

BÉTON ACHARNÉ

D'après la rencontre entre les artistes **Pauline Rolland** et **Yuri Zupancic**, et les enseignants-chercheurs **Emilio Bastidas-Arteaga** et **Rachid Cherif** au laboratoire **LaSIE** (La Rochelle Université, CNRS)

Sujet de recherche :

**Durabilité des infrastructures
en béton armé soumises au phénomène
de corrosion en zones littorales**

Présentation du module

Artistes : [Pauline Rolland](#) et [Yuri Zupancic](#)

Chercheurs : [Emilio Bastidas-Arteaga](#) et [Rachid Cherif](#),
Laboratoire [LaSIE](#) (Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement) - UMR 7356 (La Rochelle Université, CNRS)

Sujet de recherche : Durabilité des infrastructures en béton armé soumises au phénomène de corrosion en zones littorales

Béton acharné est issu du dialogue entre les artistes Pauline Rolland et Yuri Zupancic, et les enseignants-chercheurs en Mécanique et Génie Civil à La Rochelle Université Emilio Bastidas-Arteaga et Rachid Cherif.

Approche artistique

Pauline Rolland et Yuri Zupancic vivent et travaillent à Paris. Ils ont chacun une pratique artistique individuelle. Pauline peint, dessine et filme. Yuri crée principalement des peintures, notamment des miniatures sur des micropuces et des touches d'ordinateur. Ils collaborent ensemble depuis 2015 sur divers projets aux techniques variées.

Pour le NANOmusée de La Rochelle Université, Pauline et Yuri ont souhaité travailler sur la question de la corrosion du béton armé car celle-ci entrait en résonance avec leurs autres explorations artistiques sur les activités humaines, la nature à préserver et le futur à construire.

Béton acharné est un diptyque composé d'une vidéo et d'une sculpture en bois et métal, portant sur l'utilisation du béton armé pour la construction de nos infrastructures et sur le phénomène de corrosion. L'œuvre interpelle sur le rapport de force entre la nature et les constructions humaines.

La discussion entre les artistes et les chercheurs a porté sur « notre rapport au temps, à la nature, à la manière dont nous, êtres humains devons protéger notre planète en ayant en tête que nous ne sommes que de passage sur Terre. L'idée du pont, de la transmission et des silhouettes, s'est très vite imposée. » (Yuri et Pauline)

Approche scientifique

Le béton est l'un des assemblages de matériaux les plus utilisés pour la construction. Cependant, sur les littoraux, les infrastructures en béton armé doivent faire face à un environnement qui leur est hostile, car les constructions sont soumises au phénomène de corrosion. Les chercheur-euses de l'équipe Transferts, Dégradation et Valorisation des Matériaux (TDVM) du LaSIE étudient la durabilité du béton armé confronté à la corrosion des armatures.

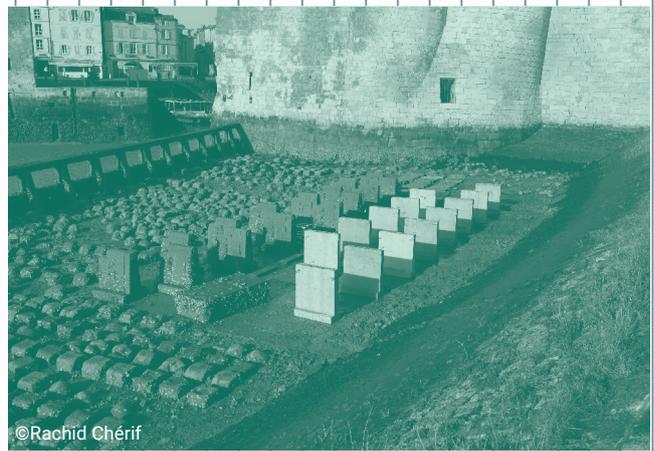
En effet, les infrastructures en béton armé disposent d'une armature généralement constituée d'acier. Cette technique permet d'améliorer leur résistance à la traction. Cependant, cette structure est soumise au phénomène de corrosion car le béton, matériau poreux, est perméable aux ions chlorure du sel marin. Ces derniers pénètrent et atteignent l'armature en acier, produisant de la rouille à sa surface. L'accumulation de rouille fragilise le béton, provoquant fissures, gonflement et éclatement.

L'équipe du LaSIE simule, par des moyens expérimentaux, les conditions environnementales auxquelles les infrastructures en béton sont soumises en zone littorale. L'objectif est de prédire la durabilité des armatures lorsqu'elles sont exposées à la corrosion et de tester de nouveaux matériaux de construction. Les scientifiques développent également des modèles numériques permettant de simuler les mécanismes de dégradation du béton armé en zone littorale, afin d'affiner les prédictions de durée de vie pour un site donné.

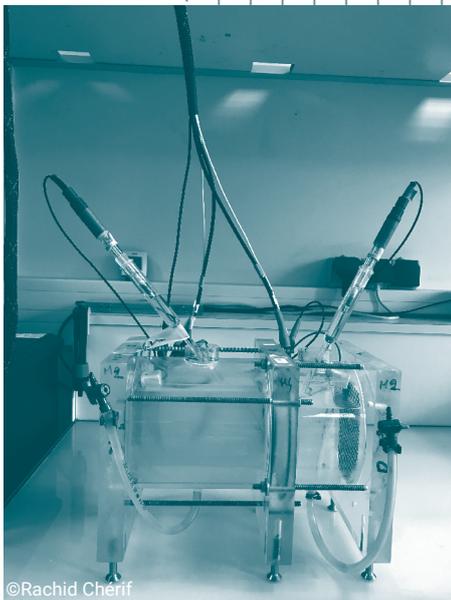
Mots clés

Sciences : béton armé, corrosion, acier, rouille, construction, assemblage, matériaux.

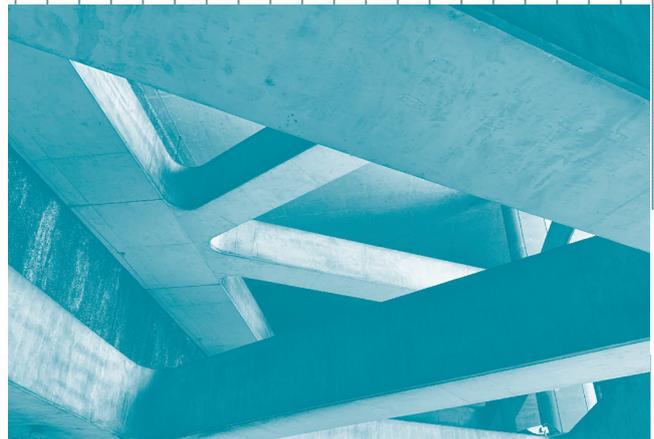
Arts plastiques : sculpture, vidéo, bois, métal.



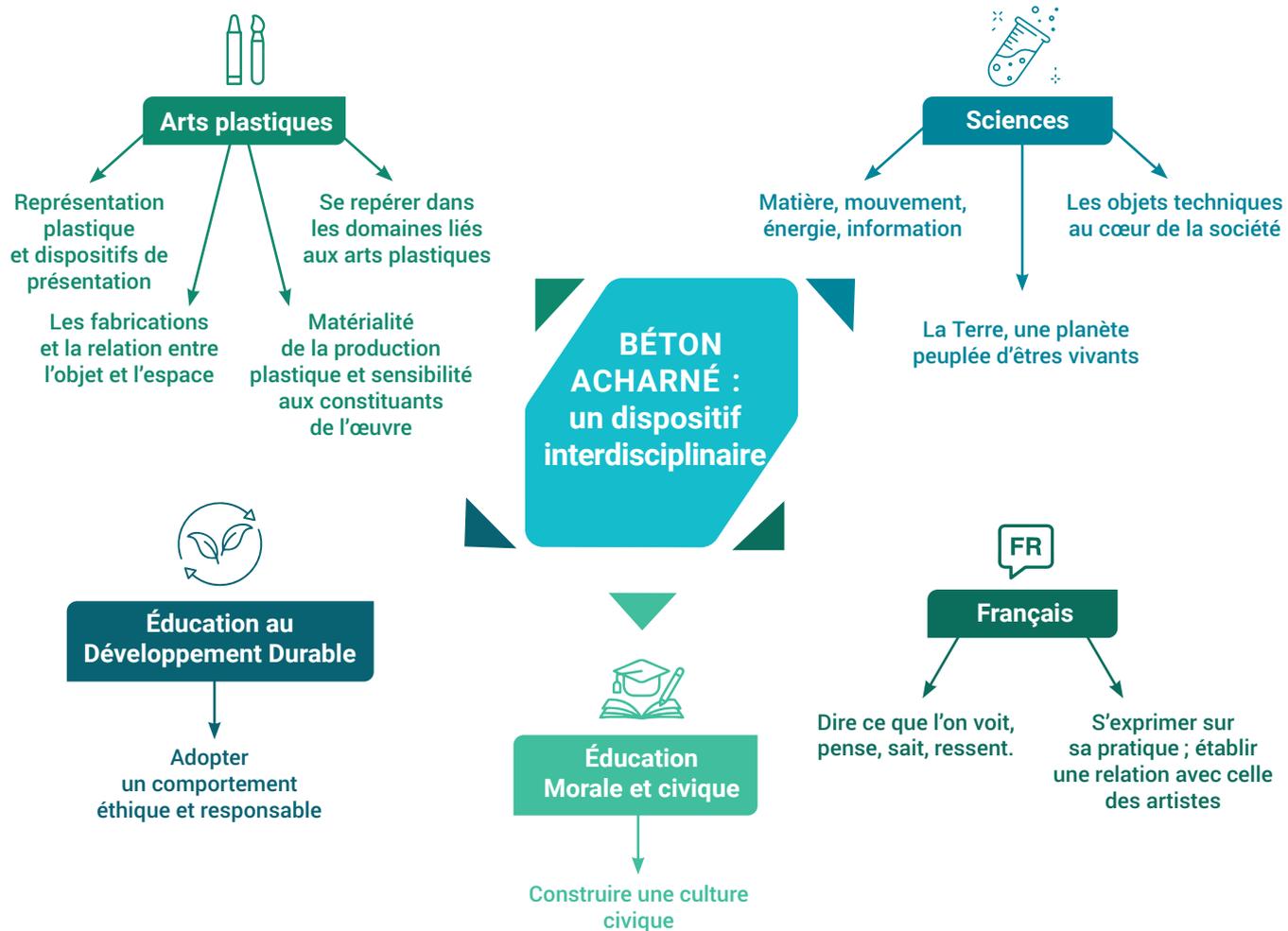
©Rachid Chérif



©Rachid Chérif



Domaines du programme visés par l'étude de Béton Acharné



Cf annexes pour le détail des compétences visées en lien avec les programmes de l'Éducation Nationale p.13 et 14

Étapes pédagogiques avant la visite du NANOmusée



Émergence des connaissances et des représentations initiales

Garder la trace des réponses des élèves : réponses écrites individuelles ou prises de notes par l'adulte

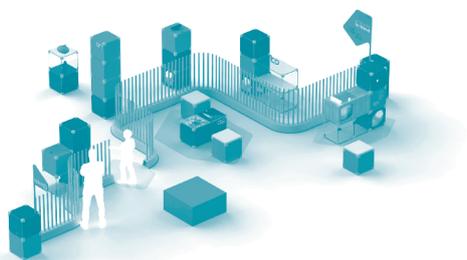


Validation par le biais de recherches documentaires

Définitions, dictionnaires, livres documentaires, sites, albums...



Échanges pour confirmation ou information lors de la visite du NANOmusée



Le NANOmusée



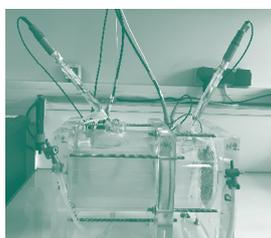
Qu'est-ce qu'un musée ?

- ▶ À quoi servent les musées ?
- ▶ Quel est leur rôle ?
- ▶ Que peut-on y voir ?
- ▶ Où en trouve-t-on ?
- ▶ Qui peut y aller ?
- ▶ Connais-tu des musées et lesquels ?



Qu'est-ce qu'un NANO musée ?

- ▶ **Nano** : à quoi cela fait-il référence ? Discussion collective et, si nécessaire, recherche dans le dictionnaire.
- ▶ Lorsque le préfixe *nano-* est collectivement identifié comme précisant la petite taille du musée, il est possible d'émettre des hypothèses sur ce que peut être un Nano-musée (exemples : un musée présentant des petites œuvres, la maquette d'un musée, un petit musée).



Béton Acharné



Qu'est-ce que le béton ?

- ▶ À quoi cela sert-il ?
- ▶ Connais-tu des bâtiments faits en béton ?



Pourquoi, à votre avis, l'artiste nomme l'œuvre « béton acharné » ?

- ▶ Faire référence au béton armé, dont la structure est réalisée avec une armature en acier

Étapes pédagogiques pendant la visite du NANOmusée



Le NANOmusée



Observation des modules dans leur ensemble

- ▶ Présence d'œuvres
- ▶ Petite taille = musée itinérant
- ▶ Cubes identiques = musée modulable et adaptable aux lieux d'exposition



Musée art-science

- ▶ Œuvres de types différents : sculpture, vidéo, œuvre sonore, album, origami, aquarelle, dessin
- ▶ Approches différentes artiste/scientifique, dialogue entre les 2 approches

Béton Acharné



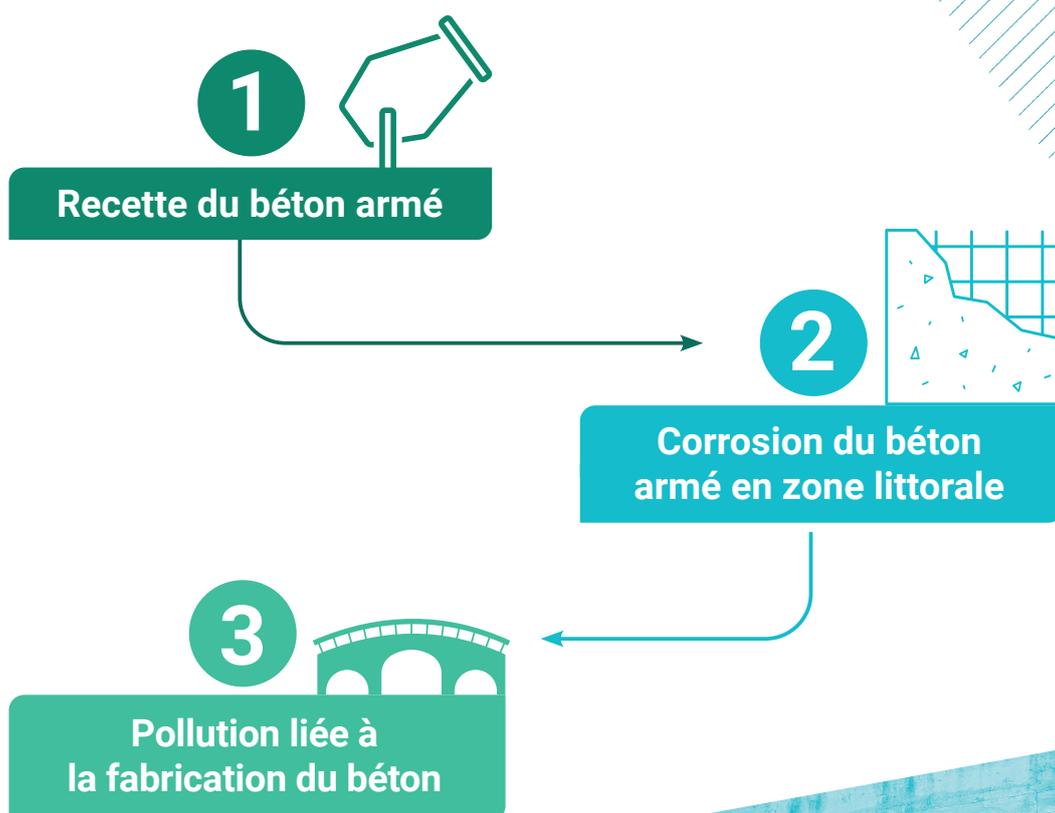
Approche artistique

- ▶ Pour le NANO-Musée de La Rochelle Université, Pauline et Yuri ont réalisé un diptyque composé d'une sculpture et d'une œuvre vidéo.
- ▶ **La sculpture est composée de 3 silhouettes en bois peint ayant l'apparence du béton, et reliées les unes aux autres par des câbles métalliques.** L'ensemble donne à voir les deux composants principaux du béton armé : le béton et l'armature en acier. Les câbles métalliques semblent rouillés, rappelant la corrosion qui fragilise les structures en béton armé dans les zones littorales.
- ▶ **La vidéo et l'enregistrement sonore** présentent des infrastructures en béton armé situées à Paris et sur le littoral rochelais dégradées par le phénomène de corrosion.

Approche scientifique

- ▶ Sur les littoraux, les infrastructures en béton armé doivent faire face à un environnement qui leur est hostile, car elles sont soumises au phénomène de corrosion.
- ▶ **Les infrastructures en béton armé disposent d'une armature généralement constituée d'acier.** Cette structure est soumise au phénomène de corrosion car le béton, matériau poreux, est perméable aux ions chlorure du sel marin. Ces derniers pénètrent et atteignent l'armature en acier, produisant de la rouille à sa surface. L'accumulation de rouille fragilise le béton, provoquant fissures, gonflement et éclatement.
- ▶ En zone littorale, **la corrosion est due à la pénétration du sel** (des ions chlorure depuis le milieu marin) dans la structure, alors que la corrosion est due à la pollution de l'air (principalement au CO₂ atmosphérique) en région parisienne.

Étapes pédagogiques en sciences après la visite du NANOmusée



Étape 1 :

Recette du béton armé

Objectifs

► Identifier les matériaux constituant un assemblage créé par les Hommes pour la construction d'édifices.

Prérequis

► Avoir identifié quelques matériaux naturels de construction (bois, terre).

Matériel

► Ordinateur et vidéoprojecteur pour projeter « [C'est pas sorcier-Béton : les sorciers au pied du mur](#) »

Déroulement

Phases

Le béton armé présenté dans le module « Béton acharné » présente une fragilité.

► Qu'avez-vous retenu de l'observatoir du module Béton Acharné du NANOMusée? Qu'est-ce que la sculpture mettait en évidence? Qu'avez-vous retenu de la vidéo?

► Collectivement, reprendre le message principal issu de l'observation du module du NANOMusée: le béton armé est un béton renforcé par des armatures métalliques. Il est utilisé pour construire des ponts par exemple. Malgré sa résistance, il est exposé au phénomène de corrosion dans les milieux marins. En effet, le sel contenu dans l'eau de mer et dans l'air en zone littorale peut pénétrer dans le béton et attaquer l'armature métallique. Celle-ci va alors rouiller, gonfler et provoquer des fissures dans le béton. Des travaux de réparation sont alors nécessaires.

Le béton armé est un assemblage de différents matériaux, inventé par l'Homme pour construire des édifices.

► Le béton armé est constitué de métal et de béton, mais qu'est-ce que le béton? Est-ce qu'on peut trouver du béton dans la nature?

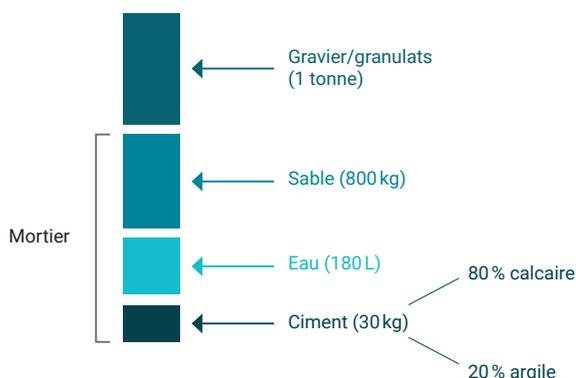
Après un échange collectif permettant de recueillir les idées des élèves, l'enseignant·e répartit les élèves en petits groupes pour effectuer des recherches documentaires sur la composition du béton.

► La restitution collective des résultats des recherches en groupes permet de mettre en évidence les ingrédients entrant dans la composition du béton: le sable, le ciment, l'eau et les graviers. Certains élèves évoqueront peut-être le mortier, qui représente le mélange entre ciment, sable et eau.

► Certain·e·s d'entre vous savent-ils/elles ce qu'est le ciment? Quelle est la différence entre ciment et béton? À votre avis, peut-on trouver du ciment dans la nature?

► Si les élèves n'ont pas d'idée, le visionnage des 6 premières minutes de « C'est pas sorcier – Béton : les sorciers au pied du mur » permettra de les aider à établir la recette du béton.

Composition d'1m³ de béton



Le ciment est donc un mélange de 2 ressources naturelles: le calcaire (qui peut être extrait dans des mines), et l'argile. Le béton est un assemblage de ciment (qui sera chauffé à très forte température), d'eau, de sable, et de gravier. L'ajout de l'armature en acier finalise la recette du béton armé.

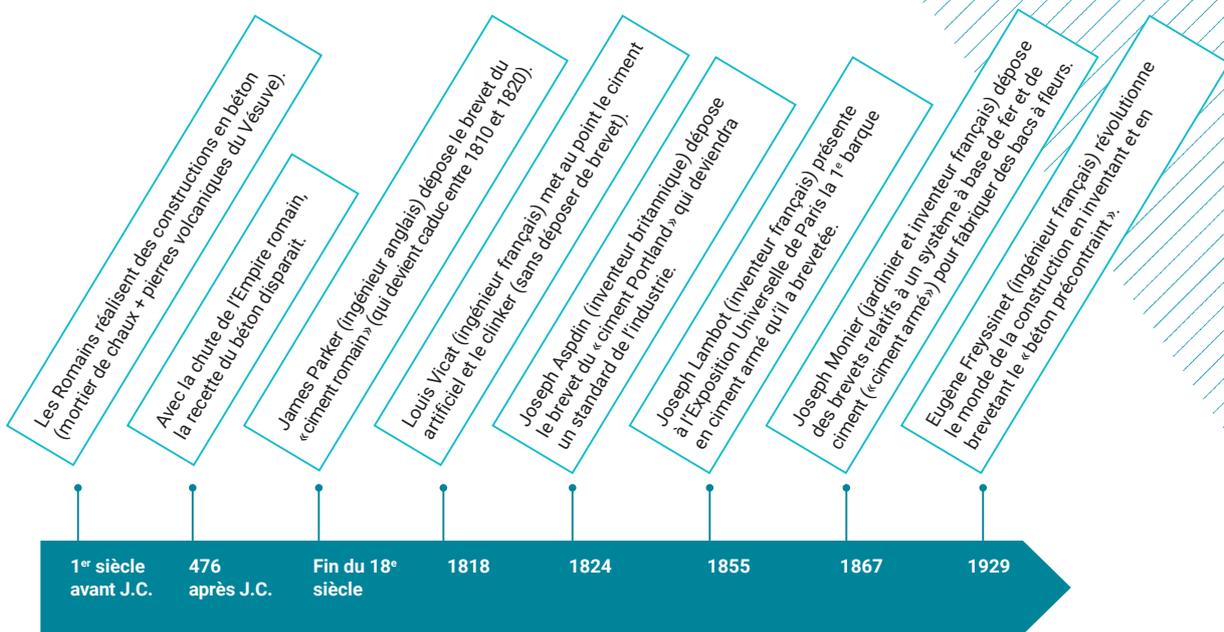


Connaissances ciblées

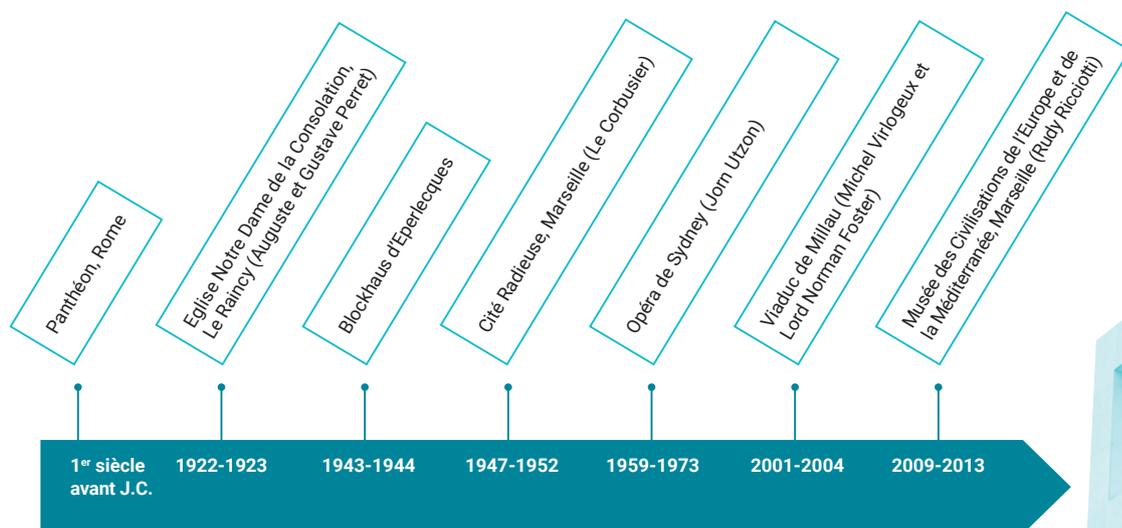
Le béton n'est pas un matériau que l'Homme peut trouver dans la nature: c'est un assemblage qui a été inventé pour construire des édifices. Il peut être renforcé par l'ajout d'une armature en acier: c'est alors du béton armé.

Pour aller + loin

Bengana, A. Baechtold, C. & Maréchal, A. **Béton : enquête en sables mouvants.** La Cité Graphique, 2024



Quelques dates clés de l'histoire du béton



Quelques constructions en béton



Étape 2 :

Corrosion du béton armé en zone littorale



Objectifs

- Comprendre pourquoi les structures réalisées en béton armé sont fragilisées en zone littorale.



Prérequis

- Identifier des caractéristiques de paysages littoraux.



Matériel

- Des photos de paysages littoraux.
- Six clous (non rouillés) et six récipients avec bouchons/couvercles pour les expériences.



Déroulement

Recueil des représentations des élèves

- En s'appuyant sur des photos de paysages de côte à falaise / côte rocheuse / côte sableuse, chercher le point commun des trois types de paysages, et leur différence.

Les élèves identifieront probablement la présence de la mer comme le point commun. La différence porte sur le type de côte: falaise, rocheuse ou sableuse.

Mise en situation

- Que peut-on construire avec du béton armé en bords de mer? Les idées des élèves sont inscrites sur une affiche.

Phases

Les structures en béton armé présentent des signes de dégradation en zone littorale.

- Présenter des photos de structures en béton armé soumises à la corrosion: traces de rouille visibles, et éclatement du fer rouillé faisant apparaître l'armature rouillée de la structure. Apporter également des objets en fer rouillés et une photo de vélo rouillé.

- « Vous avez laissé votre vélo tout l'été attaché dehors, au bord d'une plage. En l'observant attentivement en automne, vous remarquez qu'il est parsemé de taches orangées. Vous grattez l'une des taches et vous constatez qu'elle s'effrite facilement (l'enseignant-e peut présenter cette manipulation en grattant un objet rouillé). Votre vélo a rouillé! »

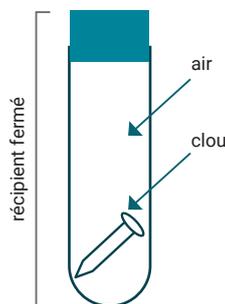
- Qu'est-ce qui a permis à la rouille de se former? Auriez-vous pu protéger votre vélo contre l'apparition de la rouille?

- L'enseignant-e note les hypothèses des élèves sur les facteurs impliqués dans l'apparition de la rouille, et ceux qui permettraient de ralentir son apparition.

L'apparition de rouille peut être accélérée ou ralentie dans différentes conditions.

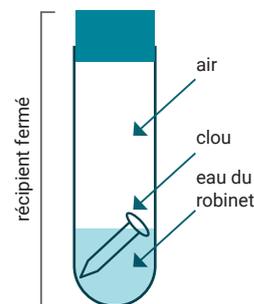
Les élèves pourront réaliser plusieurs expériences afin de vérifier leurs hypothèses. Dans ce but, l'enseignant-e apporte des clous (non rouillés) qui seront placés dans différentes conditions. L'observation par les élèves de l'état de ces clous se fera de manière régulière (tous les jours ou 1 jour sur 2) pendant un mois, et fera l'objet de prises de notes et de photos.

- Est-ce que le fer rouille dans l'air sec ?



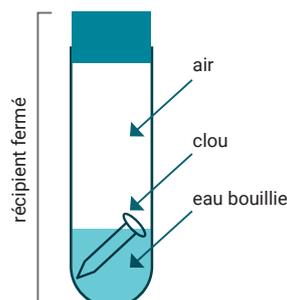
En présence d'air non humide, le clou ne présentera pas de trace de rouille.

- Est-ce que le fer rouille dans l'eau du robinet ?



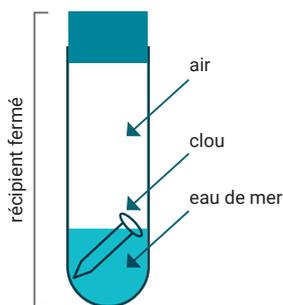
Le clou plongé (en entier ou en partie) dans l'eau du robinet présentera des traces de rouille.

- Comment déterminer si le fer rouille dans de l'eau privée d'air ? Plonger le clou dans de l'eau bouillie. En effet, faire bouillir de l'eau permet d'en faire chasser l'oxygène dissous, par évaporation.



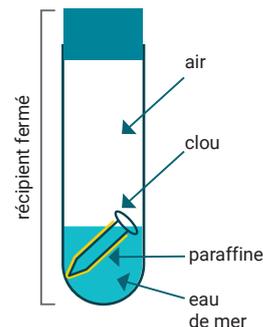
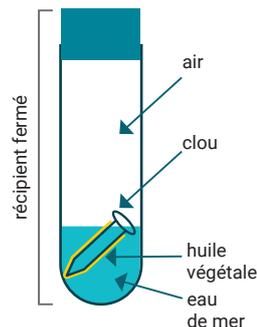
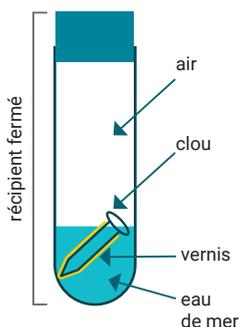
Le clou plongé (en entier ou en partie) dans l'eau du robinet bouillie présentera moins de traces de rouille que le clou plongé dans l'eau du robinet non bouillie.

► Comment déterminer si le fer présent est plus ou moins soumis à la corrosion dans l'eau de mer que dans l'eau douce ?



Le clou plongé (en entier ou en partie) dans l'eau de mer présentera des traces de rouille, plus rapidement, et en plus grand nombre que lorsqu'il est plongé dans l'eau du robinet. Dans le phénomène d'oxydation du fer, le sel accélère la formation de rouille.

► Que peut-on appliquer sur le fer pour ralentir l'apparition de la rouille ?



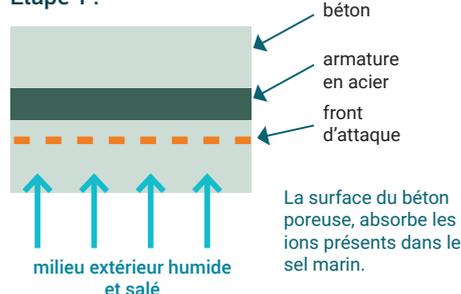
Le clou sur lequel une couche de vernis/huile/paraffine est déposée et qui est plongé (en entier ou en partie) dans l'eau de mer présentera moins de traces de rouille, et plus tardivement que lorsqu'il est plongé dans l'eau de mer sans couche protectrice. L'application de vernis ou d'autres couches de protection comme l'huile ou la paraffine (cire de bougie fondue) ralentit l'apparition de la rouille, parce que ces couches empêchent le contact direct entre l'oxygène dissous et le fer.

L'apparition de rouille est à l'origine de la fragilisation des structures en béton armé.

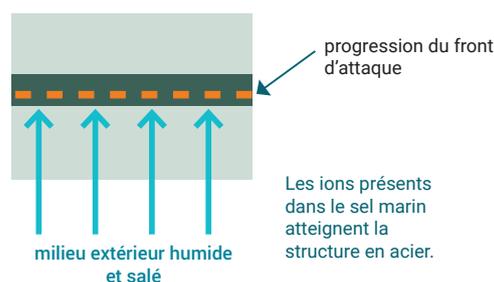
► Comment l'apparition de rouille fragilise-t-elle le béton armé ?

► Les observations des dépôts de rouille sur les clous et des photos de structures en béton armé soumises à la corrosion permettront peut-être à certains élèves d'évoquer les fissures dues au gonflement du métal rouillé. Si ce n'est pas le cas, la discussion collective reprenant les observations permettra de mettre en évidence les étapes de la corrosion du béton armé.

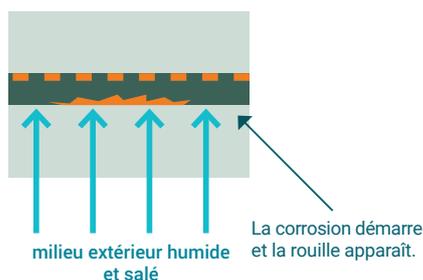
Étape 1 :



Étape 2 :



Étape 3 :



Étape 4 :



Étape 3 :

Pollution liée à la fabrication du béton

Objectifs

► Reconstituer le cycle de vie du béton, c'est-à-dire remettre dans l'ordre les différentes étapes de sa fabrication, et évaluer l'impact environnemental de chacune de ces étapes.

Prérequis

► Être sensibilisé-e au fait que la fabrication et le transport de certains assemblages réalisés par l'Homme consomment de l'énergie.

Matériel

► Ordinateur et vidéoprojecteur pour projeter « C'est pas sorcier-Béton : les sorciers au pied du mur »

Déroulement

Phases

La fabrication du béton, assemblage réalisé par l'Homme, consomme de l'énergie.

► Rappel de l'étape précédente :

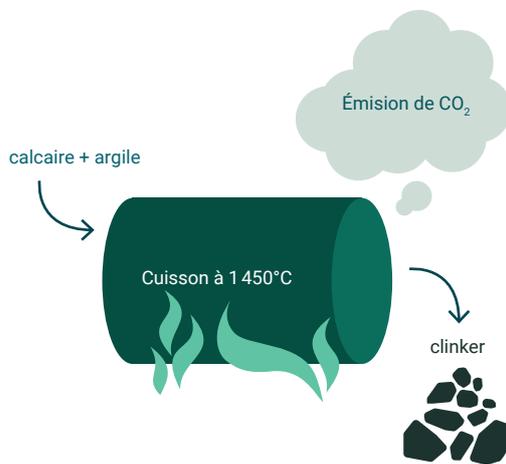
- Trouve-t-on le béton dans la nature ?
- À votre avis, a-t-on besoin de transporter les différents matériaux constituant le béton sur de longues distances ?
- À votre avis, doit-on dépenser de l'énergie pour fabriquer l'assemblage vu à l'étape précédente ?

Pour cette étape, 2 choix peuvent être faits :

- Travailler uniquement sur l'impact environnemental de la fabrication du béton.
- Comparer l'impact environnemental de différents matériaux de construction. Il est possible de s'appuyer sur la séquence pédagogique « **Matériaux de construction et environnement** » de La Main à la Pâte pour mener une comparaison sur différents matériaux : béton, terre et bois. Les élèves sont alors répartis en 3 groupes pour mener des recherches documentaires sur les étapes de fabrication, et sur leur impact environnemental.

La cuisson de l'argile + du calcaire pour donner du clinker est une étape particulièrement polluante.

Le visionnage de [C'est pas sorcier](#) (entre les minutes 4:55 et 5:57, puis entre les minutes 8:55 et 13:00) permet aux élèves de voir l'étape la plus consommatrice en énergie : le chauffage du calcaire et de l'argile concassés conduisant à la formation de clinker.



La poudre de calcaire et d'argile doit être chauffée à très haute température (1450°C) pour donner du clinker qui, réduit en poudre, donnera du ciment. La fabrication d'1 tonne de clinker conduit à l'émission de 850 kg de CO₂, due à l'énergie pour faire chauffer le four.

Au chauffage nécessaire pour obtenir du clinker s'ajoute l'impact environnemental du transport des différents matériaux (transport de l'argile et du calcaire depuis les carrières vers les usines, transport du ciment).

Pour aller + loin

Les chercheur-euse-s de La Rochelle Université participent à un [projet de recherche](#) sur l'utilisation de la vase pour remplacer le ciment dans la recette du béton.

La vase qui s'accumule dans les ports peut entraver la navigation des bateaux : il faut donc régulièrement l'extraire des ports, pour l'immerger en mer ou la valoriser à terre. En l'intégrant dans la fabrication du béton, la vase peut alors présenter une alternative écologique au ciment.

Connaissances ciblées

La fabrication du béton nécessite l'exploitation de carrières pour extraire du calcaire et de l'argile. Elle nécessite aussi de consommer de l'énergie pour le transport des ressources vers les usines, et pour la transformation des matières premières en ciment. Le chauffage de l'argile et du calcaire pour donner du clinker est une étape particulièrement émettrice en CO₂.

Annexes

Synthèse des connaissances et compétences travaillées (BOEN 30/07/2020 et BOEN 22/06/2023)

Sciences et technologie

Matière, mouvement, énergie, information

États et constitution de la matière à l'échelle macroscopique

- ▶ **En CM** : Distinguer les matériaux fabriqués ou transformés par l'être humain des matériaux directement disponibles dans la nature.
- ▶ **En 6°** : Rechercher des informations relatives à la durée de décomposition dans la nature de quelques matériaux usuels (objets métalliques, papiers et cartons, plastiques, verres) pour connaître leurs conséquences éventuelles sur l'environnement.

Les objets techniques au cœur de la société

Les objets techniques en réponse aux besoins des individus et de la société

- ▶ Identifier des besoins et leur évolution (se déplacer, se chauffer, s'alimenter, etc.).
- ▶ Identifier le lien entre des besoins et des réponses apportées par les objets techniques.
- ▶ **En CM** : Repérer les évolutions d'un objet dans différents contextes (historique, géographique, économique, culturel, technologique) ; par exemple l'évolution du transport ferroviaire depuis son apparition jusqu'à aujourd'hui (transposer au pont).

- ▶ **En 6°** : Les actions humaines peuvent avoir des conséquences positives ou négatives sur l'environnement. On pourra identifier des solutions technologiques permettant de répondre aux besoins de la société tout en préservant les ressources de la planète.

Description du fonctionnement et de la constitution d'objets techniques

- ▶ Distinguer un besoin et les fonctions techniques réalisées par un objet technique.
- ▶ Identifier les fonctions assurées par un objet technique.
- ▶ Identifier les matériaux utilisés.

La Terre, une planète peuplée d'êtres vivants

La Terre, une planète active qui abrite la vie

Identifier les ressources naturelles exploitées par les sociétés humaines en lien avec l'activité de la planète Terre (matériaux de construction, etc.)

Arts plastiques

La représentation plastique et les dispositifs de présentation

La ressemblance

Découverte, prise de conscience et appropriation de la valeur expressive de l'écart dans la représentation.

L'autonomie du geste graphique, pictural, sculptural

Ses incidences sur la représentation, sur l'unicité de l'œuvre, son lien aux notions d'original, de copie, de multiple et de série.

Les différentes catégories d'images, leurs procédés de fabrication, leurs transformations

La différence entre images à caractère artistique et images scientifiques ou documentaires, l'image dessinée, peinte, la transformation d'images existantes dans une visée poétique ou artistique.

La mise en regard et en espace

Ses modalités (présence ou absence du cadre, du socle, etc.), l'exploration des présentations des productions plastiques et des œuvres

La fabrication et la relation entre l'objet et l'espace

L'hétérogénéité et la cohérence plastiques

Les questions de choix et de relations formelles entre constituants plastiques divers, la qualité des effets plastiques induits; le sens produit par des techniques mixtes dans les pratiques bidimensionnelles et dans les fabrications en trois dimensions.

L'espace en trois dimensions

Découverte et expérimentation du travail en volume (assemblage, construction, installation, etc.) ; les notions de forme fermée et forme ouverte, de contour et de limite, de vide et de plein, d'intérieur et d'extérieur, d'enveloppe et de structure, de passage et de transition; les interpénétrations entre l'espace de l'œuvre et l'espace du spectateur.

La matérialité de la production plastique et la sensibilité aux constituants de l'œuvre

La réalité concrète d'une production ou d'une œuvre

Le rôle de la matérialité dans les effets sensibles que produit une œuvre; faire l'expérience de la matérialité de l'œuvre, en tirer parti, comprendre qu'en art l'objet et l'image peuvent aussi devenir matériau.

Les qualités physiques des matériaux

Caractéristiques des matériaux (matériaux de récupération, matériaux non transformés, sur la pratique plastique en deux dimensions (transparences, épaisseurs, mélanges homogènes et hétérogènes, collages, etc.) sur l'invention de formes ou de techniques, sur la production de sens.

Les effets du geste et de l'instrument

Les qualités plastiques et les effets visuels obtenus par la mise en œuvre d'outils, de médiums et de supports variés; par l'élargissement de la notion d'outil – la main, les brosses et pinceaux de caractéristiques et tailles diverses, les chiffons, les éponges, les outils inventés, etc. –; par les dialogues entre les instruments et la matière – touche, trace, texture, facture, griffure, traînée, découpe, coulure, etc. –; par l'amplitude ou la retenue du geste, sa maîtrise ou son imprévisibilité.

La matérialité et la qualité de la couleur

La découverte des relations entre sensation colorée et qualités physiques de la matière colorée (pigments, substances, liants, siccatifs, etc.), des effets induits par les usages (jus, glacis, empâtement, couverture, aplat, plage, giclure, etc.), les supports, les mélanges avec d'autres médiums; la compréhension des dimensions sensorielles de la couleur, notamment les interrelations entre quantité (formats, surfaces, étendue, environnement) et qualité (teintes, intensité, nuances, lumière, etc.).

Le projet NANOmusée est développé par La Rochelle Université,
dans le cadre du label Science Avec et Pour la Société

Valérie Marchal-Gaillard : Cheffe de projet NANOmusée

Marie Pons : Responsable cellule Science et Société

Arthur Hunaut : Médiateur référent

Agustin Ramos Anzorena : Ingénieur en technologies créatives
et documentation open-source

Clément Mauduit : Responsable médias

L'équipe du NANOmusée tient à remercier pour sa participation
à la conception du guide enseignant Eléna Mahé, conseillère pédagogique
départementale en arts plastiques.

Financements du projet NANOmusée



Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État
par l'Agence Nationale de la Recherche
au titre du Plan France 2030, portant
la référence ANR-21-EXES-0010



Design et fabrication du NANOmusée



Laboratoire d'accueil pour la conception de *Béton acharné*



