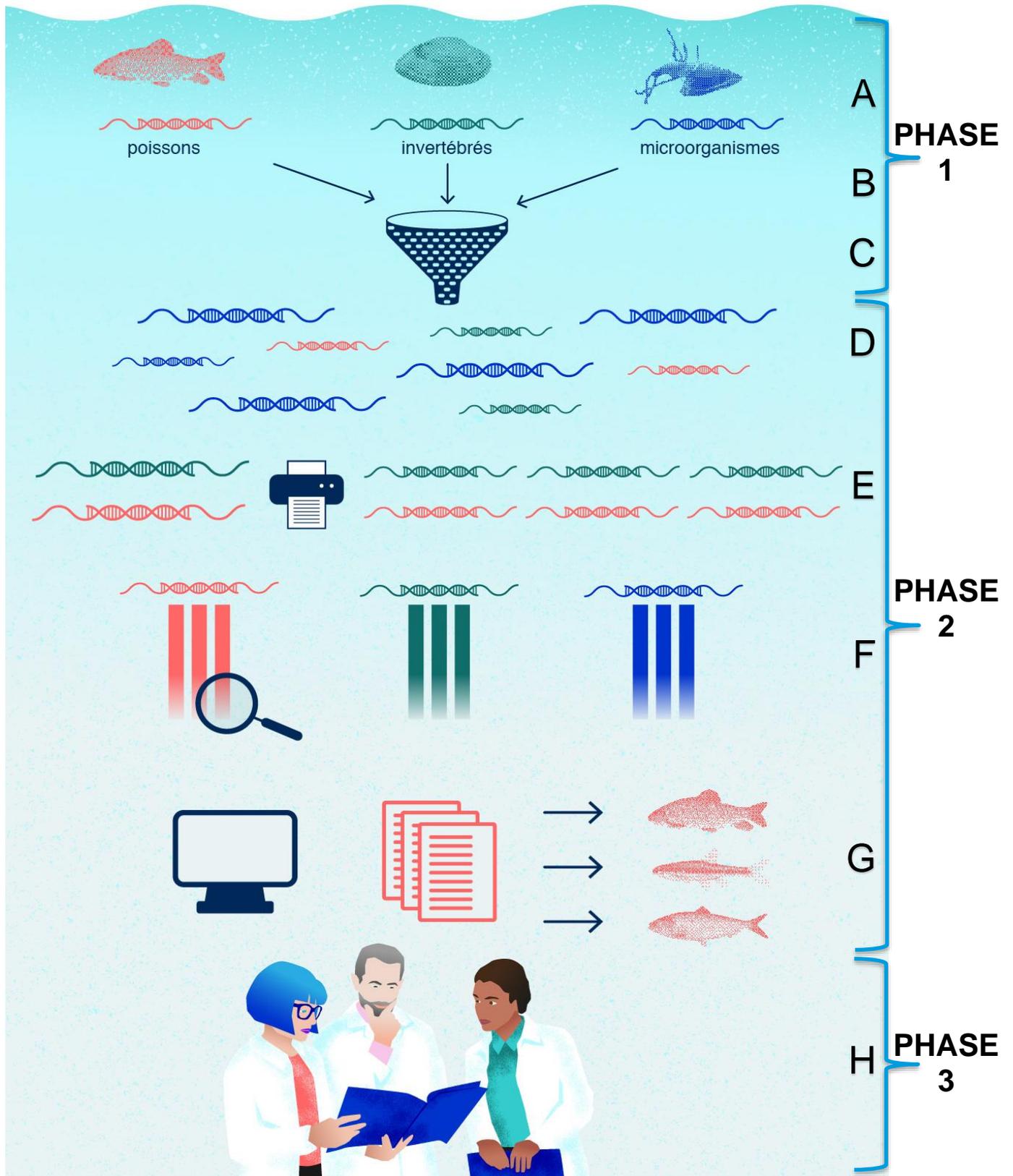
### **L'attestation de l'état de santé des cours d'eau**

Une fois les espèces identifiées, les chercheurs(es) et les élèves se retrouveront pour parler 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 obtenus seront mis en ligne sur le site [Mission ADN-eau](http://www.genomequebec-education-formations.com/missionadn) <http://www.genomequebec-education-formations.com/missionadn>. Nous vous ferons parvenir un courriel dès que les résultats seront disponibles.

**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 microbien, 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 seront affichées sur le site [Mission ADN-eau](http://www.genomequebec-education-formations.com/missionadn) <http://www.genomequebec-education-formations.com/missionadn> afin que vous puissiez les consulter.

De plus, l'équipe scientifique et les élèves se retrouveront en avril 2020 pour parler de la santé des cours d'eau du Québec. Dans le cadre d'une grande vidéoconférence, 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 leur marsquee et 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. Une boîte de gants
- 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. 4 paquets de glace chimique instantanée
- i. 1 perche et 25 *tie wrap* noirs réutilisables (pour les écoles concernées)
- 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 préadressée et affranchie pour l'envoi 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** à l'intention de Noémie Poirier Stewart à l'adresse courriel suivante : [npoirierstewart@genomequebec.com](mailto:npoirierstewart@genomequebec.com)
  5. Associez chaque bouteille d'échantillonnage à une équipe et demandez aux élèves d'étiqueter leur bouteille. Pour ce faire, inscrivez le nom de votre école et ajoutez le numéro d'échantillon entre 1 et 14. Ensuite, déposez les 14 bouteilles dans le sac thermique. (Ex : écoleXYX-1; écoleXYZ-2; écoleXYZ-3, etc.)

### Pendant la sortie

6. Rendez vous sur le site d'échantillonnage avec :
  - a. 14 bouteilles d'échantillonnage
  - b. 14 paires de gants
  - c. 14 grilles d'observation
  - d. 14 crayons
  - e. Bottes de pluie (*non inclus dans la trousse*)
  - f. Le sac thermique contenant les 4 paquets de glace chimique instantanée neufs et inutilisés
  - g. POUR LES ÉCOLES CONCERNÉES : 1 perche, 25 *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 d'enlever le capuchon de la bouteille et de la fixer sur la perche en serrant la sangle et en sécurisant le tout avec le *tie wrap* (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).
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 les 2 paquets de glace chimique instantanée activée.
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. Entreposez-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.
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 afin de 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 les étapes 22 à 25 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 l'étiquette du sac de la tête de filtration.***

18. Lorsqu'une équipe a terminé la filtration de ses 250 ml d'eau, elle dévisse la tête de filtration et la place dans le sac Ziploc contenant 40 g de billes de gel de silice. Elle dépose ensuite ce sac dans la grande enveloppe adressée et affranchie destinée au Centre d'expertise et de services Génome Québec.
19. 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.
20. Dès que l'enveloppe est prête, avisez France Lescarbeau par courriel ([flescarbeau@genomequebec.com](mailto:flescarbeau@genomequebec.com)) ou par téléphone au 514 398-0668, poste 232, qui s'occupera de faire ramasser l'enveloppe au secrétariat de votre école.

---

### **QUOI FAIRE AVEC LE MATÉRIEL RESTANT?**

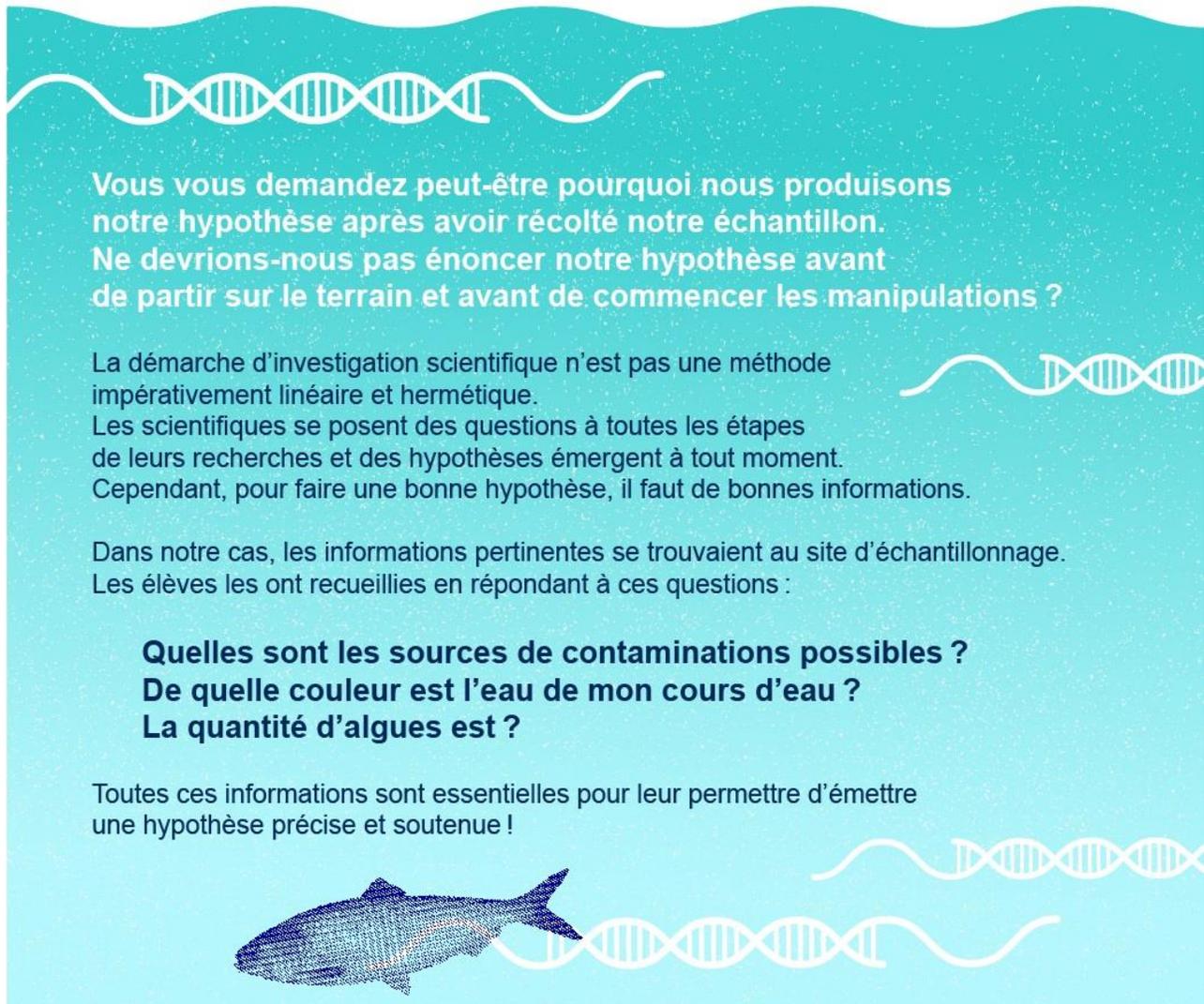
**Déposez tout le matériel restant EXEMPT D'ÉTIQUETTES dans la boîte que vous avez reçue et la perche dans le tube (pour les écoles concernées), apposez le bordereau de retour prévu dans la trousse et avisez France Lescarbeau par courriel [flescarbeau@genomequebec.com](mailto:flescarbeau@genomequebec.com), ou par téléphone au 514 398-0668, poste 232.**

**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 20-21.



**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

Comme il est 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 pour les enseignants(es) intéressés(es) <https://youtu.be/TCnG7R50IIU>

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

### Étape H : L'analyse des résultats

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

*Attention : nous ne pourrions 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?

Nous nous retrouverons pour en parler au printemps 2021 lors d'une grande vidéoconférence où nous discuterons de l'état de santé des cours d'eau que vous avez échantillonnés.

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 pédagogique et scientifique pour leur précieuse collaboration**

### Collaboration École en réseau

Marie-Claude Nicole, Collaboratrice Sciences et technologie  
École en réseau

### Comité pédagogique

Brigitte Loiselle, enseignante en science et technologie au 2<sup>e</sup> cycle du secondaire  
École Curé-Antoine-Labelle

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

Érick Sauvé, conseiller pédagogique  
Commission scolaire de Laval

### Comité scientifique

Guillaume Côté  
Direction de l'expertise sur la faune aquatique  
MFFP\*

Nicolas Gruyer  
Direction des expertises et des études  
MELCC\*\*

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

Daniel Tessier, vice-président, Centres technologiques  
Génome Québec

Isabel Thibault  
Direction de l'expertise sur la faune aquatique  
MFFP\*

Gaëlle Triffault-Bouchet  
Direction des expertises et des études  
MELCC\*\*

Daniel Verreault  
Direction des expertises et des études  
MELCC\*\*

\* Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

\*\* Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

## 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 des Forêts, de la Faune et des Parcs, <https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/envahissantes/>*

### **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/)**

<http://www.genomequebec.com/glossaire/>