Numéro pilote

Mars 2026

TRENSITION

Certitudes et incertitudes

Communication et valorisation de la recherche en lien avec la transition socio-écologique, avec et pour les enseignants du second degré

Sommaire

Edito — 1
Karine Bécu-Robinault, Fanny Lhardy & Stéphane Parola

1 L'incertitude dans les programmes scolaires français — 3
David Gelas & Corinne Perret-Thomas

2 Objets mathématiques pour rendre compte de l'incertain — 9
Anne-Laure Fougères, Stéphane Couderc & Béatrice Soucille-Dalle

3 Climat et modélisation du climat — 12
Fanny Lhardy, Didier Paillard & David Gelas

4 Ce que l'on sait (ou pas) : les cyclones tropicaux — 18
Stella Bourdin & Stéphane Couderc

5 Comment dit-on l'incertain ? — 20
Lisa Paillussière, Fabien Alibert, Anne-Laure Fougères, Fanny Lhardy, & Vincent Perrier

6 Faire vivre savoirs et doutes dans l'espace de la classe — 25
Benoit Urgelli & Jérémie Pointu

7 Éducation au changement climatique — 29
Hanaà Chalak, Malou Delplancke & Amélie Fortin

8 Épistémologie des incertitudes et didactique des transitions — 34
François Dessart, Nicolas Lechopier, Lise Pelletier & Olivier Perru

9 Trans'Arts, expériences sensibles : le théâtre documentaire — 39
Nicolas Hervé & Corinne Perret-Thomas

Les contributrices et contributeurs — 43

Le projet TRENSITION est piloté par

Karine Bécu-Robinault & Fanny Lhardy
(ENS de Lyon)
Contact : redaction.trensition@ens-lyon.fr

Comité de Pilotage

Stéphane Couderc, collège Marion Meunier (42)
Séverine Derolez, ENS de Lyon (69)
François Dessart Lyon 1 Université (69)
Wassef Hammami, ENS de Lyon (69)
Valentin Maron, Université Toulouse Jean Jaurès (31)
Corinne Perret-Thomas, Lycée docteur Charles Mérieux (69)
Pedro Queiros da Silva, Lycée docteur Charles Mérieux (69)
Marie Sudriès, ENS de Lyon (69)

Il bénéficie du soutien financier de

Labex ASLAN
Institut Français de l'Education
ENS de Lyon

Edito

C'était il y a tout juste un an, lors d'une discussion faisant suite à une formation à destination des enseignants du second degré que nous avions coanimée. De notre enthousiasme partagé a germé une graine de projet, que nous avons choisie ensuite de cultiver comme un défi : créer une revue interface consacrée aux transitions socio-écologiques avec et à destination des enseignant·es du second degré. Nos expériences d'enseignantes et de chercheuses nous ont très rapidement conduites à un accord de fond : il était indispensable que les articles soient coécrits par des chercheur·es spécialistes de ces questions, et par des enseignant·es du second degré, toutes disciplines confondues. Car les enjeux — environnementaux, politiques, scientifiques, économiques, sociaux — s'appuient sur des savoirs complexes. L'élaboration de réponses adaptées implique un dépassement des cloisonnements disciplinaires traditionnels. Et face à l'urgence, les connaissances nécessaires pour comprendre, se positionner et agir dans la société doivent pouvoir circuler d'une sphère professionnelle à l'autre, d'une approche disciplinaire à l'autre. Or, d'une part les enseignant·es sont quotidiennement confronté·es aux questions de leurs élèves, sans toujours avoir bénéficié de la formation qui leur permettrait d'y répondre sereinement ; d'autre part, les chercheur·es tendent à communiquer avec leurs pair·es et les opportunités de discuter de leurs connaissances avec un public non spécialiste sont rares.
Restons toutefois modestes, nous n'avons ni la prétention ni l'ambition de répondre à l'ensemble des questions ; nous souhaitons apporter une contribution à notre échelle en nous positionnant à l'interface entre ces deux communautés.

Si les médias parlent parfois de « backlash écologique » et que certains discours politiques à l'approche des élections oscillent entre alarmisme et déni sans questionnement ni sur les savoirs ni sur les démarches scientifiques, le 26e baromètre de l'ADEME indique que 72% des français se déclarent toujours inquiets du changement climatique et que 73% des jeunes de 15 à 17 ans gardent confiance dans les scientifiques. Dans ce contexte de discours souvent dissonants entre différentes communautés il nous parait primordial de promouvoir des stratégies d'éducation transformatives, d'outiller les enseignants pour inciter les élèves à imaginer des futurs alternatifs, d'intégrer les dimensions sociales et affectives et de prendre en compte les représentations concernant le changement climatique, les crises environnementales et sociales. En effet, ces transformations sont souvent perçues comme éloignées temporellement, spatialement et socialement. Les apports des didactiques disciplinaires sont une clé de voûte essentielle pour articuler les savoirs en jeu sans les dévoyer et envisager l'interdisciplinarité non comme une valeur ajoutée à l'issue d'un parcours académique de formation, mais comme fondamentale pour les discuter (Hervé & Marzin-Janvier, 2024).

Notre contribution s'inscrit dans un paysage de ressources déjà dense. Sans prétendre à un travail tel que celui de l'OCE (Office for climate education) ou de l'UVED (Université virtuelle environnement et développement durable), nous souhaitons mettre à profit le contexte scientifique de l'ENS de Lyon, rassemblant sciences exactes et expérimentales et sciences humaines et sociales, nos expériences de formations alliant interdisciplinarité et didactique des disciplines et nos engagements professionnels et personnels au service des grands enjeux écologiques de société, pour un projet dont nous espérons qu'il vous apportera autant qu'il nous a enthousiasmé. Pour mener à bien ce projet, un collectif s'est rapidement constitué, réunissant des enseignant·es du second degré — en collège comme en lycée — ainsi que des chercheur·es issu·es de différentes disciplines, réparti·es sur l'ensemble du territoire national. Animées par une même motivation, une réelle curiosité et un profond désir de collaboration, ces deux communautés ont su conjuguer leurs compétences et leurs perspectives. Vous avez aujourd'hui entre les mains le premier fruit de notre graine de projet : le numéro pilote de trENSition ! Cette revue thématique proposera deux fois par an des ressources de formation fondées sur une approche interdisciplinaire et prenant appui sur des résultats de la recherche sur les transitions socio-écologiques, mais aussi en didactique des disciplines. La co-écriture de chaque article entre chercheur·es et enseignant·es assure d'une part la validation des contenus par la communauté scientifique, et d'autre part l'adéquation aux besoins des enseignant·es, tant du point de vue du fond que de la forme de ces contenus.

Pour ce numéro pilote, prélude au numéro 1 qui paraitra à l'automne 2026, c'est la thématique de l'incertitude, ou plutôt des incertitudes qui a été retenue par le comité de pilotage. Tout d'abord, les incertitudes sont abordées sous des formes variées dans différentes disciplines, de l'école primaire à la fin du secondaire. De plus, entre les incertitudes scientifiques et techniques issues des limites des modèles de climat, les incertitudes socio-économiques liées aux évolutions démographiques, économiques et technologiques, et les incertitudes associées à la variabilité naturelle du système climatique, sans parler de ce que ces incertitudes produisent comme effet sur la confiance accordée aux scientifiques, cette thématique nous paraissait pouvoir bénéficier des apports de nombreux champs de recherche. De fait, le Centre national de recherche textuel et lexical (CNRTL) indique que plusieurs registres de l'incertitude peuvent être distingués. L'incertitude peut renvoyer à une propriété épistémique, telle l'imprécision d'une mesure, le degré de confiance associé à un résultat ou à une conclusion. Elle peut aussi désigner une disposition subjective : l'état d'esprit d'un individu qui doute de la réalité d'un fait ou qui hésite quant à la conduite à adopter face à un problème. L'incertitude peut ainsi relever à la fois du statut des savoirs et de l'expérience du sujet.

Un appel à contribution a circulé fin 2025 au sein nos réseaux professionnels, de manière à recueillir un éventail le plus large possible de disciplines contributives à un éclairage sur les certitudes et incertitudes de la transition socio-écologique. Nous avons veillé à solliciter des personnes aux parcours académiques variés, et ce qui les réunit ici est fondamentalement l'intérêt de la thématique combiné à la possibilité de croiser les expertises de la recherche avec celles de l'enseignement au collège et au lycée. Pour toute l'équipe (comité de pilotage, autrices et auteurs), nul doute que ce premier volet de l'aventure trENSition a été passionnant, stimulant, et rassurant pour la suite de ce projet.

Les articles que vous trouverez dans ce numéro pilote ont été rédigés selon différents formats, en fonction des choix opérés par les rédacteur·ices : interviews, discussion autour d'un article déjà publié, article de valorisation scientifique d'une recherche, analyse d'un entretien collectif…

- Tout d'abord, le premier article dresse une analyse des programmes du collège et du lycée qui donne à voir quand et comment les facettes des « incertitudes » sont enseignées dans les différentes disciplines.
- Les deux articles suivants proposent des points de vue issus des sciences exactes et expérimentales. L'article 2 porte sur les objets mathématiques permettant de rendre compte de l'incertain et s'attache à préciser comment les mathématiques ont intégré les incertitudes grâce à des méthodes probabilistes utiles dans le cadre de prévisions météo. Nous vous invitons à compléter cette approche par l'article 3 portant sur les modèles de climat. Il donne à voir ce qui est prévisible, ce qui ne l'est pas, et explique les incertitudes étudiées par les sciences du climat. Et c'est parce que la science ne sait pas tout, mais qu'elle a tout de même avancé que nous avons conçu une rubrique récurrente « *ce que l'on sait et ce que l'on ne sait pas (encore)* ». Pour ce numéro, l'article 4 propose de se focaliser sur les cyclones tropicaux, phénomènes météorologiques représentant un risque pour nos sociétés.
- Les sciences exactes et expérimentales n'ont pas le monopole d'utilisation du terme « incertitudes ». En appui sur une approche issue des sciences du langages, l'article 5 retrace une analyse des significations de ce terme dans différents contextes. Sa lecture se trouve utilement complétée par l'article 6, présenté sous forme d'une interview croisée entre un enseignant et un chercheur sur la manière de prendre en charge les croyances et opinions en classe, alors que l'enseignant a la charge de mettre en scène et d'aider à l'appropriation de savoirs établis, reconnus.
- Enfin, deux articles se proposent de donner un point de vue épistémologique et didactique à la question des incertitudes. L'article 7 est consacré à une analyse de questionnaires visant à étudier les conceptions des élèves sur le changement climatique pour ensuite faire des propositions d'action éducative adaptées. L'article 8, élaboré à partir d'un entretien regroupant chercheurs en philosophie, en didactique et une enseignante, explore les dimensions philosophiques, historiques et scientifiques du doute et des incertitudes afin de proposer des repères pour l'éducation aux transitions socio-écologiques.
- Terminons ce tour d'horizon de ce numéro par une deuxième rubrique récurrente : « *Trans'arts* ». L'approche scientifique qui est dite « objective et factuelle » peut être perçue comme déstabilisante et pessimiste pour l'ensemble de la société. En l'accompagnant d'une approche sensible avec des artistes soucieux de soulever des débats de société, nous souhaitons contribuer à aider les enseignant·es et leurs élèves à imaginer un futur désirable. Pour ce numéro pilote, nos projecteurs éclairent à travers l'article 9 une scène de théâtre concernant les savoirs incertains sur les algues vertes.

Même si nous nous félicitons de ce panorama pluridisciplinaire de ce numéro pilote, nous espérons, pour les prochains numéros, recevoir des propositions en géographie, biologie, histoire, informatique, physique, chimie, géologie ou toute autre discipline dont les éclairages sont essentiels pour envisager et enseigner les futurs possibles. Et si ce projet vous intéresse, sachez que le comité de pilotage reste ouvert à toutes les bonnes volontés !

Enfin, cette revue trouve pleinement sa place dans l'ensemble des actions portées par l'établissement face aux grands enjeux des transformations socio-écologiques. La création de l'Institut des Mondes Durables à l'ENS de Lyon contribue notamment à renforcer l'articulation entre formation et recherche sur ces évolutions, dans une perspective résolument transdisciplinaire. Nous sommes alors au cœur même de « trENSition ».

Karine Bécu-Robinault et Fanny Lhardy, à l'initiative et au pilotage du projet trENSition

Stéphane Parola, vice-président Stratégie de l'ENS de Lyon

Bibliographie

Hervé N. & Marzin-Janvier P. (2024). Panorama des recherches sur l'éducation au changement climatique : quel rôle pour la didactique des sciences et des technologies ? *Recherche en didactique des sciences et des technologies*, 30, 9-42.

David Gelas, enseignant de SPC, collège du Palais, Feurs (42)

Corinne Perret-Thomas, enseignante de SVT, Lycée Docteur Charles Mérieux, Lyon (69)

1 • L'incertitude dans les programmes scolaires français

Tour d'horizon de la maternelle à la fin du lycée

Dans un monde où les fake news prolifèrent sur les réseaux sociaux, où l'intelligence artificielle répond avec assurance tout en étant sujette à l'erreur, où l'évolution future du climat et de la météo reste difficile à prévoir avec précision, la compréhension et la maîtrise du concept d'incertitude s'impose désormais comme un impératif démocratique et scientifique, son appropriation devient une mission pour l'école.
Cette étude propose une analyse des programmes scolaires français afin d'identifier comment la notion d'incertitude y est structurée, de l'école maternelle à la classe de Terminale. L'examen révèle l'existence d'un fil rouge pédagogique qui unit l'éveil au probable en cycle 1 à l'exploitation des intervalles de confiance au lycée. Ce **curriculum caché**, car pas toujours formalisé de manière explicite dans les attendus de fin de cycle, est néanmoins pensé par les concepteurs des programmes, et ne vise pas à promouvoir un relativisme des connaissances, mais à instaurer une pédagogie du doute raisonné. En explorant l'ensemble des disciplines, de la physique-chimie à la philosophie, il apparaît que l'école outille les élèves d'une boussole critique capable de naviguer dans la complexité. L'objectif est de passer d'une transmission de savoirs figés à une compréhension profonde de la solidité et des limites de la construction des savoirs.

Curriculum caché

C'est la part des apprentissages qui n'apparaît pas comme étant programmée explicitement par l'institution scolaire.

Un curriculum caché mais cohérent

L'analyse croisée des programmes officiels du cycle 1 au lycée (Mathématiques · Physique-Chimie · SVT · Enseignement scientifique · Histoire-Géographie · HGGSP · Philosophie · HLP) révèle une réalité structurée : aucune discipline ne se contente de transmettre des savoirs figés ou des certitudes. Partout, les textes demandent de confronter des données, de questionner des modèles, d'évaluer la fiabilité des sources et d'étayer ses raisonnements par des arguments solides. Ce curriculum cohérent reste cependant peu visible : le cloisonnement disciplinaire empêche les élèves de percevoir que la physique et la philosophie leur enseignent la même posture. C'est précisément le rôle des pratiques enseignantes que de le rendre explicite.
Le classement proposé est issu de l'analyse des programmes scolaires, de la maternelle au lycée, de différentes matières. Cette analyse des programmes, des attendus, des capacités et des savoir-faire a permis d'identifier 18 catégories d'incertitude qui ont été regroupées en 4 grandes familles. La majorité des catégories d'incertitude est commune à toutes les disciplines. Ensemble, elles dessinent un projet d'apprentissage progressif de la gestion de l'incertitude comme compétence transversale, et intellectuelle mais aussi citoyenne.

Progression de l'apprentissage de la notion d'incertitude du cycle 1 au lycée

Une progression spiralaire : de l'intuition à la formalisation

L'apprentissage de l'incertitude se structure en étapes clés, suivant le développement cognitif de l'élève.

- À l'école primaire (Cycles 1 et 2), l'incertitude est d'abord intuitive. Elle se manifeste par la distinction entre le possible et l'impossible, puis s'affine par le tâtonnement et l'estimation. L'élève y découvre la notion de vraisemblance, moteur essentiel de la curiosité.

- Au cycle 3 (CM1-6ème), cette approche devient plus concrète par l'introduction de la mesure. L'élève commence à percevoir que le résultat d'une expérience n'est pas une valeur absolue.

- Au collège (Cycle 4), elle devient un objet de savoir disciplinaire : l'histoire questionne les sources tandis que la physique-chimie (notamment via le projet de programme de juillet 2025) formalise la variabilité des mesures par la moyenne et l'étendue.

- Enfin, au lycée, l'incertitude s'érige en compétence citoyenne. Grâce à des outils avancés comme la méthode de Monte-Carlo ou les intervalles de confiance, les élèves apprennent à quantifier l'incertitude pour éclairer la décision.

Ainsi se forment des esprits capables de penser le probable sans renoncer au vrai, de choisir sans certitude absolue, d'agir en conscience dans un monde complexe.

Glossaire des catégories d'incertitudes classées en 4 grandes familles

Famille 1 : La Source (Donnée brute) : elle regroupe les imperfections liées à la captation de l'information. Qu'il s'agisse de l'instrument, de l'élève ou du passage du monde idéal au réel, la donnée est dispersée (variabilité des mesures) et jamais pure (bruit lié à l'environnement).

Catégorie d'incertitude	Définition	Exemple	Disciplines
Incertitude de mesure et instrumentale	Toute mesure est affectée d'une imprécision liée à l'instrument utilisé, aux conditions de mesure et à la personne qui mesure. Elle se caractérise par la dispersion des valeurs obtenues et la limite de précision des appareils.	En physique, un élève mesure la longueur d'un pendule avec une règle graduée au mm. La valeur lue est 25,3 cm ± 0,1cm. Deux élèves différents peuvent lire 25,2cm ou 25,4cm	SVT, HG, Philo, Math/PC
Incertitude de répétabilité et reproductibilité	Même en répétant exactement le même protocole, les résultats varient. La répétabilité concerne un même opérateur. La reproductibilité concerne des opérateurs ou contextes différents.	En chimie, toute la classe mesure la masse volumique d'un liquide. Chaque binôme obtient une valeur légèrement différente : l'histogramme collectif montre que l'opérateur lui-même est une source d'incertitude.	Math/PC
Incertitude de transposition (mesure → grandeur visée)	La grandeur qu'on mesure effectivement n'est pas exactement celle qu'on cherche. Lorsqu'une grandeur est calculée à partir de plusieurs mesures, chaque mesure contribue à l'incertitude globale du résultat final.	En physique-chimie, la grandeur « masse volumique » n'est jamais mesurée directement. Pour calculer la masse volumique ($\rho = m/V$), on mesure la masse et le volume séparément. L'incertitude sur ρ combine les incertitudes sur m et sur V.	Math/PC
Incertitude documentaire et informationnelle	La fiabilité, la complétude et les biais des sources, des données et des documents mobilisés sont incertains. Toute information doit être questionnée : qui l'a produite, dans quel contexte, avec quelles intentions ?	Pour préparer un exposé sur les effets d'un médicament, un élève trouve des données contradictoires selon que la source est un laboratoire pharmaceutique, une agence publique ou une association de patients : la provenance conditionne la fiabilité.	Commune
Incertitude de transition (monde exact → mesure réelle)	Le monde scolaire est idéalisé (très régulièrement les données sont exactes et les résultats tombent juste) mais la réalité physique (où toute mesure est dispersée et imprécise). Comprendre que « l'erreur est une information et non une faute » est une conquête intellectuelle majeure.	Dans les exercices de mathématiques : les calculs tombent juste, les chiffres sont ronds et il n'y a qu'une seule bonne réponse. C'est un monde idéal, mais lorsqu'on manipule en physique-chimie, les instruments de mesure ne donnent pas la même réponse à chaque mesure.	Commune

Famille 2 : Le Traitement (Outils) : elle concerne les biais introduits par la manipulation des données. L'échantillonnage, les calculs algorithmiques et les choix de représentation (graphiques, cartes) ajoutent une couche d'incertitude au résultat final.

Catégorie d'incertitude	Définition	Exemple	Disciplines
Incertitude statistique et d'échantillonnage	Les résultats obtenus varient selon l'échantillon choisi et l'aléa. Un échantillon ne représente jamais parfaitement la population totale : plus il est grand, plus l'estimation est précise, mais une marge d'erreur persiste toujours.	En SVT, les élèves comptent les pissenlits sur 3 zones d'un mètre carré et obtiennent une moyenne de 10 pissenlits par m², alors que la réalité est de 15 pissenlits par m² sur l'ensemble du champ. En augmentant le nombre de zones de comptage (de 3 à 50, voire 100 zones) la moyenne observée se rapprochera progressivement du nombre réel de pissenlits par m².	SVT, HG, Math/PC
Incertitude numérique et algorithmique	Les calculs réalisés par les machines sont approchés : arrondi des nombres, troncature, erreurs d'accumulation dans les itérations. Un algorithme ou une simulation donne des résultats qui dépendent du nombre d'itérations et du générateur aléatoire utilisé.	Un programme Python qui simule 100 fois le lancer d'une pièce ne donne pas le même résultat à chaque exécution. Avec 1 000 000 lancers, la fréquence de « pile » converge vers 0,5, mais ne l'atteint jamais exactement.	Math/PC
Incertitude de représentation	Toute mise en forme d'une information (graphique, schéma, notation, carte) tronque ou déforme l'information originale. Le choix d'échelle, de classe, de figure ou de notation scientifique introduit des biais de lecture.	Sur un graphique montrant l'évolution du PIB, changer l'échelle de l'axe des ordonnées peut faire paraître une variation de 2 % comme un effondrement ou une quasi-stagnation : la représentation oriente l'interprétation.	Commune

Famille 3 : La Construction (Savoir) : Elle touche à l'interprétation et à la modélisation. Le savoir y est vu comme une construction, il repose sur des simplifications, des choix de causes et des statuts variés (prouvé / probable).

Catégorie d'incertitude	Définition	Exemple	Disciplines
Incertitude de modèle	C'est l'inadéquation prédictive du modèle. Tout modèle théorique repose sur des hypothèses simplificatrices qui le rendent différent de la réalité. L'écart entre les prédictions du modèle et les mesures réelles révèle les limites du modèle, qui peut alors être affiné ou révisé.	En physique-chimie, le modèle du « gaz parfait » prédit un comportement que les gaz réels ne respectent pas aux hautes pressions.	SVT, HG, éco., Math/PC
Incertitude causale (hiérarchie des facteurs)	Dans un phénomène complexe, il est difficile d'identifier et de pondérer toutes les causes. Plusieurs facteurs sont souvent en jeu simultanément, et déterminer le plus important exige une analyse rigoureuse.	Pour expliquer une hausse de la température mondiale, l'élève doit distinguer la part des activités humaines et celle des cycles naturels (volcanisme, cycles solaires). Il ne suffit pas de nommer les causes : il faut les hiérarchiser.	SVT, HG, Philo, Math/PC
Incertitude liée à la simplification du réel	C'est une incertitude liée aux hypothèses restrictives internes au modèle. Toute résolution d'un problème repose sur des hypothèses souvent implicites ou cachées qui créent un écart entre le modèle utilisé et la réalité. Ces simplifications sont nécessaires pour calculer, mais elles conditionnent la validité du résultat.	En modélisant la croissance d'une population de bactéries, on suppose que les ressources sont illimitées et que tous les individus se reproduisent au même rythme. Ce modèle exponentiel fonctionne bien sur une courte durée, mais il ignore la compétition, les prédateurs et l'épuisement des nutriments, facteurs qui, en réalité, font rapidement plafonner la croissance	Commune

Incertitude interprétative (sens d'un résultat)	Un même résultat, un même graphique ou un même fait peut donner lieu à plusieurs lectures légitimes. Choisir une interprétation parmi des explications concurrentes exige une argumentation rigoureuse et la prise en compte des données disponibles.	La courbe d'évolution d'une population montre une baisse à partir d'une certaine date. Est-ce dû à une épidémie, à une prédation accrue, à un changement climatique ? Plusieurs hypothèses sont plausibles : l'élève doit argumenter son choix.	Commune
Incertitude épistémique (limite de connaissance)	Les connaissances scientifiques n'ont pas toutes le même statut : certaines sont prouvées, d'autres probables, hypothétiques ou simplement conjecturées. Distinguer ces niveaux de certitude est fondamental pour ne pas traiter comme équivalents un fait établi et une opinion.	Le lien entre tabagisme et cancer du poumon est établi par de nombreuses études indépendantes (savoir prouvé). La nocivité d'une substance chimique particulière peut être « probable » selon certaines études mais pas encore prouvée. Un élève doit apprendre à ne pas mettre ces deux affirmations sur le même plan.	SVT, HG, Math/PC
ncertitude ontologique (indétermination des catégories)	Elle survient lorsque l'objet que l'on étudie ne correspond à aucune catégorie connue ou se situe à la frontière de plusieurs définitions. Ce n'est pas une erreur de mesure ou de calcul, mais une incertitude sur ce qu'est réellement l'objet. Ce que nous considérons comme "réel" ou "existant" peut varier selon les perspectives, les époques ou les cadres théoriques.	En physique, la lumière se comporte parfois comme une onde, parfois comme une particule.	Commune

Famille 4 : L'Engagement (Temps et Action) : elle définit l'incertitude face à l'avenir et à la responsabilité. Entre la reconstitution du passé, les scénarios futurs et la nécessité de décider en situation, elle transforme l'élève en un acteur conscient sur le monde.

Catégorie d'incertitude	Définition	Exemple	Disciplines
Incertitude temporelle (datation, passé/futur)	Les marges d'erreur sur les datations du passé et les incertitudes sur les projections futures forment cette catégorie. Reconstituer le passé ou prévoir l'avenir repose toujours sur des indices fragmentaires et des modèles dont la précision est bornée.	La datation au carbone 14 d'une peinture rupestre donne 15 000 ± 500 ans. Cette marge n'est pas une erreur : elle traduit les limites de la méthode.	HG, SVT, Philo, Math/PC
Incertitude prospective (scénarios)	Le futur n'est pas déterminé : il existe plusieurs futurs possibles dont la réalisation dépend de choix, d'aléas et de paramètres incertains. La démarche par scénarios permet d'explorer cet espace des possibles et d'estimer des probabilités sans prétendre prédire un résultat unique.	Il existe des risques d'utilisation de la technique pour des modifications du génome humain (déjà testées dans certains pays), il y a donc des choix éthiques cruciaux à faire en créant toute une réglementation internationale (pour l'instant, les lois sont différentes d'un pays à un autre), mais le consensus mondial reste à bâtir.	Commune
Incertitude décisionnelle et normative	Face à des données incomplètes ou incertaines, il faut pourtant agir et choisir. Il n'y a souvent pas de solution unique : la décision implique des arbitrages entre précision, coût, faisabilité et valeurs. C'est l'incertitude propre à l'action et à la norme.	Un médecin utilise un test dont la sensibilité est de 90 % : cela signifie que 10 % des malades ne seront pas détectés. Faut-il traiter préventivement ou attendre un second test ? Cette décision engage des valeurs (risque acceptable, ressources) autant que des données.	HLP, SVT, HG
Incertitude identitaire et existentielle	Au-delà des faits et des méthodes, la démarche scientifique pose des questions sur la place de l'être humain dans le monde et dans la connaissance : Qui suis-je comme « mesureur » ? Quelle est la responsabilité du scientifique ? Qu'est-ce que mesurer dit de ce qui compte pour nous ?	En philosophie, l'étude du procès de Meursault dans L'Étranger de Camus révèle que l'identité est une construction arbitraire et imposée par le regard des autres, qui prive l'individu de sa neutralité.	Commune

Certaines catégories d'incertitudes ne font pas l'objet d'un intitulé explicite dans les textes officiels, mais leur présence est vérifiable dans les capacités et les attendus à chaque niveau.

Ce que partagent toutes les disciplines

Au-delà de leurs spécificités, les programmes convergent vers trois exigences transversales.

- Justifier ses choix :

Qu'il s'agisse d'interpréter des résultats expérimentaux, d'adopter une explication historique, de défendre une position éthique ou de sélectionner un modèle scientifique, les élèves sont systématiquement invités à argumenter. L'incertitude n'est pas un aveu d'ignorance : elle est le moteur de l'argumentation raisonnée.

- Distinguer ce qui est prouvé, probable et incertain :

Les programmes exigent que les élèves distinguent ce qui est établi de ce qui est probable, de ce qui reste hypothétique ou simplement discutable. Un résultat de mesure n'est pas une vérité absolue, mais une valeur assortie d'une marge. Une source historique a toujours un auteur, un contexte, une intention. Une projection climatique dépend d'un scénario conditionnel, non une vérité absolue.

- Interroger les sources et les méthodes :

Aucune discipline ne prend les documents, les données ou les instruments pour argent comptant. La fiabilité des bases de données en SVT, la propagande en histoire, la solidité d'une thèse en philosophie, la précision des instruments en physique-chimie : partout, la question « peut-on faire confiance à cette source, à cette méthode ? » est une exigence de base.

L'incertitude : entre approches quantitatives et approches qualitatives

Au-delà de la liste des catégories, une ligne de partage traverse les disciplines. En effet, si la majorité des catégories d'incertitude est commune à toutes les disciplines, les mathématiques et la physique-chimie y apportent une contribution spécifique et fortement formalisée : l'incertitude devient un nombre. Ces disciplines sont les seules à transformer l'incertitude en une donnée quantifiable, formalisable par un modèle et comparable à un critère objectif, faisant de l'erreur de mesure un outil de validation plutôt qu'un échec.
À l'opposé, les disciplines comme l'histoire-géographie ou la philosophie abordent l'incertitude de manière plus qualitative, descriptive ou heuristique, faisant du doute un levier d'interprétation pour construire un récit cohérent face à la complexité du réel, l'incertitude y est un argument.
Entre ces deux pôles, les SVT occupent une place hybride : l'incertitude y est souvent mixte, elle est à la fois quantifiée et interprétée.
En somme, là où les mathématiques et la physique-chimie cherchent à modéliser le réel pour le rendre plus calculable, les sciences du vivant et de l'humain l'organisent et le modélisent pour le rendre plus intelligible. Chaque discipline aide ainsi à prendre une décision éclairée malgré la complexité du monde.

Conclusion

Il y a une évolution du traitement de l'incertitude en fonction de la maturité des élèves : on part d'une approche très intuitive en cycle 1 pour arriver à une formalisation rationnelle de l'incertitude au lycée. Les sciences font appel à des incertitudes très spécifiques (comme l'incertitude numérique et algorithmique), mais toutes les disciplines ont des programmes présentant l'esprit critique comme une compétence centrale, qu'il s'agisse de distinguer un savoir prouvé/probable/incertain, de repérer les biais des discours ou de discuter les limites des méthodes scientifiques.

Ce qui frappe, à l'analyse croisée de ces programmes, c'est que le but est de ne pas former des sceptiques désabusés mais des navigateurs éclairés : des élèves capables de douter méthodiquement, à bon escient, avec les bons outils. L'incertitude de mesure en physique dialogue avec l'incertitude des sources en histoire, avec l'incertitude causale en SVT, avec l'incertitude décisionnelle en philosophie. Faire percevoir cette cohérence interdisciplinaire aux élèves est l'un des enjeux pédagogiques majeurs de ce curriculum trop souvent invisible (non par défaut de conception, mais parce que l'invisibilité naît d'un cloisonnement disciplinaire parfois rigide), y compris pour les enseignants qui le font vivre au quotidien.

Aucune discipline ne se résume à un catalogue de connaissances immuables. Dans toutes les disciplines, les élèves collégiens ou lycéens, doivent systématiquement justifier leurs choix : choix d'une interprétation de texte, d'une explication historique ou d'un modèle scientifique, choix d'un scénario ou d'une position éthique, toujours en argumentant, toujours en assumant une part d'incertitude raisonnée.

Loin d'imposer des certitudes figées, ces programmes structurent un projet d'apprentissage de la gestion de l'incertitude comme compétence intellectuelle et citoyenne, au croisement de plusieurs disciplines. Dans un monde saturé d'algorithmes qui affirment

sans douter et de discours qui polarisent sans nuancer, enseigner qu'on peut être « certain à 95 % » plutôt que « certain à 100 % » n'est pas une concession au relativisme : c'est un acte de rigueur et d'humilité, et peut-être notre plus beau legs à la génération qui devra naviguer dans un monde de mutations rapides, d'informations contradictoires et de choix complexes.

Références

Programme 2024 premiers outils mathématiques cycle 1

Programme 2021 explorer le monde cycle 1

Projet de programme 2025 « Découvrir le monde du vivant, de la matière et des objets » de l'école maternelle cycle 1

Programme 2024 mathématiques Cycle 2

Programme 2020 Explorer le monde Cycle 2

Projet de programme 2025 sciences et technologie Cycle 2

Programme 2020 mathématiques cycle 3

Programme 2025 mathématiques Cycle 3

Programme 2023 de sciences et technologie Cycle 3

Programme 2020 mathématiques cycle 4

Programme 2020 physique-chimie cycle4

Projet de programme 2025 mathématiques Cycle 4

Projet de programme 2025 physique-chimie Cycle 4

Programme 2019 mathématiques Seconde

Programme 2019 physique-chimie Seconde

Programme 2019 mathématiques Première spécialité

Programme 2019 physique-chimie Première spécialité

Programme 2019 mathématiques Terminale spécialité

Programme 2019 physique-chimie Terminale spécialité

Programme 2019 SVT Seconde

Programme 2019 SVT Première spécialité

Programme 2019 SVT Terminale spécialité

Programme 2023 Enseignement scientifique Première

Programme 2023 Enseignement scientifique Terminale

Programme 2019 HGGSP Première

Programme 2019 HGGSP Terminale

Programme 2019 Histoire-géographie Seconde

Programme 2019 Histoire-géographie Première

Programme 2019 Histoire-géographie Terminale

Programme 2019 Philosophie Terminale

Programme 2019 HLP Première

Programme 2019 HLP Terminale

Anne-Laure Fougères, professeure des universités, Institut Camille Jordan, Lyon 1 Université, Lyon (69).

Stéphane Couderc, enseignant de SPC, collège Marion Meunier, Montbrison (42)

Béatrice Soucille-Dalle, enseignante de SPC, collège Gambetta, Saint Etienne (42)

2 • Objets mathématiques pour rendre compte de l'incertain

Une illustration liée aux prévisions météo

Introduction

Nous sommes entourés de phénomènes complexes, que nous cherchons à comprendre, à simplifier, à prédire ; parmi eux, un exemple de notre quotidien est celui de la prévision météo : « dois-je prévoir mon imperméable aujourd'hui ? », « puis-je partir en tee-shirt ce matin ? »… C'est cet exemple que nous suivrons ici pour comprendre certains outils mathématiques permettant la prise en compte des incertitudes.

On appelle système / prévision / modèle déterministe tout système / prévision / modèle produisant toujours le même résultat une fois les conditions initiales fixées.

Prévoir la météo sous-entend de parvenir à simplifier suffisamment les principales caractéristiques physiques du « temps qu'il fait » (température, humidité, nuages, pression atmosphérique, et tant d'autres !) pour être capable de les mettre en équations mathématiques (on dira « les modéliser »). Une fois ces équations écrites et programmées sur des ordinateurs, on pourra numériquement les faire évoluer dans le temps pour construire une « prévision météo ». Ainsi, un *modèle de prévision numérique du temps* (PNT) désigne un programme informatique regroupant d'une part les équations mathématiques de la physique, d'autre part les observations/les mesures faites de ces grandeurs physiques dans les stations météo, et ce modèle PNT conduira à une **prévision déterministe**.

Savez-vous que si aujourd'hui, on s'accorde à dire que les phénomènes météo contiennent une part d'incertitude, cela ne fut pas toujours le cas ? En 1904, par exemple, Carl Anton Bjerknes, géophysicien norvégien qualifié comme l'un des premiers météorologistes, disait ainsi : « la météorologie est un problème déterministe avec des conditions initiales ». Pas de place pour l'incertain, dans une telle vision ! C'est ainsi que les prévisions météo ont longtemps été présentées sous la forme « demain, il fera beau… » ou « demain, il pleuvra », le futur employé dans les bulletins météo clouant le bec aux incertitudes.
Murphy (1998) « The Early History of Probability Forecasts: Some Extensions and Clarifications »
https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/13/1/1520-0434_1998_013_0005_tehopf_2_0_co_2.xml



Portrait de Carl Anton Bjerknes, par A. Eiebakke, 1893, Wikimedia Commons (domaine public)

On sait pourtant bien que la confiance que l'on va pouvoir accorder à une prévision dépend de beaucoup de paramètres ; parmi eux, l'*horizon* auquel on fait la prévision : cette prévision concerne-t-elle aujourd'hui ou la situation dans trois jours ? En météorologie, on appelle horizon de prévisibilité *« l'échelle de temps au-delà de laquelle on ne sait généralement pas faire de prévision utile. Cet horizon est actuellement, en moyenne, de quelques minutes pour une averse, quelques heures pour un orage, quelques jours pour une dépression ou un cyclone, quelques semaines pour une vague de froid ou de chaleur… »* (Bouttier, 2018).

Une prévision est dite *utile* lorsqu'elle donne de meilleurs résultats qu'une prévision consistant à annoncer pour un jour donné (par exemple) une moyenne des valeurs obtenues le même jour les années précédentes.

Il a fallu un certain temps pour que du côté des modèles mathématiques utilisés pour la météo, on fasse intervenir l'outil central permettant de représenter la notion d'incertitude, à savoir… la notion de probabilité ! Une probabilité traduit en effet mathématiquement le fait que plusieurs événements peuvent se produire, avec plus ou moins de chances, ou de fréquences.

C les concepti

Comment alors faire usage de cette notion pour transformer les prévisions déterministes en prévisions probabilistes ?



Edward Lorenz, American Institute of Physics (AIP), Wikimedia Commons.

Connaissez-vous l'effet papillon ?

Il s'agit d'une expression issue d'une métaphore énoncée par le scientifique Edward N. Lorenz en 1972 au cours d'une conférence intitulée « Le battement d'ailes d'un papillon au Brésil peut-il provoquer une tornade au Texas ? », au cours de laquelle il expliquait la nature chaotique de la circulation générale de l'atmosphère, associée à une extrême sensibilité aux observations et aux conditions initiales des modèles de prévision météorologique. Ce qualificatif chaotique fait référence à la théorie du chaos ; si cette expression a été introduite dans les années 1970, la théorie scientifique le concernant est née entre la fin du XIX^{eme} siècle et le début du XX^{eme} siècle, en réponse à différents problèmes de mécanique céleste étudiés notamment par Henri Poincaré au XIX^{eme} siècle et pour lesquelles Mary Lucy Cartwright, mathématicienne britannique, a apporté des éléments clé dans les années 1930, en étudiant le comportement de systèmes dynamiques (c.-à-d. évoluant dans le temps via une équation) déterministes très sensibles aux conditions initiales.
https://fr.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9orie_du_chaos



Mary Cartwright, par Anitha Maria S. (2015), Wikimedia Commons, sous licence CC BY-SA 4.0



Henri Poincaré, par Eugène Pirou (1887), Wikimedia Commons (domaine public).

Parallèle avec la modélisation de l'atome

La notion de probabilité est introduite dès le collège notamment lors de l'enseignement de la structure de l'atome : différents modèles de l'atome sont abordés, comme le modèle « planétaire » d'Ernest Rutherford (1871-1937) ou le modèle « probabiliste » d'Erwin Schrödinger (1887-1961). Ce modèle établit qu'il n'est pas possible de connaître la position exacte des électrons autour du noyau de l'atome, mais il permet d'estimer leur probabilité de présence, en identifiant des orbites où l'on a le plus de chance de les trouver.

La prévision d'ensemble

La réponse est – au moins en pensée ! – assez simple : si je souhaite visualiser de manière très pratique la probabilité associée aux différentes faces d'un dé, que fais-je ? Je lance mon dé un certain nombre de fois, et je représente les résultats obtenus par exemple par un histogramme. Ici, c'est certes plus complexe, mais cela relève du même procédé : on va lancer le programme conduisant à une prévision déterministe un certain nombre de fois, en modifiant légèrement les conditions initiales (valeurs des paramètres à fixer pour que le programme démarre), et on fera une combinaison des prévisions produites (ici ce sont des cartes, des images dénommées membres, voir Figure 1). C'est ce que l'on appelle la prévision d'ensemble !

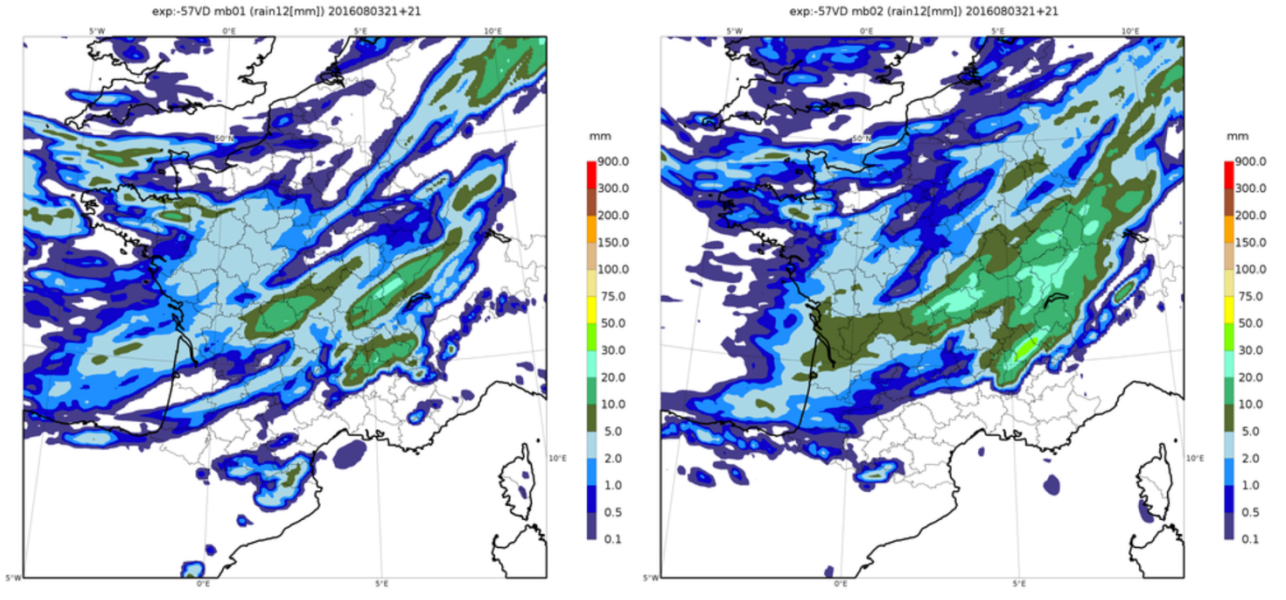


Figure 1 : Deux des 12 membres ayant conduit à une prévision de précipitations un jour donné sur une zone donnée (Source : Bouttier François, 2018, La prévision d'ensemble, Encyclopédie de l'Environnement. Reproduit sous licence Creative Commons BY-NC-SA. https://www.encyclopedie-environnement.org/rubrique/climat/)

Bien sûr, tout n'est pas clair dans ce qui est proposé ci-dessus, et le flou est notamment complet dans l'expression « on fera une combinaison des prévisions produites ». On pourrait envisager différents mélanges possibles, et la problématique engendrée par *comment* mélanger est un champ de recherche à part entière depuis la fin du XX^{ème} siècle !

Sans ouvrir la boîte de Pandore, consistant à se questionner sur « comment résumer au mieux toute l'information contenue dans les 12 images générées pour obtenir une prévision de précipitations un jour donné sur une zone donnée » -- 12 images dont 2 sont représentées en Figure 1--, on peut évoquer les différents types d'information apportés par ces images :

1. on peut se faire une image « globale », dans un premier temps, une image moyenne ou médiane, résumant le comportement général visualisé ;
2. mais on peut également être davantage intéressé par les relatives similitudes ou au contraire les grandes disparités entre ces douze images : cette variabilité entre images, qui est plus ou moins grande selon les cas, donne une information clé sur la prévisibilité du phénomène que le modèle génère (en Figure 1 des précipitations, mais cela pourrait être un champ de pressions, ou de températures), et donc sur la confiance que l'on aura envie d'accorder à la prédiction du modèle.
3. On peut par ailleurs être à l'affût d'événements exceptionnels, de cyclones (voir article 4), de tsunamis, de canicules, etc ; ce type d'informations est un défi tout particulièrement difficile pour les modèles de prévision, et le changement climatique rend la tâche plus difficile encore aux prévisionnistes.

Pour compléter cette approche globale, il faut aussi savoir qu'il existe encore une dimension augmentant la complexité de la tâche des modèles de prévision de façon générale. Il faut en effet fournir des prévisions de manière dynamique, ce qui implique le respect d'une cohérence entre chaque pas de temps d'une part, et entre chaque morceau d'une grille spatiale d'autre part. Et ce, tout en intégrant de manière continue de nouvelles observations disponibles. Cette intégration, qu'on appelle assimilation de données, permet de comprendre lesquelles des images de la prévision d'ensemble correspondent le mieux à la réalité, qui est observée de façon continue par les stations météo (voir article 3).

Pourquoi le changement climatique rend-il la tâche de prévision plus difficile ?

Comme nous l'avons évoqué plus haut, les modèles ont besoin de données observées, sans lesquelles les équations mathématiques ne peuvent être « calées », ajustées au phénomène réel étudié. Ces modèles ont de plus besoin de données suffisamment « stables ». Stable ne veut pas dire ici déterministe, elles peuvent être aléatoires, mais leur comportement doit être *stationnaire*, au sens où la probabilité qui leur est associée ne change pas avec le temps. Le contexte de changement climatique fait complètement sortir de ce contexte stationnaire, augmentant ainsi les difficultés de prévision.

Conclusion

Cet article a été l'occasion d'évoquer quelques objets mathématiques de prise en compte de l'incertitude. Il peut donner du matériel pour faire des ponts entre maths et sciences expérimentales : Lors d'activités expérimentales en classe nécessitant l'utilisation d'appareils de mesures, les enseignants sont confrontés à la variabilité des valeurs obtenues par les élèves, lors de la mise en commun des résultats. Ils sensibilisent les élèves, et ceci dès le collège, au fait que, dans le cadre d'une série de mesures répétées d'une même grandeur physique, un appareil de mesure ne fournit qu'une valeur approchée. Cela permet d'engager une réflexion sur la notion *d'incertitude des mesures* sous-tendue par le concept de probabilité côté maths. Enfin, cet article illustre un domaine où les mathématiques interagissent fortement avec la physique et la météorologie pour faire évoluer les modèles météo.

Pour en savoir plus

Bouttier, F. (2018). La prévision d'ensemble. Encyclopédie de l'Environnement https://www.encyclopedie-environnement.org/rubrique/climat/ et https://www.encyclopedie-environnement.org/air/prevision-densemble/

Crédits

American Institute of Physics. (s.d.). *Edward Lorenz* [Photographie]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EdwardLorenz.jpg

Anitha Maria S. (2015). *Mary Cartwright* [Photographie]. Wikimedia Commons. CC BY-SA 4.0. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mary_cartwright.jpg

Eiebakke, A. (1893). Portrait de Carl Anton Bjerknes [Peinture]. Wikimedia Commons. Domaine public. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portrett_av_Carl_Anton_Bjerknes_(1825-1903)_(11286661106)_(cropped).jpg

Pirou, E. (1887). *Henri Poincaré* [Photographie]. Wikimedia Commons (domaine public). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Poincare.jpg

Fanny Lhardy, maitresse de conférences, Laboratoire de Géologie de Lyon (Terre - Planètes - Environnement), ENS de Lyon (69)

Didier Paillard, ingénieur CEA, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Gif-sur-Yvette (91).

David Gelas, enseignant de SPC, collège du Palais, Feurs (42)

Corinne Perret-Thomas, enseignante de SVT, Lycée Docteur Charles Mérieux, Lyon (69)

3 • Climat et modélisation du climat

Entre certitudes et incertitudes

Lorsque l'on parle de modélisation du **climat**, et tout particulièrement de scénarios futurs, la notion d'incertitude est parfois fortement mise en avant, notamment par certains acteurs socio-économiques, avec l'objectif évident de disqualifier les sciences du climat. Il y a évidemment de nombreuses incertitudes en climatologie, mais aussi de nombreuses certitudes, tout comme dans la plupart des autres disciplines scientifiques. Néanmoins, face aux discours médiatiques souvent peu précis, et parfois même franchement faux, face à l'importance de la question pour l'avenir de nos sociétés, il est utile de discuter de ce que sont ces incertitudes. Tout d'abord, concernant le climat, le réchauffement actuellement en cours est l'une des choses assez simples que l'on sait de façon certaine depuis longtemps. Plus difficiles à simuler et anticiper sont par exemple les variations à une échelle beaucoup plus locale : les changements de précipitation, de végétation, l'occurrence d'événements extrêmes, et autres déterminants importants de notre environnement immédiat. Or, c'est surtout cet aspect local qui intéresse directement les gens et qui peut être incertain.

Les incertitudes de ces variations ont des causes diverses. Certains facteurs et leurs conséquences sont intrinsèquement imprévisibles, comme la **météo** à long terme (voir article 2) D'autres facteurs sont prévisibles, mais leurs conséquences sont difficiles à calculer, et nécessitent des ordinateurs avec de puissants calculateurs. Enfin, certains facteurs sont tout simplement inconnus, ce qui nécessite de la recherche scientifique. Mais avant de détailler un peu ces divers facteurs, il est utile de préciser de quoi l'on parle. La notion de climat n'est pas si simple et est souvent très mal comprise.

Climat et météo

La météo, c'est évaluation du temps qu'il fait ou qu'il va faire à très court terme, défini par des valeurs instantanées et locales de variables météorologies (température, précipitation, pression…).
A l'inverse, le climat est défini comme la distribution statistique de la valeur moyenne de ces variables dans une région donnée et pour une période d'au moins 30 ans.

Ainsi, la météo détermine comment on s'habille, et le climat comment on construit sa maison !

Le climat

L'étymologie du mot « climat » provient du grec qui signifie « inclinaison » ou « angle », par référence à la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon. Jusqu'au XVIème siècle, le mot était tout simplement synonyme de « latitude géographique ». Dès l'antiquité grecque, il était en effet très clair que le climat dépend fortement de la latitude, c'est-à-dire de la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon, et les érudits de l'époque savaient déjà que le pôle sud était froid, sans même avoir jamais voyagé dans l'hémisphère sud. Depuis plus longtemps encore, ils savaient que cette hauteur du soleil est liée aux saisons et à la température et qu'il est possible de prédire le retour du printemps en comptant les jours, ou bien en observant les astres. L'observation et la prédiction des solstices et des équinoxes correspond ainsi aux premiers balbutiements de la science.
Ce sont les débuts de l'astronomie, de la notion de déterminisme et de prédictibilité et on peut sans doute affirmer que la première découverte climatologique, c'est l'invention du calendrier. Le climat a toujours été fondamentalement lié à cette idée de prédictibilité, par opposition aux aléas quotidiens, qu'ils soient météorologiques ou autre. Après l'hiver, le retour du printemps est une certitude !

Au XVIIème siècle, les médecins, géographes et explorateurs ont commencé à cartographier et à mesurer les variables climatiques (températures et précipitations) pour discuter de l'habitabilité des différentes régions du monde, des climats « sains » et « malsains ». Car le climat est sans doute le déterminant majeur de notre environnement : il conditionne le paysage, la faune, la flore, et l'agriculture dont dépendent les sociétés humaines. C'est au XIXème siècle que l'on découvre les lois des transferts de chaleur, la thermodynamique et les principes fondamentaux du climat comme l'effet de serre. C'est aussi à cette époque que les scientifiques prennent conscience que le climat a changé dans le passé et changera dans le futur, notamment à cause des activités humaines. Il faut attendre la seconde moitié du XXème siècle, avec les développements des mesures dans l'atmosphère et des super-calculateurs, pour pouvoir quantifier précisément le rôle du CO_2 dans le réchauffement clima-

-tique et en déduire des scénarios pour le XXIème siècle. Les tous premiers calculs en ce sens (comme ceux réalisés par Manabe, prix Nobel de physique) ont depuis été confirmés par l'observation du réchauffement actuellement en cours. Ce qui se passe aujourd'hui a donc été prédit qualitativement depuis plus d'un siècle, et quantitativement depuis environ un demi-siècle. Il s'agit là d'un phénomène physique finalement assez simple : l'énergie thermique sous forme de rayonnement infra-rouge ayant plus de difficulté à s'échapper de l'atmosphère, la température augmente. C'est une certitude, aussi solide que l'est le retour des saisons lié à la hauteur du Soleil.

Il y a une grande confusion dans le public entre le « climat » qui est par nature très déterministe, et la « météo », par nature très aléatoire. Il est d'ailleurs possible de définir le climat comme la partie « intrinsèquement prédictible » du système. C'est ce qu'on attend *a priori* (étant donné le calendrier, la position géographique, ou bien les lois de la physique), alors que la météo est imprévisible à moyen terme. Cette imprévisibilité est liée à la dynamique de l'atmosphère, qui est fortement chaotique, en particulier sous nos latitudes. En physique, le chaos est quelque chose qui devient vite imprévisible, mais qui reste néanmoins très fortement structuré. En mathématique, on parle plutôt de statistique, qui elle aussi possède ses lois. En pratique, il n'est pas possible de prédire au jour le jour la circulation de l'atmosphère, les précipitations ou la température au-delà d'environ une ou deux semaines. Mais il est facile de prédire que le mois de janvier en France métropolitaine sera plus froid que le mois d'août, ou bien que la décennie 2090-2100 sera plus chaude que la décennie 2000-2010, de façon quasi-certaine : dans ces deux cas, cela dépend exclusivement des conditions imposées à l'atmosphère (rayonnement solaire ou gaz à effet de serre) et pas du tout de la turbulence ou du chaos de l'atmosphère.

En ce qui concerne la possibilité de prédire ce qui nous attend, il faut être beaucoup plus précis que de parler simplement de réchauffement global planétaire. Cela n'intéresse pas grand monde de savoir que la planète sera en moyenne 3 ou 5°C plus chaude : il faut préciser ce type d'information au regard des conditions de vie locales des habitants. Quel sera l'enneigement des pistes de ski au-dessus de 3000 m ? Quels seront les conditions de sécheresse dans le sud de la France ? La question posée est de savoir le plus précisément possible à quoi s'attendre localement, pour tenter de s'y adapter ou pour tenter d'éviter les pires scénarios. Pour cela, il faut utiliser des modèles de climat capable de simuler beaucoup plus en détail les spécificités géographiques du climat. Il faut calculer comment les vents, les températures, les précipitations, changeront en moyenne statistique, en chaque lieu et à chaque saison, pour évaluer par exemple quelle sera la probabilité ou la fréquence des événements extrêmes, tempêtes, inondations, vagues de chaleur, etc. C'est sur ces divers aspects que les incertitudes restent importantes en matière de compréhension ou de modélisation du climat.

Les modèles de climat

A quoi cela sert de simuler le climat ?

« Les humains mènent actuellement une expérience géophysique à grande échelle, qui n'aurait pu avoir lieu dans le passé et qui ne pourra être reproduite à l'avenir. » Ces mots sont ceux de Roger Revelle et Hans Suess dans leur article historique de 1957. Les deux scientifiques américains attiraient pour la première fois l'attention sur le réchauffement planétaire que les émissions croissantes de gaz à effet de serre pourraient (et allaient) causer.

Ces mots nous permettent aussi de comprendre la nature particulière de l'objet d'étude des climatologues : un système Terre complexe, passionnant, mais n'ayant qu'une seule réalité matérielle. La climatologie – pouvant se concevoir comme une branche des sciences physiques – ne peut en effet réaliser aucune expérience en laboratoire : la planète ne peut être mise dans un tube à essai ! Les modèles de climat émergent alors comme un outil précieux : un moyen de prévision, mais aussi de compréhension plus fondamentale des processus qui régissent ce système.

Explorant un monde parallèle sans les émissions de gaz à effet de serre, les modèles contribuent à prouver que le changement climatique est (sans équivoque) causé par les activités humaines. Les variations des facteurs naturels (activité solaire et volcanique) n'expliquent pas le réchauffement. Seule la prise en compte des activités humaines permet de reproduire la trajectoire historique des températures moyennes globales, comme le montre la première (Figure 1) du résumé à l'intention des décideurs du sixième rapport du GIEC.

Si l'origine humaine du changement climatique est aujourd'hui une certitude établie, on conçoit aisément que des modèles – même les plus complexes – ne soient pas infaillibles. Pour autant, il importe que les projections climatiques futures soient les plus fiables possible, afin d'être utiles à la société civile dans ses stratégies de politiques publiques, telles que l'adaptation d'un territoire aux impacts et risques croissants associés au changement climatique. Ainsi, malgré les limites des modèles, de nombreuses méthodes scientifiques ont été développées pour évaluer, améliorer, et exploiter efficacement leurs résultats.

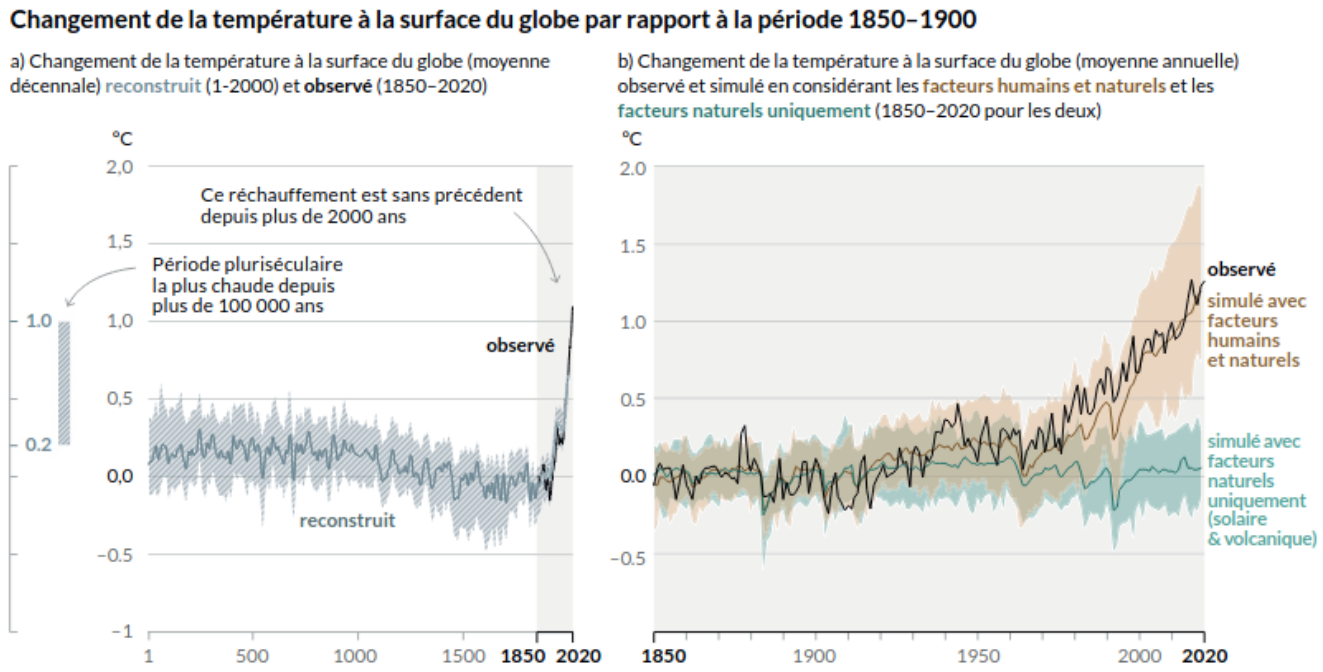


Figure 1. Historique des changements de température à l'échelle planétaire et causes du réchauffement récent (figure du résumé à l'intention des décideurs, sixième rapport du GIEC, groupe de travail I ; IPCC, 2021)

Panneau (a) Changements de la température à la surface du globe reconstruits à partir des archives paléoclimatiques (courbe grise pleine, années 1–2000) et issus des observations directes (courbe noire pleine, 1850–2020), par rapport à 1850–1900 et en moyenne décennale. La barre verticale de gauche indique les variations de température estimées (fourchette très probable) au cours de la période pluriséculaire la plus chaude depuis au moins 100 000 ans, et qui s'est produite il y a environ 6500 ans, pendant la période interglaciaire actuelle (Holocène). La dernière période interglaciaire, qui remonte à il y a environ 125 000 ans, est la précédente période passée la plus récente susceptible d'avoir connu une température plus élevée. Ces périodes chaudes passées ont été causées par des variations orbitales lentes (plurimillénaires). L'enveloppe grise hachurée, striée de lignes diagonales blanches, indique les fourchettes très probables des reconstructions de température.
Panneau (b) Changements de la température à la surface du globe au cours des 170 dernières années (ligne noire) par rapport à 1850–1900 et en moyenne annuelle, comparés aux changements simulés par les modèles climatiques de la phase 6 du Projet d'intercomparaison de modèles couplés (CMIP6) en réponse aux facteurs humains et naturels conjugués (ligne marron) ou aux facteurs naturels uniquement (activité solaire et volcanique, ligne verte). Les lignes pleines colorées indiquent la moyenne multi-modèle, et les enveloppes colorées indiquent la fourchette très probable des températures simulées.

C'est quoi, un modèle de climat, et comment cela fonctionne-t-il ?

Pour simuler le climat, les scientifiques utilisent des programmes informatiques pouvant facilement comporter des dizaines de milliers de lignes de code. Ils y incorporent des équations représentant les lois physiques, chimiques et biologiques permettant de calculer les flux d'énergie et de matière entre les (et au sein des) composantes principales du système Terre : l'atmosphère, l'océan, les surfaces continentales, et la cryosphère (la glace). La résolution numérique de ces équations leur donne les valeurs des variables du climat (telles que la température) en tout point d'une *grille*. Il faut ainsi imaginer qu'un quadrillage découpe la surface de la Terre en un ensemble de cases, contenant chacune un morceau de l'atmosphère ou de l'océan (Figure 2). Ces cases sont plus ou moins petites, selon la résolution des modèles. Mais ce n'est pas tout. Des facteurs externes au système climatique, tels que le rayonnement solaire ou la topographie, influencent aussi le climat. Ils doivent donc être fournis comme données d'entrée aux modèles. En particulier, la valeur des concentrations des gaz à effet de serre dans l'atmosphère est fixée à l'avance, sur la base des observations passées ou des scénarios futurs. Les modèles utilisent donc les données connues des facteurs d'influence externe sur le climat, qu'on appelle aussi des *forçages*. A la suite d'une période de calcul (pouvant prendre plusieurs mois pour les modèles de haute résolution) dans un supercalculateur, la simulation se termine et les résultats du modèle peuvent alors être analysés.

Un modèle de climat ne peut résoudre sur sa grille tous les processus du système climatique. En fait, comme les cases divisant l'atmosphère ou l'océan mesurent en général une centaine de kilomètres de côté, les phénomènes de fine échelle (plus petits que ces cases, mais ayant néanmoins un impact important sur le climat) posent un problème de taille pour les modélisateurs. Ils ont alors recours à des approximations appelées *paramétrisations*, qui leur permettent de représenter les effets à grande échelle des

processus de petite échelle. Un exemple typique est celui des nuages : ne pouvant décrire *"l'état de chacun des nuages contenus à l'intérieur de la [case]"*, les scientifiques qui modélisent le climat implémentent de nouvelles équations visant à *"rendre compte des propriétés moyennes ou statistiques de ces processus"* (Hourdin, 2011). L'effet des nuages sur l'évolution des températures (via la chaleur latente associée à la condensation, ou l'absorption et l'émission de rayonnement) peut ainsi être pris en compte, moyennant certaines hypothèses basées *"sur une connaissance phénoménologique des processus en question, sur certains principes de base de la physique, parfois […] sur une théorie statistique"* (ibid.). Les choix des paramétrisations implémentées dans différents modèles de climat représentent *"une des sources principales de dispersion entre les projections du changement climatique futur avec ces modèles"* (ibid.). Néanmoins, ces approximations restent indispensables pour inclure avec un certain réalisme les effets des plus petits phénomènes physiques sur le climat, qui ne pourraient pas être calculés sans une puissance de calcul infinie des supercalculateurs.

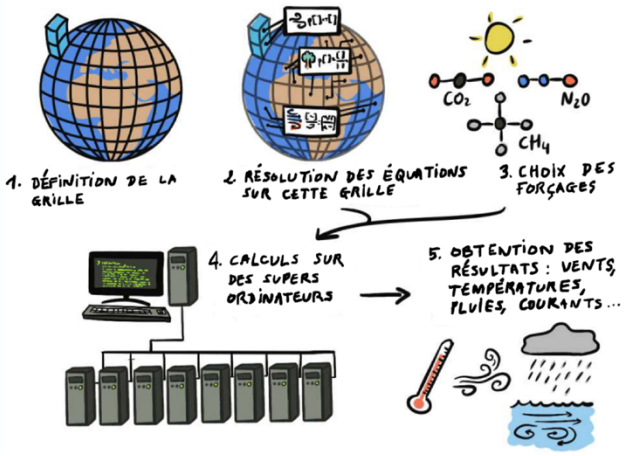


Figure 2. Représentation schématique des principales étapes de l'utilisation d'un modèle de climat (figure adaptée de Capron et Bouttes, PAGES horizons, 2022 ; illustrations : @CireniaSketches)

En quoi les projections futures sont-elles incertaines ?

La Figure 3 nous l'illustre :

- La variabilité naturelle désigne les oscillations du système climatique autour d'un état moyen. Celles-ci peuvent être dues aux phénomènes naturels qui se produisent à l'intérieur du système climatique (e.g., des températures plus chaudes sont enregistrées l'année d'un phénomène *El Niño*) ou à des causes externes au système climatique, modifiant la quantité d'énergie reçue ou absorbée par la planète (e.g., des températures plus froides se produisent à la suite d'une éruption volcanique majeure). Les incertitudes qui en découlent sont généralement liées au caractère imprévisible de la dynamique de l'atmosphère et de l'océan. Elles sont importantes à prendre en compte à l'échelle de la prochaine décennie ou dans les prévisions météorologiques ; en revanche, leur contribution sur l'incertitude totale du climat de la fin du siècle est minime. Les climatologues distinguent différents types d'incertitudes associées à la simulation de l'avenir du climat en fonction de leur origine.

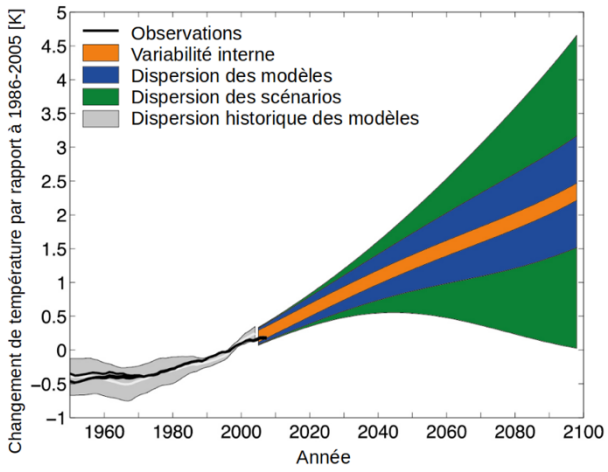


Figure 3. Sources d'incertitude dans les projections futures de la température moyenne mondiale, d'après une analyse des résultats des modèles CMIP5. Les projections de la température moyenne décennale à la surface du globe jusqu'en 2100 sont accompagnées d'une quantification de l'incertitude découlant de la variabilité interne (orange), de la dispersion des modèles (bleu) et de la dispersion des scénarios (vert) (figure du chapitre 11 du cinquième rapport du GIEC, groupe de travail I ; Kirtman et al., 2013 ; d'après Hawkins & Sutton, 2011)

-

Les scénarios désignent les évolutions possibles d'émissions de gaz à effet de serre, en fonction des futurs choix socio-économiques faits par nos sociétés. Ces choix n'étant par nature pas prévisibles, les cinq scénarios illustratifs examinés au sein du rapport du GIEC ne correspondent à aucune réalité, et sont à comprendre comme une méthode permettant d'échantillonner le large éventail des climats possibles dans le futur. Ces scénarios permettent d'implémenter dans les données d'entrée des modèles de climat (comme *forçage*) des évolutions supposées de gaz à effet de serre. Les simulations produisent alors en réponse différentes trajectoires d'évolution des températures futures. Ce sont les futurs choix socio-économiques qui représentent la plus large source d'incertitude pour le climat de 2100.

- Enfin, la réponse des modèles (à un *forçage* donné) reste fondamentalement incertaine, du fait des limites de nos connaissances ou bien des choix de modélisation – tels que la résolution de la grille, les hypothèses des paramétrisations, les données utilisées pour "calibrer" les simulations… Cette incertitude est en partie quantifiable grâce à l'utilisation d'un large nombre de simulations

réalisées par différents modèles. La diversité des modèles est alors essentielle pour refléter l'intervalle de confiance associé à une projection future donnée, c'est-à-dire pour un scénario choisi.

Dans ce contexte, la modélisation du climat est un champ de recherche très actif. Les modèles développés par différents groupes à l'échelle internationale (plus d'une centaine) sont constamment comparés – entre eux, et avec les enregistrements historiques des variables climatiques. Aucun modèle n'est généralement "meilleur" que les autres pour toutes variables du climat, et c'est la moyenne des modèles qui fournit encore les meilleurs résultats. Les accords éventuels entre les différents modèles pour une variable donnée et dans une région donnée sont gages de fiabilité pour les projections futures. Quant aux désaccords, ils sont aussi informatifs : ils sont le signe d'une incertitude qui peut encore être comprise et réduite par des efforts futurs de la recherche, mais aussi quantifiée et communiquée auprès de la société civile – notamment pour que le principe de précaution puisse s'exercer en attendant l'information climatique locale la plus fiable possible. Ainsi, le but des exercices d'intercomparaison (coordonnés avec les rapports du GIEC) n'est pas que la prévision : il s'agit aussi de comprendre les origines des désaccords éventuels entre les modèles et les données afin d'améliorer la représentation des processus dans les simulations.

Quid des modèles présentés aux élèves des collèges et lycées ? De David Gelas

Dans un contexte d'enseignement, même si un modèle utilisé en classe semble être un objet solide et définitif, il joue le rôle de pont servant à relier ce que l'élève observe concrètement (les objets et les événements) aux lois abstraites des sciences. Dans la salle de sciences, l'enjeu pour l'élève est donc d'apprendre à modéliser : dépasser l'apparence directe et brute des choses et des phénomènes pour construire une explication qui donne du sens au monde qui l'entoure. Cette manière de simplifier la réalité répond à un objectif d'enseignement. Contrairement au chercheur qui simplifie pour rendre les simulations numériques possibles, cette simplification permet à l'élève d'élaborer un raisonnement scientifique à partir de concepts qui ont été enseignés. Le modèle devient alors un outil de structuration qui l'aide à trier les informations essentielles et à isoler les variables pertinentes pour rendre un problème complexe compréhensible et manipulable. En manipulant ces modèles, l'élève s'approprie les lois fondamentales qui régissent notre environnement et apprend à mettre en relation le réel observable et le théorique. Pour autant, un modèle n'est jamais une vérité absolue : il n'est "vrai" que tant qu'aucun fait ne vient le contredire. Si nous l'utilisons en classe comme un socle stable pour transmettre des savoirs établis, la recherche, elle, le bouscule en permanence pour le faire progresser.

Conclusion

Les modèles climatiques sont des outils précieux. Ils servent à prévoir les évolutions futures d'un climat qui dérive, mais aussi à mieux comprendre les nombreux processus sous-jacents du système Terre. Bien que certains modèles soient très complexes, aucun n'est une reproduction fidèle du réel : ils sont constamment confrontés aux observations et améliorés. Leur diversité est une richesse : si chaque modèle utilise les mêmes lois physiques universelles (les équations de la mécanique des fluides, de la thermodynamique…), leurs résultats peuvent différer du fait de certains choix de modélisation (tels que les lois empiriques ou statistiques implémentées dans des paramétrisations, et leur calibration).

Depuis leurs premiers balbutiements, les sciences du climat ont fourni de nombreuses certitudes : nous pouvons aujourd'hui affirmer sans équivoque que l'hiver prochain sera plus froid que l'été, ou que le changement climatique est causé par les activités humaines. Pour autant, il est et sera toujours impossible de prévoir à l'avance où et quand auront lieu exactement les canicules ou les sécheresses de l'année 2030. Cela est dû au caractère imprévisible de la dynamique de l'atmosphère et de l'océan, qui génère de la variabilité interne aux échelles de temps associées à la météorologie (voir article 2). Malgré ces incertitudes intrinsèques, les modèles de climat produisent des résultats assez remarquables en ce qui concerne la température moyenne globale. Il apparaît ainsi que l'incertitude de l'évolution future de cette variable dépend en tout premier lieu des choix socio-économiques de nos sociétés, qui influenceront les émissions cumulées de gaz à effet de serre (et donc les températures, les deux étant corrélées de façon quasi-linéaire).

Il reste néanmoins vrai que les valeurs statistiques (n'ayant aucune réalité physique) des variables du climat, telles que la température moyenne globale, ne constituent pas une information climatique très utile pour les citoyens. Or, on constate que les précipitations locales et les événements extrêmes sont plus difficiles à simuler (voir article 4). Les efforts de recherche permettant d'améliorer la représentation des phénomènes rares ou de petite échelle restent donc essentiels pour fournir les informations climatiques les plus fiables et utiles aux politiques d'adaptation des territoires aux impacts du changement climatique.

Sur ces thématiques, une éducation scientifique aux incertitudes nous semble un élément clé pour former des citoyens éclairés. Loin d'être un échec de la science ou un aveu de faiblesse, l'incertitude est le langage même de la rigueur scientifique. Pour l'élève, son apprentissage constitue une rupture avec la pensée commune, un changement de posture qui l'amène à ne plus confondre la mesure avec la réalité absolue, mais à comprendre qu'un savoir est une construction, avec ses propres limites.

Concrètement, dès le collège, cette approche permet de comprendre que le chiffre affiché sur un instrument n'est pas la réalité brute, mais une mesure indissociable de ses conditions d'obtention. Sa valeur peut ainsi fluctuer selon la précision de l'appareil, le geste de l'expérimentateur ou l'influence de l'environnement. Au lycée, cette notion se mathématise : l'incertitude devient alors la preuve d'un protocole expérimental maîtrisé. En comprenant que la science ne livre pas des vérités définitives mais des explications solides, qui tirent leur force de la rigueur méthodologique, de lois universelles, d'une confrontation au réel et de la validation par les pairs, l'élève forge son esprit critique. Cette approche, qui inclut aussi l'apprentissage des limites de ces explications, le prépare à prendre position dans les débats de sociétés. Ce discernement critique est indispensable pour décrypter les enjeux climatiques actuels, où l'incertitude, une fois quantifiée et communiquée, ne doit plus freiner l'action publique mais servir de boussole pour la décision.

De la difficulté d'inclure le vivant dans les modèles climatiques - De Corinne Perret-Thomas

La part des mécanismes biologiques dans les modèles climatiques est souvent très réduite, probablement car les phénomènes physiologiques et évolutifs en jeu sont difficiles à quantifier et à comprendre, et ce d'autant plus, qu'ils sont interconnectés (ex. relations interspécifiques). Les modèles biologiques nécessitent un grand nombre de paramétrisations qui alourdissent considérablement les modèles climatiques en démultipliant les variables à calculer. Pourtant, les êtres vivants, en particulier les organismes marins, utilisent et produisent des molécules qui exercent une influence sur les équilibres biogéochimiques de l'océan, de l'atmosphère et des sols, et sur la biodiversité elle-même. Le phytoplancton utilise le CO_2 pour la photosynthèse et produit des molécules carbonées organiques dans les océans qui peuvent constituer la nourriture d'autres êtres vivants. En piégeant le CO_2 sous forme organique, le phytoplancton modifie le cycle du carbone et le climat.
Des travaux récents (Régimbeau et al., 2025) tentent d'intégrer les effets des processus biologiques dans les modèles climatiques en créant une base de données biochimiques à partir de l'interprétation du génome des organismes vivants. Ainsi on pourrait représenter comment certains organismes planctoniques modulent les variables climatiques par leur métabolisme. C'est une approche qui se révèle très intéressante pour des élèves qui apprennent bien souvent des réactions biochimiques hors contexte sans comprendre que leur action à l'échelle d'un écosystème ou d'une zone climatique va être majeure pour les conditions atmosphériques, les ressources du milieu et l'équilibre des réseaux trophiques.
Dans le communiqué sur le journal du CNRS, Eveillard montre que l'étude génomique des organismes permettant de prédire leur métabolisme et donc leur impact sur l'environnement, amène à définir de grandes niches métaboliques contenant un ensemble d'espèces qui partagent les mêmes flux de métabolites. Ainsi à l'échelle de la niche, on sait globalement quelles sont les molécules qui entrent et qui sortent et selon leur concentration, comment elles vont influencer les variables biogéochimiques et climatiques. Les projets actuels sont de réussir à intégrer ces modèles génomiques à l'intérieur des modèles climatiques existants pour faire des projections plus modulaires

Références

Capron, E., & Bouttes, N., 2022. Back to the future? Climate clues from past warm periods. In: Warm Worlds, PAGES Horizons, Volume 2. doi.org/10.22498/pages.horiz.2

Eveillard, D. Journal CNRS, Intégrer la complexité du vivant aux modèles climatiques. Journal CNRS. https://miti.cnrs.fr/actualites-scientifiques/integrer-la-complexite-du-vivant-aux-modeles-climatiques/

Hawkins, E. and Sutton, R. (2011) The Potential to Narrow Uncertainty in Projections of Regional Precipitation Change. Climate Dynamics, 37, 407-418. http://dx.doi.org/10.1007/s00382-010-0810-6.

Hourdin, F., 2011 : Les paramétrisations physiques. In : Le climat à découvert [Jeandel, Catherine, et Rémy Mosseri, éditeurs]. CNRS Éditions. https://doi.org/10.4000/books.editionscnrs.11316.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. In Press.

Kirtman, B., S.B. Power, J.A. Adedoyin, G.J. Boer, R. Bojariu, I. Camilloni, F.J. Doblas-Reyes, A.M. Fiore, M. Kimoto, G.A. Meehl, M. Prather, A. Sarr, C. Schär, R. Sutton, G.J. van Oldenborgh, G. Vecchi and H.J. Wang, 2013: Near-term Climate Change: Projections and Predictability. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Régimbeau, A., Aumont, O., Bowler, C., Guidi, L., Jackson, G. A., Karsenti, E., Memery, L., Tagliabue, A. & Eveillard, D., 2025. Unveiling the link between phytoplankton molecular physiology and biogeochemical cycling via genome-scale modeling. Science Advance, 11, eadq3593. https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adq3593

Revelle R. & H. Suess, 1957, Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO2 during the Past Decades, Tellus 9, 18-27. https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1957.tb01849.x

Stella Bourdin, Professeure assistante, Laboratoire de Météorologie Dynamique, École Polytechnique, Palaiseau (91)

Stéphane Couderc, enseignant de SPC, collège Marion Meunier, Montbrison (42)

4 • Les cyclones tropicaux

Ce que l'on sait, ce que l'on ne sait pas (encore)

Ce que l'on sait : L'intensité des cyclones tropicaux va augmenter avec le changement climatique.

Les cyclones tropicaux sont des tempêtes intenses qui touchent les îles et les côtes tropicales de presque tous les océans du monde. Météorologiquement, ce sont des phénomènes de quelques centaines de kilomètres qui associent une dépression centrale et des **vents en rotation**. Ceux-ci sont accompagnés de convection, c'est à dire de mouvements d'air ascendants qui transportent de l'eau et créent des nuages puis des précipitations. Ces tempêtes sont extrêmement dévastatrices à cause des vents forts, mais aussi des précipitations et de **l'onde de tempête** qui les accompagnent et peuvent causer crues et submersions marines.

La rotation des vents est dans le sens anti-horaire dans l'hémisphère nord, et horaire dans l'hémisphère sud.

L'intensité d'un cyclone tropical est en grande partie déterminée par son environnement, et sa capacité à en extraire de l'énergie. Cette énergie vient, notamment, de la chaleur latente de l'eau évaporée à la surface de l'océan. Cette vapeur d'eau est transportée verticalement, puis condensée en haute altitude au cœur du cyclone, ce qui libère de l'énergie. Or, on s'attend à ce que l'augmentation de la température des océans - conséquence directe du réchauffement climatique - permette plus d'évaporation, et donc d'extraire plus d'énergie de l'océan.

L'onde de tempête est une élévation locale du niveau de la mer à cause de la dépression et des vents.

En outre, la quantité d'eau que peut transporter le cyclone est régie par la relation de Clausius-Clapeyron. Cette relation stipule que plus une masse d'air est chaude, plus elle peut contenir d'eau : environ 7% d'eau en plus pour 1°C de plus. Avec le réchauffement de l'atmosphère, les cyclones seront donc capables de transporter plus d'eau, susceptible d'être déversée sur les terres et de causer des inondations plus importantes.

Ce que l'on ne sait pas : Le nombre de cyclones tropicaux va-t-il changer avec le changement climatique ?

Le risque associé aux cyclones tropicaux pour une région donnée est certes dépendant de l'intensité des cyclones, mais aussi du nombre de ces cyclones qui l'atteignent. Or, on est aujourd'hui incapable de prévoir l'évolution de cette fréquence. La principale raison est que nous ne comprenons pas encore de façon satisfaisante la façon dont l'environnement (température, humidité, vents) dans un bassin océanique influence le nombre de cyclones qui s'y forment, ni même le rôle comparé de cet environnement par rapport au pur hasard. Nous avons quelques pistes : Il semble qu'un environnement plus humide, plus instable et avec moins de cisaillement de vent (différence entre la vitesse du vent à haute et basse altitude) soit plus favorable à la formation de cyclones. Mais nous ne connaissons pas le poids de chacun de ces facteurs, et ils ne nous permettent pas d'expliquer l'ensemble des variations spatiales et temporelles que nous observons.

Notre compréhension reste incomplète, car l'étude de ces mécanismes est basée principalement sur deux sources de données qui ont chacune leur limitation :

- Les observations de cyclones tropicaux sont considérées fiables depuis 1980 (généralisation des satellites), ce qui nous donne environ 45 ans de données. C'est très précieux, mais néanmoins trop court pour distinguer le rôle du changement climatique d'origine anthropique par rapport à la variabilité naturelle du climat ;

- Les modèles de circulation générale qui nous permettent de simuler l'atmosphère et l'océan, donc les phénomènes météorologiques, ne sont actuellement pas capables de simuler les cyclones tropicaux aux échelles de temps climatiques : les cyclones tropicaux étant des objets petits à l'échelle du globe, il faut une haute résolution (c'est-à-dire un grand nombre de cellules/"pixels" pour simuler la terre, voir article 3), qui coûte cher numériquement. Il faut donc trouver un compromis entre la finesse de la résolution et la durée des simulations (nombre de pas de temps) par rapport à nos limites de ressources de calcul.

A mesure que nous accumulons plus d'observations, que les modèles s'améliorent, mais aussi que nous développons de nouvelles méthodes pour exploiter les simulations météo et simuler directement les cyclones, nous espérons pouvoir progresser sur ce sujet, crucial pour certaines populations îliennes et côtières.

Conclusion

A cause de cette combinaison de changement d'intensité connue, mais de changement de fréquence inconnue, il est difficile de quantifier le *risque* pour une zone donnée, qui est le produit de ces deux facteurs.
Dans certaines zones, il est possible que la fréquence reste la même ou augmente, tandis que l'intensité augmente, il faudra alors faire face à un risque accru pour tous les aléas.
Mais dans d'autres zones, si la fréquence diminue, mais que le peu de cyclones qui atteignent cette zone sont plus intenses que ceux qui la touchait auparavant, il faudra prévoir une stratégie d'adaptation qui puisse permettre de faire face à une typologie de risque nouvelle, avec des évènements moins fréquents mais plus intenses.

Lisa Paillussière, ingénieure d'études, CeRLA, Lyon (69)

Fabien Alibert, enseignant de SPC, collège Honoré d'Urfé, Saint Etienne (42)

Anne-Laure Fougères, professeure des universités, Institut Camille Jordan, Lyon 1 Université, Lyon (69)

Fanny Lhardy, maitresse de conférences, Laboratoire de Géologie de Lyon (Terre - Planètes - Environnement), ENS de Lyon (69)

Vincent Perrier, maitre de conférences, Laboratoire de Géologie de Lyon (Terre - Planètes - Environnement), Lyon 1 Université, Lyon, Lyon (69)

5 • Comment dit-on l'incertain ?

Retours d'expérience chez des enseignant·es et des chercheur·es

Introduction

Sur le plan **sémantique**, l'incertitude possède plusieurs sens qu'il convient de définir. En décembre 2025, nous avons réunis trois enseignant·es chercheur.e.s, pour une interview sur le thème des incertitudes dans leurs pratiques professionnelles de recherche et d'enseignement et leur approche afférente à la crise climatique. Nous avons pu y faire le constat que nous n'employons pas tous le terme « incertitude » de la même manière. Dans le cadre de ces interviews, c'est cette différence de rapport à la fois sémantique et culturel qui a été le fil conducteur de nos réflexions.

Sémantique

Discipline qui s'intéresse au sens des éléments d'un texte (mots, expressions, séquences) à un moment donné (synchronie) ou dans leur histoire (diachronie). Par exemple, chez le linguiste historique Michel Bréal (Essais de sémantiques, 1897), on apprend que « les suffixes les plus usités dans nos langues modernes sont des suffixes empruntés. Ainsi le grec nous a permis de former nos mots en *isme*, comme optimisme, socialisme ; en *iste*, comme artiste, fleuriste ».

Au cours d'une heure et demie d'entretien, l'intervieweur, qui avait approché le sujet de l'incertitude dans le cadre de sa thèse en Sciences du Langage, a interrogé trois invités : Anne-Laure, une spécialiste des « maths de l'incertain », pratiquant la modélisation statistique (voir article 2), Vincent « un paléontologue spécialiste du zooplancton dans les temps très anciens » rencontrant en particulier l'incertitude de datation dans le cadre de son métier et Fanny, enseignante-chercheuse en géologie, spécialiste de la modélisation des paléoclimats (voir article 3).

Pour les besoins de cet article, nous avons sélectionné les passages les plus à même d'identifier des points fédérateurs entre les discours et expériences de l'incertain de professionnels aux horizons disciplinaires différents. Puis des passages clés nous ont permis d'identifier des sources de débats et d'éventuelles complémentarités entre les experts impliqués. Ainsi, ancré dans des enjeux sociétaux et de valorisation des approches interdisciplinaires, cet article propose une vision synthétique de ces échanges tout en testant de formes nouvelles d'écriture de la recherche. L'analyse de l'entretien semi-directif se présentera sous la forme d'une interview croisée répondant à la problématique suivante : Comment dit-on l'incertain dans différentes disciplines ? L'enjeu sera celui de la nomination linguistique ainsi que l'occasion de présenter l'outil de recherche de la carte sémantique, utilisé dans les Sciences du Langage.

Comment dit-on l'incertain ?

Nous allons utiliser ici, un outil des Sciences du Langage – la carte sémantique – afin de pouvoir comparer les fréquences et valeurs d'utilisation de différents termes se rapportant à l'expression de l'incertitude prononcés au cours de l'entretien. Dès les années 1980, la carte sémantique outille la linguistique en permettant la représentation simultanée d'une double approche quantitative et qualificative. Ces cartes sémantiques « classiques » avaient alors comme principal défaut de ne pas se prêter à un jeu de données important où « il devient rapidement difficile de visualiser le **mapping** des formes linguistiques sur les concepts connectés de la carte » (Badir & Polis 2023).

Mapping

Le mapping est l'une des méthodes possibles de visualisation structurée des informations sémantiques disponibles lors de la création d'une carte sémantique.

> Linguistique computationnelle
>
> Discipline qui prend pour objets des problématiques linguistiques qu'elle traite à partir de méthodes formelles et calculatoires. Elle a pour spécificité de s'appliquer à de grand corpus de données, bénéficiant ainsi de l'automatisation informatique.

À partir des années 2000, l'usage de la méthode statistique multivariée perfectionne les cartes sémantiques leur permettant de prendre en charge de plus grands jeux de données générés automatiquement et positionnés au sein d'un espace euclidien à deux dimensions, ce qui améliore la visualisation des relations de connectivité entre les termes. Nous avons fait le choix d'une carte sémantique générée par *Atlas Sémantiques* (Figure 1), d'après une requête « Vocabulaires » suivant la fonctionnalité « Mode Atlas » dont on a configuré la visualisation pour observer 4 constellations sémantiques différentes, comprenant le réseau synonymique du terme « incertitude » (en bleu) ainsi que son réseau antonymique (en vert). Son *mapping* y est structuré à partir des données issues de l'INaLF et s'interprète à partir de la distance à un *lieu* sémantique, aussi dit *clique.* On doit cette ressource à groupe d'experts en **linguistique computationnelle**, en particulier à Ploux et Vittori (1998).

> *« Le modèle utilisé par les Atlas sémantiques propose de travailler à partir [de] constellations. Ces dernières représentent des unités de langage, des valeurs sémantiques à la granularité variable. Elles correspondent à de plus grands regroupements sémantiques organisés sur la base des cliques.*
> *Il est possible de se faire une idée de l'organisation proposée par les Atlas sémantiques avec une autre métaphore :*
> *- le terme d'une requête est une carte géographique (la projection d'un espace multidimensionnel à un espace à deux dimensions),*
> *- les cliques sont les lieux composant la carte,*
> *- les constellations sont des territoires de la carte (des régions, ou si on cherche une division plus fine : des départements, des territoires communaux). » (Tutoriel d'utilisation des Atlas Sémantiques, https://www.atlas-semantiques.eu/Tutoriel_as.html?l=FR)*

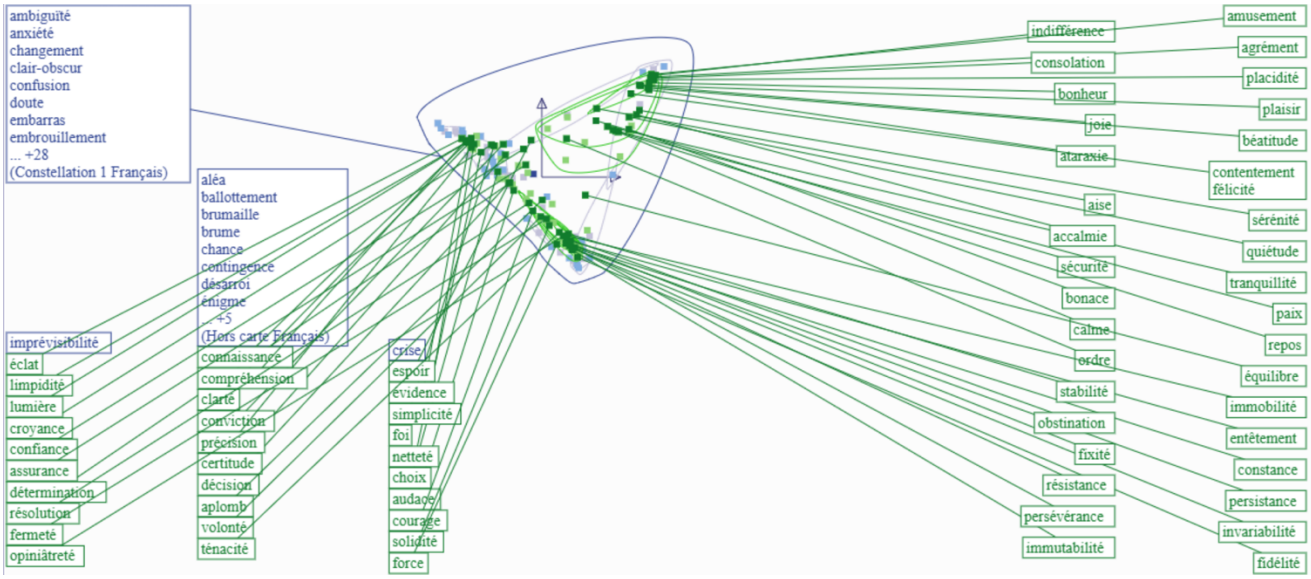


Figure 1 : Vue globale de la carte sémantique pour la requête "incertitude" (source : www.atlas-sémantiques.eu)

1) La modélisation révèle ainsi une première constellation (Figure 2) regroupant l'expression des 49 termes synonymiques les plus fréquents comme « aléa », « changement » ou « contingence ». Cette constellation est l'enveloppe sémantique la plus englobante possible (visuellement) et avec le moins de subdivisions sémantiques (du point de vue analytique) soit le constat d'une hétérogénéité majeure. Cette hétérogénéité est l'indice d'une forte couverture synonymique et antonymique, soit le fait que les locuteurs du français ont à disposition de nombreuses manières d'exprimer l'incertitude, avec la possibilité de souligner ou de se distancer de diverses nuances sémantiques (par exemple : représentation de l'intensité de l'incertitude, imprécision [-incertain] *vs* confusion [+incertain]). Elle révèle toutefois deux grands axes sémantiques structurés autour des valeurs de crise et d'imprévisibilité. Les trois autres constellations se caractérisent par contraste par des spécifications sémantiques plus homogènes. Nous nommerons par la suite le paramètre sémantique d'homogénéisation déduit du regroupement effectué.

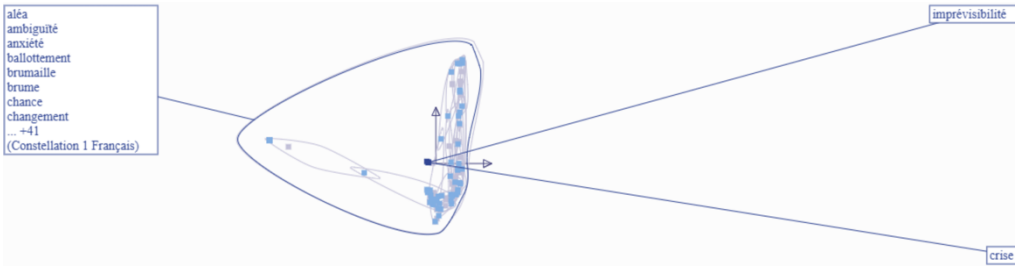


Figure 2 : Vue locale de la Constellation 1 (source : www.atlas-sémantiques.eu)

2) On observe une seconde constellation à valeur affective (Figure 3) (voir article7) regroupant des termes comme « anxiété », « doute » ou « confusion » (31 termes). À savoir que pour des raisons de simplification de notre discours nous n'avons pas tenu compte des différents niveaux de granularité, ce qui impacte la numérotation des constellations.

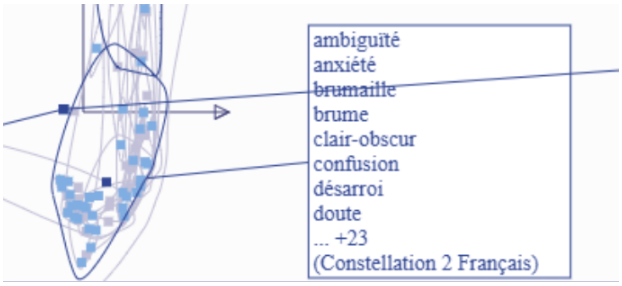
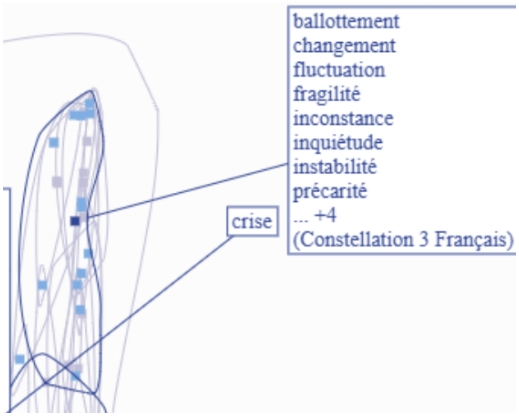


Figure 3 : Vue locale de la Constellation 2 des expressions affectives 1 (source : www.atlas-sémantiques.eu)

Granularité et numérotation des constellations

Pour reprendre la métaphore du territoire, une commune (le mot "confusion") est présente à la fois dans une intercommunalité (constellation 4) et dans le département (constellation 2) incluant cette intercommunalité. Cependant, au niveau d'observation de l'intercommunalité, le département n'est plus observable sur la même carte.
Ainsi, pour une granularité de 26 constellations affichées, le terme "oscillation" appartient à la constellation 3 qui inclut également "anxiété". Cette constellation 3 est stable et observable dès l'affichage de 15 constellations et elle se subdivise à partir de l'affichage de 33 constellations : "oscillation" devient alors la constellation 3 et "anxiété" la constellation 4.

3) Une troisième constellation (Figure 4) relative à la valeur aspectuelle durative – action envisagée dans sa durée – et se rapportant à un mouvement de la pensée qu'on qualifiera d'abstrait, par opposition à un mouvement concret (comme « courir »), regroupe entre autres les termes « vacillement », « fluctuation » ou « variabilité » (12 termes).



L'aspectualité décrit le rapport sémantique d'un mot à une action, un état ou un évènement. Ici, en particulier, son rapport d'inscription à une temporalité.

*Figure 4 : Vue locale de la Constellation 3 dite **aspectualité** du mouvement abstrait 1 (source : www.atlas-sémantiques.eu)*

4) Enfin une quatrième constellation (Figure 5), plus petite (10 termes), met en évidence un rapport flou au savoir comme « ambiguïté » ou « embarras ». On note déjà que certains termes comme « confusion » apparaissent dans deux constellations à la fois (Constellations 2 et 4).



Figure 5 : Vue locale de la Constellation 4 dite de flou épistémique 1 (source : www.atlas-sémantiques.eu)

À partir de ces subdivisions en langue, nous avons pu fonder la comparaison des emplois à l'entretien (en parole) et les subdiviser sur la base des mêmes « constellations » (Tableau 1). Nous avons confronté les emplois élicités par les interviewés aux Atlas Sémantiques qui répartissent donc ces synonymes en constellations. Puis nous avons observé cette répartition en constellations. Nous remarquons ainsi que le terme "aléa" employé par Anne-Laure appartient à la constellation 1, la plus générale, et que sinon les termes qu'elle a élicités ne sont nulle part sur la carte ou apparaissent dans l'index des antonymes. Pour Vincent aucun de ces emplois n'apparaît sur la carte sémantique ce qui est à interpréter comme un indice que ces pratiques sémantiques ne correspondent pas au langage courant mais à un langage de spécialité (terminologie). Enfin pour Fanny, le terme "oscillation" prononcé lors de l'entretien appartient à la constellation 26. Pour les autres de ses emplois, ils ne sont soit nulle part sur la carte soit dans le hors-carte ("prévision/imprévisibilité") c'est-à-dire très éloignés de la zone de concentration des constellations sémantiques les plus pertinentes.

Tableau 1 : Répartition en constellations sémantiques et en interlocuteurs experts des productions de termes relatifs à l'expression de l'incertitude émises au cours de l'entretien

	Constellation 1	Constellation 26	Antonyme	Termes de spécialité (nulle part sur la carte)	ø (hors carte)
Anne-Laure	aléas		(indice de) confiance	probabilité, stochastique, risque, évènement (extrême)	
Vincent				biais (temporel ou de datation, d'échantillonnage, sédimentaire), fourchette (« range », intervalle)	
Fanny		Oscillation		biais, unknown, bug, erreur, projection	Prévision/imprévisibilité

Premières conclusions

Expressions courantes *vs* expressions expertes de l'incertitude

La majorité des productions discursives de l'entretien dévoile la particularité de l'approche de l'incertitude par des experts (11/15 formes n'apparaissent nulle part sur la carte). La terminologie scientifique semble proposer un pan tout entier de significations de l'incertitude qui ne croise que très rarement (4 fois sur 15) le langage courant.
Les domaines sémantiques des constellations 2 et 4, relatives à l'expression affective et au flou épistémique, ne sont pas produites au profit de formes où l'incertitude devient « cette barre d'erreur qu'on arrive à quantifier » (Fanny). La constellation 1 quant à elle, est représentée par l'usage « aléa », appartenant à une vue globale de la carte sémantique et entretenant des liens de structuration avec le terme hors-carte « imprévisibilité ». Dans notre entretien, il est intéressant de noter que Anne-Laure renseigne l'aléa comme « le phénomène incertain » et le relie au risque. Le risque devient alors une valeur mesurable variant en fonction de « la stabilité des infrastructures » et « les sources de vulnérabilité, en particulier les humains ». Quant au terme « biais » il est renseigné dans les pratiques communes de Vincent et Fanny.
Enfin, notons la forme sémantique « Oscillation » mobilisée par Fanny – très éloignée du langage courant – qui peut faire écho aux propriétés de la constellation 3, soulignant le mouvement abstrait de l'incertitude enrichie de sa comparaison sémantique (« précarité », « ballottement », « changement », « fluctuation », « instabilité ») d'une variation positionnelle dont on peut évaluer les « valeurs » ou « l'oscillation d'une fonction dans un intervalle donné ».
Pour un enseignant du second degré, le terme « aléas » semble ainsi être le moins spécialisé et le mieux adapté à une intercompréhension entre chercheurs et étudiants. La carte sémantique vient ainsi positionner les emplois concurrents et les hiérarchiser afin de rendre mieux perceptible des emplois qui relèveraient de la terminologie de spécialité des chercheurs dans leurs domaines respectifs (signalés comme nulle part sur la carte).

Vécus de l'incertitude : entre source de savoir en devenir et crise de sens

Si l'incertitude est vécue soit comme un point de départ (elle est une « matière à travailler » Fanny) soit comme un progrès pour le chercheur, une réduction significative de l'incertitude – on en sait plus après avoir cherché – chez le public, elle est aussi perçue comme crise de sens et foncièrement ancrée dans des enjeux du présent, et l'urgence d'un besoin simultané d'action et de réponses.

> *Vincent : « on les pousse à douter […] nos élèves, on les pousse à remettre en question une datation par exemple et un étudiant qui va construire un graphique sans barre d'erreur, c'est un mauvais graphique parce qu'il n'a pas pris en compte l'incertitude donc je ne suis pas sûr qu'ils le vivent mal l'incertitude, nos étudiants justement parce qu'ils sont conscients que dès qu'on travaille dans le temps ancien on ne peut pas être sûr je n'ai pas l'impression si vraiment j'ai des étudiants qui sont en doute ça va plutôt être sur des questions climatiques ou sur des questions d'avenir plutôt que de passé ».*
> *Interviewer : c'est peut-être lié aussi au fait qu'il y a un écart temporel quand on étudie le passé on n'a pas les angoisses au présent*
> *Vincent : on ne se sent pas concerné on change de cadre ».*

Ces interviews croisées illustrent quelques-unes des difficultés de communication qui peuvent exister sur le thème de l'incertitude – les termes employés dépendant du prisme disciplinaire et de la réception du public, qui quant à lui, peut vivre son expression comme une véritable crise de sens. Cela nous questionne encore davantage sur la nécessité de sensibiliser le public aux méthodes de la recherche et d'approfondir son approche de la relation entre savoir et action. Le discours de médiation de l'enseignant-chercheur doit-il être détemporalisé en vue de mieux faire accepter la réalité des incertitudes constitutives des méthodes de recherche et des actualités ? Les outils des sciences sociales, de la géologie, de la paléontologie ou des mathématiques sont-elles aptes à apprendre au public non-scientifique à « *regarder l'incertain plus que dire que les choses sont certaines* » (Anne-Laure).

Bibliographie

Atlas Sémantiques : www.atlas-semantiques.eu.

Badir, S. et Polis, S. (2023). Les cartes sémantiques en typologie des langues. La médiation iconique entre qualification et quantification dans des représentations visuelles du discours linguistique. Travaux de linguistique, 87(2), 51-73. https://doi.org/10.3917/tl.087.0051.

Ploux, S., & Victorri, B. (1998). Construction d'espaces sémantiques à l'aide de dictionnaires informatisés des synonymes. TAL. 39.

Jérémie Pointu, enseignant d'histoire-géographie et d'EMC, collège Marie Curie, Troyes (10)

Benoît Urgelli, maître de conférences, laboratoire ECP, Université Lyon 2, Lyon (69)

6 • Faire vivre savoirs et doutes dans l'espace de la classe

La nécessité d'une pédagogie dialogique, prudentielle et engagée

Dialogue entre Jérémie Pointu et Benoît Urgelli

Éducation aux changements environnementaux, à la vie affective et relationnelle, à la sexualité, autant de questions que nous qualifions de "politiquement sensibles". Controversées par une diversité d'acteurs et d'arguments, ces questions suscitent mobilisations et divisions sociales à propos des causes, des conséquences et des modes de traitement politique. Les discours à leur propos articulent des connaissances complexes, mais aussi des croyances, des valeurs, des émotions et des intérêts contradictoires. L'ensemble se combine pour fonder une diversité d'opinions qu'il faut savoir identifier, discuter et faire vivre dans l'espace démocratique de la classe. Avec prudence et engagement… car les élèves ne sont pas tous si complotistes, sceptiques, hermétiques, fatalistes, pessimistes, apathiques ou anxieux, que certains voudraient le faire croire. Ils demandent de plus en plus ouvertement que nous les aidions à développer leur sentiment de pouvoir agir à travers une éducation au politique, avec critique, espoir et imagination, mais sans les infantiliser...

Éduquer au politique c'est former les élèves à comprendre les rapports de pouvoir, les institutions et les processus de décision collective qui structurent la vie sociale et démocratique. Cela se fait notamment en abordant des questions socialement vives et politiquement sensibles, afin de développer une pensée critique face aux controverses et aux conflits de valeurs.

Pédagogie de l'enquête

Inspirée de la philosophie pragmatiste de John Dewey, pour qui apprendre signifie enquêter sur des situations problématiques, la pédagogie de l'enquête est une approche où les apprenants construisent leurs connaissances en s'engageant activement dans des processus similaires à ceux des chercheurs : questionnement, formulation d'hypothèses, investigation empirique, collecte et analyse de données, interprétation et communication des résultats.

Pédagogie de la coopération

Il s'agit d'une approche éducative qui organise l'apprentissage autour de la collaboration structurée entre élèves. Elle vise à apprendre à coopérer et à coopérer pour apprendre, en favorisant à la fois le développement des savoirs et des compétences sociales. Elle repose sur des valeurs démocratiques et humanistes telles que le respect, la solidarité, l'autonomie et l'écoute empathique.

Comment je sais ce que je crois savoir ?

Jérémie : Les élèves s'interrogent souvent sur la manière dont on savoir que tel ou tel personnage a existé, ou que tel ou tel événement a eu lieu. Par exemple, on m'a souvent demandé « *comment on sait que Jésus a existé ?* », « *comment on sait que Charlemagne a existé ?* ». Le prof d'histoire géo, que je suis, explique alors la méthode critique en histoire (analyse interne et externe des documents) et, surtout, le fait que l'historien croise les informations en confrontant les sources (sources écrites comme les capitulaires de Charlemagne, le récit d'Eginhard et les traces archéologiques). En croisant l'information, on parvient à établir un fait historique. En revanche, il est plus difficile de répondre quand on se trouve devant des théories complotistes.

Je me souviens d'une mère d'élève, lors d'une réunion parents professeurs, qui me disait : « *vous avez travaillé sur les attentats du 11/09/2001 et vous savez que ce sujet passionne notre fille et moi. Mais ce que vous avez dit n'est pas exact. Nous on sait que l'attentat a été organisé par les Juifs et le Mossad. Savez-vous qu'aucun Juif ne se trouvait dans les tours au moment des attentats ? Je pourrais vous montrer une vidéo sur YouTube qui l'explique très bien...* ». Que répondre à ce type de propos qui pose la question de la connaissance et du rapport à la vérité : est-ce vrai qu'aucune personne juive n'était présente dans les fameuses tours ? Sur ce point précis, je n'en avais pas la connaissance même si j'en doutais fortement. J'avais expliqué que cette version des faits ne reposait pas sur des arguments sérieux, et qu'elle avait tout d'une vision complotiste car elle poursuivait un autre but que l'établissement de la vérité (en l'occurrence nuire aux Juifs) ; Les complotistes présentent une vision du monde où des personnes manipulent les autres. Ils utilisent un événement pour défendre une cause ou dénigrer un groupe de personnes ; ils proposent souvent une vision simplifiée d'une réalité bien complexe.

Benoît : Face à cette argumentation complotiste, et à ce type de schémas argumentatifs, qu'il faut apprendre à repérer et à analyser, l'éducation prend ici une place importante. Qu'est-ce que la vérité et qu'est ce qui fait preuve ? Notre collègue Francis Chateauraynaud en 2004 nous proposait de considérer que ce qui fait preuve est tout ce qui résiste aux « *variations perceptuelles, instrumentales et argumentatives auxquelles le soumettent des acteurs dotés de représentations et d'intérêts divergents* ». La théorie proposée par cette maman s'appuie-t-elle sur des preuves tangibles ? Même si ce serait ici inverser la charge de la preuve du contraire à son interlocuteur, une fâcheuse tendance qui caractérise souvent les discours complotistes, une telle affaire mériterait de s'engager dans une enquête coûteuse en temps et en ressources mais tellement formatrice. C'est d'ailleurs ce genre de **pédagogie de l'enquête** que défendait John Dewey au début du 20ème siècle, inspirateur de Célestin Freinet et du "tâtonnement expérimental", en précisant que de telles **pédagogies de la coopération** peuvent contribuer au développement d'une **citoyenneté critique et scientifique** par une expérience de démocratie. C'est aussi le crédo du courant éducatif qui milite pour l'introduction des **controverses socioscientifiques** en classe.

La citoyenneté critique et scientifique désigne la capacité des citoyens à comprendre la nature des connaissances scientifiques, à analyser de façon critique l'information et à participer de manière argumentée et démocratique aux débats publics impliquant la science et la technologie. Elle renvoie au concept de *scientific literacy* et à l'idée d'une science engagée dans la participation démocratique.

Les controverses socioscientifiques (Socio-Scientific Issues, SSI) sont des questions polysémiques qui mobilisent et qui divisent. Elles impliquent des connaissances scientifiques complexes, des conflits de valeurs et d'intérêts, et des dimensions émotionnelles et politiques. Par exemple : les OGM, le changement climatique, l'énergie nucléaire, la vaccination, …

En classe et dans l'espace institutionnel plus largement, nous devons militer pour une certaine vision de la place des savoirs scolaires en société, sans tomber dans le scientisme et sans laisser penser que seuls les arguments scientifiques sont sérieux et rationnels. Cela risquerait de mettre les sciences contre les opinions et les croyances, en renvoyant l'image que les savoirs scolaires ont plus de valeur que les opinions, les croyances et les émotions. Il faudrait arriver à montrer que les savoirs et les croyances sont fondés sur des registres argumentatifs et des rationalités incommensurables, même si certains tentent de les concorder et de mettre un registre au service de l'autre.

Selon moi, derrière chaque argumentation, je suis convaincu qu'il y a une rationalité, une bonne raison de dire ce que l'on pense. Celle des sciences consiste à porter un regard sur le monde qui est toujours soumis à l'épreuve de la réfutation, contre le dogmatisme. Les arguments d'autorité sont écartés, et pour construire la robustesse jamais parfaite d'une argumentation, les sciences refusent par principe toute explication d'origine métaphysique et complotiste. C'est d'ailleurs ce qui fonde la croyance scientifique ! En classe, toute argumentation, et même celle de l'enseignant, devrait donc se soumettre à l'épreuve de la réfutation et fournir des preuves tangibles. Mais attention à ceux qui défendent l'idée qu'il ne faut pas perdre de temps à discuter les théories complotistes et les limites de leurs analyses face à l'épreuve des faits. Ce serait vider de son sens l'importance éducative de l'école. Ces situations peuvent devenir des situations prétextes pour éduquer à la nature des sciences, aux valeurs qui les fondent, et notamment la liberté d'investiguer méthodiquement et collectivement, sans a priori. En démocratie, les sciences ont un rôle à jouer pour décrire, comprendre et évaluer librement, loin des conflits d'intérêts et d'autorités, les phénomènes et risques socio-environnementaux, et construire des modélisations prédictives des causes, conséquences et solutions possibles et acceptables, toujours conscientes de la part incompressible d'incertitudes qui accompagnent une telle entreprise.

Jérémie : Il arrive (très peu en fait - mais depuis la pandémie, je le vois plus) que des élèves et des familles contestent un enseignement en s'appuyant sur des "vérités alternatives" vues sur les réseaux. L'exemple le plus récent qui me vient à l'esprit est celui de savoir si Brigitte Macron est un homme ou une femme. Cette année en classe de 3ème, une élève m'interpelle : « *Monsieur, ça se voit que Brigitte Macron est un homme, il suffit de regarder son visage ; et puis, Emmanuel Macron il est gay. On le sait tous* ». On a pris le temps d'analyser quelques extraits des propos antisémites, transphobes et conspirationnistes de l'américaine Candace Owens et de s'appuyer sur les décisions de justice. On a aussi réfléchi collectivement à cette question : « *comment prouver qu'on est un homme ou une femme* » ?

Charte de la laïcité

Elle peut être consultée sur le site du ministère : https://www.education.gouv.fr/la-laicite-l-ecole-12482

Benoît : Je suis fasciné par la manière dont tu as problématisé scientifiquement et radicalement cette question d'élève. Tu l'as transformée en opportunité éducative passionnante. Et c'est probablement le sens profond de l'article 12 de la ***Charte de la Laïcité***, qui rappelle qu'aucune question, aucune croyance, ne doit être exclue a priori du questionnement scientifique et pédagogique. Tu n'es donc pas tombé dans le piège de l'évitement, qui laisse les jeunes chercher seuls leurs réponses, souvent sans méthode réflexive et avec un investissement cognitif peu coûteux en temps d'investigation et en remise en question de ses convictions personnelles. Mais sans éviter, il faut être vigilant à la charge émotionnelle, identitaire et communautaire que portent certaines questions et certains savoirs qui s'y réfèrent, pour nos jeunes.

Jérémie : Je suis convaincu que dans un conflit de loyauté entre convictions familiales et savoirs scolaires, l'élève ne suivra pas son enseignant mais ses parents. Mais je ne pense pas que l'on se situe au même niveau : il ne s'agit pas, selon moi, d'opposer les valeurs ou les croyances familiales aux savoirs savants. Cela nécessite, pour l'enseignant, d'être très clair dans sa posture : on ne peut heurter frontalement les croyances des élèves sinon, c'est perdu d'avance. Cela me rappelle un échange avec un élève cette année, dans une séance d'Éducation à la Vie Affective et Relationnelle, et à la Sexualité (programme EVARS). Alors qu'on abordait

le sujet de l'homosexualité, un élève a tenu ouvertement des propos homophobes. Comme on intervient à deux enseignants, on lui a rappelé la loi en expliquant que c'était un délit. L'échange s'est terminé par : "*d'accord pour la loi mais cela ne m'empêchera pas de penser ce que je pense*". Et il a terminé par : « *rassurez-vous Monsieur, si ça tombe au brevet, je saurais quoi écrire pour avoir une bonne note* ». Ces échanges sont perturbants pour les enseignants car on a vraiment le sentiment qu'on est impuissant. Je me rassure en disant que l'on sème des graines et que les élèves peuvent entendre un autre discours grâce à l'école. Mais ce sentiment d'impuissance est assez partagé par mes collègues.

Benoît : Cela m'inspire deux remarques. La première est que nos élèves sont capables d'une *adhésion sans conviction* aux savoirs et valeurs que portent notre institution car ils comprennent très vite que c'est une condition pour traverser le scolaire en faisant le moins de vagues possibles. Mais l'apparente adhésion est souvent pour l'éducateur un constat d'échec éducatif, lui qui voudrait convaincre et transformer l'apprenant. On sème en effet des graines, toutes ne germent pas et c'est probablement celles qui arrivent dans les mains les plus ouvertes, mais aussi les plus capables de remise en question et de doute. Voilà probablement là une des incertitudes fortes de l'éducation, et un de ces défis les plus difficiles à relever : ne pas convaincre que les convaincus, sachant que jamais rien n'est gagné d'avance et qu'en éducation, on ne peut pas tout, seul.
Ta pratique souligne aussi la nécessité d'inscrire nos engagements éducatifs dans le cadre d'un système de valeurs et d'une éthique qui normalisent nos pratiques. A mon sens, le seul cadre qui puisse nous soutenir dans une telle emprise est celui de la défense des libertés, des droits et des devoirs humains et environnementaux. C'est de ce point de vue-là que je n'ai jamais pensé que l'école pouvait être un espace neutre. Lorsque des lignes rouges sont franchies dans notre institution, à travers la parole et les actes des membres de la communauté éducative, nous devons réagir en nous référant aux normes éthiques et quelle que soit notre place dans la communauté. Il nous faut développer des pédagogies du dialogue prudentiel mettant l'accent sur « *comment je sais ce que je crois savoir* » et « *quelles conséquences pour les individus et les collectifs en démocratie* ». Encore une fois, même si nous ne pouvons pas tout, c'est aussi probablement le sens et la responsabilité sociale de notre métier d'enseignement et de formateur, pour la transformation et la justice sociale.

Savoir et douter pour aller au-delà des représentations individuelles

Jérémie : A la rentrée de la classe de 3eme, j'avais fait le lien avec le programme de géographie de 4ème à propos de l'urbanisation du monde. Dubaï que beaucoup d'élèves avaient étudiée est une ville qui s'est urbanisée de manière accélérée, en plein désert, grâce aux hydrocarbures. C'est aussi le paradis de la climatisation et des stations de ski d'intérieur en plein désert. Nous avions constaté sur le site https://ourworldindata.org/co2-emissions qu'un habitant de Dubaï émettait 5 fois plus de CO_2 qu'un Français. La réponse des élèves n'a pas été de contester ces chiffres, mais de relativiser : « *Monsieur, c'est pas ça qui pollue mais les guerres* ».

Benoît : Ce témoignage est passionnant de questionnements. Les élèves pointent ici le fait que, dans le dossier de la pollution atmosphérique au CO_2 et de l'évolution des températures de surface de la Terre, la responsabilité individuelle et la responsabilité collective ne sont pas du même ordre. Même si on peut et doit agir à l'échelle individuelle pour diminuer nos émissions de gaz à effet de serre, il est important de rappeler qu'en France, les éco-gestes individuels, même appliqués par tous, permettraient de réduire notre empreinte écologique de 25% seulement ! (Rapport Carbone 4, 2019, *Faire sa part*). Bien que ce chiffre soit encore discuté, pour réduire encore plus nos émissions, il faudrait un changement radical, structurel et politique de nos sociétés. Scolariser cette question suppose certes de manipuler des échelles de grandeur, mais aussi de questionner radicalement les échelles de responsabilités politiques, avec prudence et nuance. Ces questions appellent donc une approche qui ne craigne pas la politisation, sachant que politiser n'est ni polariser les débats, ni endoctriner. Politiser une question, c'est montrer la complexité des responsabilités et des logiques d'engagement individuel et collective, leurs forces relatives et leurs limites.

Jérémie : A chaque rentrée scolaire, depuis 25 ans, je demande aux élèves de 3ème dont je suis professeur principal, d'écrire quelques lignes sur le sujet suivant : « *décrivez la vie idéale quand vous aurez 30 ans : en couple ou pas, des enfants ou pas, le pays ou la ville où vous vivrez, votre métier…* ». D'habitude une grande partie de mes élèves répondent : je vivrais en Californie, j'aurais une belle maison avec piscine, près de la mer… ». Cette année, plus de la moitié des élèves m'ont écrit : « *je vivrai à Dubaï, je serai marié et j'aurais deux enfants ; je serai riche et je vivrai dans une maison avec une piscine, avec ma femme/mon mari, on partagera la passion du sport* ». Évidemment, nous avons échangé. « Pourquoi Dubaï » ? Si leurs réponses semblent inspirées par les influenceurs qu'ils suivent, j'avais alors réagi : « *on n'est pas prêt de lutter contre le réchauffement climatique avec vous* ». Et les élèves : « *mais pourquoi vous dites ça ? nous aussi on a le droit au bonheur !* ».

Benoît : La réflexion sur *le droit au bonheur*, quoiqu'il en coûte écologiquement, attire mon attention. Elle contraste avec ce que certains éducateurs affirment souvent : face à la crise écologique, les jeunes seraient paralysés par un sentiment d'éco-anxiété et de peur, qui nuirait à leur santé mentale et physique. La réaction de tes élèves montre que les jeunes ont différentes perceptions de la crise socio-écologique. Cette diversité est en lien probablement avec leurs situations familiales actuelles et passées, les expériences quotidiennes, leurs fréquentations sociales et leurs projections dans l'avenir ce que nous pourrions appeler "leurs identités environnementales". Une enquête du collectif de chercheurs Quantité Critique pour "La Croix" en 2021 révélait d'ailleurs statistiquement cette diversité d'identités environnementales chez les jeunes. En 2019, à la suite des manifestations mondiales de

jeunes *Friday for Future*, une enquête québécoise (Dupuis-Deru, 2020) avait montré aussi le besoin de certains jeunes d'apprendre à agir et leur colère de se sentir politiquement infantilisés par une génération adulte largement responsable de la situation actuelle. Ils en attendent beaucoup plus de l'institution scolaire et de leurs adultes référents : apprenez-nous à développer un pouvoir d'agir pour faire la différence en démocratie, au risque de creuser encore plus le déficit de confiance intergénérationnel qui caractérise la gestion politique du dossier climatique.

Jérémie : Dans mon collège classé REP, les angoisses environnementales sont bien présentes mais surtout parmi les enfants issus des IPS élevés (enfants de cadres supérieurs, d'enseignants…). D'ailleurs je note que les éco-délégués élus dans mon collège font partie surtout des familles favorisées, ce qui est moins le cas des délégués classiques. Cela ne signifie pas que les questions autour du dérèglement climatique ne sont pas présentes mais elles sont moins urgentes pour une bonne partie des élèves ; l'enjeu leur paraît plus lointain dans le temps mais aussi plus lointain dans leurs préoccupations. Pour eux, cela ne doit pas freiner leur réussite personnelle et sociale. Pour nous enseignants, il s'agit donc de leur montrer que leur choix politique (pas seulement en votant mais aussi par leur comportement) sera déterminant. Ils ne nient pas ces questions mais sont parfois fatalistes. Une élève, encore cette année, « *Monsieur, franchement, il faut voir l'état de la planète que vous nous laissez : Trump, des guerres, des dettes et le réchauffement climatique !* ». Je faisais alors cours sur la guerre totale et l'économie de guerre pendant la Seconde Guerre mondiale. Je faisais un parallèle avec la mise en place d'une économie de guerre en Ukraine depuis 4 ans.

Benoît : Nous avons déjà évoqué la diversité des perceptions de la crise écologique par les jeunes. Dans un article récent du magazine The Conversation intitulé « Du sauveur à l'éboueur » (Tregloze, 2026), l'auteure montre comment les éco-délégués eux-mêmes se perçoivent et sont perçus par les autres. S'il existe une diversité de formes d'engagement politique des jeunes, plusieurs enquêtes montrent que l'engagement au sein de l'établissement scolaire ne fait pas sens pour de nombreux élèves quelque soit leur indice de position sociale. Leur soi-disante apathie serait plutôt le résultat d'un évitement d'engagement dans une institution considérée comme incapable de développer des modes d'action politique efficaces et originaux. Une forme d'évitement pour ne pas perdre de temps et s'orienter vers des engagements extrascolaires et sociaux qui pourraient faire la différence, entre "l'éboueur" scolaire et le "sauveur" rêveur (Tregloze, 2026). Attention donc à ne pas mettre les jeunes au service de projets pensés par les adultes et pour les adultes : il en va aussi de leur degré de participation et d'engagement démocratique, et de leur alphabétisation politique. Éduquer au politique, c'est apprendre sur, par et de l'action. Nos jeunes sont capables de reconnaître les approches pédagogiques "symboliques" et celles qui pourraient devenir plus effectives. Nous devons être vigilants : notre adultocentrisme peut devenir un facteur bloquant la mobilisation citoyenne des jeunes pour sortir de l'**Anthropocène** et soutenir l'habitabilité de la planète Terre (voir article 8).

Anthropocène

Proposé et popularisé par le chimiste Paul Crutzen. ce concept désigne une nouvelle époque géologique dans laquelle l'humanité agit comme une force tellurique majeure, dont les activités cumulées perturbent et transforment durablement les équilibres et les processus fondamentaux du système Terre. Ce terme encore controversé comporte le risque de faire porter à l'ensemble de l'humanité la responsabilité de la crise socio-écologique. Certains courants de recherche lui préfèrent le terme de *capitalocène* qui vise la responsabilité du système capitaliste thermo-industrielle.

Bibliographie

Chateauraynaud, F. (2004). L'épreuve du tangible : expériences de l'enquête et surgissements de la preuve. Dans B. Karsanti et L. Quéré, La croyance et l'enquête. Aux sources du pragmatisme (p.167-194). EHESS, Raisons pratiques, 15.

Collectif de Recherche Quantité Critique (2021). Cinq jeunesses pour le climat. Etude pour le Quotidien La Croix, 14 juin 2021. https://doi.org/10.58079/t3yx

Dugast, C. et Soyeux, A. (2019). Faire sa part ? Pouvoir et responsabilité des individus, des entreprises et de l'Etat face à l'urgence climatique. Entreprise Carbone 4. https://www.carbone4.com/publication-faire-sa-part

Dupuis-Déri, F. (2020). Mobilisations de la jeunesse pour le climat au Québec : analyse des dynamiques conflictuelles à l'école. Sociologie et sociétés, 52(2), 303–325. https://doi.org/10.7202/1088759ar

Tregloze, L. (2026). Du sauveur à l'éboueur : comment les lycées perçoivent les éco-délégués. The Conversation. https://theconversation.com/

Hanaà Chalak, maîtresse de conférences, INSPE-CREN, Nantes université, Nantes (44)

Malou Delplancke, maîtresse de conférences, INSPE-CREN, Nantes université, Nantes (44)

Amélie Fortin, enseignante de SVT, Lycée Honoré d'Orves, Carquefou (44), formatrice à l'INSPE de Nantes (44)

7 • Éducation au changement climatique

Ce que les élèves nous apprennent

Introduction

Cet article résume un travail de recherche publié dans la revue Phronesis par Delplancke, M. et Chalak, H. (2024).

Le travail de recherche, présenté dans cet article, propose une réflexion approfondie sur l'éducation au **changement climatique** à partir de l'analyse des conceptions d'élèves de Terminale générale en lien avec le problème du changement climatique et ses incertitudes. L'objectif principal est double. Tout d'abord, comprendre comment les élèves appréhendent les incertitudes climatiques (scientifiques, sociales, politiques) dans un contexte de renforcement de ces enseignements. Ensuite, discuter en quoi l'analyse de ces conceptions peut guider l'action éducative, particulièrement vers une éducation plus critique et prospective. Pour les enseignants du second degré, cette recherche vise à offrir des repères pour l'enseignement du changement climatique. L'article présente d'abord les caractéristiques du problème du changement climatique selon les recherches déjà réalisées, puis les résultats de l'étude ainsi que les repères pour l'enseignement.

Le changement climatique ne se limite pas à un seul problème. Le choix est d'utiliser le singulier pour englober l'ensemble des problèmes en jeu.

Le changement climatique : un problème « super-pernicieux » et incertain

Les Questions Socialement Vives sont définies selon trois niveaux de vivacité. Dans la société : la question suscite l'intérêt des acteurs sociaux, individuels ou collectifs, et est un objet de controverse. Dans les savoirs de référence, la question est vive d'un point de vue épistémique car elle fait appel à des savoirs non stabilisés. Dans les savoirs scolaires : la double vivacité sociétale et épistémique a des résonances au sein de l'École. Les débats qui ont lieu en société sont introduits en classe, par l'effet d'une dynamique sociale ou médiatique, et transposent leur vivacité aux différents niveaux du dispositif éducatif, soulevant ainsi des interrogations nouvelles.

Le changement climatique appartient aux **questions socialement vives** (QSV) définies par leur vivacité dans la société, dans les savoirs de références et dans les savoirs scolaires (Legardez et Simonneaux, 2006). La majorité des scientifiques s'accordent sur l'origine anthropique des changements et c'est la question de leur atténuation par l'intervention humaine qui anime plutôt les discussions dans la mesure où il n'y a pas de consensus scientifique et technique ni de consensus politique sur les façons d'agir (Legardez, 2017 ; Gibert, 2020 ; IPCC, 2022). Ainsi, le changement climatique ne peut donc pas être considéré comme un problème « cartésien » se limitant aux seuls savoirs scientifiques en jeu. C'est un problème qu'il est possible de qualifier de « super-pernicieux » (Fabre, 2021), cumulant :

- une forte complexité liée au système climatique, aux interactions sociales, économiques et politiques ;
- une polysémie qui renvoie à la multiplicité de sens et d'interprétations par les acteurs ;
- une temporalité critique (décisions à prendre aujourd'hui pour des effets à long terme) ;
- une conflictualité potentielle (conflits de valeurs et d'intérêts) ;
- une absence de solution définitive et unique permettant de le résoudre.

Par ailleurs, les incertitudes sont au cœur de ce problème. Il est possible de distinguer différentes formes d'incertitudes (Nédélec et al, 2017) notamment : 1) les incertitudes épistémiques, liées aux connaissances du changement climatique et aux limites même des modèles scientifiques. Ces incertitudes sont clairement présentées dans les rapports du GIEC et discutées lors des débats qui animent la communauté des chercheurs (Kergomard, 2012). Les modèles scientifiques ne sont effectivement pas déterministes, ils « fournissent une représentation statistique de ce que pourrait être le climat dans quelques décennies » (Kergomard, 2012, p.2 ; voir articles 2 et 3) ; 2) les incertitudes socio-épistémiques concernant les conséquences sociales, économiques, environnementales et politiques des décisions (d'action ou d'inaction) prises.

Éduquer à l'incertitude climatique : un véritable défi pour l'école

La littérature scientifique souligne plusieurs tensions fortes dans l'enseignement du changement climatique.

Un fort attachement aux certitudes

L'éducation des élèves aux incertitudes climatiques n'est pas facile à envisager et pourrait rencontrer des difficultés liées à l'attachement aux certitudes de la part des enseignants (Albe et Simonneaux, 2002) et à une vision erronée, encore dominante, de l'approche scientifique dans les programmes scolaires. En effet, « la version courante du concept de science, comprise comme un stock de savoir cumulatif, issu d'un processus évaluatif neutre et aseptique - non subjectif - a dominé et domine encore largement les programmes éducatifs sur le changement climatique » (Meira et Gonzales 2019), malgré la richesse du curriculum (voir article 1). Cette vision se retrouve également chez les élèves. Pour Coquidé (2018, p. 1), « la mise en évidence d'ignorances dans les domaines scientifiques et les notions de hasard, d'incertitude et de risque peuvent contribuer à libérer d'un besoin de certitude et à développer une pensée critique et de l'autonomie ». Elle propose de développer la pensée statistique pour contribuer à former les élèves à l'incertitude et les libérer de l'« addiction aux certitudes » (Favre, 2013).

Des émotions négatives très présentes chez les élèves

Les recherches internationales (Panu, 2020) montrent que les élèves éprouvent des sentiments négatifs vis-à-vis de l'avenir comme l'éco-anxiété, l'inquiétude et la tristesse. Ces émotions sont liées à l'incertitude, à l'imprévisibilité du futur et à la perception d'une absence de leviers d'action. D'où la nécessité de les emmener à se projeter vers cet avenir de manière plus critique en évitant le catastrophisme et l'inaction parce que le « pire n'est pas certain » (Larrère et Larrère, 2020).

Les conceptions des élèves de Terminale : résultats majeurs de l'étude

L'étude repose sur un questionnaire administré à 93 élèves de Terminale générale, au début du thème « science, climat et société », dans un lycée nantais engagé dans une démarche E3D (Établissement en Démarche globale de Développement Durable). Des études ont déjà été réalisées sur le même sujet (Chartrand et al., 2003 ; Urgelli, 2009) et cette recherche propose de les actualiser. Il s'agit, pour ces élèves en fin de parcours scolaire, d'identifier leurs conceptions et d'aborder la question du point de vue des savoirs scientifiques en jeu, de la place accordée aux incertitudes de différentes natures et des actions envisagées pour réduire le changement climatique.

Une forte conscience du changement climatique, mais des savoirs fragiles

La majorité des élèves associe le changement climatique à l'augmentation et/ou au dérèglement des températures et à ses conséquences visibles. Cependant, peu d'élèves mobilisent spontanément des mécanismes scientifiques précis (effet de serre, rôle des gaz). Ils ont d'ailleurs tendance à évoquer plus facilement les conséquences et l'origine anthropique que les mécanismes en jeu. Des confusions persistent concernant le lien avec le « trou de la couche d'ozone » et les catastrophes naturelles. Au final, les élèves adhèrent massivement aux mises en garde des scientifiques (91 élèves sur 93), souvent par confiance dans l'autorité scientifique plus que par compréhension approfondie des processus en jeu.

Une réduction des incertitudes de différentes natures et un imaginaire du futur très anxiogène

Les réponses concernant les effets du changement climatique sur l'avenir de la planète mobilisent des récits marqués par la montée des eaux et la fonte des glaces, l'extinction des espèces, et des scénarios d'effondrement global. Ainsi, les élèves produisent de véritables récits catastrophistes, mêlant données scientifiques, images médiatiques et imagination. Le futur est souvent perçu comme déterminé et inéluctable. Peu de place est laissée aux différentes incertitudes. Si elles sont évoquées, cela renvoie le plus souvent à l'incertitude sur l'effet des actions (incertitudes socio-épistémiques). La certitude du pire est beaucoup plus citée qu'une incertitude des possibles liés aux choix de nos sociétés : on partage un destin commun qui est l'effondrement. « *On va tous mourir* », ou « *La terre va je pense disparaître petit à petit en même temps que tous les êtres humains*. ».

Les moyens d'action envisagés : écogestes individuels et solutions technologiques

La prédominance des écogestes

Les élèves citent majoritairement le tri des déchets, la réduction de la consommation d'énergie, l'utilisation des transports en commun et la diminution de la consommation de viande. Ces réponses témoignent de l'influence des discours institutionnels et

scolaires centrés sur la responsabilité individuelle dans le cadre de l'éducation au développement durable (EDD). Différents didacticiens ont déjà dénoncé la tendance réductrice à se centrer sur la sphère des comportements individuels au détriment d'un regard plus systémique, qui interroge les modes de vie, les valeurs et les responsabilités afférentes dans l'organisation des sociétés (Simonneaux, 2010). Dans cette logique, il s'agit non pas de réviser ou de dépasser, mais bien d'améliorer le « système » afin de le rendre durable, en réduisant les dégâts liés à son développement (Comby, 2019). Les résultats de l'étude montrent effectivement une faible prise en compte des dimensions structurelles et politiques. Peu d'élèves évoquent les transformations des modes de production, les choix économiques, les rapports de pouvoir et les décisions politiques. Cependant, beaucoup d'élèves citent des écogestes tout en les jugeant inefficaces. L'action individuelle est évaluée comme peu puissante, alors que l'action collective est jugée plus efficace. « *Moi, simple lycéen, n'y peut rien, je n'ai aucun pouvoir* ». Cette contradiction nourrit une dissonance cognitive et renforce le découragement ainsi que le sentiment d'impuissance prégnant.

Le mythe de la solution technologique

Certaines réponses traduisent une foi dans la technique (énergies « propres », énergie « vertes », innovations futures, fusion nucléaire). Il suffirait de « substituer les énergies fossiles par des énergies renouvelables ». Il s'en dégage une approche statique et réductrice des problématiques, pouvant conduire à une vision technocratique et dépolitisée du problème. Or, cette vision peut se poser comme un obstacle à une prise en compte des questions controversées. Le problème est alors ramené à des calculs d'optimisation, sans prise en compte des « enjeux sous-jacents concernant les intérêts de chaque partie » (Fabre, 2014) sans considération des conflits d'usage générés (exemple des biocarburants), sans se questionner sur les finalités (à quoi sert cette énergie qu'on exploite ? est-ce réellement pour satisfaire des besoins essentiels ?). Il y a un enjeu fort à éviter une réduction du problème climatique à des solutions simples et techniques, déconnectées des choix de société.

Enseigner les incertitudes : pistes clés pour le second degré

À partir de ces résultats, il est possible de dégager plusieurs conditions pour une éducation transformative et critique.

Redonner une place centrale aux incertitudes

Les incertitudes inhérentes au changement climatique impliquent qu'il ne s'agit pas seulement de transmettre des résultats scientifiques stabilisés, mais d'aider les élèves à comprendre la nature même de la science, du problème du changement climatique en particulier, de ses débats et de son inscription dans la société. Par exemple, il est possible de travailler à partir d'étude de modèles scientifiques et de scénarios actuels et passés (proposés par le GIEC) pour montrer que les projections climatiques intègrent des incertitudes et des hypothèses en particulier sur les choix de société (incertitudes socio-économiques). Les discussions qui en découlent pourraient encourager les élèves à distinguer les certitudes (comme l'existence de l'effet de serre) des incertitudes (comme l'évolution des précipitations de telle ou telle région), tout en développant leur capacité à argumenter. De même, l'analyse de controverses socio-scientifiques ou la mise en place de débats sur ces controverses permet d'illustrer les désaccords comme partie intégrante de la construction du savoir scientifique (voir article 6).

Éduquer aux incertitudes, ce n'est pas affaiblir la science, mais montrer comment les connaissances se construisent, travailler les notions de probabilité, de scénarios, de modèles (Coquidé, 2018) et accepter la pluralité des futurs possibles (Pena-Vega, 2014). Dit autrement, il est nécessaire d'apprendre à travailler avec et sur l'incertitude sans la nier ni l'utiliser comme ressort de peur ou d'inaction.

Développer une pensée prospective

L'analyse des conceptions amène à penser la question climatique en permettant une prise de recul vis-à-vis des slogans tout faits et des courants catastrophistes. Pour ne pas céder au découragement et à l'éco-anxiété (obstacle à la **pensée prospective**), il conviendrait de privilégier des stratégies pédagogiques valorisant le développement de la pensée critique et de l'action citoyenne (Desmarais et al., 2022). En outre, redonner des choix entre plusieurs scénarios possibles suppose de travailler à la fois l'exercice d'une pensée prospective (Chalmeau et al., 2018; Hervé, 2022) et d'éduquer au choix. L'objectif peut être d'engager les élèves à exercer une citoyenneté scientifique et politique qui allie analyse critique des situations et réflexivité sur son propre rapport aux savoirs et à l'action (Delplancke et Chalak, 2022). Ainsi, il est nécessaire de les aider à penser un futur non déterminé, à comparer des scénarios et à discuter leurs conséquences.

La pensée prospective

« La pensée prospective est au cœur de la complexité, il ne s'agit pas seulement d'une capacité à anticiper le probable, mais également à se projeter dans le temps, à simuler les effets temporels possibles des actions, à ressentir l'articulation présent-passé-futur, ce qui conduit à interroger toutes les participations des acteurs, le partage des responsabilités et des interdépendances. » (Hervé et al., 2021).

Différentes stratégies d'adaptation pour outiller les acteurs du milieu scolaire sont identifiées par Desmarais et al. (2022), axées sur les émotions (légitimer et explorer l'expérience, valider l'expérience vécue, discuter, développer du soutien social, prendre soin de soi et passer du temps dehors), le problème (décomposer le problème et identifier des actions concrètes, fournir de l'information, encourager les actions locales) et la signification (trouver un sens positif, réimaginer le futur, donner des exemples positifs).

Expliciter les valeurs en jeu

Les discours de quelques élèves mobilisent déjà des valeurs fortes comme la justice climatique et sociale « *Ce ne sont pas les principaux responsables du dérèglement qui en pâtissent le plus. Les pauvres et les pays peu développés sont les plus touchés alors que les pays riches, pourtant responsables, sont bien à l'abri* », la justice intergénérationnelle « *Je trouve ça aussi injuste que les plus jeunes générations aient à subir les erreurs du passé* », la sobriété et la responsabilité. L'enseignement peut s'appuyer sur ces valeurs, les faire émerger, les expliciter et les interroger pour distinguer clairement ce qui relève des savoirs scientifiques et ce qui relève des choix éthiques et politiques.

Re-politiser la question climatique

Il apparaît nécessaire de prendre en compte la dimension politique du changement climatique et de ne pas limiter son analyse à des aspects techniques, marchands ou moraux, afin de s'intéresser à ses causes profondes et structurelles. Selon nous, cette éducation au politique pourrait s'appuyer sur plusieurs leviers (Delplancke et Chalak, 2025) :

1) relier les comportements individuels aux structures sociales, et donc dépasser l'individualisation d'un problème collectif, qui est en soi, une dépolitisation politiquement située,
2) interroger les modèles économiques et les pratiques socio-environnementales qui s'y rattachent dans une perspective critique,
3) débattre des choix publics dans une réflexion sur le sens du bien commun et de la justice sociale.

Des projets transdisciplinaires, comme la **simulation de conférences climatiques** (COP), leur permettent d'identifier que la science éclaire des choix collectifs sans les imposer. En outre, il y a dans le discours de certains élèves, une prise de conscience de la dimension politique de la question climatique, sur laquelle il est possible de prendre appui : « *revoir le système social/politique/économique du capitalisme* », « *notre modèle économique capitaliste (surconsommation) est étroitement lié aux problèmes climatiques* ».

Pour des exemples de simulation de conférences climatiques, voir par exemple : https://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/eedd/simulation-des-conferences-des-parties-sur-le-changement-climatique

Conclusion

L'article montre que les élèves sont lucides, inquiets et engagés, mais souvent enfermés dans des récits catastrophistes et une vision individualisée de l'action. Pour les enseignants du second degré, ces résultats invitent à enseigner explicitement le changement climatique comme un problème complexe et discuter avec les élèves de la nature des incertitudes et des certitudes, à dépasser les écogestes comme horizon unique ainsi que le catastrophisme anxiogène et à former des élèves capables de penser, débattre et choisir dans l'incertitude. L'éducation aux incertitudes apparaît ainsi non comme un obstacle, mais comme un levier majeur de formation citoyenne et critique.

Bibliographie

Albe, V., et Simonneaux, L. (2002). L'enseignement des questions scientifiques socialement vives dans l'enseignement agricole : Quelles sont les intentions des enseignants ? *Aster*, *34*, 131-156. https://doi.org/10.4267/2042/8791

Chalmeau, R., Mainar, C. V., Léna, J.-Y., Julien, M.-P., Bédouret, D., et Calvet, A. (2018). Des démarches d'enquête pour explorer son territoire dans le futur. In J. Simoneaux, *La démarche d'enquête* (p. 83-102). Éducagri éditions.

Chartrand, C., Garneau, M., & Hudon, C. (2003). Intégration de l'étude des changements climatiques à l'enseignement au premier cycle du secondaire : L'exemple du Saint-Laurent. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, *4*(2). https://doi.org/10.4000/vertigo.4553

Comby, J.-B. (2019). Retour sur la dépolitisation des enjeux écologiques. In Fondation Copernic, *Manuel indocile de sciences sociales* (p. 470-480). La Découverte.

Coquidé, M. (2018). Ignorance, hasard, incertitude, risque : Des enjeux pour une éducation scientifique émancipatrice. *Recherches en éducation*, *34*. https://doi.org/10.4000/ree.1837

Delplancke M. et Chalak H. (2022). Potentialités et limites des curricula de SVT : quelles contributions des questions environnementales pour une éducation au politique ? *Éducation et socialisation. Les Cahiers du CERFEE,* 63. DOI : 10.4000/edso.18529

Delplancke, M. et Chalak, H. (2024). Éduquer aux incertitudes climatiques : comment l'étude des conceptions des élèves peut-elle guider l'action éducative ? *Phronesis*, *13*(3), 50-64.

Delplancke, M. et Chalak, H. (2025) La fresque du climat pour former les enseignants à l'éducation au changement climatique : quelle éducation au politique possible ? *Éducation et didactique*, 19. DOI: 10.4000/14b8a

Desmarais, M.-É., Rocque, R., et Sims, L. (2022). Comment faire face à l'éco-anxiété : 11 stratégies d'adaptation en contexte éducatif. *Éducation relative à l'environnement. Regards - Recherches - Réflexions*, *17*(1). https://doi.org/10.4000/ere.8267

Fabre, M. (2014). Les « Éducations à » : Problématisation et prudence. *Éducation et socialisation*, *36*. https://doi.org/10.4000/edso.875

Fabre, M. (2021). Problématologie des questions socialement vives. Repères épistémologiques pour l'école. *Revue française de pédagogie*, *210*, 89-99. https://doi.org/10.4000/rfp.10118

Favre, D. (2013). L'addiction aux certitudes, ce qu'elle nous coûte et comment s'en sortir. Yves Michel.

Gibert, A.-F. (2020). *Éduquer à l'urgence climatique* (n° 133; Dossier de veille de l'IFÉ). ENS de Lyon. http://veille-et-analyses.ens-lyon.fr/DA-Veille/133-mars-2020.pdf

Hervé, N., Panissal, N., Schouver, F. et Gueziec, C. (2021). Développer la pensée prospective ? *Recherches & éducations*, 23. https://doi.org/10.4000/rechercheseducations.11878

Hervé, N. (2022). Penser le futur. Un enjeu d'éducation pour faire face à l'Anthropocène : L'enquête prospective à l'école. Le bord de l'Eau.

Kergomard, C. (2012). Changement climatique : Certitudes, incertitudes et controverses. *Territoire en mouvement, revue de géographie et aménagement*, 12, 4-17. https://doi.org/10.4000/tem.1424

IPCC (2022). Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York. DOI: 10.1017/9781009157926.001

Larrère, C., et Larrère, R. (2020). *Le pire n'est pas certain.* Premier Parallèle.

Legardez, A. (2017). Propositions pour une modélisation des processus de didactisation sur des Questions Socialement Vives*. Sisyphus-Journal of Education, 5(2), 79-99.* https://doi.org/10.25749/sis.11936

Legardez, A., et Simonneaux, L. (2006). *L'école à l'épreuve de l'actualité*. ESF.

Meira, P., et González Gaudiano, É. J. (2016). Les défis éducatifs du changement climatique : La pertinence de la dimension sociale. *Éducation relative à l'environnement : regards - Recherches - Réflexions*, *13*(2). https://www.erudit.org/fr/revues/ere/2016-v13-n2-ere04029/1052539ar/

Nédélec, L., Simonneaux, L., & Molinatti, G. (2017). Éduquer dans un monde incertain : quel cadre pour comprendre comment les enseignants appréhendent les incertitudes des questions socialement vives ? *Sisyphus*, 5(2), 10-24.

Panu, P. (2020). Anxiety and the Ecological Crisis : An Analysis of Eco-Anxiety and Climate Anxiety. *Sustainability*, *12*(19), 7836. https://doi.org/10.3390/su12197836

Pena-Vega, A. (2014). À l'épreuve des incertitudes. *Communications*, *2*(95), 5-8. https://doi.org/10.3917/commu.095.0005

Simonneaux, J. (2010). Pour aller au-delà des « petits gestes ». *Cahiers pédagogiques*, 478, 13-15.

Urgelli, B. (2009). *Les logiques d'engagement d'enseignants face à une question socioscientifique médiatisée : Le cas du réchauffement climatique* [Thèse de doctorat, École normale supérieure Lettres et Sciences Humaines-ENS-LSH Lyon]. HAL thèse. https://theses.hal.science/tel-00555072

François Dessart, maitre de conférences, S2HEP, Lyon 1 université, Lyon (69)

Nicolas Lechopier maitre de conférences, S2HEP, Lyon 1 université, Lyon (69)

Lise Pelletier, enseignante de SVT, collège les Allobroges, La roche sur Foron (74)

Olivier Perru, Professeur émérite, S2HEP, Lyon 1 université, Lyon (69)

4 voix pour discuter sur les incertitudes et les doutes

François Dessart est Didacticien des sciences, et Responsable du projet « LéA-IFÉ SchémaClim » : Narration et schématisation du réchauffement climatique en classes de primaire et secondaire.

Nicolas Lechopier est Philosophe, épistémologue, spécialiste de l'éthique de la santé.

Lise Pelletier est enseignante de SVT et membre du collectif LéA-IFÉ SchémaClim : Narration et schématisation du réchauffement climatique en classes de primaire et secondaire.

Olivier Perru est Philosophe des sciences.

8 • Épistémologie de l'incertitude et didactique des transitions

Entre maîtrise des incertitudes et reconnaissance d'une instabilité systémique

La crise socio-écologique contemporaine impose une mutation profonde des cadres de pensée qui ont structuré nos rapports à la modernité, en particulier industrielle. Au cœur de cette transformation, la gestion de l'incertitude et les liens plus ou moins étroits qu'elle entretient avec le doute, apparait comme un des pivots conceptuels essentiels, tant dans le monde de la recherche scientifique que pour l'éducation. Cet article s'appuie sur un entretien mené à l'université Lyon 1 - Inspé de Lyon entre Olivier Perru, Nicolas Lechopier, François Dessart, et Lise Pelletier. La synthèse que nous proposons met en lumière une tension fondamentale entre une volonté de maîtrise des incertitudes liées à la vie humaine, héritée du XVIIe siècle et la confrontation à une instabilité systémique récente, propre à l'Anthropocène. Cette analyse se propose d'explorer quelques dimensions philosophiques, historiques et biologiques de cette tension, afin de dégager des repères pour la recherche, l'enseignement et l'éducation aux transitions socio-écologiques, qui ne se limitent pas au simple constat, mais qui propose des outils pour un engagement des futurs citoyens dans l'action, collective et robuste.

Doute et incertitude(s)

Comment faire face à l'incertitude inhérente aux sciences du climat ? Qu'est-ce qu'un doute raisonnable ? A partir de quand le scepticisme vis-à-vis des modèles scientifiques est-il devenu raisonnable ? La pensée moderne s'est construite sur une distinction stricte entre le sujet-individu connaissant et l'objet de connaissance. Revenir sur aux conceptions fondatrices de René Descartes et Blaise Pascal pourrait-il permettre d'éclairer ces questions ?

Pour Descartes, le doute n'est pas une fin en soi, mais un instrument permettant d'atteindre une certitude. Dans ses *Principes de la philosophie*, il dit la nécessité de se délivrer de nos jugements préconçus pour parvenir à la vérité. Le doute cartésien est donc une décision volontaire du sujet, une démarche « cathartique » visant à écarter tout ce qui présente le moindre soupçon d'incertitude. Cette perspective place l'incertitude du côté de l'objet ou de la perception, tandis que le doute appartient au libre arbitre du sujet. Cette approche cartésienne, qui se focalise sur le sujet, en se posant face au monde pour le maîtriser par la raison et le calcul, s'accommode mal d'une science fondée sur des modèles complexes. Ce que l'on sait aujourd'hui du problème climatique (par exemple ce que l'on trouve dans les rapports du GIEC) est justement à la fois suffisamment fondé et justifié pour ne plus tarder à agir, mais pour autant, ce n'est pas assez précis pour donner lieu à des certitudes. Dans le contexte de la transition écologique, la croyance exagérée en la technoscience pour « régler » le problème climatique par une optimisation sans cesse accrue et la recherche de certitude absolue gênent la compréhension du fonctionnement du système climatique terrestre. Et la complexité et l'instabilité de ce système semblent laisser place à la prolifération du doute.

À l'opposé de cette volonté de maîtrise, la pensée de Pascal reconnaît l'incertitude comme une condition intrinsèque de l'existence humaine. Pascal critique la stérilité d'une physique purement mécaniste prétendant tout expliquer sans vérification expérimentale constante, et ignorant le sens et la finalité de l'action humaine dans la nature. Selon ce philosophe, l'humain se trouve entre l'erreur et la vérité. L'incertitude n'est pas un poison à éliminer, mais une donnée avec laquelle il faut parier et agir. Au contraire de l'approche cartésienne, la connaissance selon Pascal n'a pas pour fonction de nous extraire d'un monde incertain, mais au contraire de nous permettre de nous y positionner avec humilité et une certaine finesse.

La société du risque

Que nous vivions dans une société du risque est une évidence. En revanche, l'idée que notre époque serait celle d'une « prise de conscience » tardive des risques environnementaux est remise en cause par les travaux d'histoire de l'environnement, tels ceux de Jean-Baptiste Fressoz (Fressoz, 2024 ; Fressoz et al. 2025). La modernité s'est caractérisée par une forme de désinhibition extractiviste, qui fait que nous ne sommes aujourd'hui ni moins polluants, ni plus vertueux, ni plus sobres que les générations antérieures. Les atteintes à l'environnement n'ont pas attendu les lanceurs d'alertes contemporains pour être un sujet de préoccupation. Les nuisances liées aux extractions de ressources (bois, houille, etc.) et aux fabrications des produits (tanneries, colorants, etc.) étaient importantes, et ont suscité de nombreuses contestations. Sous l'Ancien Régime, l'installation d'une fabrique polluante était soumise à des enquêtes de voisinage et à des règlements coutumiers stricts. La « réflexivité » environnementale n'était pas absente ; elle était incarnée dans des pratiques de prudence territoriale.

Ce qu'on appelle l'Anthropocène — l'ère où l'être humain devient lui-même une force géologique qui, par son action, impacte sur l'évolution du système terrestre — découle du changement d'échelle des dégradations de l'environnement à partir de la révolution industrielle. Dans cette perspective, c'est moins « l'être humain » qu'une certaine vision du développement des sociétés et des infrastructures qui pose question. D'ailleurs, l'ère actuelle serait plutôt à baptiser « **Capitalocène** », la catastrophe écologique est moins le funeste destin de l'humanité que le produit historique de choix techniques, scientifiques et politiques portés par quelques pays du globe. Ce basculement a été rendu possible par ce que Fressoz appelle une « désinhibition ». Il s'est agi de minorer les résistances sanitaires et écologiques pour offrir le monde au déploiement du capitalisme technique. Et pour faire place au progrès, inéluctable et constant, on a confié aux ingénieurs d'État le soin d'en gérer les dégâts. La science est alors mobilisée non pour protéger la santé, mais pour définir des « seuils » et des « normes » rendant le risque industriel « gérable », assurable et donc aussi « acceptable ». Elle transforme des dangers réels en incertitudes bien administrées.

Capitalocène

Pour ne pas incriminer l'ensemble de l'humanité vis-à-vis des causes à l'origine du dérèglement climatique, certains auteurs proposent de préférer le terme "Capitalocène" à celui d'Anthropocène. Il permet de ce fait de cibler la période où les transformations climatiques et environnementales sont principalement dues au système capitaliste et non pas aux êtres humains sans distinction, les pays fortement industrialisés ayant une responsabilité très nettement supérieure aux autres pays. De nombreux autres termes sont également utilisés pour rendre compte d'autres approches des causes premières des dérèglements du climat et de l'environnement, depuis l'Anglocène jusqu'à l'Androcène.

L'incertitude face à la complexité et la modélisation

Le problème du réchauffement climatique oblige à manipuler des modèles d'une grande complexité. L'incertitude ne provient pas seulement des mesures, mais de la nature même des systèmes couplés (océan, atmosphère, biosphère) qui présentent des comportements non linéaires et des points de bascule.

Les limites des modèles prédictifs

Bien que la puissance de calcul augmente, la précision des projections se heurte à l'imprévisibilité inhérente au vivant et aux systèmes naturels instables (voir articles 2 et 3). « L'incertitude projetée » sur le futur, qui relève de la probabilité, et « l'indétermination » propre aux systèmes naturels, produisent ainsi une tension entre la performance des modèles et la réalité des phénomènes.
L'idée qu'une augmentation de la performance humaine dans la construction des modèles permettrait d'anticiper pleinement le climat futur reste de fait illusoire. Le changement climatique va plus vite que notre capacité à le modéliser de façon exhaustive et prédictive, ce qui place la décision politique dans une zone de flou permanent.

Le piège de la technoscience

Il existe une confusion fréquente entre la science (recherche de vérité scientifique) et la technoscience (production d'effets et d'objets). La technoscience tend à proposer des solutions avant même d'avoir stabilisé la compréhension du problème.
Stéphane Foucart met en garde contre cette tendance au « solutionnisme technologique » qui prétend, par exemple, remplacer les insectes pollinisateurs par des drones au lieu de traiter la cause de leur disparition.
Mais le monde technoscientifique ne nourrit-il pas ainsi une fuite en avant ? N'est-ce pas là l'expression de cette désinhibition persistante évoquée plus haut ?

Performance vs robustesse

Notre discussion en arrive ainsi à opposer les mondes « performants » et les mondes « robustes », en s'inspirant notamment des travaux du biologiste Olivier Hamant (2022). Ce changement de paradigme est présenté comme une réponse vitale à l'incertitude de l'Anthropocène.

La pathologie moderne de l'optimisation

La performance, définie par l'efficience (faire le maximum avec le minimum de moyens), est devenue une injonction systématique dans nos sociétés. Mais l'optimisation à outrance fragilise les systèmes en supprimant toutes les marges de manœuvre. Un système « suroptimisé » est incapable de faire face aux fluctuations imprévues. Olivier Hamant (2022) prend l'exemple des hôpitaux gérés en flux tendus : performants en temps normal, ils deviennent catastrophiques lors d'une crise sanitaire car ils n'ont aucune capacité d'adaptation.

La robustesse : stratégie de survie du vivant face à l'incertitude ?

Le vivant ne s'est pas construit sur la performance maximale, mais sur la robustesse. Un système robuste est celui qui maintient sa stabilité malgré les fluctuations de son environnement. En biologie, cela se traduit par des stratégies qui semblent « inefficaces » du point de vue économique :

- La redondance : posséder plusieurs copies ou procédures pour une même fonction.
- L'hétérogénéité : accepter des tensions localisées et des incohérences qui renforcent la stabilité globale.
- La lenteur et les stocks : conserver des réserves plutôt que de viser le zéro stock. Détendre les flux.

> Le corps humain est un exemple frappant : de nombreuses voies métaboliques sont plus efficaces à 40°C, mais le corps humain fonctionne en moyenne à 37°C, ce qui confère une marge de manœuvre, notamment en cas d'infection (fièvre). La performance maximale est donc suicidaire dans un monde qui change.

Comparaison des systèmes économiques et biologiques engagés dans la lutte contre les pathologies

Caractéristique	Logique de Performance (Modèle économique actuel)	Logique de Robustesse (Modèle du vivant)
Objectif	Efficience maximale à court terme	Viabilité et stabilité à long terme
Structure	Centralisée, spécialisée, sans marges	Modulaire, polyvalente, redondante
Réponse aux fluctuations	Rupture ou effondrement	Adaptation et maintien du système
Coût	Payé par les écosystèmes et l'humain	Investi dans la résilience
Vision du monde	Monde stable aux ressources infinies	Monde incertain aux ressources finies

Dimension sociale et politique : au-delà de la littératie scientifique

La transition ne dépend pas seulement de la diffusion des connaissances. Foucart et al. (2020) soulignent que le lien entre « culture scientifique » et « action écologique » est loin d'être évident. Le cas de scientifiques de haut niveau devenant climatosceptiques montre que l'accumulation de savoirs ne prémunit pas contre le déni ou les intérêts idéologiques. Et nous sommes pourtant nombreux, malgré notre connaissance du problème climatique, à ne pas parvenir à nous engager pleinement dans l'action. Cela est-il dû au coût cognitif que représente cet engagement ? Ne déléguons-nous pas trop facilement la responsabilité de trouver des solutions aux scientifiques ? Qu'est-ce qui nous pousser à douter de notre capacité à régler le problème ?

La science de l'ignorance (Agnotologie)

Un certain nombre d'acteurs du secteur industriel (tabac, pesticides, énergies fossiles…) jouent avec l'incertitude (dans son acception cartésienne) afin de produire une nouvelle forme de doute et ainsi de retarder les mécanismes de régulation qui

seraient susceptibles de s'enclencher au sein du système. Ces stratégies agnotologiques visent à « noyer le poisson » en finançant des études contradictoires ou en plaçant des experts à des endroits stratégiques. Ce doute malsain exploite le fait que les énoncés scientifiques sont provisoires, prudents et circonstanciés, afin d'empêcher la mise en œuvre de l'action politique.

Des croyances et des désirs construits

Nos choix collectifs reposent sur des croyances partagées, notamment celle de la croissance infinie au sein d'un marché « vertueux ». Sortir de la crise implique donc de déconstruire ces conventions pour en reconstruire de nouvelles, fondées sur une autre échelle de valeurs que celle de la performance.

Vers une culture de la défiance exigeante

Pour rétablir un lien sain entre les sciences et la société, Bensaude-Vincent et Dorthe (2023) proposent de passer d'un climat de « méfiance » à une « culture de la défiance exigeante ».

Critique du « *deficit model* »

Le modèle classique du « **deficit model** » suppose que si le public doute, c'est par ignorance. Cette vision traite le citoyen comme un récepteur passif et crédule. À l'inverse, la « défiance exigeante » valorise tous les savoirs (y compris les savoirs profanes) et les met au défi de l'argumentation.

La preuve par l'épreuve

Plutôt que d'administrer une preuve unilatérale du haut de la chaire, la science doit accepter d'être « mise à l'épreuve » collectivement. Cela suppose que les chercheurs sortent de leur tour d'ivoire pour affronter les préoccupations réelles des publics concernés. C'est à ce prix, celui d'une science réellement collaborative et non seulement participative, que l'autorité des faits pourra être restaurée dans un cadre démocratique.

Deficit Model

Il est défini par Chavot et Masseran comme un modèle pour lequel "il suffisait de fournir des informations scientifiques à des publics prétendument ignorants pour les convaincre de l'utilité des développements techno-scientifiques. (Chavot et Masseran, 2010). Ces chercheurs précisaient déjà en 2010 que ce concept était désuet pour rendre compte des enjeux de diffusion des savoirs scientifiques dans la société. En particulier, en ce qui concerne le changement climatique, les connaissances ne sont pas à elles seules les éléments déterminants d'une compréhension du problème.

Enjeux didactiques et pédagogiques de l'enseignement des transitions socio-écologiques

L'enseignement des transitions socio-écologiques soulève des questions cruciales sur la posture, le rôle et les compétences des enseignants face à des élèves de plus en plus conscients, mais aussi inquiets, des périls futurs (voir article 7).

L'humilité épistémologique comme rempart au relativisme

En ne se présentant pas comme le détenteur d'une vérité absolue, l'enseignant guide ses élèves dans la construction de savoirs raisonnés et questionnés, dont il donne à comprendre la nature et l'origine.
En donnant accès à la nature des incertitudes en sciences, il aide ses élèves à distinguer le « doute raisonnable » (celui des chercheurs) du « doute déraisonnable » (celui des négationnistes).
Par cette forme d'humilité, il renforce la crédibilité du message plutôt que de l'affaiblir.

Répondre à l'éco-anxiété par le collectif

L'éco-anxiété est une réponse manifeste chez les jeunes face au stress global que représente les crises environnementales. En ne se limitant pas à une éducation qui documente le problème (qui augmente l'anxiété), un enseignement visant des solutions et le passage à l'action malgré les incertitudes, passe par une valorisation de l'intersubjectivité et de la confiance dans la communauté. Ce passage à l'action doit être au cœur de la pédagogie. Passer du « petit geste » individuel (souvent culpabilisant et peu efficace) à des projets collectifs locaux, ciblant la robustesse, permet aux élèves de reprendre du pouvoir d'agir (voir article 7).

Conclusion

Nos échanges révèlent que l'incertitude n'est pas un défaut de connaissance à corriger. Si la modernité cartésienne a cherché à éliminer le doute pour asseoir sa domination sur la nature, l'Anthropocène nous rappelle violemment à la prudence pascalienne. La trajectoire de nos sociétés, marquée par une « désinhibition » historique, nous a conduit à privilégier la performance au détriment de la robustesse des systèmes vivants. Enseigner et chercher dans ce contexte exige un changement de posture radical : il ne s'agit plus de « gérer » l'environnement comme un stock de ressources, mais d'apprendre à habiter un monde fluctuant et incertain. La transformation de la méfiance sociale des sciences en une défiance exigeante et collaborative est peut-être la condition d'un nouveau pacte démocratique. Pour les éducateurs et les enseignants, le défi est de former des esprits capables de naviguer dans l'incertain sans tomber dans le nihilisme, en cultivant une « justesse » du doute et une force du collectif. La transition socio-écologique sera, avant tout, une transition de notre rapport au monde : du fantasme de la maîtrise vers un réalisme vis-à-vis de la robustesse.

Bibliographie

Bensaude-Vincent, B., et Dorthe, G. (2023). Les Sciences dans la mêlée : Pour une culture de la défiance. Seuil, Paris.

Chavot, P., & Masseran, A. (2010). Engagement et citoyenneté scientifique : Quels enjeux avec quels dispositifs ? Questions de communication, (17), Article 17. https://doi.org/10.4000/questionsdecommunication.374

Descartes, R. (2016). Les principes de la philosophie. Librairie Philosophique. Vrin, Paris.

Foucart, S., Horel S. et Laurens S., (2020). Les Gardiens de la raison. Enquête sur la désinformation scientifique, La Découverte, (ISBN 978-2-348-04615-5)[37].

Fressoz, J. B., Jarrige, F., Le Roux, T., Marache, C., Vincent, J. (2025). La nature en révolution. Une histoire environnementale de la France, 1780-1870 (vol. 1). La Découverte, 9782348084386. ⟨hal-05154916⟩

Fressoz, J. B., (2024). Sans transition. Une nouvelle histoire de l'énergie, Seuil, Paris.

Hamant, O. 2022. La Troisième voie du vivant. Odile Jacob, Paris.

IPCC (GIEC). 2023. https://www.ipcc.ch

Pascal, B. (1662). Le Manuscrit des Pensées de Pascal, 1662, éd. fac-similé, publiée par Louis Lafuma, Paris, Les libraires associées, 1962.

Conseils de lecture complémentaire

Farina, M, et Pasquinelli, E. 2020. Art de faire confiance. Odile Jacob, Paris. https://www.odilejacob.fr/catalogue/sciences/neurosciences/art-de-faire-confiance_9782738152671.php.

Soraya, B. et Henry, E. 2022. Politiques de l'ignorance. PUF, Paris. https://www.puf.com/politiques-de-lignorance.

Treiner, J., Conway. E, M., Oreskes. N. 2021 Les Marchands de doute. | PUF, Paris. Paris. https://www.puf.com/les-marchands-de-doute.

Manifeste du Muséum. 2026. La nature à ses justes valeurs. https://www.mnhn.fr/fr/manifeste-du-museum-la-nature-a-ses-justes-valeurs

Marion J., L. 1993. Sur l'ontologie grise de Descartes. Vrin. Paris.

Morizot, B. 2020. Manières d'être vivant. Actes Sud, Paris. https://actes-sud.fr/catalogue/manieres-detre-vivant-015884.

Selosse., M-A. 2026. De la biodiversité comme humanisme. https://www.fnac.com/a22178837/Marc-Andre-Selosse-De-la-biodiversite-comme-un-humanisme

Exposition

https://jeudepaume.org/evenement/martin-parr-global-warning/

Nicolas Hervé, professeur des universités, ENSFEA, Toulouse (31)

Corinne Perret-Thomas, enseignante de SVT, Lycée docteur Charles Mérieux, Lyon (69)

9 • Trans'Arts, expériences sensibles

Le théâtre documentaire comme base de scénario pédagogique : à la rencontre de la pièce Marées et de la compagnie Safar

Dialogue avec l'artiste, Lukaz Nedeleg

La controverse des algues vertes

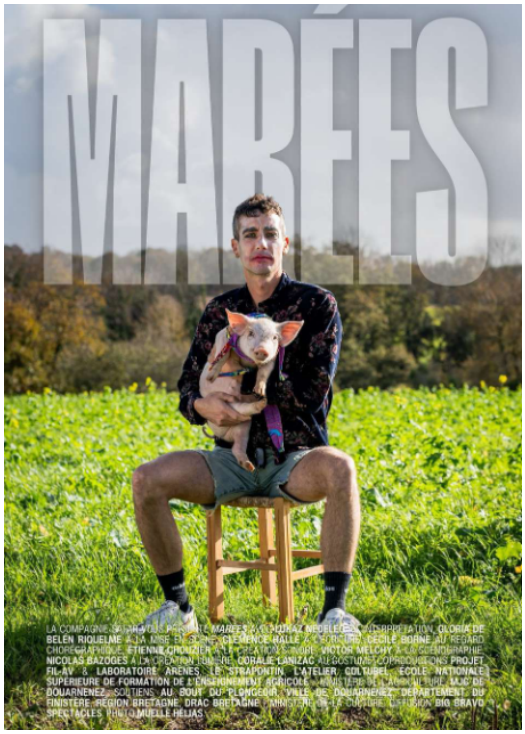
Elle porte sur le lien entre la prolifération massive d'algues (dont la décomposition est toxique) sur les plages de Bretagne, et l'excès de nitrates dans l'eau et les sols issus de pratiques agricoles intensives et de l'élevage porcin. Depuis les années 1970, des agriculteurs, des pouvoirs publics, des scientifiques et des associations environnementales s'opposent sur les responsabilités, les impacts sanitaires, et les mesures à mettre en place pour réduire la pollution.

Comédien de la compagnie SAFAR, docteur en sciences de l'éducation, auteur d'une thèse intitulée « L'éducation aux sciences dans un monde incertain » et soutenue en 2018 à l'Université de Toulouse.

« *Cette expérience sensible, elle est essentielle pour dégonfler la dimension parfois très violente de la question vive* »
Lukaz Nedeleg

À quel moment les questions écologiques sont-elles entrées dans ton parcours, personnel ou artistique ?

Elles ont toujours été là. C'est lié à mon histoire personnelle, ancrée dans le Finistère : ma famille maternelle est constituée de paysans depuis plusieurs générations, quand ma famille paternelle est tournée vers les métiers de la mer depuis au moins aussi longtemps. L'enjeu écologique est donc là depuis toujours parce que, dans la culture familiale, on a toujours pensé l'existence, le mode de vie, en lien avec le milieu. On ne peut pas faire autrement.
Je me souviens aussi d'un souvenir marquant. J'ai neuf ans. J'entends à la télé qu'un McDonald's a été démonté à Millau par un groupe de militants, José Bové en tête. Ça a été un choc, pour moi, de constater que des gens pouvaient s'engager aussi fortement pour l'écologie : ceci marque le début de ma réflexion sur le sujet, et ça ne m'a pas quitté depuis.



Crédit : Muelle Hélias Cie Safar

Peux-tu nous présenter la pièce Marées : son point de départ, ce qu'elle raconte, et la forme que vous avez choisie sur scène ?

Marées est née d'une sollicitation : Clémence Hallé cherchait une compagnie de théâtre pour porter le texte issu de sa recherche sur la **controverse des algues vertes**. Elle est venue voir un de nos spectacles fin 2024 et elle m'a ensuite rapidement parlé de son projet. Au départ, cela devait juste être un travail de commande, avec un petit budget. Rapidement, quand on a constaté notre propre emballement, et puis aussi l'intérêt des gens qui nous entourent, dans notre écosystème du spectacle vivant, le projet a grossi, et grossi… Cela est dû au thème de la pièce, mais aussi à une nécessité de discuter de cette controverse sur le territoire, nécessité à laquelle personne ne répond aujourd'hui.
Clémence traite dans son texte d'un événement assez drôle, somme toute : une double manifestation qui a eu lieu le 19 septembre 2010, sur la plage de Sainte-Anne-la-Palud, au fond de la baie de Douarnenez. D'abord, les écolos appelaient à une manifestation régionale contre les algues vertes. Ensuite, la FDSEA (Fédération Départementale des Syndicats d'Exploitants Agricoles) du Finistère appelait à une manifestation contre les gens qui sont contre les algues vertes, une sorte de contre-rassemblement.
Le problème, c'est que les deux sites choisis pour les deux manifs sont desservis par la même route, et donc quasiment le même parking …
Ça a été un joyeux bordel et, rapidement, des écolos se sont retrouvés là-haut avec les gros agriculteurs du syndicat majoritaire à manger du cochon grillé. En fait, le croisement et la discussion que tout le monde souhaitait sur le papier se sont pro-

-duits par erreur. Au milieu de tout ça, il y a une anthropologue – collègue de travail de Clémence – qui se balade pour interroger les gens et un clown, Jean Kergrist, qui déclame des discours sous l'identité d'un secrétaire d'État aux algues vertes, mitraillant à tout va.
Cette manif, les entretiens qui ont été faits par l'anthropologue, les prises de parole, mais aussi des entretiens qui ont été faits 10 ans plus tard par Clémence, constitue un corpus de recherche. À partir du corpus, elle a construit un montage de textes, sorte de document qui valorise prises de position, ressentis, anecdotes et aspirations de tout un tas d'acteurs de la controverse dans les deux camps, et au-delà. Ça va bien plus loin que les algues : on y traite de l'identité culturelle bretonne, de la vision d'un territoire, de l'agriculture, de l'écologie, du rapport au milieu marin…
Tout ceci, la Compagnie Safar l'aborde comme un texte de théâtre documentaire. Notre metteuse en scène, Gloria de Belén Riquelme a décidé de traiter de la situation au plateau avec un postulat simple : un comédien est dans son garage, il s'entraîne à jouer la pièce, répète, bricole, cherche à donner à entendre la parole des acteurs le mieux possible, change, refait, se plante, réussit… et le public assiste à cela ! C'est ce que l'on appelle une hypothèse dramaturgique qui a été développée après un long travail de recherche et plusieurs essais sur d'autres hypothèses de jeu. Le but était de répondre à la question : comment utiliser les matériaux du texte le mieux possible pour le rendre écoutable et intéressant pour le public, tout en retranscrivant ce qui se joue socialement dans la controverse ?

Qu'est-ce qui t'a attiré — ou interpellé — dans la thématique des algues vertes ?

Les algues vertes, je connais ça par cœur depuis que je suis gosse. Sur la plage où je vais me baigner depuis l'âge de mes 2 ans, tous les étés, il y a des algues vertes. J'ai ramené des kilos de salade dans mon short de bain ! Dans les discussions de mon entourage, c'est un sujet qui a toujours été présent, avec plus ou moins d'intensité en fonction des saisons et de l'actualité, comme une sorte de running gag qui n'a pas de fin. Ce qui me fascine, dans cette histoire, c'est que la controverse n'avance pas : tout le monde campe sur ses positions, avec les mêmes arguments, malgré les éclairages scientifiques, les rapports, les alternatives ou les compromis possibles.
Alors, je veux croire, sans doute naïvement, que le théâtre pourra faire avancer les choses, ne serait-ce que d'un millimètre. On peut, au plateau, faire advenir des dialogues qui ne peuvent exister dans la réalité.

La pièce va être jouée dans des établissements d'enseignement agricole. En quoi Marées peut-elle entrer en résonance avec les parcours de formation et les questionnements des élèves et des enseignant·es ?

Ce qui est intéressant avec cette pièce, c'est qu'on donne la parole à tout le monde. On ne dit pas aux spectateurs « lui, c'est un con » ou « elle, elle a raison ». On laisse les gens faire le cheminement dans leurs têtes. On part juste d'un événement assez cocasse pour donner à entendre des propos d'acteurs très différents, qui revendiquent tous le fait de dire la vérité. Ainsi, c'est un très bon moyen de faire le point sur les débats autour de cette question, d'une part, mais aussi d'entrer dans des enjeux croisés, agricoles, culturels, sociaux, etc., sur un temps dense et court (la pièce dure un peu moins d'une heure).
Il y autre chose aussi, qui tient plus de la magie toujours opérante du spectacle vivant. Jouer ou assister à une pièce de théâtre est un acte loin d'être anodin : cela nous envoie, public et interprète, dans l'univers du sensible. On est là, ensemble dans une salle, et il y a un type qui bouge, parle, change de voix, passe d'un discours à un autre, regarde, danse, incarne 19 personnages… et tout ceci déplace le centre de gravité très rationnel et argumentatif de la dispute vers quelque chose de plus émotionnel, quelque chose qui rapproche les gens. Et cette expérience sensible, elle est essentielle pour dégonfler la dimension parfois très violente de la question vive. Ça a le mérite d'essayer de faire collectivement avancer les choses.

Plus largement, selon toi, quel rôle les arts du vivant peuvent-ils jouer dans l'éducation aux transitions écologiques ?

On le voit dans tous les enjeux et débats du moment : il ne suffit pas d'avoir un discours scientifique ou institutionnel légitimant une transition pour que la société suive. On a besoin de sensible. On a besoin de vivre des expériences collectives. On a besoin de mettre du sens. Toute transition doit s'appuyer sur une forte dimension culturelle car on ne peut pas imaginer un changement sans produire collectivement les discours qui l'orientent, le symbolisent, l'incarnent, l'ajustent, le négocient...
La bataille sociale et politique très forte qui se joue en ce moment tourne autour de la prise de pouvoir sur la narration. Quelles histoires l'humanité se raconte à elle-même pour expliquer le chaos de l'époque ? Où est l'élément perturbateur ? Par quelles péripéties voulons-nous passer ? Comment nous racontons-nous notre futur ? Quelle sera la fin du récit ? Et le début d'un autre ?
De ce point de vue-là, les arts vivants sont dotés d'une puissance potentielle inégalable : même numériquement, rien ne remplace la joie d'assister en chair-et-en-os à un spectacle qui chamboule, de danser au milieu de ses pairs, ou d'écouter une musique qui nous fait rêver. Ce sont des étincelles qui portent dans l'imaginaire, et constituent des narrations collectives en puissance. Je suis persuadé qu'il faille engager pleinement ce potentiel dans l'arène sociale, sans peur ni réticence.



Crédit : Muelle Hélias Cie Safar

Démarche d'écriture de la pièce Marées par Clémence Hallé : « de l'ethnographie à la dramaturgie »

« *Marées* est écrit à partir de documents de recherches, notamment une ethnographie des acteurs des deux rassemblements effectués entre 2023 et 2024 par l'autrice de la pièce. Elle a élaboré le script à partir d'entretiens qu'elle a réalisés, mais aussi de photographies, vidéos et supports de communication qu'elle a collectés, afin de reconstituer le déroulé ou l'ambiance de la double manifestation. L'autrice procède par montage, juxtaposant les éléments pour augmenter ou diminuer le sens dramatique de tel ou tel discours. »
Source : https://ciesafar.com/marees/

Utiliser cette démarche d'écriture dans l'enseignement d'un savoir incertain en classe

Cette démarche peut être utilisée dans le cadre de projets pluridisciplinaires traitant de problématiques environnementales complexes (sous la forme de questions socialement vives), pour lesquelles on peut difficilement trancher le débat car beaucoup d'acteurs sont impliqués avec des intérêts légitimes. De plus, la part créative demandée aux élèves peut se révéler bénéfique pour gérer leurs émotions négatives (éco-anxiété) et les engager en tant que citoyens.
Le scénario pédagogique ci-après est adapté d'une proposition de formation réalisée par Lukaz Nedeleg et Clémence Hallé (lors d'une résidence d'artiste à l'ENSFEA en décembre 2025).

Thématique « Algues vertes »

Pluridisciplinarité : sciences de la vie et de la terre, sciences économiques et sociales, physique-chimie, histoire-géographie, philosophie, lettres

Medium transversal utilisé : création artistique sous la forme de récits imaginaires mis en voix avec la possibilité de les transformer en scénettes jouées par les élèves.

Prérequis disciplinaires : dans chacune des disciplines, selon le niveau des élèves et les objectifs de l'enseignant, certaines notions peuvent être mises en place au préalable. Par exemple, en Seconde GT :

- En biologie : les agrosystèmes, la notion d'intrants et le métabolisme des végétaux chlorophylliens
- En économie : rendement d'une production (agricole par ex.), politiques publiques, notions de développement durable, biens publics, externalités…
- En géographie : les notions d'anthropisation des milieux, risques environnementaux, conflits environnementaux, justice environnementale, acteurs et échelles d'action…
- En lettres : on peut travailler les récits d'engagement, tribunes, essais argumentatifs sur l'écologie, les responsabilités citoyennes, la défense du vivant…
- En chimie : qualité et potabilisation de l'eau (nitrates, phosphates, résidus de pesticides), pollution de l'air, notion de mesure et d'incertitude (estimer si une eau dépasse un seuil réglementaire en nitrates, réfléchir à la fiabilité des mesures, à la différence entre perception et réalité scientifique) …

Consigne : Après avoir lu les documents du corpus (voir QR code), extraire 5 fragments (images, mots, phrases ou paragraphes) pour construire un récit imaginaire autour des algues vertes. Un des fragments sera le début du récit, tandis qu'un autre sera la fin du récit. Ceux restant constituent le cœur du récit. Vous êtes les auteurs/autrices donc vous êtes libres de choisir :



- Les liens entre les fragments
- Les personnages
- Le ton de votre récit (engagé, militant, scientifique, pédagogique, politique, etc.)
- Le degré de fiction de votre récit

Productions

- Affichage des récits avec les 5 fragments articulés entre eux : explication des choix personnels
- Phase de réécriture pour une mise en voix (lecture animée)
- Phase de réécriture pour une mise en scène (selon la durée du projet)

Compétences mises en œuvre :

- Adopter différents points de vue pour développer une pensée critique.
- Être capable de comprendre les enjeux d'une situation à différentes échelles et d'en estimer les risques (économiques, géopolitiques, sociétaux).
- Apprendre collectivement par l'écoute active des autres.
- Être créatif en produisant une œuvre qui sollicite la confiance en soi, la capacité de faire des choix, la transmission d'émotions.

Actualités et contacts

La première de la pièce *Marées* aura lieu le 24 juin à 20h au 360 à Rennes.
Une tournée dans les lycées agricoles est en préparation pour l'année scolaire 2026-2027.
Si vous souhaitez organiser une représentation dans votre établissement, vous pouvez contacter la Compagnie Safar à kontakt@ciesafar.com – 07 77 07 45 69.

Bibliographie

Nedeleg, L. (2018). L'éducation aux sciences dans un monde incertain : comment les enseignantes appréhendent-elles les incertitudes de la question vive de la transition agroécologique ? Étude de cas auprès d'enseignantes de l'éducation nationale et de l'enseignement agricole en contextes de formation. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation. Université de Toulouse. https://dante.univ-tlse2.fr/s/fr/item/9239

Les contributrices et contributeurs



Fabien ALIBERT « Curieux de diversifier mes pratiques, j'envisage mon parcours comme un cheminement, une quête de nouvelles expériences tant humaines que professionnelles. Investi dans la lutte contre le décrochage scolaire dans un collège, j'essaie d'adapter des projets de recherche en didactique et d'innovation pédagogique en leviers de réussite pour tous les élèves. »



Karine BÉCU-ROBINAULT « Mes recherches en didactique des sciences s'ancrent dans des dispositifs collaboratifs avec des enseignants, du primaire jusqu'à l'université depuis plus de 30 ans. Les rencontres avec des personnes passionnées ont toujours été le moteur de mes activités professionnelles. Pouvoir mettre à profit ces rencontres au service de mes engagements écologiques et sociaux à travers ce projet est une chance incroyable. »

Stella BOURDIN « En tant que chercheuse, j'adore l'incertain - c'est là que se cachent les sujets de recherche intéressants ! Mais en tant qu'enseignante, il est nettement plus facile d'expliquer ce dont on est sûr que ce qu'on ne sait pas. Pourtant, je suis convaincue que ce sont ces nuances cruciales que je dois faire comprendre à mes élèves pour qu'ils exercent leur métier d'ingénieur·e avec discernement. »



Hanaà CHALAK « Je suis passionnée de didactique depuis ma formation à l'enseignement. Mes recherches en didactique des SVT m'amènent à étudier la construction des savoirs scientifiques, le contenu des programmes et des manuels scolaires, ainsi que l'activité des enseignant.e.s et des élèves en classe. Ce sont autant d'occasions de plonger dans l'incertain. L'articulation entre la recherche et l'enseignement m'a toujours intéressée. Ce projet offre l'opportunité de penser ce lien ».



Stéphane COUDERC « Professeur en collège, créateur de contenus Youtube, j'adore le mélange des genres et la confrontation d'idées qui en nait. J'aime collaborer avec des chercheurs, des enseignants de diverses matières, le travail collectif permettant de créer des supports diffusant les connaissances pour différents publics, avec rigueur et pédagogie ! »



Malou DELPLANCKE « Après avoir enseigné les SVT dans différents contextes, je suis retournée dans la recherche en didactique, nourrie à la fois de ma thèse en Biologie et de l'expérience de la classe. Impliquée dans des recherches collaboratives et pluridisciplinaires autour des questions environnementales, je m'intéresse à comprendre à quelles conditions des dispositifs d'enseignement, de formation ou de médiation peuvent générer du pouvoir d'agir pour nous aider à naviguer dans l'incertitude. »



François DESSART « Mes recherches portent sur les usages du récit dans la diffusion et l'apprentissages des sciences. Raconter n'est pas juste une manière possible de faire de la science : c'est une façon d'appréhender la réalité, et surtout de se la représenter, grâce à des abstractions avec lesquelles tout le monde est familier : les histoires. »



Amélie FORTIN-HARDY « enseignante au lycée Honoré d'Estienne d'Orves à Carquefou (44) et formatrice à l'INSPE de NANTES, je suis convaincue de l'importance d'accompagner les jeunes face aux incertitudes climatiques. Ma collaboration avec des collègues chercheuses à l'INSPE a été une réelle opportunité pour nourrir ma réflexion, que je souhaite, à travers cet article, partager avec tous les enseignants pour soutenir une éducation aux enjeux climatiques réflexive, critique et engagée. »



Anne-Laure FOUGÈRES « Mes thématiques de recherche sont l'étude des dépendances entre santé humaine, santé sociale et santé des écosystèmes (concept de santé commune ou planétaire) ; la modélisation statistique et l'évaluation de risques climatiques extrêmes ; le traitement statistique des prévisions météorologiques. Je participe à l'échelle nationale aux collectifs Labos1point5 et Archipel, ainsi qu'à l'échelle lyonnaise à la Fabrique des Questions Simples. »



David GELAS « La recherche en didactique guide ma classe. C'est dans mon jardin et ma maison que j'expérimente la résilience face au réchauffement climatique. Convaincu que l'adaptation commence par la compréhension, je partage cette quête de sens avec mes élèves et mes collègues. »



Nicolas HERVÉ « Je m'intéresse aux dispositifs d'éducation au futur, c'est-à-dire à des formes d'enseignement qui intègrent les concepts et méthodes de la prospective. Il s'agit d'aider les élèves à décrypter les visions du futur qui circulent dans la société, à en construire via des activités d'écriture, de dessin, de théâtre, etc., et finalement à en débattre. Car ce qui est certain, c'est que le futur est lié à nos attentes et décisions du présent ! »



Nicolas LECHOPIER « Je suis enseignant-chercheur en philosophie à Lyon1. Incrédule s'agissant de l'advenue de La Transition, j'ai tendance à penser que l'essentiel de ce qu'il y a à faire est "négatif" : ralentir les flux, arrêter proprement la machine, nettoyer les dégâts ... (ou comme disait Gébé : "On arrête tout, on réfléchit, et c'est pas triste") »



Fanny LHARDY « La curiosité et le besoin de sens m'ont menée vers l'étude du système climatique et de ses variations passées. Je m'épanouis désormais dans ce domaine scientifiquement riche, et enseigne ces thématiques à des jeunes adultes. »

Didier PAILLARD « Mon objectif est de comprendre la simplicité qui se cache derrière l'apparente complexité du système climatique. A ce titre, l'enseignement est un complément utile de ma recherche scientifique. »



Lisa PAILLUSSIERE « Je suis spécialiste en Sémiotique. En particulier je me suis intéressée au rapport à l'erreur dans le cadre de ma thèse. Ce travail vise à produire une théorie sémiotique de l'erreur utile à la collaboration interdisciplinaire entre sciences, à la recherche en pédagogie et à l'histoire des arts, et trouve un écho dans ce numéro de TrENSition. »



Lise PELLETIER « J'enseigne les Sciences de la Vie et de la Terre et participe à des recherches collaboratives en éducation avec de sympathiques camarades tout aussi convaincus que moi que « Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit. »



Corinne PERRET-THOMAS « je suis professeure de SVT et de l'EPYAC (Earth Program for Young Active Citizens). L'EPYAC est la mission qui me tient le plus à cœur aujourd'hui, par l'approche pluridisciplinaire des enjeux liés aux changements climatiques et par l'engagement demandé aux élèves qui créent des solutions concrètes pour un futur vivable et désirable. »



Vincent PERRIER « Mes recherches portent sur l'origine du zooplancton. Je travaille activement sur le gisement à préservation exceptionnelle de Montceau-les-Mines (Carbonifère, environ 305 Ma). L'incroyable état de conservation des arthropodes de ce site (crustacés, myriapodes, arachnides) permet des reconstitutions précises de leur paléobiologie et de leur paléoécologie. »



Olivier PERRU « je suis professeur émérite à l'Université Claude Bernard Lyon 1, où j'ai enseigné l'histoire et la philosophie des sciences du vivant et de la médecine de 2006 à 2023. Mes recherches ont d'abord porté sur des thèmes d'épistémologie de la biologie et de la médecine (symbiose ; évolution ; corps, santé et maladie), puis sur science et religion. »



Jérémie POINTU « Je suis professeur d'histoire géographie et d'EMC au collège Marie Curie de Troyes (classé REP) depuis 2003 (j'ai fait trois années de lycée avant). J'ai connu le projet par un membre du comité de pilotage avec qui j'avais collaboré pour un projet de recherche, avec un recueil de données dans mon collège et parmi mes élèves. »



Béatrice SOUCILLE-DALLE « Donner le goût des sciences et des clés pour appréhender les enjeux du monde actuel, notamment ceux liés à l'environnement et au changement climatique, voilà ce qui m'anime en tant qu'enseignante en collège. »



Benoît URGELLI « Professeur de sciences et chercheur en éducation aux risques climatiques, je milite aujourd'hui pour que l'école de la démocratie contribue à développer le pouvoir d'agir de nos jeunes. Face aux incertitudes de nos futurs, je suis convaincu qu'il nous faut développer des pédagogies transformatives pour apprendre à penser, agir et soutenir l'habitabilité de notre planète. »

Notes

Le projet

TRENSITION

est soutenu par

LABEX ASLAN
UNIVERSITÉ DE LYON

ifé
INSTITUT FRANÇAIS DE L'ÉDUCATION

ENS DE LYON