

## CAHIER DE L'ÉLÈVE



En collaboration avec



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



Élèves du Québec, une grande étude sur les cours d'eau québécois est en cours et les chercheurs(es) en génomique ont besoin de votre aide! Vous devez leur ramener des échantillons contenant l'ADN des différentes espèces qui vivent dans nos cours d'eau québécois.

Les équipes de scientifiques qui analyseront vos échantillons travaillent avec le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs.



### **PAS DE PANIQUE!**

Nous avons besoin de vous sur le terrain pour nous ramener des échantillons d'eau.

Vous allez remettre vos échantillons à une vraie équipe scientifique qui va utiliser un outil de recherche puissant et très récent : l'ADN environnemental! Il vous permettra de récupérer les traces d'ADN que les êtres vivants (poissons, invertébrés et microorganismes) laissent derrière eux dans l'eau.

Avez-vous envie de partir en mission sur les cours d'eau du Québec?

## **À go, c'est MISSION ADN-eau!**

### **Objectif général**

Te plonger au cœur d'un projet collaboratif de science citoyenne pour te 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.

### **Ce projet 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 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(es) 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 océans, l'augmentation de la rapidité de l'acidification des océans, l'augmentation du gaz carbonique dans l'atmosphère, l'augmentation de la température moyenne et la disparition massive des espèces animales. 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 environnemental permet aux chercheurs(es) 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(es) 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'INRS, ici à Laval, au Québec!

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

## La biodiversité

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

## 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.

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 polluo-résistantes) et les chercheurs(ses) les utilisent comme bio-indicateurs. Dépendamment du 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(ses) dévoués, nous nous sommes dotés de règles de conduite et de réglementations qui protègent nos cours d'eau.

As-tu envie de 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 ton aide!

Tu devras 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 pourrons 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 pourrons 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 tu participes se déroulera en trois phases :



### PHASE 1 : Les élèves

Ce projet ne pourrait pas avoir lieu sans votre aide! Vous serez 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. Tu seras invité à collaborer avec d'autres classes participantes et à échanger tes réflexions et tes découvertes avec toute la communauté d'apprentissage.

Lors de la collecte, tu devras remplir [une grille d'observation](#). Si tu le désires, tu pourras présenter ton site d'échantillonnage (surtout les éléments nommés dans la grille d'observation) grâce à une vidéo ou à des photos prises avec un téléphone cellulaire.

*\* Pour des raisons éthiques, il ne doit pas y avoir d'élèves sur tes photos ou dans tes vidéos.*

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

À l'aide des échantillons que tu auras 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 toi, et les autres écoles participantes auez 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, des rencontres en visioconférence seront aussi organisées avec les partenaires scientifiques.

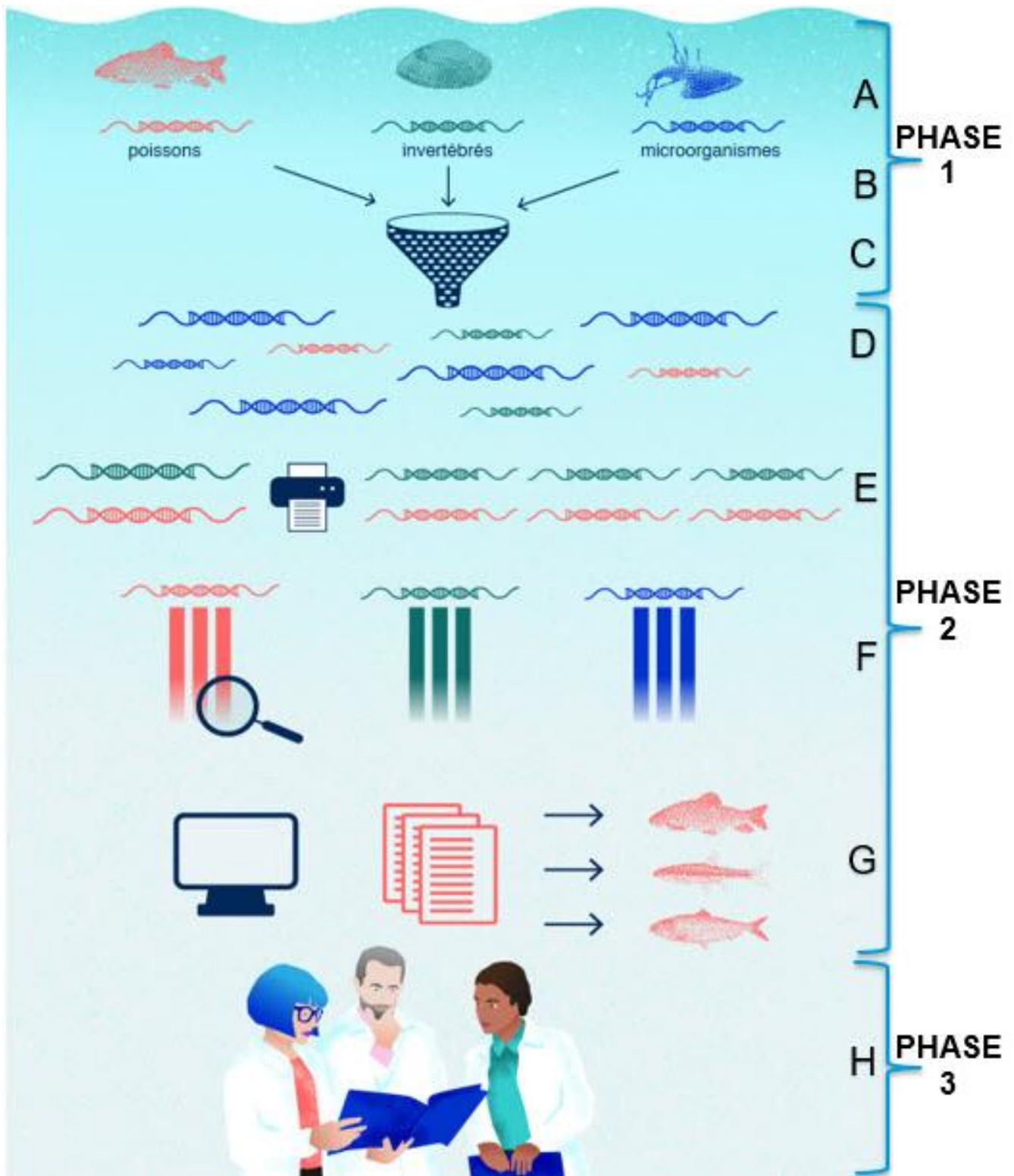
### **PHASE 3 : Ensemble, l'attestation de l'état de santé des cours d'eau**

Une fois les espèces identifiées, tu retrouveras l'équipe scientifique 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?

Ton enseignant recevra les résultats par courriel.

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 pour récupérer les fragments d'ADN.
- C. **Les hypothèses** : votre équipe devra 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 - vert, Cytosine - bleu, Thymine - rouge et Guanine - jaune). 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 : vert-jaune-rouge-bleu-rouge-jaune-vert-vert, 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 résultats et les analyses de l'équipe scientifique vous seront communiqués par courriel.

# Méthodologie

## PHASE 1 : Les élèves

Ta classe devra récolter 14 échantillons d'eau.

Nous t'invitons à apporter des bottes de pluie.

### Étape A : L'échantillonnage

1. Sur le terrain, chaque équipe a besoin de :
  - a. 1 bouteille de 300 ml étiquetée
  - b. 1 paire de gants
  - c. 1 crayon
  - d. 1 grille d'observation
  - e. Des bottes de pluie (non inclus dans la trousse)
2. Mets tes gants.
3. Fixe la bouteille vide sur la perche en serrant la sangle et en sécurisant le tout avec le *tie wrap* ([voir la vidéo : https://youtu.be/oduQX-voGT4](https://youtu.be/oduQX-voGT4)). Retire le capuchon seulement lorsque tu es prêt à plonger la bouteille dans l'eau.
4. À l'aide de la perche, plonge la bouteille dans l'eau à environ 30 cm sous la surface, le plus loin possible du bord (ou de la berge). Maintiens bien la bouteille sous l'eau jusqu'à ce qu'elle soit remplie (que des bulles arrêtent de s'en échapper).
5. Sors la bouteille de l'eau et vide là. Tu dois répéter cet exercice **3 fois afin de bien la rincer**.
6. Remplis ta bouteille complètement. Ceci est ton échantillon final!
7. À l'aide de la perche, ramène la bouteille, visse fermement le capuchon et appuie sur la languette pour défaire le *tie wrap*. Tu peux maintenant retirer la bouteille de la sangle.
8. Dépose ta bouteille d'échantillonnage remplie d'eau dans le sac thermique contenant le *ice pack* gelé.
9. Toutes les équipes doivent compléter les étapes 3 à 8 pour récolter un total de 14 échantillons d'eau.

Remplis la grille d'observation de ton équipe avant ou après l'échantillonnage en attendant que les autres équipes terminent. Note tous les détails que tu observes. Supporte tes observations en prenant une photo ou une vidéo (il ne faut pas voir d'élèves sur les photos et dans les vidéos). Ce document est obligatoire pour formuler ton hypothèse.

### Étape B : La filtration

Idéalement, fais cette section du protocole le plus rapidement possible après l'échantillonnage. Le mieux est de faire 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.

3. Pour cette étape, tu auras besoin de :
  - a. Ta bouteille d'échantillonnage remplie et conservée au froid
  - b. 1 seringue et 1 sac contenant une tête de filtration et des sachets de billes de silice
  - c. 1 crayon et du papier pour faire le calcul du volume filtré (au besoin)
  - d. 1 paire de gants
  - e. 1 crayon Sharpie

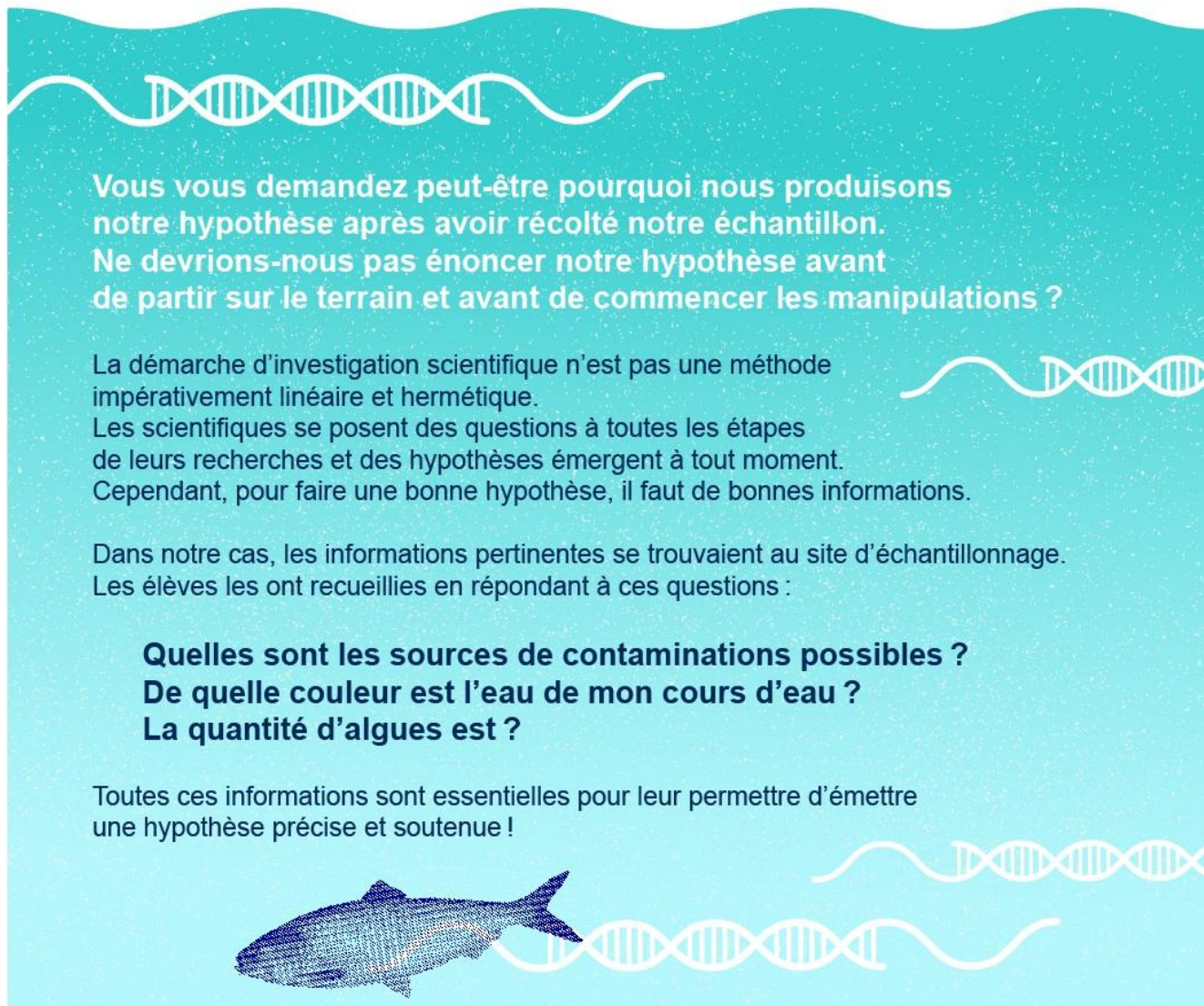
**f. 1 étiquette à code à barres pour identifier la bouteille et le sac contenant la tête de filtration**

4. Lors de ton retour en classe, assure-toi que les tables ont été lavées avec la solution stérilisante et mets des gants. Débute la filtration.
5. Assure-toi de bien coller, sans repli, les étiquettes à code à barres sur ta bouteille et sur le sac contenant la tête de filtration. ([regarde la vidéo sur l'étiquetage](#))
6. Reprends ta bouteille d'échantillonnage remplie d'eau et prends la seringue et la tête de filtration.
7. Plonge l'embout de la seringue dans l'échantillon d'eau prélevé dans la bouteille et tire délicatement le piston de la seringue pour la remplir complètement (50 ml). [Consulte la fiche explicative de la filtration](#) pour voir chacune des étapes.
8. Visse méticuleusement la tête de filtration sur l'embout de ta seringue et appuie délicatement (mais de façon soutenue) sur le piston pour débiter la filtration. **Attention : assure-toi de ne pas aspirer de l'eau avec la tête connectée à la seringue afin de ne pas abîmer le filtre.**
9. Lorsque tu as filtré l'entièreté de ta seringue (50 ml), dévisse la tête de filtration et replonge l'embout de ta seringue dans ton échantillon d'eau. Remplis-la de nouveau.
10. Tu devras remplir ta seringue plusieurs fois pour compléter la filtration de 250 ml d'eau (5 X 50 ml = 250ml). Chaque fois que tu vides complètement ta seringue, note-le sur l'étiquette. Tu sauras ainsi la quantité de millilitres que tu as filtré. **Attention : si ton filtre se bouche, tu dois arrêter la filtration et calculer le nombre de millilitres qui ont traversé le filtre. Exemple de calcul : 2 x seringues de 50 ml = 100 ml qui ont traversé le filtre. S'il reste du liquide dans la seringue, tu dois le prendre en considération dans ton calcul! N'oublie pas d'indiquer le nombre total de millilitres que tu as filtré sur l'étiquette du sac de la tête de filtration.**
11. Lorsque ton équipe a terminé la filtration (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.
12. Lorsque le filtre est sec, dévisse la tête de filtration et place-la dans le sac prévu à cet effet. Referme bien le sac qui contient maintenant la tête et les 4 sachets de billes de gel de silice! ([voir vidéo sur étiquetage et fermeture du sac](#))
13. Dépose ton sac dans l'enveloppe à bulles commune qui sera envoyée au Centre d'expertise et de services Génome Québec. **Assure-toi qu'il est étiqueté convenablement. Les échantillons non étiquetés ne pourront être pris en compte.**

## Étape C : Les hypothèses

Les informations récoltées sur [ta grille d'observation](#) lors de la visite au site d'échantillonnage sont précieuses pour la formulation d'une hypothèse solide. Tu dois maintenant consulter la [fiche Hypothèse](#) et faire des liens entre ta grille d'observation et la santé présumée de ton cours d'eau.

Une fois la fiche Hypothèse remplie, remets-la à ton enseignant(e) afin de pouvoir la consulter lors de l'annonce des résultats émis 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**

Comme il est indiqué dans le schéma de la méthodologie, lorsque les chercheurs(ses) 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.

\* Voir l'explication à la page 8 : Phase 2 - Amplification.

## **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 toi. Les résultats seront transmis par courriel aux personnes enseignantes.

*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 ton 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.

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

**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<sup>e</sup> 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/)**

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