

Les « éducations à » sont-elles compatibles avec le développement d'une pensée critique en SVT ?

Christian Orange ⁽¹⁾

Denise Orange Ravachol ⁽²⁾

⁽¹⁾ Université Libre de Bruxelles, CRSE ; Nantes Université, CREN

⁽²⁾ Université de Lille, CIREL-Théodile

Résumé

Les « Educations à » prennent désormais une place significative dans les curriculums. Sans constituer de nouvelles disciplines, elles enveloppent, mobilisent et font collaborer les disciplines existantes. Cette évolution, relativement récente, oblige à des recompositions intra et interdisciplinaires. Elle a nécessairement une influence sur la formation des élèves, futurs citoyens. Nous en discutons à partir d'un double point de vue : celui du cadre de l'apprentissage par problématisation (Dousset & al., 2022) et celui de la didactique des sciences de la vie et de la Terre (SVT). Plus précisément nous questionnons les conditions de compatibilité de cette évolution avec l'exigence régulièrement rappelée dans les programmes de la formation à « l'esprit critique » des élèves. Cela nous conduit à mettre en avant l'importance de la maîtrise didactique de « boires noires » et la nécessité de faire accéder les élèves à des formes de raisonnement, nouvelles pour eux, que les sciences ont construites au cours de leur histoire.

Mots clés

Educations à ; pensée critique ; problématisation ; sciences de la vie et de la Terre

Introduction

La place curriculaire prise par ces « éducations à » introduit au sein des disciplines mobilisées et dans leurs éventuelles collaborations, un renouvellement des références, des problèmes et des systèmes étudiés. Ainsi, questionner les relations entre alimentation et santé ne peut se limiter à des problèmes de physiologie de l'organisme humain mais doit prendre en compte l'étude du comportement alimentaire de populations. Penser l'évolution climatique ne concerne pas que les sciences de la nature mais engage des enjeux humains.

Dans le cadre de l'apprentissage par problématisation, les problèmes et systèmes nouveaux, d'une certaine complexité, ainsi introduits dans les curriculums, présentent *a priori* un réel intérêt didactique : ce sont des moyens de faire accéder les élèves à de nouveaux savoirs problématisés et à de nouvelles façons de penser et de raisonner, extraordinaires, ce qui, pour nous, représente une finalité majeure de l'Ecole (Orange & Orange, 1995 ; Orange & Orange Ravachol, 2014 ; Astolfi, 2008). Cet accès à des nouvelles façons de penser ouvre en effet de nouveaux possibles explicatifs dans l'étude des systèmes concernés, condition pour que les élèves abordent les questions travaillées dans les « éducations à » de manière critique (Orange & Orange Ravachol, 2017).

Cela dit, devant la complexité des problèmes, qui demandent du temps si on veut les travailler, ne risque-t-on pas, en permanence, des raccourcis qui empêchent le travail critique de se développer au sein des différents domaines de savoirs convoqués ? Le soupçon est légitime car, comme le rappelle Morin (2018), la recherche ANR « Éducation au développement durable ; appuis et obstacles » a montré en 2012 que l'EDD, en France, concerne plus l'acquisition de gestes écocitoyens que l'acquisition de compétences critiques.

Nous voulons, dans cette communication, questionner ce que peut ou doit, et à quelles conditions, apporter l'enseignement des SVT à ces éducations, qui relève d'une approche critique et non pas de la seule connaissance des avis des experts ou de leurs préconisations. Ce faisant, nous avons bien conscience de n'aborder qu'un aspect très partiel de la didactique des « éducations à ». Mais la question nous semble légitime, sauf à renoncer à ce que peut apporter à ces questions une formation disciplinaire, renoncement dont nous souhaitons montrer ici le manque de pertinence¹.

1 Notons que le rapport AR6 (2021-2022) du GIEC, par exemple, présente les résultats de trois groupes de travail dont le premier renvoie à ce qui nous concerne ici dans le cadre des « éducations à » : l'étude des aspects scientifiques du changement climatique. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>

Après avoir précisé les liens que nous faisons entre cadre de l'apprentissage par problématisation, « éducations à » et pensée critique, nous analyserons deux cas concernant l'évolution climatique avant d'étendre la discussion à d'autres cas que nous avons étudiés par ailleurs, concernant notamment l'éducation à l'alimentation, et de conclure.

Apprentissage par problématisation, « éducations à » et pensée critique en sciences

Le cadre de l'apprentissage par problématisation s'appuie sur un point de vue épistémologique et un choix axiologique. Le point de vue épistémologie relie fortement, à la suite de Bachelard et de Popper, les savoirs scientifiques et les problèmes, en ne confondant pas savoirs et solutions de ces problèmes, mais en faisant de la construction du problème une part essentiel des savoirs. Autrement dit, ce qui fait un savoir scientifique n'est pas seulement l'explication retenue mais aussi, voire surtout, les raisons qui font que ces explications ne peuvent être autre.

Par la focalisation sur les raisons et donc sur les argumentations, ce cadre fait de la pensée critique le cœur du travail des problèmes et des savoirs scientifiques (Orange & Orange Ravachol, 2023). Savoir et pratiquer les sciences consiste à explorer de manière critiques des explications possibles, de façon à en dégager les conditions de possibilité dans le cadre théorique retenu.

Ce point de vue épistémologique rejoint ici les choix axiologiques d'une Ecole dont le but est de former des citoyens dotés d'une pensée et de savoirs critiques, donc qui leur donne les moyens d'une réelle émancipation.

Les conséquences didactiques de ce cadre (voir Orange, 2012 et Orange Ravachol, 2012) font que, pour ce qui est des « éducations à », la pensée critique scientifique ne peut se réduire à évaluer la fiabilité de la source d'une expertise et à accepter celle-ci par un argument d'autorité ; elle doit permettre aux élèves de comprendre les raisons de choisir telle explication ou tel modèle, dont beaucoup sont éloignés des modes de pensée communs.

Cela exige, dans le cadre théorique retenu ici, que les élèves soient en mesure de travailler les problèmes et de comprendre les raisons qui organisent les conclusions auxquelles aboutissent les scientifiques et les experts. Le but de cette contribution est d'étudier en quoi et à quelles conditions, les « éducations à » peuvent participer à ce projet développemental.

Les deux cas que nous allons étudier concerne l'évolution climatique. Dans chacun de ces cas, nous comparons ce que l'étude du système étudié permet *a priori* d'engager comme modes de pensée et de compétences critiques, au regard des modes de pensée usuels des élèves, et leur traduction actuelle dans les programmes de SVT ou

d'enseignement scientifique et les manuels ; nous identifions également des croisements nécessaires avec d'autres points de vue que ceux des sciences établies.

Le cas de l'effet des activités humaines sur « l'effet de serre » global.

Nous voulons discuter ici de ce qui s'enseigne en SVT concernant l'influence des activités humaines sur « l'effet de serre » et l'évolution climatique. Nous ne revenons pas sur la compréhension difficile de cet effet par les élèves (Viennot, 1996 ; Colin et Tran Tat, 2011), ni sur les approximations que constitue l'utilisation d'une telle expression. Nous nous intéressons à l'évolution anthropique de la composition de l'atmosphère et des conséquences sur le climat. Les programmes et la présentation des manuels de cycle 4 et de lycée s'appuient sur la notion de gaz à effet de serre dont ils nomment généralement les principaux : le dioxyde de carbone, le méthane et la vapeur d'eau. Or, quand il s'agit de mettre en avant les conséquences de l'activité humaine, la focalisation se fait le plus souvent sur l'augmentation du CO₂ atmosphérique, éventuellement sur celle du CH₄, la question de la vapeur d'eau étant rapidement évacuée voire ignorée. Par exemple, le programme de l'enseignement scientifique de Terminale générale note :

L'analyse scientifique combinant observations, éléments théoriques et modélisations numériques permet aujourd'hui de conclure que l'augmentation de température moyenne depuis le début de l'ère industrielle est liée à l'activité humaine : CO₂ produit par la combustion d'hydrocarbures, la déforestation, la production de ciment ; CH₄ produit par les fuites de gaz naturel, la fermentation dans les décharges, certaines activités agricoles. (BOEN n°8 du 25 juillet 2019, p.8).

Pourtant une bonne partie des combustibles fossiles (pétrole et gaz) rejette plus de vapeur d'eau (en nombre de molécules) que de CO₂. Si on peut trouver parfois dans les manuels une raison de ne pas tenir compte de la vapeur d'eau (par exemple dans une petite note du manuel Terminale ES d'Hatier 2020, en bas d'un document, il est écrit : « la vapeur d'eau peut séjourner dans l'atmosphère pendant un temps très court »), cela n'est ni explicité ni vraiment étudié.

Comment alors expliquer cette focalisation sur le CO₂ ? Une première réponse (non donnée dans les manuels) serait que toute augmentation de l'effet de serre serait calculée en équivalent CO₂. Mais il y a avant tout des raisons fonctionnelles : Le Treut (2011) explique ainsi que

la vapeur d'eau est le premier effet de serre, mais sa durée de vie atmosphérique étant très courte, son effet cumulé dans le futur est négligeable. Une augmentation de la vapeur d'eau devrait bien amplifier le réchauffement futur, mais elle sera la conséquence indirecte des émissions anthropiques de gaz à effet de serre à durée de vie longue, en particulier le CO₂...

Une telle explication fait intervenir implicitement les cycles du carbone et de l'eau : le CO₂ dégagé reste beaucoup plus longtemps dans l'atmosphère que la vapeur d'eau ; dit autrement, le cycle de l'eau joue un rôle de régulation de la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère pour une température donnée ; ce que fait pas nettement moins le cycle du carbone concernant le CO₂ atmosphérique. Mais l'augmentation du CO₂ provoque une augmentation de température qui modifie secondairement les paramètres de la régulation de la vapeur d'eau. Il y aurait donc une augmentation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère, malgré sa faible durée de vie atmosphérique, au fur et à mesure que la Terre se réchauffe (Francis, 2023) : d'où une augmentation additionnelle de l'effet de serre.

Pour aller plus loin dans la discussion, il faudrait ajouter l'effet des nuages (eau liquide ou glace), eux-mêmes liés à la concentration de vapeur : les nuages d'altitudes augmenteraient l'effet de serre quand les nuages bas seraient plutôt refroidissants par leur effet parasol. Mais les liens entre l'augmentation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère et l'ennuage n'est pas encore très bien compris (Louart, 2023).

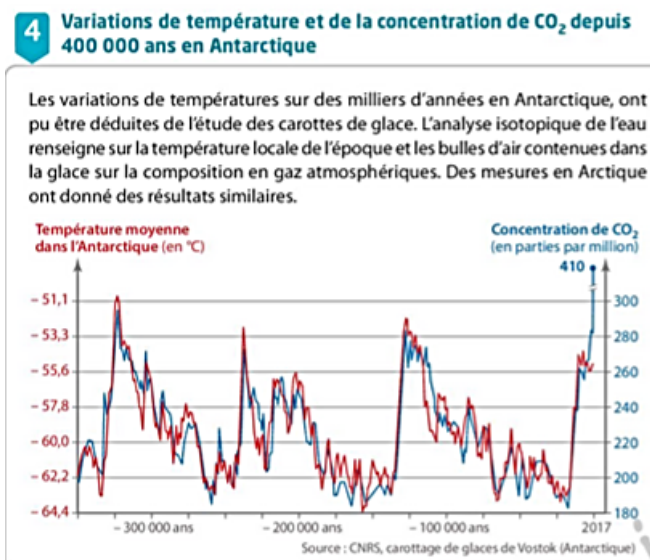
Revenons aux élèves de collège et de lycée. On voit toute la richesse de la question du rôle que peut jouer la vapeur d'eau dans l'évolution climatique. Elle renvoie à une modélisation compartimentale, avec prise en compte des flux, de la durée moyenne de présence d'une molécule dans les compartiments et donc du renouvellement ; mais aussi à des incertitudes sur certains effets. Interviennent également un rétrocontrôle positif et la possibilité d'un changement de régime des systèmes. Actuellement, comme leur sont dites les choses, rien ne permet aux élèves d'exercer une pensée critique ; pire, ou dans le meilleur des cas, ils pourraient relever que ce qui leur est présenté comme des faits semblent manquer de cohérence, entre l'importance de la vapeur d'eau comme GES et sa non prise en compte dans ce qu'on leur dit de l'évolution climatique.

Pour que les problèmes du rôle des gaz à effet de serre dans l'évolution climatique permettent à la fois aux élèves d'exercer une pensée critique et de construire des savoirs raisonnés, ce qui dans notre cadre de l'apprentissage par problématisation est indissociable, une maîtrise didactique des boîtes noires, au sens de Wiener (1948) ou de Latour (1989), est indispensable : quelle boîte noire (ici le rôle de la vapeur d'eau) peut-on / doit-on ouvrir ? Lesquelles doit-on laisser fermées, mais en évitant de possibles incohérences entre les faits retenus. S'il est impossible d'ouvrir, dans une étude donnée toutes ces boîtes (en sciences comme à l'école), les laisser toutes fermées pour aller au plus vite à la « bonne solution » ne permet aucune problématisation. Une ouverture de la boîte noire « vapeur d'eau » permet de construire de nouvelles formes de raisonnement (Orange & Orange Ravachol, 2017 ; Orange & Orange Ravachol, 2023) - modélisation compartimentale, dépassement des raisonnements séquentiels, prise en compte des limites actuelles des savoirs scientifiques... - et de doter ainsi les élèves de savoirs critiques. Il y a des choix curriculaires à faire et on peut décider, selon l'âge des élèves, que cette question ne sera pas discutée en classe : il faut alors fournir une raison, non discutée, qui s'appuie sur ce qui est donné comme un fait : par exemple, la vapeur d'eau dégagée par les combustibles fossiles ne fait pas augmenter sa concentration atmosphérique car elle se condense

rapidement (pluie) ; ou alors, il faut ouvrir et travailler la question de la vapeur d'eau, voire celles des nuages, même si celle-ci est encore mal maîtrisée par les sciences.

Le cas des relations entre composition de l'air et évolutions climatiques au quaternaire et actuellement

Nous allons prendre un deuxième cas, plus général mais aussi plus délicat, concernant l'évolution de la température terrestre. Un des arguments en faveur du rôle du CO₂ dans les changements climatiques, et donc de l'utilisation des énergies fossiles depuis plus de 100 ans, correspond au parallélisme entre l'évolution du CO₂ dans l'atmosphère et celle de la température à la surface de la Terre au quaternaire, résultat notamment de l'étude dans les années 1980 (Genthon & al., 1987) des gaz emprisonnés dans les glaces polaires. Voici, par exemple un document proposé dans le manuel Hatier de Terminale ES (2020, p. 51).



A ce document, associé à un autre présentant la variation de la température au niveau du globe entre 1860 et 2014, correspond une question du manuel : « émettre une hypothèse expliquant l'évolution de la moyenne de température mondiale sur la période 1980 à 2017 en lien avec l'évolution du CO₂ atmosphérique dans le passé. »

Cette question, qui propose d'utiliser les résultats des 400000 dernières années pour penser l'évolution actuelle et qui suggère une relation de causalité entre concentration en CO₂ et cette évolution est en concordance avec la conclusion de l'article de Lorius, Jouzel, Raynaud, Hansen et Le Treut (1990), les auteurs français des 3 articles princeps de 1987 sur cette étude :

The prediction of future greenhouse-gas-induced warming depends critically on the sensitivity of Earth's climate to increasing atmospheric concentrations of these gases. Data

from cores drilled in polar ice sheets show a remarkable correlation between past glacial-interglacial temperature changes and the inferred atmospheric concentration of gases such as carbon dioxide and methane. These and other palaeoclimate data are used to assess the role of greenhouse gases in explaining past global climate change, and the validity of models predicting the effect of increasing concentrations of such gases in the atmosphere.

Ces chercheurs proposent, pour le passé, l'explication suivante pour le passage d'une période froide à une période chaude : un « forçage orbital » initial, dû aux cycles de Milankovitch, provoquerait une première augmentation du CO₂ qui amplifierait l'élévation de température par effet de serre, avec un effet « boule de neige » (rétrocontrôle positif). D'où le rôle du CO₂ dans l'augmentation de température, permettant alors d'en montrer l'importance pour l'évolution climatique actuelle (le déclenchement ne serait pas un forçage orbital mais l'activité humaine).

Il se trouve que cette interprétation a été discutée dès le départ par certains scientifiques. On connaît notamment les réactions d'Allègre (2007, 2010), qui ont fait l'objet de contrattaques fondées sur les erreurs qui semblent présentes dans son discours ; il s'agit là de livres « grand-public ». Cependant, il existe des articles de recherche qui analysent très finement l'interprétation de Lorius, Jouzel et autres. C'est le cas de Richet (2021), géophysicien et géochimiste, mais aussi historien des sciences (il est actuellement président du Comité Français d'Histoire de la Géologie, CoFrHiGéo). Si on peut suspecter Allègre et ses livres d'approximations voire de contre-vérités, ce n'est guère le cas pour Richet : son étude est précise, s'appuie sur les données initiales et mérite d'être discutée. Voici un extrait du résumé de cet article :

As simply based on fundamental logic and on the concepts of cause and effect, an epistemological examination of the geochemical analyses performed on the Vostok ice cores invalidates the marked greenhouse effect on past climate usually assigned to CO₂ and CH₄. In agreement with the determining role assigned to Milankovitch cycles, temperature has, instead, constantly remained the long-term controlling parameter during the past 423 kyr, which, in turn, determined both CO₂ and CH₄ concentrations, whose variations exerted, at most, a minor feedback on temperature itself. If not refuted, the demonstration indicates that the greenhouse effect of CO₂ on 20th century and today's climate remains to be documented, as already concluded from other evidence. The epistemological weakness of current simulations originates from the fact that they do not rely on any independent evidence for the influence of greenhouse gases on climate over long enough periods of time.

Ses arguments portent sur une analyse fine des courbes de température, de CO₂ et de CH₄ provenant des études de Lorius et *al.* Plus précisément, il s'appuie sur des décalages temporels entre les courbes et sur les largeurs relatives des pics de température et de gaz. C'est donc bien la question de la corrélation et de la causalité qu'il pose. Nous sommes là devant une controverse qui ferait de cette question une question socialement vive. Mais il y a plus. Il se trouve que l'article a été proposé par Richet à la revue *History of Geo an Space Sciences* et accepté le 26 mai 2021 (<https://www.history-of-geo-and->

space-sciences.net/2021-05-26_hgss-2021-1_latest-version-of-the-manuscript.pdf), après lecture par quatre experts ; mais a été retiré en septembre 2021, après une « post-publication review » (<https://hgss.copernicus.org/articles/12/97/2021/>) qui semble avoir été demandée par les auteurs de 1987. La raison que donne la revue est que l'article lui a été signalé comme n'ayant peut-être pas respecté les normes d'un examen équitable et impartial par les pairs. Sept nouveaux relecteurs, supervisés par Duplessy, un des auteurs principaux du rapport du GIEC de 2007, ont alors été désignés qui ont conduit au rejet.

Il n'est pas question ici de prendre position mais de constater que nous sommes bien devant une controverse socio-scientifique, et que celle-ci n'a pas pris les voies habituelles de discussion académique. L'affaire est éclairée par les propos récents de Jouzel (2019), coauteur des articles de 1987 et 1990 et membre du GIEC, dans le journal *Le Monde*. Au sujet de leurs publications de 1987, voici ce qu'il rappelle :

La presse du monde entier nous appelle [en 1987] et nos résultats sortent du sérail scientifique. Déjà, depuis des années, les modélisateurs travaillant sur l'atmosphère avançaient ce lien et faisaient des prévisions d'augmentation des températures provoquées par les émissions de gaz à effet de serre. Mais c'était des modèles, auxquels s'ajoutaient quelques expériences de laboratoire et les études sur l'atmosphère des autres planètes. Là, grâce au retour dans le passé, nous apportons des résultats concrets, portant sur la Terre, avec des courbes faciles à comprendre par les politiques. Et en 1988, le G7 de Reagan et Thatcher décide de créer le GIEC. Le premier mérite en revient aux modélisateurs, mais notre découverte a aidé à convaincre les décideurs.

Des courbes faciles à comprendre... pour les politiques, voilà un point important ; mais discutées par certains scientifiques. D'un côté des scientifiques (les auteurs des recherches sur les gaz des glaces) qui prennent une position d'expert et qui doivent convaincre les politiques et la société du bienfondé de ce qu'ils pensent du rôle du CO₂ et des conséquences pour les années à venir. De l'autre des scientifiques qui veulent discuter des conclusions des articles des années 1987, notamment de la question des corrélations et des causalités, et du transfert aux questions climatiques actuelles. Ce qui peut être une controverse scientifique qui présente un réel intérêt pour la formation de la pensée critique en science, devient une controverse socio-scientifique qui pourrait servir à l'éducation au politique (Fabre, 2021) et donc au développement de la pensée critique dans les questions de société, par la discussion notamment autour de l'expertise. A condition que cette controverse socio-scientifique ne soit pas détruite par les accusations des uns et des autres de complotisme...²

² Certains manuels, comme le Belin Terminale, enseignement scientifiques 2020, pp. , abordent ce qu'ils nomme le climatoscepticisme. On y retrouve la question de la corrélation et de la causalité mais aussi

Peut-on alors importer dans la classe une telle controverse, étouffée, et renvoyant, d'une part à des questions scientifiques, comme celle des relations entre corrélation et causalité et, d'autre part, à des questions socio-scientifiques, comme la différence entre point de vue scientifique et point de vue d'expert (alors qu'il s'agit souvent des mêmes personnes) ? ou encore à des questions sociopolitiques sur la façon de faire aboutir de idées et les décisions correspondantes, quitte à utiliser des arguments ou des moyens guère scientifiques ? Comme dans le premier cas, il s'agit de choix didactique des boites noires à ouvrir ou à refermer mais cela ne concerne pas seulement ici les SVT mais demanderait d'associer d'autres enseignements.

Discussion et conclusion

Nous avons, par nécessité, limité ce texte à deux cas mais d'autres analyses (Orange et Orange Ravachol, 2017) ont été menées concernant les questions portant sur l'évolution climatique, du point de vue aussi bien des sciences fonctionnalistes (explication de l'effet de serre) que des sciences historiques (évolutions climatiques sur le longues périodes). Nous avons également étudié des cas concernant l'éducation à l'alimentation, dans les manuels et dans des classes. Dans ce domaine également, les boites noires que l'on n'ouvre pas pour aller le plus vite possible vers la solution des experts sont nombreuses : ainsi en est-il de la mobilisation de la pyramide alimentaire, objet polymorphe controversé, mais guère à l'école où il est sans cesse considéré comme admis (Kovacs & Orange Ravachol, 2015 ; Orange Ravachol & Boyer, 2022) et pourtant sans cesse en mutation (Willett. & Stampfer, 2003), sous l'effet de l'avancée des connaissances scientifiques et de la dénonciation de l'action de certains lobbies, comme ceux de l'industrie sucrière. De même, l'importance des études épidémiologiques dans les avis des experts est peu présente, même si ce thème a été modestement introduit dans les programmes de Spécialité SVT en première au sujet des maladies à causalité multifactorielle. Il apparaît aussi que les tentatives, dans les programmes et les manuels, d'aller au plus vite des savoirs physiologiques aux préconisations alimentaires, ne peuvent fonctionner (Orange Ravachol et al., 2018 ; Orange Ravachol et Orange, 2022) qu'en évitant les analyses critiques et les approfondissements scientifiques.

Dans tous ces cas donc il apparaît que l'enseignement (programmes, préconisations officielles, manuels, enseignants) a tendance à laisser fermé le maximum de boites noires dans un souci d'aller au plus vite à la solution à travers une pseudo-démarche d'investigation qui ignore l'analyse critique des explications possibles. Cela limite considérablement la problématisation et le travail argumentatif des élèves, et donc le développement de leur pensée critique, tout en les maintenant dans une forme de pensée

la question « Expliquez pourquoi on ne peut pas considérer que la climatoscepticisme est une controverse scientifique ? »

commune. Par contraste, faire travailler la pensée scientifique critique des élèves demande d'ouvrir certaines boîtes noires, en fonction du problème que l'on veut faire travailler et des savoirs critiques que l'on veut les voir acquérir, et de construire avec eux le ou les problèmes qui les structurent, ce qui passe le plus souvent par l'accession à de nouvelles formes de raisonnement. Nous notons ainsi, par exemple, les ruptures nécessaires pour penser les évolutions climatiques en articulant les dimensions fonctionnalistes et historiques des sciences de la Terre (Orange & Orange Ravachol, 2017) :

le dépassement d'une problématisation fonctionnaliste séquentielle, l'entrée dans une problématisation historique épistémologiquement contrôlée par le principe de l'actualisme, et l'approche d'un fonctionnement de systèmes complexes ayant une histoire et pouvant passer plus ou moins brusquement d'un régime à un autre.

On pourrait remarquer que ces orientations que nous critiquons ici ne sont pas propres aux « éducations à » et valent également pour l'enseignement usuel des SVT. Cependant, les problèmes relevant des « éducations à » sont plus compliqués et se réfèrent à des savoirs qui ne sont pas toujours stabilisés ; et surtout, ils sont davantage en prise, par construction, avec des choix individuels et sociétaux ou la pensée critique scientifique, qui ne peut se contenter de la seule vérification des sources mais doit pouvoir discuter les explications, est plus nécessaire encore pour la formation du citoyen.

Notons, pour terminer, que l'ouverture des boîtes noires scientifiques dans ces questions relevant des « éducations à » demande généralement, comme nous le disions, d'accéder à de nouvelles formes de raisonnement et de pensée que nous lègue la construction des disciplines scientifiques. Cela nous conduit à être très circonspects avec la notion d'opinion raisonnée telle que la développent Lange et al. (2007), reprise par Morin (2018). Ce disant, il ne s'agit pas de nier l'existence de rationalités différentes (Lange et al, 2007) qu'il faut convoquer dans les « éducations à », mais de dire que, dans le cadre de l'apprentissage par problématisation adopté ici et de ses références à Bachelard et Canguilhem, si l'enseignement des SVT peut contribuer à ces éducations, c'est bien en rendant les élèves capables de penser autrement. Cela nécessite des ruptures que l'enseignement des SVT doit prendre en charge.

Références bibliographiques

- Allègre, C. (2007). *Ma vérité sur la planète*. Plon.
- Allègre, C. (2010). *L'imposture climatique ou la fausse écologie*. Plon.
- Astolfi, J.-P. (2008). *La saveur des savoirs*. ESF.
- Colin, P., et Tran Tat, N. (2011) Difficile compréhension de l'effet de serre : comment concevoir un parcours d'enseignement-apprentissage au lycée ? *RDST*, 4, 109-138
- Coquidé, M., Lange, et J.-M. & Tirard, S. (2006), dir. *Epidémiologie, pour une éducation raisonnée à l'incertitude*. Paris : Vuibert.
- Doussot, S., Hersant, M., Lhoste, Y., et Orange Ravachol, D. (éds.) (2022). *Le cadre de l'apprentissage par problématisation. Apports aux recherches en didactique*. Rennes : PUR.
- Fabre, M. (2021). Problématologie des questions socialement vives. Repères épistémologiques pour l'école. *Revue Française de Pédagogie*, 210, 89-99.

- Francis J. (2023). L'ère des tempêtes de vapeur. *Pour la Science*, 532, 36-43.
- Genthon, C. et al. (1987). Vostok ice core: climatic response to CO₂ and orbital forcing changes over the last climatic cycle. *Nature*, 329, 414-418
- Kovacs, S. & Orange Ravachol, D. (2015). La pyramide alimentaire : permanence et mutations d'un objet polymorphe controversé. *Questions de communication*, 27, 129-149. Disponible sur : <https://doi.org/10.4000/questionsdecommunication.9720>
- Jouzel J. (2019). Entretien avec Nathaniel Hertzberg. *Le Monde*, publié le 2 juin 2019. https://www.lemonde.fr/planete/article/2019/06/02/jean-jouzel-l-effondrement-n-est-pas-imminent-je-nous-vois-griller-a-petit-feu_5470360_3244.html, consulté le 14 juin 2023
- Lange, J.-M., Trouvé, A., et Victor, P. (2007). Expression d'une opinion raisonnée dans les éducations à... : quels indicateurs ? Actualité de la recherche en éducation et formation,. Strasbourg, 2017.
- Latour, B. (1989). La science en action. Introduction à la sociologie des sciences. La Découverte
- Le Treut, H (2011) Le CO₂ est-il le principal gaz à effet de serre ? *Pour la Science*, 405, 20
- Lorius, C., Jouzel, J., Raynaud, D. Hansen, J. et Le treut, H. (1990). The ice-core record: climate sensitivity and future greenhouse warming. *Nature*, 347, 139-145.
- Louart, C. (2023). Le nuage, pièce méconnue du puzzle climatiques. *CNRS le Journal*. <https://lejournel.cnrs.fr/print/3388>, consulté le 12 juin 2023.
- Morin, O. (2018). Problématiser et... re-problématiser les QSVE ; vers une démarche d'enquête structurée par la rencontre de rationalités. Dans J. Simonneaux. *La Démarche d'enquête, un contribution à la didactique des questions socialement vivise*. Pp 43-64. Disponible sur <https://www.cairn.info/la-demarche-d-enquete--9791329,027501878-page-43.htm>
- Orange Ravachol, D. & Orange, C. (2014). Compétences et pratiques des savoirs en sciences de la nature. *Education & formation (Belgique)*, e-302, 71-92.
- Orange Ravachol, D. (2012). *Didactiques des sciences de la vie et de la Terre, entre phénomènes et événements*. PUR.
- Orange Ravachol, D., et Boyer, C. (2022). L'évaluation des apprentissages comme passages entre mondes de problèmes, de pratiques et de savoirs. *Recherches en Didactiques, Evaluations et didactiques*, 33, 13-36.
- Orange Ravachol, D., et Orange, C. (2022). Developing a reasoned approach to food education through science teaching. In S. De Julio & S. Kovacs, *Food Information Communication and Education*. Bloomsbury, pp 181-190
- Orange Ravachol, D., Kovacs, S. & Orange, C. (2018). Éducation nutritionnelle et acculturation scientifique : quelles circulations de normes et de savoirs dans les discours adressés aux jeunes ? *Education et socialisation*.
- Orange, C. & Orange Ravachol, D. (2017). Problématisations scientifiques fonctionnalistes et historiques en éducation relative à l'environnement et au développement durable : le cas de l'évolution climatique. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, 22, 21-38. Disponible sur : <http://revuedeshp.ch/no-22/>

- Orange, C. (2012). Enseigner les sciences : problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe. De Boeck
- Orange, C. et Orange, D. (1995). Géologie et biologie : analyse de quelques liens épistémologiques et didactiques. *ASTER*, 21, 27-49
- Orange, C., et Orange Ravachol, D. (2023, sous presse). Pensée critique et savoirs en SVT : un point de vue depuis le cadre théorique de l'apprentissage par problématisation. *RDST*, 28.
- Petit, J.-R. et al. (1999). Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 Years from the Vostok Ice Core, Antarctica. *Nature*, 399, 429-436
- Richet, P. (2021). The temperature–CO₂ climate connection: an epistemological reappraisal of ice-core messages. [*History of Geo- and Space Sciences*, publié puis retiré.] https://www.history-of-geo-and-space-sciences.net/2021-05-26_hgss-2021-1_latest-version-of-the-manuscript.pdf
- Viennot, L. (1996). *Raisonnement en physique*. De Boeck.
- Wiener (1948). *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machines*. Hermann & C^{ie}, The MIT Press, et Wiley
- Willett, W. & Stampfer, M. (2003), Vers un nouvel équilibre alimentaire. *Pour la science*, 310, 48-55.