

# Les marais artificiels : de l'observation à l'action

*Un projet de contrôle de la qualité de l'eau a évolué vers l'utilisation de marais artificiels afin de traiter la pollution provoquée par une mine d'or abandonnée.*

Article de **Dan Kowal**

Traduit par Camille Beaupin

**Domaines abordés :** sciences, mathématiques, français

**Notions principales :** drainage minier acide, marais artificiels, phytoremédiation, pH, métaux lourds, adsorption, précipitation

**Aptitudes :** respecter les méthodes scientifiques, observer, prendre des mesures scientifiques, analyser et synthétiser des données, aptitudes orales

**Lieu :** à l'extérieur

**Durée de l'activité :** 1 jour par mois pour préparer l'équipement, aller sur le site, prélever des échantillons ; 1 heure de cours par semaine

**Matériel :** équipement permettant de contrôler la qualité de l'eau

a couleur du Colorado, comme son nom l'indique, est le rouge, présent dans ses montagnes et ses saules au bord de l'eau en automne. Et c'est cette couleur qui a attiré un

groupe d'élèves vers un petit ruisseau dans les montagnes près de Denver en 1991.

« Les pierres du cours d'eau ont l'air rouillées » a déclaré l'un d'entre eux ». « On dirait ce qu'il y a sur la vieille voiture de mon père » a ajouté un autre.

Leurs observations étaient justes. Il s'agissait bien d'oxyde de fer, en d'autres termes de

rouille. Mais d'où provenait-elle ? Et était-elle mauvaise pour le ruisseau ? Et si oui, que pouvait-on y faire ? La curiosité des élèves et du professeur les a entraînés dans une activité de contrôle de la qualité de l'eau réalisée par des élèves de 12 à 14 ans et à une expérience innovante de huit ans : la construction d'un marais artificiel pour traiter le drainage acide d'une mine abandonnée.

Dan Kowal



En 1992, les élèves de l'école « Logan School for Creative Learning » à Denver ont commencé à surveiller le cours d'eau dans le cadre du programme « Rivers of Colorado Water Watch Network », aussi appelé « River Watch ». Soutenue par la Colorado Division of Wildlife et par des fonds provenant des permis de pêche de l'état, l'école a bénéficié de matériel pour tester la qualité de l'eau, d'un ordinateur, d'une analyse en laboratoire de métaux lourds. En échange, les élèves ont recueilli des données sur le cours d'eau et d'autres sites du même bassin, en respectant des protocoles stricts pour le prélèvement des échantillons et les tests.

À l'école, les élèves de River Watch se consacraient principalement à l'interprétation des tests et à l'analyse des données, et se rendaient sur le site du cours d'eau tous les mois pour tester la présence de métaux lourds, le PH, l'alcalinité, la dureté de l'eau, la température et l'oxygène dissous. Après deux ans, l'exploitation des prélèvements a indiqué que les taux de zinc, de cuivre et de fer dans le cours d'eau étaient supérieurs aux normes de l'état permettant la vie aquatique.

Les élèves, qui connaissaient l'existence d'une mine d'or exploitée jadis près de Denver dans un endroit appelé Gamble Gulch, ont commencé à

soupçonner la présence d'une mine abandonnée en amont. Une étude plus approfondie a confirmé leurs soupçons : l'eau provenant de la mine avait un pH de 3,0 et une étude révéla que la diversité des espèces aquatiques chutait de 28 à 1 une fois que le cours supérieur de la rivière avait passé la mine.

Convaincus de se trouver face à un problème, les élèves de River Watch ont commencé à rechercher des solutions. Un atelier sur le drainage minier acide de l'Institut d'Études

Géologiques des États-Unis (U.S Geological Survey) a permis à la classe de découvrir un processus de traitement traditionnel, requérant beaucoup de main d'œuvre, et utilisant le calcaire pour faire augmenter le pH et des marais artificiels afin d'éliminer les métaux lourds. Le processus avait été développé par la Colorado School of Mines et cette expérience réussie a inspiré les élèves de Logan qui ont commencé à imaginer un système de

marais artificiels afin de voir si cela pouvait être un moyen efficace d'éliminer les métaux lourds du cours d'eau.

Les enseignants et les élèves de l'École School of Mines ont participé à la conception, la Colorado Division of Wildlife a apporté une aide financière et la Colorado Division of Minerals and Geology a fourni une aide en nature.

Le projet River Watch a débuté en 1994 avec la construction de quatre systèmes de traitement par marais artificiels. Grâce à l'aide des parents, des élèves et professeurs ainsi que des familles provenant d'une autre école en aval, le projet s'est achevé au cours de l'été 1996. Pendant ce temps, les élèves ont continué à recueillir des données, à les enregistrer sur un ordinateur et à les transmettre à la Colorado Division of Wildlife. Ils ont rédigé des rapports de leurs conclusions et ont obtenu une aide financière du « 319 Task Force », un comité coordonné par le Département de la Santé du Colorado qui finance des projets de dépollution. Cet argent leur a permis de mener à bien leur projet.



Dan Kowal

Le bassin était équipé d'une conduite de débordement destinée à éviter les déversements lors de la fonte des neiges au printemps ou dans l'éventualité où un blocage par débris se produirait dans les conduites menant aux parcelles du marais. Un système composé d'une conduite en PVC de 20 mm environ permettait l'écoulement du bassin, par circulation par gravité, dans quatre parcelles de marais différentes.

Les murs des parcelles de marais étaient composés de traverses de voie ferrée, de métal, et recouverts d'Hypalon. Chaque parcelle mesurait 2,5 sur 2,5 mètres, avait une profondeur de 1,2 mètres et contenait 5,5 mètres cubes d'engrais ou de compost. Les bactéries de l'engrais réagissaient avec l'eau et supprimaient ainsi les métaux lourds de la solution. Du calcaire broyé était également ajouté – 6,4 mètres cubes, à chaque parcelle afin de contribuer à élever le niveau de PH. Des vannes limitaient le débit se déversant dans chaque parcelle à 3,8 litres par minute. Ce débit prédéterminé augmentait la durée de vie du substrat, qui demeurait réactif pendant au moins un an.

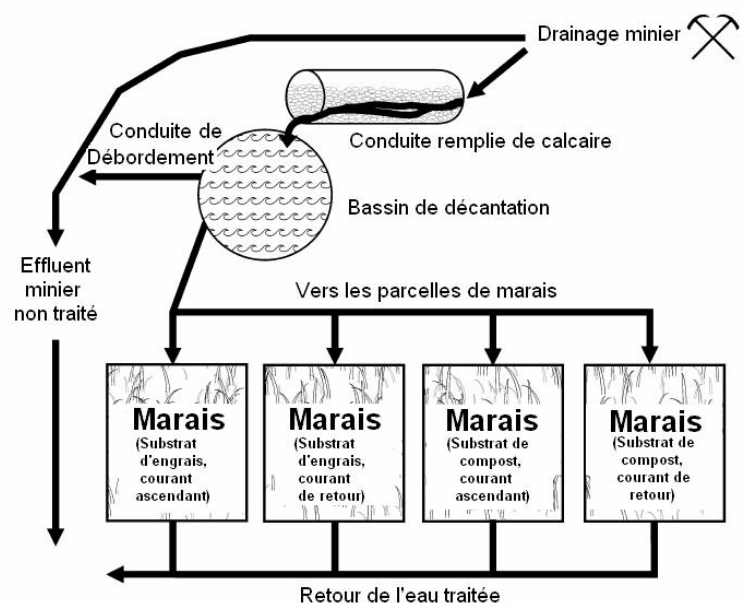
Dès le début, les élèves ont voulu tester différentes configurations afin de comparer leur filtrage de métaux lourds. Pour comparer la différence de réactivité entre les substrats, deux parcelles contenaient de l'engrais et les deux autres du compost. Les élèves ont également souhaité savoir si la direction de l'écoulement de l'eau avait une influence sur la suppression des métaux lourds. Deux différentes configurations ont donc été mises en place pour chaque substrat. Dans le système ascendant, l'eau entrait par une conduite perforée sous

## Le système de marais artificiels

Le système de marais artificiels se composait principalement d'une conduite, d'un bassin de décantation et de quatre parcelles de marais. À l'endroit où l'eau de la mine émanait d'une ancienne galerie de la mine (une entrée presque horizontale), le système de traitement commençait avec une redirection de l'eau à travers une conduite remplie de calcaire broyé (voir le schéma). Cette conduite, recouverte d'Hypalon (matériau isolant) mesurait environ 7,5 mètres de long, 60 centimètres de large et 30 centimètres de profondeur. Alors que l'effluent passait à travers la conduite, le carbonate de calcium du calcaire élevait le PH de l'eau au-dessus de 4,0. Cette élévation du PH permettait aux bactéries de catalyser l'adsorption des métaux lourds dans les substrats d'engrais et de compost du marais.

Émergeant de la conduite, l'effluent était recueilli dans le bassin de décantation recouvert d'Hypalon de 4,5 mètres de diamètre et d'1 mètre de profondeur. Ce réservoir permettait au fer d'oxyder avant que l'effluent n'entre dans les parcelles du marais, évitant ainsi que l'oxyde de fer ne pénètre dans le système.

## Système de marais artificiels



la parcelle, remontait dans le substrat et quittait la parcelle à travers une conduite d'évacuation. Des gravillons entouraient les conduites perforées et les conduites d'évacuation afin d'éliminer les débris. Dans le système descendant, l'eau entrainait en haut de la parcelle et s'écoulait dans le substrat. La pression de l'eau envoyait l'effluent de la mine traité via les conduites perforées à la surface de la parcelle dans une solide conduite d'évacuation. Un revêtement de 15 centimètres de paille isolait chaque parcelle.

## Résultats

Les élèves ont découvert que les marais artificiels réduisaient considérablement la concentration de métaux lourds. D'après les données recueillies de septembre à décembre 1996, chaque marais artificiel faisait baisser les niveaux de zinc, de fer et de cuivre bien en-dessous des seuils de toxicité pour les poissons et la vie aquatique. Le pH atteignait des niveaux plus favorables, entre 6,0 et 8,0. À l'automne 1997, les élèves ont présenté ces résultats préliminaires au « 319 Task Force » et au printemps suivant, la classe a complété ces résultats et les a transmis à la Commission de Contrôle de la Qualité de l'Eau du Colorado. Les élèves ont continué à réaliser leurs prélèvements mensuels.

## Des perspectives de développement

Les données recueillies ayant démontré que les marais constituaient une approche viable de détoxification de drainage minier acide, de nombreux élèves de River Watch ont demandé : « Pourquoi ne pouvons-nous pas nettoyer ce cours d'eau ? ».

Il était évident que traiter l'eau du cours d'eau tout entier nécessiterait un système de marais beaucoup plus grand que le système mis en place à petite échelle sur le site ; cela nécessiterait également l'expertise, le financement et la coopération de divers intervenants avec différents points de vue. Il n'était pas non plus certain qu'une telle tentative serait un succès à grande échelle. La possibilité de nettoyer le cours d'eau a donc été choisie comme question centrale d'un projet destiné à recueillir plus d'informations et à étudier les perspectives de développement.

Au cours de ce projet, les élèves de River Watch ont collaboré avec des chercheurs en sciences cognitives et en informatique de l'Université du Colorado à Boulder, lesquels cherchaient à diriger un modèle d'apprentissage collaboratif assisté par ordinateur.

Les élèves ont été répartis en quatre groupes représentant le gouvernement, les propriétaires fonciers, les compagnies minières et les écologistes. Pendant un an, les groupes ont recueilli des informations et ont interrogé des adultes afin d'étudier la faisabilité du recours aux marais pour nettoyer des cours d'eau entiers pollués par le drainage minier. À la fin de l'année, les étudiants ont exprimé leur point de vue au cours d'un débat animé.

Il a abouti au consensus suivant :

- Les marais artificiels ne sont pas la seule solution au drainage minier acide, mais font partie d'une stratégie globale pouvant intégrer d'autres approches.
- La loi fédérale américaine sur la protection de l'eau (Clean Water Act) devrait être amendée afin que les « bons Samaritains » qui tentent de nettoyer des cours d'eau ne puissent être tenus pour responsables si leurs efforts échouent.

## Conclusion du Projet

Le projet des marais artificiels s'est terminé à la fin de l'année scolaire 2000, non sans avoir laissé derrière lui nombre d'études intéressantes.

## Documentation

Dick Frazer, jeune mineur dans les années 90, et qui travaillait toujours dans son exploitation un peu plus loin à Gamble Gulch, s'est souvent arrêté pour constater l'évolution du projet des élèves. Dick connaissant toute l'histoire de cette mine, ses visites ont permis aux élèves de découvrir le contexte historique associé à leur projet.

Ils ont retracé l'histoire de la mine et, avec l'aide d'une entreprise de production de films ont réalisé *The History of Gamble Gulch (L'Histoire de Gamble Gulch)*. Le film a été légué à la Colorado Historical Society.

## Sols et phytoremédiation

Lors de la phase finale du projet, les élèves du projet River Watch ont reçu une autre aide financière du « 319 Task Force » pour réaliser des tests sur les quatre parcelles du marais. Au moment de la fermeture du système de marais artificiels, il a fallu effectuer des prélèvements du sol afin de déterminer si le taux de métaux lourds du substrat dépassait les taux autorisés, auquel cas l'engrais et le compost auraient dû être confiés à un site de traitement des déchets dangereux. Heureusement, ce ne fut pas

nécessaire, les résultats de l'analyse des échantillons étant bien en-dessous des normes de sécurité. L'analyse du sol a également fourni aux étudiants des informations complémentaires sur la phytoremédiation, processus consistant à utiliser des plantes pour décontaminer sols et eaux. Les élèves se sont intéressés à deux questions :

- À quel point les plantes du marais absorbent-elles les métaux lourds ?
- Quelles parties des plantes – les racines, les pousses ou les fruits – sont les plus efficaces pour concentrer les métaux lourds ?

En été, les élèves ont planté de la quenouille, de la laiche et de l'herbe sur les parcelles. À la fin de l'automne, ils ont récolté ces plantes et ont fait analyser certaines parties par un laboratoire.



Dan Kowal

## Qu'est-ce que le Drainage Minier Acide?

Alors que les pluies acides ont fait les gros titres de journaux au cours des dernières décennies, une forme d'acide moins connue a régulièrement affecté des cours d'eau en Amérique pendant plus d'un siècle.

Le drainage minier acide, un effluent résultant de l'exploitation minière, pollue les bassins supérieurs des Montagnes Rocheuses depuis les premières recherches d'or et d'argent et dans les régions des mines de charbon, c'est le principal problème écologique affectant les écosystèmes aquatiques.

Le drainage minier acide consiste généralement en de l'eau très acide avec de fortes concentrations de métaux lourds. Le processus débute avec l'excavation de roche contenant des minéraux sulfurés, le plus courant étant la pyrite de fer aussi appelée « or des fous ». En contact avec de l'air ou de l'eau, ces minéraux s'oxydent pour former de l'acide sulfurique, qui dissout des métaux lourds dans la roche tels que le fer, le cuivre, le plomb, le zinc et le cadmium. L'effluent en résultant, le drainage minier acide, s'écoule dans les rivières et autres cours d'eau par infiltration dans le sol ou ruissellement. Son acidité et sa forte concentration de métaux lourds créent un environnement toxique aux poissons et aux autres formes de vies aquatiques.

D'énormes quantités de roches — responsables du drainage minier acide — résultent de l'exploitation minière car le métal extrait utilisé peut représenter seulement 1% du matériau excavé. Les statistiques du gouvernement canadien en 1991 indiquaient que l'exploitation minière au Canada génèrait presque 2 millions de tonnes de débris de roche et de résidus par jour, pouvant être à l'origine de drainage minier acide. Si la roche est en contact avec l'air et l'eau, elle continue à se dégrader pendant des dizaines d'années. On estime qu'aux États-Unis, le drainage minier acide causé par des mines abandonnées a pollué 19 300 kilomètres de cours d'eau et 73 000 hectares de lacs et bassins.

Le drainage minier acide est un problème important, difficile à régler. Neutraliser l'effluent avec du calcaire réduit son acidité et précipite les métaux, mais entraîne des boues toxiques qui sont un problème de pollution. Isoler complètement les débris rocheux empêche l'oxydation des minéraux sulfureux à l'origine de l'acide et placer les résidus dans des bassins imperméables peut stopper

l'infiltration dans les cours d'eau, mais ces méthodes requièrent toutes les deux l'entretien des structures de confinement. L'autre technique, consistant à recouvrir les résidus des opérations minières de tillite et de sol, ne garantit pas que les eaux de surface ne pollueront pas la nappe phréatique en entrant en contact avec l'acide.

Le potentiel des marais artificiels pour traiter le drainage minier acide en neutralisant et retirant les métaux des effluents miniers est prometteur et a été considéré avec intérêt. Des essais ont été réalisés à petite échelle uniquement et il reste encore beaucoup à faire mais les marais, écosystème autosuffisant, pourraient bien être la solution sur le long terme à ce problème écologique de longue durée.

— Gail Littlejohn, co-éditrice



Dan Kowal



Dan Kowal

### RÉFÉRENCES

Environmental Mining Council of British Columbia. *Acid Mine Drainage*. Consultable en mars 1998 sur le site <[www.miningwatch.org](http://www.miningwatch.org)>.

Mills, Chris. *An Introduction to Acid Rock Drainage*. Consultable en janvier 2004 à l'adresse suivante : <<http://technology.infomine.com/enviromine/ard/Introduction/ARD.HTM>>.

Sobolewski, André. *Wetlands for Treatment of Mine Drainage*. Consultable en janvier 2004 à l'adresse suivante : <<http://technology.infomine.com/enviromine/wetlands/welcome.htm>>.

Les élèves ont travaillé dans cinq groupes, chacun se consacrant à un métal lourd différent pour analyser la performance de chaque plante. Les résultats ont été présentés dans un rapport pour le « 319 Task Force ».

### Une expérience renouvelable?

L'engagement, la persévérance et l'envie d'apprendre sont essentiels pour mener à bien un projet de cette ampleur. Dans tout projet scolaire se déroulant sur plusieurs années, le professeur permet d'assurer la continuité, de garder en tête les objectifs du programme et de conduire peu à peu les élèves jusqu'à l'objectif final.

Dans la classe de River Watch se trouvaient généralement quelques redoublants qui se chargeaient de présenter aux nouveaux les procédures permettant de tester la qualité de l'eau et le projet dans son ensemble.

Ces rôles de « leaders » inculquaient aux élèves le sens des responsabilités.

Ce projet de marais artificiel est le résultat de l'effort de toute une communauté et n'aurait pas été possible si l'école avait été la seule à participer. Sa réussite a été possible grâce à l'identification dès le début de sources potentielles d'expertise technique et de soutien financier et en nature.

Les partenariats avec les agences d'État et le soutien des universités locales ont été précieux. En particulier, la « Division of Minerals and Geology », une agence d'état chargée de la réhabilitation de sites miniers, a mis l'école en contact avec les propriétaires fonciers pour commencer le projet rapidement. Des scientifiques de différentes institutions ont été accessibles et ont répondu à nos questions dans les meilleurs délais. Avec ce genre de soutien, nous n'avons jamais eu l'impression que nous avions besoin d'être des experts pour mener à bien ce type de projet.

Nous avons simplement besoin de personnes motivées.  
Le coût du système de traitement par marais artificiel s'est élevé à environ 6 000 \$. Il nous a surtout fallu beaucoup de temps.

Tous les ans, de nouvelles opportunités d'apprendre émergent du projet River Watch et le projet a continué à intéresser toutes les personnes concernées au long des années, malgré les difficultés rencontrées.

La durée du projet et la curiosité de certains ont entraîné les élèves dans un processus d'apprentissage actif qui leur servira à l'avenir. Un ancien élève du Projet River Watch a ainsi fait en sorte que le campus de son université soit écologique, que les bâtiments existants intègrent des dispositifs éco-énergétiques et que les nouveaux soient conformes à de rigoureuses normes environnementales.

---

*Nous n'avons jamais eu l'impression que nous avions besoin d'être des experts pour mener à bien ce type de projet.*

---

Le premier groupe d'élèves du projet River Watch à avoir travaillé sur la conception et la construction des marais artificiels n'a pas eu la chance de voir le projet aboutir. Mais la curiosité des

élèves a ouvert la voie à d'autres questions. Voilà pourquoi je demande toujours aux élèves des différentes classes du projet River Watch s'ils ont déjà remarqué quelque chose, une odeur, ou un son, qui leur ait semblé « bizarre ».

Ont-ils cherché à en savoir plus et posé des questions ? Je leur raconte alors que les marais artificiels ont débuté avec la curiosité de quelques élèves ayant remarqué la couleur rouge d'un petit cours d'eau de la montagne.

*Dan Kowal, ancien enseignant à la Logan School for Creative Learning à Denver, Colorado, travaille désormais comme programmeur Web pour le Centre de Données Géophysiques de l'Administration Atmosphérique et Océanographique Nationale (États-Unis) où il continue à contribuer à l'éducation environnementale.*

*Article traduit pour Green Teacher par Camille Beaupin, traductrice diplômée de l'ISIT.*