



HAL
open science

La datation de l'entrée dans l'Anthropocène

Nathanaël Wallenhorst

► **To cite this version:**

Nathanaël Wallenhorst. La datation de l'entrée dans l'Anthropocène. Recherches & éducations, 2021, 23, 10.4000/rechercheseducations.11539 . halshs-03546920

HAL Id: halshs-03546920

<https://shs.hal.science/halshs-03546920v1>

Submitted on 27 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La datation de l'entrée dans l'Anthropocène

Synthèse d'un débat à destination des enseignants

Nathanaël Wallenhorst

LISEC UR 2310

Résumé : Cet article propose une synthèse approfondie du débat stratigraphique relatif à la datation de l'entrée dans l'Anthropocène, qui est généralement moins investi par les sciences humaines et sociales que le débat relatif à l'altération systémique du fonctionnement de la Terre avec les travaux portant sur le franchissement des limites planétaires. Or, il apparaît nécessaire de bien comprendre ce débat stratigraphique car c'est lui qui aboutira à un amendement de l'échelle des temps géologiques par l'Union Internationale des Sciences Géologiques faisant figurer cette nouvelle époque géologique – dont la date d'entrée sera apprise par tous les élèves du monde (ou presque). Cet article explore chacune des dates candidates à l'entrée dans l'Anthropocène travaillées au sein de ce débat permettant ainsi aux enseignants d'avoir les clés pour comprendre ce qui apparaît parfois comme un débat d'experts difficile d'accès.

Mots clés : débat stratigraphique ; dates candidates à l'entrée dans l'Anthropocène ; synthèse scientifique pour les enseignants

Abstract: This article proposes a depth synthesis of the stratigraphic debate on the dating of the entry into the Anthropocene, which is generally less invested in the Human and Social Sciences than the debate on the systemic alteration of the functioning of the Earth with the works relating to the crossing of planetary boundaries. However, it seems necessary to understand this stratigraphic debate because it will lead to an amendment of the geological time scale by the International Union of Geological Sciences including this new geological period whose date of entry will be learned by all the students of the world (or almost). This article explores each of the candidate dates for entry into the Anthropocene worked in the stratigraphic debate, thus enabling teachers to have the keys to understand what sometimes appears to be an obscure expert debate.

Keywords: stratigraphic debate; candidate dates for entry into the Anthropocene, scientific synthesis for teachers

Cet article explore le débat stratigraphique de la datation de l'entrée dans l'Anthropocène dont nous n'avons jusqu'à lors présenté qu'une brève synthèse (Wallenhorst, 2019 ; Wallenhorst, Robin, Boutinet, 2019)¹. Or, il convient que les enseignants aient accès à ce débat et aux différents articles au sein desquels il a lieu pour pouvoir enseigner sur cette question proprement et directement vitale pour l'aventure humaine (en transmettant des savoirs, structurant des débats ou accompagnant les réflexions des élèves). La thématisation éducative de cet article est téléologique : il s'agit d'un outil pour les enseignants qui souhaiteraient travailler cette importante question avec leurs élèves ou étudiants. De même qu'un enseignant de littérature conçoit souvent son rôle comme celui de passeur permettant la mise en relation des élèves avec les œuvres, il nous semble qu'une des missions de l'éducation scientifique consiste dans la mise en relation directe avec ce qu'il est convenu d'appeler des œuvres au service de l'aventure humaine dans son ensemble – c'est là l'objet de cette contribution.

Au sein de la littérature scientifique de ces vingt dernières années consacrée à l'Anthropocène nous pouvons relever deux grands débats. Le premier porte sur l'ampleur de l'altération systémique du fonctionnement de la Terre avec l'ensemble des travaux ayant trait au franchissement de limites planétaires et à l'identification d'un espace d'action sécurisé pour l'aventure humaine. Ces articles sont spectaculaires et ils saisissent d'effroi ceux qui les lisent. Nous pouvons par exemple relever ceux de Barnosky *et al.* (2011) sur la sixième extinction de masse, ceux de Rockström *et al.* (2009) et de Steffen *et al.* (2015) sur l'importance du respect de limites planétaires, celui de Barnosky *et al.* (2012) ou Steffen *et al.* (2018) sur la façon dont notre biosphère

¹ Quelques éléments ont été repris pour être plus largement développés ici.

approche un point de basculement systémique et le risque de vivre sur une planète étuve impropre à la vie humaine en société, ou encore ceux de Im, Pal et Eltahir (2015, 2017), Mora *et al.* (2017), ou Bador *et al.* (2017) sur la fréquence et l'intensité des vagues de chaleur à venir. Au sein de ce débat sont présents un ensemble de travaux relatifs aux modalités d'intervention sur le système Terre par la géoingénierie ou l'« intendance du système Terre » (Crutzen, 2006 ; Steffen *et al.*, 2011b). Il s'articule directement avec un questionnement politique normatif et prospectif et n'évite que rarement la question « Que pouvons-nous faire ? ». Parce que la modification de façon durable des conditions d'habitabilité de la planète Terre est saisissante, nous voyons apparaître dans le prolongement de ces travaux des sciences du système Terre un ensemble de travaux issus des sciences humaines et sociales portant sur un renouvellement des modalités d'organisation des sociétés humaines au sein de l'espace biosphérique qui les accueille (Eckersley, 2017 ; Arnsperger et Bourg, 2017 ; Curnier, 2017 ; Federau 2017, Lesourt, 2018 ; Wallenhorst, 2019 ; Wallenhorst et Pierron, 2019).

Le second grand débat scientifique porte sur la datation de l'entrée dans l'Anthropocène avec d'innombrables articles, moins connus du grand public car moins « spectaculaires » et plus techniques.¹ Il s'agit d'un débat d'experts des sciences du système Terre mobilisant particulièrement le champ pluridisciplinaire de la stratigraphie. En revanche ces articles sont particulièrement importants pour l'éducation. En effet, c'est sur la base de ces articles (et non sur ceux insistant sur l'altération systémique de la biosphère de nature anthropique) que va être officialisé cette nouvelle époque géologique qui va se retrouver *de facto* dans les programmes scolaires sans même que cela ne fasse l'objet d'une révision politique des programmes ! L'échelle des temps géologique étant au programme des élèves de 5^{ème} (en France), dès que l'Anthropocène apparaîtra sur celle-ci, elle se retrouvera au programme. Il s'agira alors pour les enseignants d'en dire quelque chose (nous voyons ici, en creux, se dessiner un réel problème : actuellement nous ne parlons pas avec les principaux concernés de l'ampleur de la non habitabilité de la Terre dans les décennies à venir). Si ce débat peut apparaître un peu technique, fondamentalement c'est de nous qu'il parle. Il évoque notre aventure humaine dont nous constatons combien les logiques économiques sont hégémoniques et combien sa conduite politique fait défaut profit de logiques économiques (qui orientent les pérégrinations d'*homo sapiens* au sein de l'étendue terrestre, au risque qu'il y laisse sa peau).

Les géologues organisent l'histoire de la Terre en différentes catégories temporelles à partir des changements de l'état global de notre planète dont il est possible de percevoir des traces dans les sédiments. Ils identifient des segments particulièrement reconnaissables du point de vue du climat, du niveau des mers et des espèces vivantes. Les signaux stratigraphiques permettent de définir des unités chronostratigraphiques qui procurent aux géologues une forme de langage commun leur permettant d'avancer dans la connaissance de l'histoire de la Terre. Au sein du débat sur la datation de l'entrée dans l'Anthropocène, ce qui guide les chercheurs du système Terre est l'identification des éléments actuellement perceptibles dont nous savons (ou pouvons supposer savoir avec une probabilité élevée) qu'ils le seront toujours dans plusieurs centaines de milliers d'années, si ce n'est des millions d'années. Nous ne savons pas encore précisément ce que sera l'Anthropocène dans quelques centaines et milliers d'années et les principaux changements anthropiques du système Terre sont à venir. En revanche, il importe pour un ensemble de scientifiques du système Terre de décréter l'entrée dans une nouvelle époque géologique en raison d'un ensemble d'éléments stratigraphiques suffisamment solides. La plupart des limites définies le sont de deux façons : par l'identification d'un point précis sur la Terre dans un stratotype renvoyant à une limite de temps géologique globale. C'est ce qui est appelé GSSP : *Global Boundary Stratotype Section and Points* (que nous pouvons traduire en français par PSM : Point Stratotypique Mondial). Il renvoie à des roches, des sédiments, des glaciers qui se sont développés au cours d'une époque donnée. Le positionnement de ce point, autrement appelé, « clou d'or » (« *golden spike* »), en raison de sa matérialisation par un clou en or planté dans la roche, est ce qui est visé par les commissions stratigraphiques.²

¹ L'ensemble du débat a lieu dans des revues scientifiques anglophones. Nous avons traduit les citations en français.

² Ce clou d'or renvoie à une manifestation physique singulière faisant suite à un changement global. Celui-ci est associé à une autre limite, temporelle, définie par un âge absolu, appelée GSSA : *Global Standard Stratigraphic Ages* (l'ensemble des limites géologiques de l'échelle des temps géologiques n'ont pas de GSSP). Les étapes géologiques sont toujours définies à partir du début, c'est-à-dire de la limite inférieure servant de frontière. Avec la limite de l'unité supérieure, le GSSP définit une unité chronostratigraphique. L'intervalle de temps défini contient des signaux stratigraphiques qui sont interprétés à partir du point GSSP de la limite inférieure. Celui-ci a pour mission de fournir un ensemble de signaux d'interprétation et de cohérence au niveau mondial et non pas uniquement à l'échelle locale.

Une des difficultés rencontrées dans la définition d'un GSSP est que les effets des événements anthropiques sur le système Terre dans son ensemble ne sont pas immédiats mais différés de parfois plusieurs dizaines ou centaines d'années (Lewis et Maslin, 2015, p. 173). Un GSSP consiste dans l'adéquation d'une date avec un marqueur physique corrélé avec d'autres marqueurs secondaires. Il doit être positionné à un endroit du globe tout en ayant une corrélation démontrée avec un nouveau contexte global et bénéficier d'une sédimentation continue et clairement perceptible (Lewis et Maslin, 2015, p. 172).

Au sein de la communauté scientifique internationale des stratigraphes nous pouvons relever deux principales critiques. *Primo*, le fait que cette unité de temps géologique repose davantage sur l'observation de l'histoire humaine plutôt que sur des événements géologiques. L'Anthropocène est-elle bien une unité de temps de l'histoire de la Terre ou n'est-elle qu'une unité de temps de l'histoire humaine ? *Secundo*, les raisons de la définition d'une entrée dans cette nouvelle époque auraient davantage à voir avec la politique qu'avec la géologie (Autin et Holbrook 2012 ; Visconti 2014 ; Edwards 2015 ; Finney et Edwards 2016) : « la volonté de reconnaître officiellement l'Anthropocène peut être considérée comme davantage politique que scientifique » (Finney et Edwards, 2016, p. 4). Aux yeux des géologues du groupe de travail sur l'Anthropocène les fondements stratigraphiques de l'Anthropocène apparaîtraient formellement démontrables et distincts de son usage social et politique (Zalasiewicz *et al.*, 2017b).

Une série d'indicateurs peuvent servir de base pour la datation de l'entrée dans l'Anthropocène, comme l'abondance des dépôts anthropiques, les changements biotiques, des modifications géochimiques, des changements océaniques (comme la géochimie des océans, la biodiversité des océans, les changements du niveau de la mer), et des événements catastrophiques – qu'ils soient « naturels » ou d'origine anthropiques. La figure 1 de Waters *et al.* (2014) schématise les différentes possibilités de définition stratigraphique d'entrée dans l'Anthropocène. Les isotopes¹ peuvent également aider dans ce débat sur la datation de l'entrée dans l'Anthropocène. Les changements dans les isotopes peuvent être utilisés pour reconstruire des données comme le climat ou la composition chimique de l'atmosphère. Par exemple, ils montrent que l'époque des Grecs, marquée par des innovations et l'utilisation de métaux lourds se retrouve dans les isotopes de plomb. Ainsi ce n'est pas seulement la concentration des gaz dans l'atmosphère qui a été modifiée par les êtres humains, mais aussi la composition isotopique. S'il y a une évidence de changements isotopiques de nature anthropique perceptibles dans ces derniers millénaires, les isotopes seuls n'indiquent pas de façon claire où positionner la limite entre l'Holocène et l'Anthropocène (Dean, Leng et Mackay, 2014, p. 284).

¹ Les isotopes sont les éléments qui ont le même nombre de protons mais un nombre de neutrons différents, c'est-à-dire les différents types d'un même élément : les différents types de carbones, de plomb, etc.

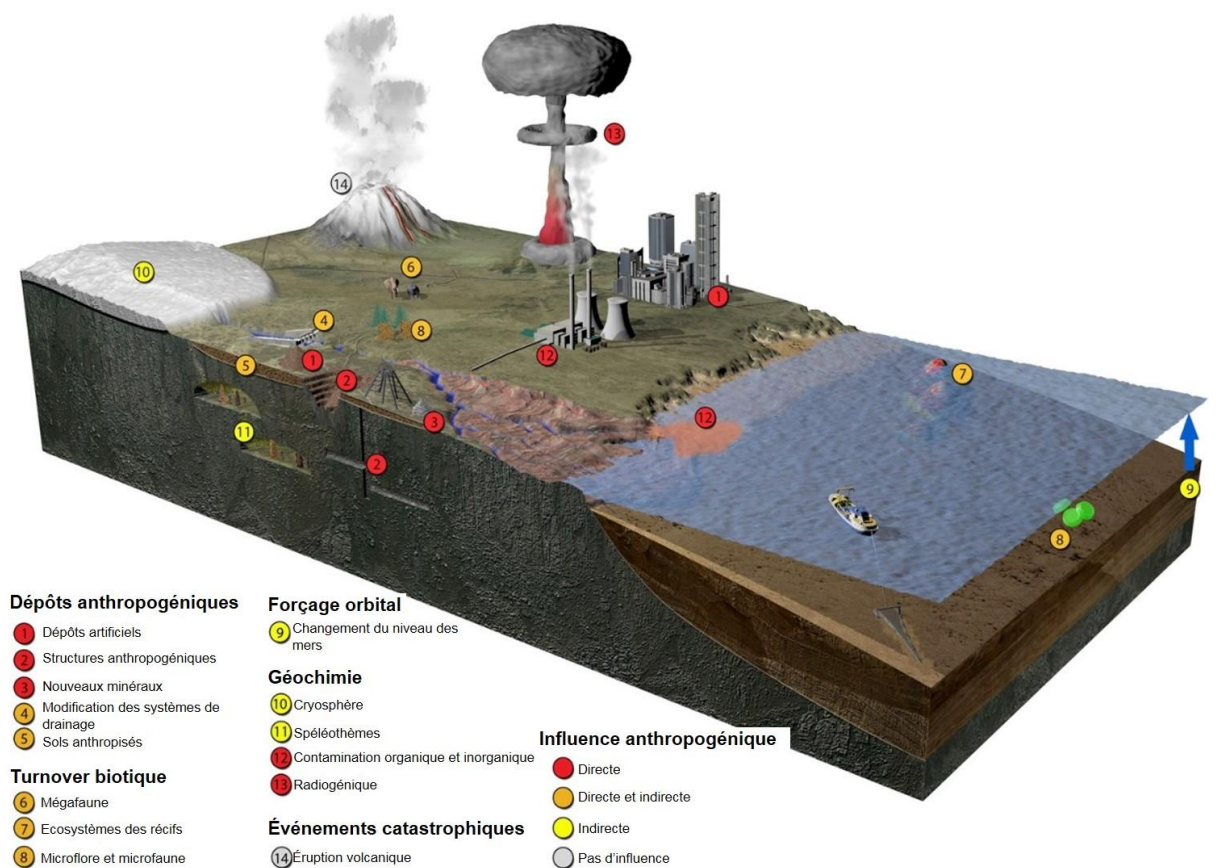


Figure 1. Indicateurs pouvant servir de base pour la datation de l'entrée dans l'Anthropocène (Waters *et al.*, 2014)¹

Waters *et al.* (2014) disent apporter les preuves d'une base stratigraphique à l'Anthropocène à partir de l'identification d'un ensemble de sédiments de nature anthropiques. Pour ces auteurs, le débat quant à la perception stratigraphique d'une différente époque géologique entre l'Holocène et l'Anthropocène est clair : « Les humains modifient la planète, y compris les processus géologiques globaux du long terme, à un rythme croissant » (p. 137). Des indicateurs stratigraphiques différenciant l'Holocène de l'Anthropocène ont pu être observés récemment dans des sédiments d'un lac à l'ouest du Groenland avec l'identification de plastiques, de radionucléides, de cendres volantes, de pesticides, d'azote réactif ou de métaux (Waters *et al.*, 2016, p. 137). Les signatures anthropiques attestant de l'entrée dans l'Anthropocène et de sa distinction d'avec l'Holocène sont pour ces auteurs la combinaison de trois multiplicateurs de forces : « le développement technologique accéléré, la croissance rapide de la population humaine et l'augmentation de la consommation de ressources » (Waters *et al.*, 2016, p. 139).

Hypothèse 1 : il y a 400 000 ans avec l'utilisation du feu

Les propositions de date d'entrée dans l'Anthropocène les plus anciennes remontent à l'âge de la pierre² (Doughty, 2013). L'utilisation fréquente du feu au cours de l'époque géologique du Pléistocène récent, il y a environ 400 000 ans en Afrique, est certainement le premier événement marquant des humains sur leur environnement (Roebroeks et Villa, 2011). Mais comme l'utilisation du feu est toujours locale, elle ne produit pas de GSSP global et ne peut être retenu (Lewis et Maslin, 2015, p. 173). Par ailleurs un autre événement très marquant qu'a connu la biosphère est l'extinction de la mégafaune avec la disparition de la moitié des grands mammifères. En revanche cet événement, qui s'est échelonné entre 50 000 ans et 12 000 ans avant notre époque ne peut pas non plus donner lieu à un GSSP car cette disparition a été très inégale sur les différents continents et a eu lieu à différents moments. (Lewis et Maslin, 2015, p. 174).

¹ En plus de ces différents espaces d'identification de signatures anthropiques, les chercheurs du système Terre investissent également les lacs arctiques et alpins, éloignés des zones d'urbanisation ou d'influence anthropique directe pour voir s'il est possible de constater une modification de la constitution des sédiments. L'impact humain sur les cycles biogéochimiques (et notamment celui de l'azote) est bien perceptible dans les sédiments lacustres (Wolfe *et al.*, 2013 ; Waters *et al.*, 2016).

² L'âge de la pierre commence avec la création d'outils en pierre par les premiers hominidés (il y a 2,4 à 3,2 millions d'années).

Hypothèse 2 : il y a entre 8000 et 5000 ans avec le développement de l'agriculture

Quelques auteurs, comme le journaliste scientifique américain Michael Balter (2013), l'écologue américano-belge Jed O. Kaplan *et al.* (2011), et le paléoclimatologue américain William F. Ruddiman (2003 ; 2013 ; Ruddiman *et al.*, 2014) estiment que l'Anthropocène a commencé avec le développement de l'agriculture et la modification de la composition chimique de l'atmosphère qui s'en est suivie. La stabilisation du climat de l'entrée dans l'Holocène a permis un développement de l'agriculture à différents endroits du globe. L'agriculture a débuté sur trois continents il y a 10 000 ans : en Asie du Sud-Est, en Amérique du Sud et au Nord de la Chine (Lewis et Maslin, 2015, p. 174). Progressivement l'agriculture a consisté dans le remplacement de la végétation naturelle par un autre type de végétation ainsi que dans la disparition de certaines espèces au profit du développement d'autres domestiquées par les humains. L'agriculture a également modifié les flux biogéochimiques. En effet, comme le montre la figure 2 réalisée par Lewis et Maslin (2015, p. 174) le pic de méthane (CH₄) dans l'atmosphère en 5 020 BP (BP – signifiant « *before present* », le présent étant l'année 1950) enregistré dans des glaces aurait pu être un GSSP car il pourrait être dû au développement de la culture du riz en Asie et à l'augmentation des ruminants.¹

L'hypothèse d'une Anthropocène précoce (« *early Anthropocene* ») recueille un ensemble d'éléments en sa faveur avec la modification de l'habitat terrestre et des changements biotiques terrestres, les changements marins microbiotiques comme les changements de la constitution de l'atmosphère suite à l'agriculture (Zalasiewicz *et al.*, 2014). Il n'est pas impossible que le développement de l'agriculture à différents endroits du globe soit responsable du maintien de la stabilité des températures de l'Holocène et d'un non-retour à une époque glaciaire en raison de l'augmentation du taux de CO₂ il y a 8 000 ans et de l'augmentation du taux de méthane il y a 5 000 ans (MacFarling Meure *et al.*, 2006). En revanche, cette hypothèse n'est pas encore complètement confirmée. La longueur inhabituelle de l'époque interglaciaire que nous connaissons actuellement pourrait également être due à des changements non anthropogéniques dans les radiations solaires et des modifications de l'orbite terrestre² altérant les émissions de méthane des zones humides tropicales (Steffen *et al.*, 2011a, p. 847 ; Lewis et Maslin, 2015, p. 174).

¹ Les glaces, véritable mémoire de l'histoire récente de la Terre, ont retenu des bulles d'air de l'atmosphère nous permettant de retrouver la constitution chimique de ces dernières centaines de milliers d'année.

² L'axe de rotation de la Terre, comme l'orbite terrestre ne sont pas parfaitement stables et connaissent des modifications périodiques qui génèrent des incidences sur le climat à la surface de la Terre. Ces modifications sont connues pour avoir été en grande partie à l'origine des alternances des phases glaciaires et interglaciaires.

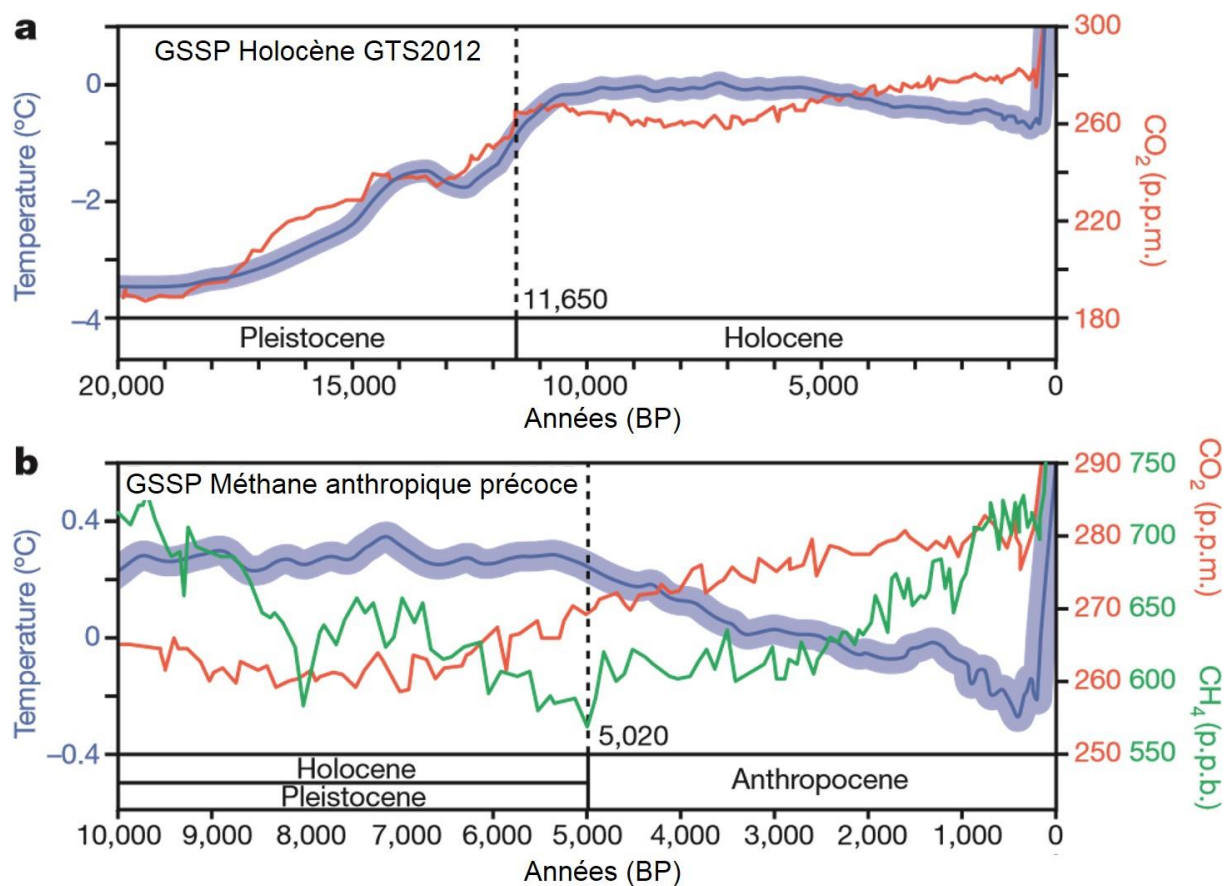


Figure 2. L'hypothèse d'une Anthropocène précoce (Lewis et Maslin, 2015, p. 174)

Le graphique (a) de la figure 2 montre la limite GSSP entre le Pléistocène et l'Holocène définie à 11 650 années BP (lignes pointillées) ainsi que les écarts de température globale par rapport à la moyenne de l'Holocène. Le graphique (b) montre la proposition d'un GSSP pour un Anthropocène précoce il y a 5 020 ans BP positionné dans le creux de la courbe de méthane (CH₄, courbe verte). L'augmentation du taux de méthane atmosphérique a ensuite connu une hausse progressive dont nous savons qu'à un moment donné elle est de toute façon directement due au développement de l'agriculture, des rizières et de l'élevage. Il est possible de voir également la courbe du taux de CO₂ dans l'atmosphère (courbe rouge).

Deux auteurs (Certini et Scalenghe, 2011) proposent une datation originale de l'Anthropocène il y a 2000 ans. Celle-ci ne correspond pas exactement au développement de l'agriculture, mais à une étape de développement des grandes civilisations dont il est possible de percevoir une trace dans les sols. Ils considèrent la pédosphère (les sols non recouverts de glace) comme « le meilleur indicateur de la montée en puissance des impacts des êtres humains sur l'ensemble de l'environnement, car elle reflète fortement l'impact croissant des premières civilisations sur une grande partie de la surface de la Terre » (2011, p. 1269). Ils estiment enfin que les sols constituent un meilleur indicateur stratigraphique que la modification de la constitution chimique de l'atmosphère permettant de positionner un clou d'or. Les sols ont connu de nombreuses modifications de nature anthropique afin d'augmenter la fertilité des cultures. En revanche la limite de leur proposition est d'appréhender l'Anthropocène comme une anthropisation de la planète et non comme une modification du système Terre dans son ensemble.

Hypothèse 3 : en 1610 suite à la rencontre de l'Ancien et du Nouveau monde

Un autre événement pourrait participer de la définition de l'entrée dans l'Anthropocène, que Lewis et Maslin (2015) nomment la collision entre l'Ancien et le Nouveau monde. Ils sont à ce jour les seuls à proposer ce GSSP. Cet événement est le début d'une organisation globale de l'humanité sur la Terre avec des produits alimentaires communs. Cela a généré une réorganisation de la vie animale et végétale. Mais surtout, l'arrivée des Européens en Amérique en 1492 s'est accompagnée d'un déclin important de la population mondiale. La population en Amérique est estimée entre 54 et

61 millions en 1492 et a atteint 6 millions 158 ans plus tard, en 1650. Ce déclin de la population en Amérique est dû aux guerres, à l'esclavage, à des maladies apportées par les Européens ainsi qu'à des famines. Cette diminution de la population a généré une diminution des terres agricoles et une augmentation de la surface des forêts estimée à 50 millions d'hectares. Cela s'est traduit par une diminution du taux de CO₂ dans l'atmosphère de 7 à 10 ppm perceptible dans les sédiments des glaces antarctiques entre 1570 et 1620. La date de 1610 est estimée comme un marqueur GSSP approprié par ces deux auteurs à laquelle sont associés des stratotypes secondaires comme les incidences de la rencontre des biotopes entre l'ancien et le nouveau monde avec l'enregistrement fossile de l'arrivée du maïs en Europe ou l'éruption de Huaynaputina perceptible dans les sédiments des deux pôles et des tropiques. Il est également possible de percevoir une diminution du méthane dans l'atmosphère ou une augmentation des glaces en Arctique. Deux carottes glaciaires différentes de l'antarctique indiquent cette baisse de 7 à 10 ppm de CO₂ dans l'atmosphère, ce qui montre un dépassement des marges d'erreurs possibles (qui sont de l'ordre de 1 à 2 ppm). En plus d'être perceptible dans les sédiments et de représenter un bon candidat pour un GSSP, la rencontre de l'Ancien et du Nouveau monde présente l'intérêt d'être un événement majeur de l'histoire humaine représentant le point de départ de la globalisation, réelle caractéristique de la période contemporaine.

L'intérêt de l'approche de Lewis et Maslin (2015) est que, dans la proposition d'un GSSP datant l'entrée dans l'Anthropocène, ils analysent les données géologiques et non celles de l'histoire humaine. C'est la raison pour laquelle le GSSP proposé est 1610 avec l'inflexion du CO₂ dans l'atmosphère et non 1492. Ils rejettent les autres dates possibles d'entrée dans l'Anthropocène car elles ne sont pas issues d'un marqueur global. Cette date est pour eux la candidate la plus sérieuse pour un GSSP en raison du changement radical et global que cela a généré. Comme la rencontre de l'ancien et du nouveau monde a également permis la révolution industrielle, il s'agit d'une date compatible avec l'hypothèse initiale de Crutzen et Stoermer (2000).

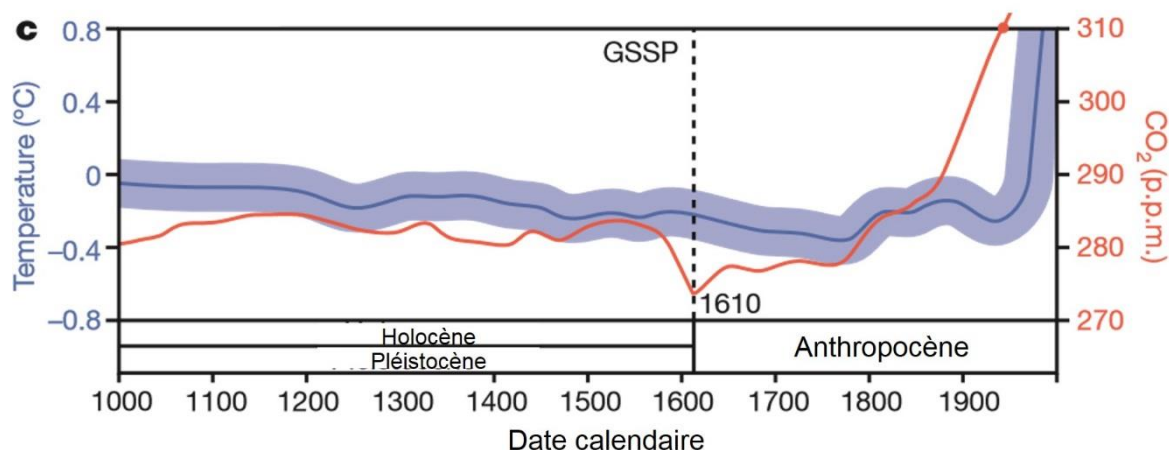


Figure 3. Un GSSP correspondant à la rencontre entre l'ancien et le nouveau monde (Lewis et Maslin, 2015)

La figure 3 met en évidence la baisse du taux de CO₂ dans l'atmosphère en 1610 (courbe rouge), date proposée comme GSSP (ligne pointillée). La courbe bleue présente les écarts de température avec la moyenne de l'Holocène.

Hypothèse 4 : 1769 ou 1800 avec l'émergence de la révolution industrielle

Dans ses premiers articles, Crutzen (Crutzen et Stoermer, 2000 ; Crutzen, 2002) positionne l'entrée dans l'Anthropocène avec la révolution industrielle et, s'il devait la dater précisément, il retiendrait la date de 1769 avec la création de la machine à vapeur.¹ En effet, pour un ensemble d'auteurs, dont Crutzen, les technologies industrielles sont à l'origine de l'entrée dans l'Anthropocène (Steffen *et al.*, 2011a ; Waters *et al.*, 2011 ; Zalasiewicz *et al.*, 2011) et la révolution industrielle est venue supplanter l'agriculture dans ses effets globaux sur l'environnement. Pour Zalasiewicz *et al.*, en 2008, l'éruption du mont Tabora en avril 1815 ayant généré un obscurcissement d'une année dans l'hémisphère Nord pourrait être un marqueur stratigraphique « naturel » d'une entrée dans l'Anthropocène correspondant à l'avènement de la révolution industrielle.

¹ La date de 1769 correspond au dépôt du brevet par James Watt.

Ces dernières années, la révolution industrielle est moins investie comme la candidate la plus sérieuse pour l'entrée dans l'Anthropocène, ce qu'elle a pourtant été au début de sa conceptualisation. L'ère industrielle est considérée en 2007 par Steffen, Crutzen et McNeil comme la première étape de l'Anthropocène. Celle-ci a commencé en Angleterre avec l'utilisation de la machine à vapeur (qui rejette du CO₂ dans l'atmosphère), a véritablement participé à une transformation du pays vers 1850 avant de convertir le reste du monde. La caractéristique de la révolution industrielle comme proposition de date d'entrée dans l'Anthropocène est qu'elle a eu lieu au début du XVIII^{ème} siècle au Royaume Uni, puis dans les années 1820-1880 sur la côte Est des États-Unis et en Europe occidentale, puis à la toute fin du XVIII^{ème} siècle dans le reste de l'Europe et des États-Unis. Les autres pays de la planète ne furent concernés par la révolution industrielle qu'au cours du XX^{ème} siècle. Steffen, Grinevald, Crutzen et McNeil, dans un article de 2011 proposent de positionner l'Anthropocène comme nouvelle époque dont le point de départ serait autour de 1800 avec l'entrée dans la révolution industrielle. Leur position évoluera puisqu'ils signeront tous les quatre un article en 2014 dans lequel ils proposent la date de 1945 comme entrée dans l'Anthropocène d'un point de vue stratigraphique avec le positionnement d'un clou d'or (Zalasiewicz *et al.*, 2014a). Pour Steffen *et al.* (2011a) le taux de concentration de CO₂ dans l'atmosphère est un bon indicateur de l'entrée dans l'Anthropocène, ce que peuvent contester certains stratigraphes particulièrement attentifs à ce qui est perceptible dans les sédiments rocheux. Le taux de concentration de CO₂ dans l'atmosphère était de 277 ppm en 1750 ; il est ensuite passé à 279 ppm en 1775 ; puis 283 ppm en 1800 ; 284 ppm en 1825. Ces taux restent dans la fourchette de variabilité de l'Holocène, comprise entre 260 et 285 ppm. La limite de variabilité naturelle de l'Holocène a été atteinte en 1850 avec 285 ppm puis elle a été dépassée en 1900 avec 296 ppm (Steffen *et al.*, 2011a, p. 848 ; Etheridge *et al.*, 1998 ; Kleinen *et al.*, 2010). La pollution aux métaux associée à la révolution industrielle ne peut pas être utilisée comme un GSSP pour Lewis et Maslin en raison de son aspect local et diachronique (il est possible de percevoir des traces de cette exploitation des métaux entre 8 000 BP et la révolution industrielle) (2015, p. 175). Si un ensemble de marqueurs sont produits à partir de 1800 à partir de l'Amérique du Nord et de l'Europe du Nord (dont l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère à partir du XIX^{ème} siècle), aucun d'entre eux n'émerge clairement comme GSSP selon ces mêmes auteurs.

Hypothèse 5 : En 1950 avec le début de la grande accélération

Parmi les changements sociaux survenus depuis le milieu du XX^{ème} siècle, nous pouvons relever une augmentation très significative de la population mondiale et notamment de la population urbaine avec un passage de 730 millions à 3,7 milliards de personnes habitant en ville entre 1945 et 2014 (Zalasiewicz *et al.*, 2014, p. 3). Les courbes de la grande accélération ont été proposées par Steffen *et al.* en 2004 sans qu'elles n'aient encore été baptisées « *Great acceleration* » puis, avec cette appellation, en 2007 pour illustrer les évolutions de l'activité humaine sur la Terre. La grande accélération renvoie à une accélération de la production de sédiments d'origine humaine. Il s'avère que, pour un ensemble d'auteurs, elle peut également servir de marqueur stratigraphique pertinent (Waters *et al.*, 2014 ; Holtgrieve *et al.*, 2011 ; Wolfe *et al.*, 2013 ; Zalasiewicz *et al.*, 2014a). Zalasiewicz *et al.* (2014a, p. 4) identifient un ensemble de marqueurs stratigraphiques possibles afférents à la grande accélération : la perturbation du cycle de l'azote suite au développement du procédé Haber-Bosch ; les technofossiles ou les déchets plastiques ou aluminium répandus à travers le globe ; l'explosion des dépôts d'origine humaine sur les terres ; l'explosion des polluants liés au développement de l'activité industrielle ; le franchissement d'une étape significative dans les changements biotiques d'origine anthropique avec la disparition d'un ensemble d'espèces vivantes ; l'accélération de la consommation d'hydrocarbures générant une augmentation du taux de CO₂ dans l'atmosphère ; les traces fossiles liées aux forages pétroliers ; les déversements de pétrole sur les côtes ; ou encore les grands barrages qui génèrent un retrait d'un ensemble de deltas.

À l'occasion de la réactualisation des graphiques de la grande accélération incluant le prolongement des courbes jusqu'en 2010, Steffen *et al.* (2015) ont repris le débat sur la datation de l'entrée dans l'Anthropocène et affirment que le début de la grande accélération des années 1950 est le candidat le plus convaincant du point de vue des sciences du système terre pour dater l'entrée dans l'Anthropocène en raison d'un dépassement des variabilités de l'Holocène et de l'évidence que ces modifications du Système terre sont conduites par l'activité humaine. D'un point de vue strictement

stratigraphique, Zalasiewicz et Williams (2013) considèrent également la grande accélération débutant dans les années 1950 comme le point d'entrée dans l'Anthropocène.¹

Hypothèse 6 : 1945 ou 1964 avec les explosions de bombes nucléaires

Une autre hypothèse explorée comme date possible d'entrée dans l'Anthropocène est la première explosion d'une bombe nucléaire le 16 juillet 1945 à Alamogordo au Nouveau Mexique² ou le pic de radioactivité survenu une vingtaine d'années plus tard. Suite à cette première explosion, d'autres bombes ont explosé à la moyenne d'une explosion tous les 9,6 jours, ce qui a modifié ensuite la constitution chimique de l'atmosphère (Zalasiewicz *et al.*, 2014, p. 1). Le pic de radioactivité est perceptible en 1964, juste après qu'ait été mis en pratique le traité d'interdiction partiel des essais nucléaires signé le 5 août 1963 à Moscou. Pour Lewis et Maslin (2015) ainsi que pour Masco (2010), les explosions atomiques définissent une bonne entrée dans l'Anthropocène et le pic de radiocarbone ($\Delta^{14}\text{C}$) dans l'atmosphère représente un GSSP qui ne comporte pas d'ambiguïté.³ C'est la raison pour laquelle ils proposent le pic de 1964 comme un GSSP possible pour dater l'entrée dans l'Anthropocène. Le GSSP proposé par Lewis et Maslin (2015) est un pin de King Castle à 25 km à l'Est de Cracovie en Pologne au sein duquel on retrouve ce pic de radiocarbone. L'intérêt de l'approche de Lewis et Maslin de la proposition d'un GSSP en 1964 est le même que pour la proposition de 1610. Ils se centrent sur les données stratigraphiques et non sur celles de l'histoire humaine – même si elles en sont le direct reflet quelques années ou décennies plus tard. L'intérêt de choisir 1964 comme date d'entrée dans l'Anthropocène est que cela renvoie à un ensemble de marqueurs de l'impact de l'activité humaine sur le système terre perceptible au cours de la grande accélération. En revanche, si les explosions atomiques sont stratigraphiquement perceptibles, elles n'ont pas radicalement changé le système Terre – même si leur puissance leur donne cette possibilité. La date d'entrée proposée est à peu près la même que celle de la grande accélération mais nous souhaitons la distinguer – ce que ne font pas tous les auteurs – car elle ne renvoie pas à l'accélération de la consommation de la production industrielle mais au franchissement d'une étape technoscientifique en lien direct avec une capacité d'autodestruction.

Crutzen a progressivement revu sa proposition de datation de l'entrée dans l'Anthropocène. Initialement il a proposé la création de la machine à vapeur et la date approximative de l'année 1800 avec le développement de la révolution industrielle en Grande Bretagne. Il s'est ensuite rallié à d'autres chercheurs proposant comme GSSP la première explosion de bombe nucléaire en raison d'évidences stratigraphiques plus fortes.

Zalasiewicz *et al.* (2014a, p. 6) dans un article intitulé « Quand l'Anthropocène a-t-il commencé ? Une limite au milieu du XX^{ème} siècle est stratigraphiquement optimale » (« *When did the Anthropocene begin ? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal* ») précisent que la signification de l'Anthropocène réside dans la « perception des premières traces de l'espèce humaine sur le système Terre ainsi que dans l'importance et la longévité des changements de nature anthropiques sur le système Terre. ». C'est la raison pour laquelle ils proposent un point GSSA et non GSSP avec une limite d'entrée dans l'Anthropocène définie en 1945 avec le premier test d'explosion nucléaire d'Alamogordo qui a l'intérêt d'ouvrir un ensemble de recherche pluridisciplinaire autour de l'Anthropocène et de ne pas cantonner ce concept au strict champ de la Géologie. Leur argumentation apparaît intéressante et inhabituelle pour des géologues et scientifiques du système Terre qui constituent la majorité des 26 signataires de cet article.

¹ Les douze courbes de la grande accélération, de 1750 à 2010, portant sur l'action humaine et sur les indicateurs de fonctionnement du système Terre ont été tellement repris qu'il n'est pas nécessaire de les reproduire à nouveau ici (Steffen *et al.*, 2015).

² Il s'agissait d'un test réalisé par l'armée américaine qui lui permit de bombarder quelques semaines plus tard les villes d'Hiroshima et de Nagasaki les 6 et 9 juillet 1945.

³ En plus du $\Delta^{14}\text{C}$, le plutonium 239 (^{239}Pu) pourrait être un marqueur intéressant car particulièrement rare à l'état naturel et très présent dans les retombées des explosions atomiques (Waters *et al.*, 2015).

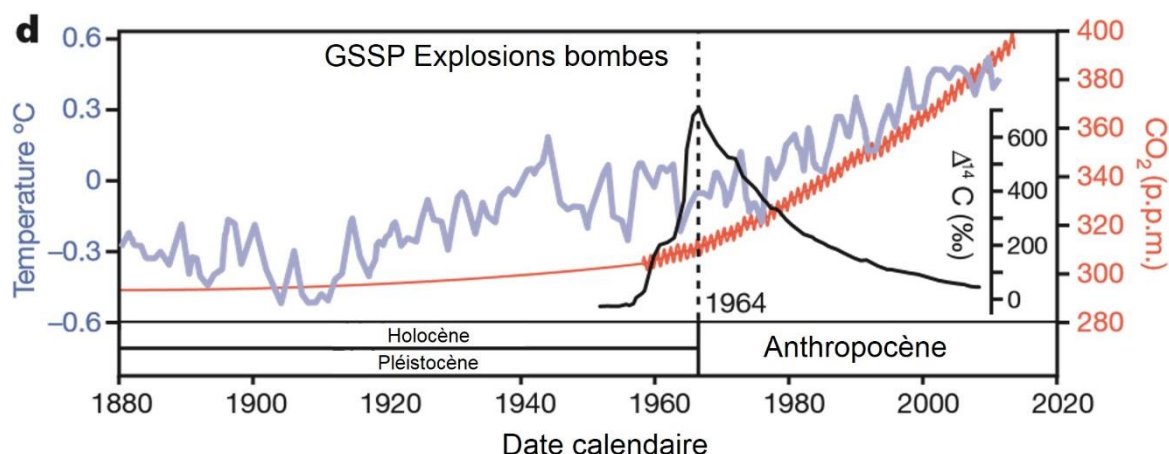


Figure 4. Un GSSP en 1964 comme datation de l'entrée dans l'Anthropocène (Lewis et Maslin, 2015)

Sur ce graphique la ligne en pointillé montre la limite entre l'Holocène et l'Anthropocène. La courbe noire représente le taux de radiocarbone atmosphérique avec un pic en 1964, la courbe bleue représente les écarts de température par rapport à la moyenne de l'Holocène et la courbe rouge le taux de CO₂ atmosphérique. Le grand intérêt stratigraphique des retombées des bombes nucléaires est de proposer une signature claire, abrupte et répandue, conforme aux types de signaux que les stratigraphes affectionnent. (Waters *et al.*, 2015).

Hypothèse 7 : quelque part dans le futur

Pour Wolff (2014), il ne fait aucun doute que l'activité humaine a modifié des éléments du système Terre qu'il perçoit sans ambiguïté dans les carottes de glace des calottes glaciaires, ces glaciers des pôles particulièrement importants dans la stabilité du climat.¹ En revanche l'impact anthropique actuel sur les calottes glaciaires ne justifie pas encore une nouvelle frontière géologique entre l'Holocène et l'Anthropocène car le changement actuel peut être réversible d'ici 10 000 à 100 000 ans, même s'il estime que nous pouvons dire que l'activité humaine est vraisemblablement en train de retarder la prochaine formation glaciaire d'au moins 100 000 ans. Wolff (2014) considère que les explosions nucléaires ont laissé des traces globales de nature anthropiques conséquentes. Si Wolff (2014) reste très prudent, il estime quand même qu'un point GSSP pourrait être placé dans les glaces du Groenland ou de l'Antarctique – tout en ayant conscience que cela n'est pas idéal d'un point de vue stratigraphique en raison de la non permanence des calottes glaciaires. Pour Wolff (2014) il est évident que les êtres humains ont pris le contrôle d'importantes parties du système Terre. En revanche, comme ce que sera l'Anthropocène dans quelques centaines et milliers d'années n'est pas encore clair, il lui semble géologiquement plus prudent que ce soient les générations futures qui décident de la date d'entrée, lorsqu'il sera possible d'avoir davantage de recul.

Conclusion : quelques pistes d'exploitation pédagogiques de ces données

La connaissance du débat stratigraphique est importante mais elle ne constitue pas un « en soi ». Elle permet d'ouvrir ensuite une réflexion et peut faire l'objet de différents travaux avec des élèves ou des étudiants. Ce débat apparaît en effet comme un analyseur intéressant des différentes facettes du polémique concept d'Anthropocène qui, s'il est sans conteste un concept scientifique, est aussi un concept politique permettant de penser l'orientation de l'aventure humaine et un concept militant comme il est possible de l'identifier régulièrement au fil de la lecture des articles scientifiques – les chercheurs n'étant évidemment pas neutres sur des thématiques aussi anxiogène que celles véhiculées par l'Anthropocène (Wallenhorst, 2019).

Nous avons aussi avec ce débat un point d'appui pour adopter une lecture critique des programmes scolaires et permettre aux étudiants (peut-être davantage ici qu'aux élèves) d'exercer leur réflexivité sur leur socialisation scolaire. Qu'est-ce que l'école nous a transmis de fondamental qui apparaît sous un nouveau jour à l'aune de l'Anthropocène ?

¹ Les calottes glaciaires sont ces grands glaciers positionnés au niveau des pôles. Ils mesurent parfois plusieurs kilomètres de hauteur et s'étendent sur des dizaines de km². Ces calottes glaciaires sont un élément important du système Terre et sont visibles depuis l'espace. Elles ont un albédo important et participent ainsi du refroidissement du globe.

Il est aussi possible d'avoir une lecture des récits politiques de l'Anthropocène sous-jacents à chacune des hypothèses de datation (qui pointent du doigt des responsables, mettent en scène des morales, ouvrent ou ferment l'avenir).

Si le débat d'experts est particulièrement vif, nous pouvons aussi aisément travailler une forme de synthèse anthropologique sous-jacente aux différentes hypothèses. Qu'est-ce qui est en jeu, fondamentalement, dans la façon dont nous sommes humains au sein de l'étendue terrestre ? Ici la figure de l'*homo oeconomicus* cherchant à maximiser ses intérêts individuels apparaît de façon particulièrement forte.

L'Anthropocène permet également de revisiter la modernité et cette forte présence du dualisme entre nature et culture. L'Anthropocène vient brouiller les frontières. Qu'est-ce qui est vraiment « naturel » ? Peut-il y avoir quelque chose de proprement « culturel » et « social » qui ne soit pas ancré dans la « nature » ? Qu'en est-il de nos liens avec la Terre et l'aventure du vivant ?

Partant, ce débat scientifique peut également participer de l'ouverture du champ de la rationalité. La Terre garde en mémoire les traces de notre passage. Cela est manifeste : elle parle de nous. Mais est-ce qu'elle nous parle ? Que nous dit-elle lorsque nous l'écoutons ?

Références bibliographiques

- Arnsperger, C., Bourg, D. (2017). *Ecologie intégrale, Pour une société permacirculaire*. Paris : PUF.
- Autin, W. J., Holbrook, J. M. (2012). Is the Anthropocene an issue of stratigraphy or pop culture ? *GSA Today*, 22 (7), 60-61.
- Bador, M. *et al.* (2017). Future summer mega-heatwave and record-breaking temperatures in a warmer France climate. *Environmental Research Letters*, 12, 1-2.
- Balter, M. (2013). Archaeologists say the "Anthropocene" is here – but it began long ago. *Science*, 340, 261-262.
- Barnosky, A. D. *et al.* (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived ? *Nature*, 471, 51-57.
- Barnosky, A. D. *et al.* (2012). Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature*, 486, 52-58.
- Crutzen, P. J. (2002). Geology of Mankind : "The Anthropocene". *Nature*, 415, 23.
- Crutzen, P. J. (2006). Albedo enhancement by stratospheric sulfur injections : a contribution to resolve a policy dilemma ? *Climate change*, 77, 211-219.
- Curnier, D. (2017). Quel rôle pour l'école dans la transition écologique ? Esquisse d'une sociologie politique, environnementale et prospective du curriculum prescrit. Thèse de doctorat en Sciences de l'environnement de l'Université de Lausanne.
- Doughty, C. E. (2013). Preindustrial human impacts on global and regional environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 38, 503-527.
- Eckersley, R. (2017). La démocratie à l'ère de l'Anthropocène. *lapenseeecologique.com*, 1(1), 1-19.
- Edwards, L. E. (2018). What is the Anthropocene ? *Eos*, <https://eos.org/opinions/what-is-the-anthropocene>.
- Federau, A. (2017). *Pour une philosophie de l'Anthropocène*. Paris : PUF.
- Finney, S., Edwards, L. E. (2016). The "Anthropocene" epoch : scientific decision or political statement?, *GSA Today*, 26 (3-4), 4-10.
- Holtgrieve, G. W. *et al.* (2011). A coherent signature of anthropogenic nitrogen deposition to remote watersheds of the Northern Hemisphere. *Science*, 334, 1545-1548.
- Im, E.-S., Pal, J. S., Eltahir, E. A. B. (2017). Deadly heat waves projected in the densely populated agricultural regions of South Asia. *Science advances*, 3(8), 1-7.
- Kaplan, J. O. *et al.* (2011). Holocene carbon emissions as a result of anthropogenic land-cover change. *The Holocene*, 21 (5), 775-791.
- Lesourt, E. (2018). *Survivre à l'Anthropocène*. Paris : PUF.
- Lewis, S. L., Maslin, M. A. (2006). Defining the Anthropocene. *Nature*, 519, 171-180.
- MacFarling Meure, C. *et al.* (2006). Law Dome CO₂, CH₄ and N₂O ice core records extended to 2000 years BP. *Geophysical Research Letters*, 33, 1-4.
- Masco, J. (2010). Bad weather : On planetary crisis. *Social studies of Science*, 40(1), 7-40.
- Mora, C. *et al.* (2017). Global risk of deadly heat. *Nature climate change*, 7, 501-506.
- Nature (2011). Editorial. The human epoch. Official recognition for the Anthropocene would focus minds on the challenges to come. *Nature*, 473, 254.
- Pal, J. S., Eltahir, E. A. B. (2015). Future temperature in southwest Asia projected to exceed a threshold for human adaptability. *Nature climate change*, 26 october, 1-4.

- Rockström, J. (2015). Bounding the Planetary Future : Why We Need a Great Transition. *Great transition initiative*, avril, 1-14.
- Rockström, J., W. et al. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-475.
- Roebroeks, W., Villa, P. (2011). On the earliest evidence for habitual use of fire in Europe. *Proceedings of the National Academy of Science, USA*, 108 (13), 5209-5214.
- Ruddiman, W. F. (2003). The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *Climatic Change*, 61, 261-293.
- Ruddiman, W. F. (2013). The Anthropocene. *The Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 41, 45-68.
- Ruddiman W. F. et al. (2014). Does pre-industrial warming double the anthropogenic total ? *The Anthropocene Review*, 1, 1-7.
- Steffen, W. et al. (2004). *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure, The IGBP Book Series*. New York: Springer.
- Steffen, W. et al. (2011a). The Anthropocene : conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 369, 842-867.
- Steffen, W. et al. (2011b). The Anthropocene : From global change to planetary stewardship. *Ambio*, 40(7), 739-761.
- Steffen, W. et al. (2015). The trajectory of the Anthropocene : The great Acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1), 81-98.
- Steffen, W. et al. (2016). Stratigraphic and Earth system approaches to defining the Anthropocene. *Earth's Future*, 4, 1-22.
- Steffen, W. et al. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115 (33), 8252-8259.
- Visconti, G. (2014). Anthropocene : another academic invention ? *Rendiconti Lincei : Science Fisiche e Naturali*, 25 (3), 381-392.
- Wallenhorst, N. (2019). *L'Anthropocène décodé pour les humains*. Paris : Le Pommier.
- Wallenhorst, N., Pierron, J.-P. (dir.) (2019). *Éduquer en Anthropocène*. Lormont : Le Bord de l'eau.
- Wallenhorst, N., Robin, J.-Y., Boutinet, J.-P. (2019). L'émergence de l'Anthropocène, une révélation étonnante de la condition humaine ? In N. Wallenhorst, J.-P. Pierron (dir), *Éduquer en Anthropocène*. Lormont : Le Bord de l'eau, pp. 23-36.
- Waters, C. N. et al. (2016). The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science*, 351, 137-147.
- Waters, C. N. et al. (2014). Evidence for a Stratigraphic Basis for the Anthropocene. In R. Rocha, J. Pais, J. Kullberg, S. Finney (dir.), *STRATI 2013*, Springer Geology, Springer, Cham, pp. 989-993.
- Waters, C. N. et al. (2015). Can nuclear weapons fallout mark the beginning of the Anthropocene Epoch? *Bulletin of the Atomic Scientists*, 71 (3), 46-57.
- Wolfe, A. P. et al. (2013). Stratigraphic expressions of the Holocene–Anthropocene transition revealed in sediments from remote lakes. *Earth-Science Reviews*, 116, 17-34.
- Zalasiewicz, J. et al. (2014). When did the Anthropocene begin ? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal. *Quaternary international*, 30, 1-8.
- Zalasiewicz, J. et al. (2010). The new world of the Anthropocene. *Environmental Science & Technology*, 44, 2228–2231.
- Zalasiewicz, J. et al. (2011b). The Anthropocene : A new epoch of geological time? *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 369, 835-841.
- Zalasiewicz J. et al. (2017a). Anthropocene: its stratigraphic basis. *Nature*, 541, 289-289.
- Zalasiewicz, J. et al. (2017b). Making the case for a formal Anthropocene Epoch : an analysis of ongoing critiques. *Newsletters on Stratigraphy*, 50, 205-226.
- Zalasiewicz, J. et al. (2012). Response to Autin and Holbrook on “Is the Anthropocene an issue of stratigraphy or pop culture ?” *GSA Today*, 22(7), e21-e22.