



HAL
open science

La lecture kuhnienne de l'histoire des Sciences de la Terre rend-elle compte nettement des apports de Wegener au XXe siècle ?

David Dubourg

► To cite this version:

David Dubourg. La lecture kuhnienne de l'histoire des Sciences de la Terre rend-elle compte nettement des apports de Wegener au XXe siècle ?. Sciences de l'Homme et Société. 2020. dumas-03655256

HAL Id: dumas-03655256

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03655256>

Submitted on 29 Apr 2022

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.

Université de Caen - Normandie
UFR Humanités et Sciences Sociales
Département de Philosophie

Pour obtenir le diplôme de master 1

Spécialité philosophie

Lecture des travaux d'Alfred Wegener dans son ouvrage *La Genèse des Continents et des Océans* à travers les apports épistémologiques de Thomas Kuhn dans son ouvrage *La Structure des Révolutions Scientifiques*.

La lecture kuhnienne de l'histoire des sciences de la Terre rend-elle compte nettement des apports de Wegener au XX^e siècle ?

Présenté et soutenu par

David DUBOURG

Septembre 2020

Mémoire dirigé par : M. CLAUZADE & M. SAVATON



Normandie Université

Lecture des travaux d'Alfred Wegener dans son ouvrage *La Genèse des Continents et des Océans* à travers les apports épistémologiques de Thomas Kuhn dans son ouvrage *La Structure des Révolutions Scientifiques*.

La lecture kuhnienne de l'histoire des sciences de la Terre rend-elle compte nettement des apports de Wegener au XX^e siècle ?

Mémoire de Master I de Philosophie

David DUBOURG

N° INE : 031440005j57

Université de Caen – Normandie

Sous la direction de M. Clauzade

Et de M. Savaton

Mes hommages vont à M. Frereux, mon professeur d'épistémologie qui m'a initié à la lecture de Thomas Kuhn.

Je remercie M. Clauzade et M. Savaton pour leurs soutiens.

Et je remercie Emilie mon épouse.

« Il faut en effet comprendre que, de même que dans notre corps la puissance enfermée du souffle est cause à la fois de frissons et de pulsations, de même dans la terre le souffle produit des effets similaires, et que tel séisme ressemble à un frisson, tel autre à une pulsation, et qu'à la manière dont souvent cela advient après qu'on a uriné [...], de telles choses se produisent aussi pour la terre. »

Aristote, *Météorologiques*, Livre II, Chap. 8

Préambule

Au cours de ses vivifiants cours d'épistémologie, M. Frereux m'a invité à lire et préparer un exposé sur l'ouvrage de Thomas Kuhn *La Structure des Révolutions Scientifiques*¹. Cet ouvrage fut une révélation pour moi, dans la mesure où il teinta d'un relief tout particulier ma vision de l'histoire des sciences. Bien sûr, rétrospectivement, je n'ai pu que constater que cette révélation ne fut possible que par le travail lié aux cours d'épistémologie de M. Frereux.

Je souligne que la lecture de *la Structure des Révolutions Scientifiques*, ouvrage majeur en épistémologie, fut pour moi l'occasion d'une réelle... révolution dans ma perception de l'histoire des sciences.

Attentif à mon travail de lecture et d'explication de cet ouvrage, M. Frereux m'a invité à poursuivre mon travail en épistémologie dans cette voie. C'est ainsi, après le départ à la retraite, puis le décès de M. Frereux, que je prends le temps, avec une carrière d'enseignant déjà entamée, de poursuivre ce travail de lecture. M. Frereux m'avait invité à lire *La Révolution Copernicienne*² de Thomas Kuhn. Cette lecture, sur un sujet passionnant de l'histoire des sciences m'a, un temps découragé. En effet, j'eus l'impression que tout un travail de recherche, envisagé ambitieusement par moi, se déroulait sous mes yeux lors de cette lecture. M. Frereux m'a alors conseillé, au lieu de me lancer dans un travail « déjà fort bien balisé » (ce sont ses mots), de me tourner vers une lecture croisée de Kuhn et d'auteurs scientifiques moins étudiés. Il m'a alors conseillé la lecture des travaux de Wegener³ et de son commentaire écrit par Hallam⁴.

Ce modeste travail est le fruit de ces premières lectures. Il a pour vocation de présenter une lecture des travaux en géologie d'Alfred Wegener à travers le prisme des apports épistémologiques de Thomas Kuhn.

Dans la problématique qui va suivre, je vais en présenter les enjeux.

¹ KUHN Thomas, *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 1962

² KUHN Thomas, *La révolution copernicienne*, Paris, Belles Lettres, 1957

³ WEGENER Alfred, *La genèse des continents et des océans*, Paris, Librairie Scientifique Albert Blanchard, 1915

⁴ HALLAM Anthony, *Une révolution dans les sciences de la Terre*, Paris, Seuil, 1976

Problématique & Pistes de travail

Dans son ouvrage *La révolution copernicienne*⁵, Kuhn ne se contente pas de relater les progrès et bouleversements occasionnés par les travaux de Copernic. Il s'efforce de montrer que ceux-ci, au-delà des progrès qu'ils apportent à l'astronomie, doivent être lus comme une *révolution*. On se doit d'être prudent dans l'usage de ce terme, tant il véhicule une image de circularité qui renverrait le lecteur, après un parcours, à son point de d'origine. La *révolution* doit ici être comprise, non comme un retour, mais dans un sens plus moderne de renversement. Son ouvrage, qui possède une évidente visée pédagogique, nous éclaire d'une double manière : d'une part, Kuhn offre un vaste panorama des différentes lectures et théories qui ont été élaborées à travers l'histoire des sciences pour rendre compte et prédire le mouvement des planètes ; d'autre part, il s'attache à montrer le travail de révolution épistémologique initié par Copernic. Il explique notamment les conditions intellectuelles, morales, et religieuses qui ont présidé au maintien d'un système, - Kuhn parlera de *paradigme* - et à l'émergence d'un nouveau paradigme, sous l'impulsion de Copernic, qui le remplace. Il relate avec précision cette lutte entre les deux paradigmes que sont l'ancien, le géocentrisme, et le nouveau, l'héliocentrisme. Ce basculement de l'un à l'autre, rapide par certains aspects, d'un mouvement plus âpre par d'autres aspects, fonde la notion de révolution scientifique. Imaginer que la science puisse progresser, non pas par sédimentation, pas à pas, dans une démarche de progrès, mais par basculements d'un paradigme à l'autre, c'est l'idée que théorise Kuhn, en s'appuyant sur d'autres exemples que la révolution copernicienne, dans son ouvrage majeur *La structure des révolutions scientifiques*. La solidité des thèses de Kuhn repose en partie sur le fait qu'elle permet une lecture historique très fine des bouleversements opérés dans l'histoire des sciences. *La structure des révolutions scientifiques* ne se contente pas de théoriser la révolution copernicienne. Kuhn revisite et relate, en plus de l'astronomie, les débats et progrès aussi bien en optique qu'en électromagnétisme.

Ce que je me propose de travailler dans ce mémoire, c'est la figure, popularisée ainsi, du « précurseur », de celui qui « porte » une révolution scientifique. Cette figure, mise en avant dans les manuels scolaires de science⁶, véhicule l'idée d'un génie novateur, de celui qui rompt avec les habitudes et les croyances d'une époque, pour créer et instaurer une nouvelle science, pour rendre compte d'un fait scientifique sous un jour nouveau. Or, cette figure, nous

⁵ KUHN Thomas, *La révolution copernicienne*, Paris, Belles Lettres, 1957

⁶ SAVATON Pierre, *Histoire des sciences et enseignement du modèle de la tectonique des plaques*, in RDST, <https://journals.openedition.org/rdst/394>

allons le montrer, doit être réinterrogée et critiquée. Comment peut apparaître la nouveauté dans un monde déjà ancien ? Le « génie » d'un « précurseur » est-il explicable, et si oui, dans quels déroulements ? Faut-il chercher dans l'homme de mystérieuses capacités inégalées jusqu'alors, ou bien chercher des facteurs environnementaux qui nous permettent de comprendre ce phénomène ? Il convient donc de revenir à l'œuvre du « génie ». Mais cette œuvre doit être doublement observée, d'une part avec notre regard de celui qui se retourne sur son passé, et d'autre part avec le regard de celui qui voit éclore « la révolution ».

Il est une figure de la science moderne qui attire ici mon attention. Il s'agit d'Alfred Wegener. Depuis la publication de son ouvrage *La genèse des océans et des continents*⁷, il traverse, dans l'histoire de la géologie, différentes périodes qui le voient inaudible, critiqué, oublié, puis reconnu au titre d'initiateur de la théorie de la dérive des continents. Cette figure de la géologie et des Sciences de la Terre occupe une place importante dans les manuels scolaires, où il est présenté comme le « précurseur » de la dérive des continents. Mais on observe que certains chercheurs interrogent cette figure du « père de la révolution dans les Sciences de la Terre ». Hallam⁸, dans son ouvrage, va accorder à Wegener, une place toute particulière dans l'histoire des sciences de la Terre. Ce sont notamment les réserves émises par Ruse⁹ qui attirent notre attention.

Kuhn théorise les outils intellectuels pour lire et comprendre les changements dans l'histoire des sciences. A la lecture de *La révolution copernicienne*, on s'aperçoit de la justesse de la lecture kuhnienne pour rendre compte des bouleversements en astronomie à l'époque de Copernic. Cette lecture est également très opérante dans l'histoire de la physique. Il est donc très tentant de penser qu'elle soit également pertinente dans la lecture des autres disciplines scientifiques. Et donc la question se pose de savoir si *La lecture kuhnienne de l'histoire des sciences de la Terre produit une image nette de la géologie au XX^e siècle ?*

Les propos de Ruse mettront en évidence que l'histoire des sciences de la Terre ne se prête pas complètement à la lecture kuhnienne. Alors que nous faudra-t-il penser de ces critiques ? Sont-elles suffisamment fondées, légitimes et importantes, au point d'enlever de la

⁷ WEGENER Alfred, *La genèse des continents et des océans*, Paris, Librairie Scientifique Albert Blanchard, 1915

⁸ HALLAM Anthony, *Une révolution dans les sciences de la terre*, Paris, Seuil, 1976.

⁹ RUSE Michael, "What kind of revolution Occurred in Geology?" In, *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol. 1978,

pertinence à la lecture kuhnienne ? C'est le questionnement que nous nous proposons de traiter dans ce travail.

La première partie de notre propos sera pour nous l'occasion d'interroger la figure du « précurseur » et la nature de ce qu'il faut entendre par « fait scientifique ». D'une part, si l'on se réfère à Canguilhem¹⁰, on observe de réelles réserves sur ce concept. Or, comment expliquer la popularité et le succès d'une récit des progrès en science qui fait la part belle aux « fondateurs », « précurseurs », et autres « pères » de la science moderne ? D'autre part, l'objectivité, prétendument attendue en science, peut-elle se traduire dans les observations et les propos des scientifiques ?

Par la suite, nous prendrons le temps de comprendre comment Kuhn rend compte des changements en science. En effet, avec l'avènement de l'hypothèse de la dérive des continents, et la théorie de la tectonique des plaques, peut-on dire que les savants prédécesseurs étaient simplement dans l'erreur ? Nous aborderons plus particulièrement les travaux de Kuhn et de *La Structure des Révolutions Scientifiques* en particulier. Sans en faire un résumé complet, nous porterons notre étude sur la question des « proto sciences », et de la pertinence d'un modèle de révolution paradigmatique, en l'absence d'un premier paradigme bien établi. Nous nous interrogerons alors sur la nature de cette « révolution » qui instaure un paradigme lorsqu'il n'y en a pas auparavant, tout en conservant des données scientifiques et des méthodes de travail de cette « proto science ». Nous verrons que Kuhn propose un modèle pour penser ce changement, et le progrès en science.

Dans la troisième partie de notre propos, nous présenterons Wegener et ses travaux. Il nous faudra s'attarder sur la situation de la géologie au moment de ses publications, et l'impact de ces dernières dans la constitution des sciences de la Terre. Il conviendra alors de procéder à un examen critique, des apports de Wegener, afin de cerner au plus près la réelle portée et valeur de ses travaux. Ce sera pour nous l'occasion de revenir sur la nature en partie inductive de la géologie, comprise au sein des Sciences de la Terre qui ont vu, à l'époque de Wegener, l'émergence de disciplines qualifiées aujourd'hui de déductives. Il nous faudra alors s'interroger sur le statut unifié des sciences de la Terre, avec en son sein des disciplines inductives, et d'autres déductives.

¹⁰ CANGUILHEM Georges, *Les études d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie*, 1968.

Dans la quatrième et dernière partie, il sera possible de percevoir si la lecture kuhnienne des apports de Wegener et de l'histoire des sciences de la Terre peut paraître pertinente, et quelles en sont les limites.

La conclusion de mon propos reprendra les éléments de mon travail de recherche. Il nous sera alors possible de se saisir en quoi la lecture kuhnienne de l'histoire de la géologie et des sciences de la Terre est pertinente, et quelles en sont les limites et le sens à accorder à ces dernières.

Partie I - La question du « fait scientifique » et du « précurseur »

I - 1 - Pourquoi il faut s'interroger sur l'histoire des sciences

La tentation serait grande, pour le novice, de vouloir lire l'évolution des sciences, comme une succession d'images, de figures, d'inventeurs et de découvreurs. Le « génie » frapperait ainsi, par moments, telle ou telle personne, et lui conférerait le statut et la charge de faire avancer la science. Ainsi, si on prend un exemple classique, Newton « découvrirait » la gravitation¹¹, en faisant la lumière sur la chute des corps. Il aurait ainsi fait la lumière sur la question de la chute des corps, en abordant cette question, et en la résolvant seul. Cette succession, tel un livre de « grandes figures de la science », ou de « grandes découvertes », tracerait le chemin, étapes après étapes, via lequel les hommes se dirigeraient vers la vérité scientifique. Chaque scientifique éclairerait ainsi une zone d'ombre, augmentant de fait la portée des discours et découvertes scientifiques.

Ainsi la tentation serait grande de se tourner vers un récit *cumulatif* des découvertes scientifiques. Chaque découvreur viendrait ajouter sa pierre à un édifice croissant qui se tournerait vers un sommet de vérité scientifique et de lumière. Il y aurait, non pas une histoire, mais un récit de sédimentation successif, une forme d'empilement au cours duquel chaque découvreur gravirait respectueusement les degrés de ses prédécesseurs, pour y bâtir un nouvel étage.

Or, il y a un travail d'historien, de mise en contextualisation, à faire autour de la découverte scientifique et de son histoire. Bachelard écrit : *"en opposition complète aux prescriptions qui recommandent à l'historien de ne pas juger, il faut au contraire demander à l'historien des sciences des jugements de valeur. C'est un point qui distingue radicalement l'histoire des sciences de "l'histoire des empires et des peuples qui a pour idéal, à juste titre, le récit objectif des faits "*¹². La philosophie des sciences nous invite, non pas à admirer la succession des découvertes scientifiques, mais à penser une histoire des sciences, faites de jugements.

Il y a donc matière à penser que l'histoire des sciences ne peut s'envisager comme une compilation chronologique de faits. Il serait erroné de penser que des « faits scientifiques »

¹¹ NEWTON Isaac, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, Londres, 1687.

¹² BACHELARD, Gaston, *L'engagement rationaliste*, Paris, 1972.

puissent exister, et être intégrés dans une frise ou une chronologie, sans prendre en compte leur construction, leur place, le jugement qui est posé sur eux. L'histoire des sciences offre, quant à elle, une lecture qui est orientée, sensée (qui a un sens), et qui se prête à l'examen critique.

Il convient donc, au moment d'étudier une découverte scientifique en historien, d'en étudier le contexte, sans quoi « *Cette histoire idéologique s'est souvent retranchée derrière le manque de temps pour justifier son faible appui sur les textes originaux ou l'absence de remise en contexte de ces textes. Mais qu'est-ce qu'un texte historique sans mise en contexte ? Un problème n'est jamais isolé, ni isolable.* »¹³. Saisir l'importance et la portée d'une découverte scientifique, d'une théorie, ne peut s'entreprendre sans une analyse du contexte, des tensions, des débats de son époque.

Nous l'avons vu, l'historien des sciences se doit de recontextualiser l'apparition d'une théorie ou d'une découverte scientifique. Mais on ne peut faire l'économie d'un travail de réflexion sur l'œuvre même de la science. La question de la finalité de la science doit être posée. De multiples références nous renvoient à la problématique de ses fondements et de ses méthodes. Nous souhaiterions évoquer ici la question de sa finalité. La science a-t-elle pour vocation de dire la vérité ?

La question, traitée de maintes fois, doit être entendue comme fondatrice d'un débat entre les partisans d'une description de la réalité, et ceux qui lui demandent de proposer des modèles explicatifs. C'est dans cette optique qu'il peut être pertinent de lire les travaux de Pierre Duhem. Dans son œuvre *Sauver les apparences. Sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*¹⁴, Duhem présente le débat, en l'incarnant dans la question des progrès astronomiques, entre les protagonistes : d'une part, avec Aristote, on trouve les partisans d'un discours qui décrirait la réalité du monde physique, d'autre part, issu d'un courant platonicien, avec Osiander, par exemple, lorsqu'il préface les travaux de Copernic, on trouve l'idée que le discours de la science cherche à modéliser, et à prédire, les phénomènes observables. Il soutient l'idée d'une description rigoureuse, et efficace (dans le calcul des calendriers, par exemple) des phénomènes, mais sans prétendre à un discours qui décrirait la réalité du monde (des circulations des planètes en l'occurrence). Cette dernière position relève du *<sozein ta*

¹³ *Ibid.*

¹⁴ DUHEM Pierre, *Sauver les apparences. Sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*, 1908.

phainomena>, sauver les phénomènes. C'est dans ce sens que Duhem nomme son œuvre *Sauver les apparences*. La réalité physique est un monde inaccessible directement. Les scientifiques peuvent l'approcher, ou tenter de l'approcher, en construisant des modélisations qui rendent compte de ce qui est perceptible.

Penser la science comme une production de discours qui cherche à expliquer la réalité, c'est s'autoriser à penser le renouvellement des théories scientifiques au cours du temps. En effet, si les faits ne changent pas, alors les discours portant sur les faits ne devraient pas changer, si ce n'est en accroissant le champ de leurs observations. Or, on observe de profondes métamorphoses dans les discours scientifiques, ce qui nous permet d'adopter l'idée que la science produit des discours modélisateurs sur les faits scientifiques, et non des discours de description de la réalité.

Mais si on se lance dans l'étude des discours scientifiques sur les faits, on ne peut faire l'économie d'une réflexion sur les faits eux-mêmes.

I - 2 - La question du « fait scientifique » et son interprétation

La question du « *fait scientifique* » doit donc être posée. En effet, si le scientifique construit un discours sur la réalité du monde, il n'en reste pas moins qu'il nous faut examiner aussi bien ce discours que cette réalité. Et dans ce sens, nous serions tentés de seulement poser l'existence, de fait, d'un monde physique, accessible directement. Un monde de faits, dont, avant de porter dessus un discours, le scientifique se saisirait. Cette question de la définition du « *fait scientifique* » est reprise dans différentes traditions épistémologiques. Nous profiterons, dans un premier temps, des apports de Poincaré. Il écrit notamment :

Après ce qui précède [discussion sur le procès et les idées de Galilée], il semble superflu de rechercher si le fait brut est en dehors de la science, car il ne peut pas y avoir, ni science sans fait scientifique, ni fait scientifique sans fait brut, puisque le premier n'est que la traduction du second.

Et alors a-t-on le droit de dire que le savant crée le fait scientifique ? Tout d'abord il ne le crée pas ex nihilo puisqu'il le fait avec le fait brut. Par conséquent il ne le fait pas librement et comme il veut. Quelque habile que soit l'ouvrier, sa liberté est toujours limitée par les propriétés de la matière première sur laquelle il opère.

Que voulez-vous dire après tout quand vous parlez de cette création libre du fait scientifique et quand vous prenez pour exemple l'astronome qui intervient activement dans le phénomène de l'éclipse en apportant son horloge ? Voulez-vous dire : l'éclipse a eu lieu à neuf heures ? Mais si l'astronome avait voulu qu'elle eût lieu à dix heures, cela ne tenait qu'à lui, il n'avait qu'à avancer son horloge d'une heure.

Mais l'astronome, en faisant cette mauvaise plaisanterie, aurait évidemment abusé d'une équivoque. Quand il me dit : l'éclipse a eu lieu à neuf heures, j'entends que neuf heures est l'heure déduite de l'indication brute de la pendule, par la série des corrections d'usage. S'il m'a donné seulement cette indication brute, ou s'il a fait des corrections contraires aux règles habituelles, il a changé sans me prévenir le langage convenu. Si au contraire il a eu soin de me prévenir, je n'ai pas à me plaindre, mais alors c'est toujours le même fait exprimé dans un autre langage.

En résumé, tout ce que crée le savant dans un fait, c'est le langage dans lequel il l'énonce. S'il prédit un fait, il emploiera ce langage, et pour tous ceux qui sauront le parler et l'entendre, sa prédiction est exempte d'ambiguïté. D'ailleurs une fois cette prédiction lancée, il ne dépend pas évidemment de lui qu'elle se réalise ou qu'elle ne se réalise pas.

[...] le savant intervient activement en choisissant les faits qui méritent d'être observés. Un fait isolé n'a par lui-même aucun intérêt ; il en prend un si l'on a lieu de penser

qu'il pourra aider à en prédire d'autres ; ou bien encore si, ayant été prédit, sa vérification est la confirmation d'une loi. Qui choisira les faits qui, répondant à ces conditions, méritent le droit de cité dans la science ? C'est la libre activité du savant.

Et ce n'est pas tout. J'ai dit que le fait scientifique est la traduction d'un fait brut dans un certain langage ; j'aurais dû ajouter que tout fait scientifique est formé de plusieurs faits bruts. Les exemples cités plus haut le montrent assez bien. [...]

En résumé les faits sont des faits, et s'il arrive qu'ils soient conformes à une prédiction ce n'est pas par un effet de notre libre activité. Il n'y a pas de frontière précise entre le fait brut et le fait scientifique ; on peut dire seulement que tel énoncé de fait est plus brut ou, au contraire, plus scientifique que tel autre.¹⁵

De ces propos de Poincaré, il nous faut retenir le lien particulier entre le « *fait brut* » et le « *fait scientifique* ». En effet, ils ont un lien organique, car, selon Poincaré, de l'un à l'autre, il n'y a que de la « *traduction* ». « *C'est toujours le même fait exprimé dans un autre langage.* ». Mais ce point doit être discuté. En effet il explique « *Le fait scientifique n'est que le fait brut énoncé dans un langage commode. [...]* Tout ce que crée le savant dans un fait, c'est le langage dans lequel il l'exprime. »¹⁶

Mais cette position doit être discutée. En effet, l'idée d'une simple traduction des faits en langage scientifique pose problème. La traduction ne peut sans doute pas être pensée comme un simple glissement de la chose au mot. Lors du passage de la chose au mot, il y a une interprétation. C'est ce que souligne Duhem. Il précise sa position. « *Une expérience de Physique est l'observation précise d'un groupe de phénomènes accompagnés de l'interprétation de ces phénomènes, cette interprétation substitue aux données concrètes réellement recueillies par l'observation des représentations abstraites et symboliques qui leur correspondent en vertu des théories admises par l'observateur* »¹⁷. Or, lors de la traduction d'un fait dans un langage, nous pouvons penser qu'il y a une étape d'interprétation. C'est ce que souligne Duhem en insistant sur la variabilité des interprétations d'une expérience. « *C'est qu'en effet, l'expérience que vous avez vu faire, comme toute expérience de physique, comporte deux parties. Elle consiste en premier lieu, dans l'observation de certains faits ; pour faire cette observation, il suffit d'être attentif et d'avoir les sens suffisamment déliés ; il*

¹⁵ POINCARÉ Henri, *La valeur de la science*, 1905, Champs Flammarion, 1970, p. 161-163.

¹⁶ POINCARÉ Henri, Sur la valeur objective des théories physiques, In *Revue de Métaphysique et de Morale*, 10^e année, 1902, p. 263

¹⁷ DUHEM Pierre, *La Théorie physique, son objet, sa structure*, Paris, Rivière et Cie, 1914, p. 221

n'est pas nécessaire de savoir la physique [...] Elle consiste en second lieu dans l'interprétation des faits observés ; pour pouvoir faire cette interprétation, il ne suffit pas d'avoir l'attention en éveil et l'œil exercé ; il faut connaître les théories admises. »¹⁸. Et sans l'arsenal théorique, il n'y aurait ni scientifique, ni compréhension.

L'idée est que, à côté de l'observation, il y a donc un travail d'interprétation propre au scientifique et aux théories qu'il adopte. La possibilité existe donc qu'il y ait plusieurs interprétations possibles d'une même observation. Il précise que « *A un même fait pratique peuvent correspondre une infinité de faits théoriques* »¹⁹. Ainsi, pour revenir à un exemple lié à la géologie, la présence de fossiles similaires de part et d'autre de l'océan atlantique peut être interprétée comme la trace de ponts océaniques, ou bien comme celle d'une dérive des parties d'un continent originel. La science serait donc une approche, une théorie du monde, et non une révélation de ce que le monde est.

Pour Duhem, il y a une « *liberté* » du scientifique dans l'interprétation. Est-ce à dire que le scientifique peut faire dire au fait brut ce qu'il veut ? Non. La « *traduction* » se fait, pour ainsi dire, sous conditions. Il y a bien un choix qui est opéré par le scientifique, mais celui-ci doit prendre sens. C'est-à-dire qu'il doit permettre la prédiction d'autres faits, ou la confirmation d'une loi énoncée. Rajoutons que sa « *traduction* » doit être « *honnête* », c'est-à-dire qu'elle doit se faire en vue d'une compréhension par la communauté susceptible de lire cette description.

Mais il nous faut rajouter une précision. Le « *fait scientifique* » doit s'inscrire dans un faisceau d'autres faits et de lois. Cette inscription est gage de son caractère scientifique. C'est ce que précise Bachelard dans le propos suivant :

Ainsi les faits s'enchaînent d'autant plus solidement qu'ils sont impliqués dans un réseau de raisons. C'est par l'enchaînement, conçu rationnellement, que les faits hétéroclites reçoivent leur statut de faits scientifiques. Que la Terre tourne, c'est donc là une idée avant d'être un fait. Ce fait n'a primitivement aucun trait empirique. Il faut le mettre à sa place dans un domaine rationnel d'idées pour oser l'affirmer. Il faut le comprendre pour l'appréhender. Si Foucault cherche, avec le pendule du Panthéon, une preuve terrestre de ce fait astronomique,

¹⁸ DUHEM Pierre, *op. cit.*, p. 219

¹⁹ DUHEM Pierre, *op. cit.*, p. 229

*c'est parce qu'un long préambule de pensées scientifiques lui a donné l'idée de cette expérience.*²⁰

Ce qu'il nous faut retenir des propos de Bachelard, c'est cette idée que les « *faits scientifiques [...] sont impliqués dans un réseau de raisons* ». Il n'y a pas de chercheur qui découvre, structure, organise, pense et théorise à lui seul un discours scientifique. Le fait scientifique découvert, construit nous l'avons vu, se pense dans un paysage structuré de théories, de pistes de recherches, d'hypothèses, de définitions. C'est dans ce sens que nous renvoyons le lecteur à l'importance, pour l'historien des sciences, de penser l'évènement, le phénomène, dans son contexte, et non seulement avec les lunettes de l'homme de science du présent qui regarderait dans le passé uniquement ce qui conviendrait à sa vision des choses.

Pour préciser cette idée, il nous faut rappeler que Kuhn, qui reprend cette idée dans *La Structure des Révolutions Scientifiques*, dans sa préface, souligne tout ce qu'il doit à la lecture de Ludwik Fleck. « *Sans ce genre d'exploration au hasard que permet la Society of Fellows (de l'Université de Harvard) je n'aurais jamais rencontré la monographie de Ludwig Fleck, Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache (Bâle, 1935), essai qui anticipait nombre de mes idées. Le travail de Fleck, [...] m'a fait comprendre que ces idées demanderaient peut-être à être rattachées à la sociologie de la communauté scientifique. Les lecteurs ne trouveront ci-dessous que peu de références à ces travaux et à ces conversations, mais je leur suis redevable à plus d'égards qu'il ne m'est possible actuellement d'analyser ou d'évaluer.* »²¹.

Fleck publie en 1935 son ouvrage *Genèse et développement d'un fait scientifique*, mais cet ouvrage aura une portée et une diffusion confidentielle. Il faut attendre les années 50, et sa lecture par Kuhn, pour que ce travail s'inscrive comme une œuvre majeure en épistémologie. Fleck, va, en parallèle d'un travail de recherche scientifique sur la chimie sanguine, opérer une démarche de prise de recul sur « *la science de la science* ». En effet, il va interroger les présupposés de son travail et de ses observations.

« *Ce qui caractérise d'abord la démarche de Fleck, et la distingue radicalement de celles d'un Popper ou d'un Bachelard aussi bien que de celle de Kuhn, est qu'elle est celle,*

²⁰ BACHELARD Gaston, *Le Rationalisme appliqué*, Paris, P.U.F, 1949, p. 52 et 123.

²¹ KUHN Thomas, *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 1962, p.9

non de quelqu'un qui a acquis, à l'aide d'informations précises et abondantes, convenablement assimilées, une culture scientifique suffisante pour être en mesure de parler de la science, de ses acquis et de ses problèmes en connaissance de cause, quoique à un point de vue qui reste extérieur à son mouvement effectif, comme c'est le cas de la plupart des historiens des sciences et épistémologues, mais d'un authentique praticien de la recherche scientifique: celui-ci, en même temps que, sur la base des éléments fournis par des manipulations appropriées, il s'agit pour l'essentiel de cultures de tissus sains ou infectés, il rédige des protocoles d'analyse bactériologique, s'interroge, sans rester longtemps éloigné de la table de son laboratoire, sur ce qu'il est train de faire, sur les conditions générales de son activité, ce qui l'amène à développer une réflexion solitaire d'une exceptionnelle lucidité à propos de ce qu'il appellera dans ses travaux ultérieurs la «science de la science», d'une formule qui évoque, au lieu du regard externe porté sur la science à partir d'un ordre de rationalité qui en surplombe la pratique effective, les résonances internes que développe en son propre sein l'activité scientifique menée au jour le jour; ceci suppose qu'on se mette à leur écoute, ce qui n'a rien d'évident, mais implique, dans l'urgence, une recherche, un engagement, une attention, dont Fleck fournit précisément l'exemple, lorsqu'il envoie ses «avisos de résistance de pensée» dans le champ même où il travaille quotidiennement, celui de la biologie sanguine, champ dont il mesure les forces et les faiblesses, les avancées et les retards, »²².

En étudiant la question du vaccin contre la syphilis, va faire émerger l'idée que le fait scientifique n'est pas une donnée absolue (comme on considérait jusqu'à lors les maladies par exemple), mais un discours porté par une communauté qui partage un < *Denkstil* > un « *style de pensée* ». Il faut y voir un germe commun avec l'idée de paradigme développée par Kuhn. Il y a une communauté qui se comprend sur des représentations, pour elle habituelles et conventionnelles, des hypothèses, un vocabulaire et des méthodes. Cette notion de « *style de pensée* » est intimement liée à celle de « *collectif de pensée* » entendue comme normes de pensée propres au « *style de pensée* ». Les idées, les définitions, les expériences sont hiérarchisées au sein de la communauté, et acceptées.

On trouve avec Fleck, l'idée que la science est un discours qui se construit dans un cadre social, et que l'approche du fait scientifique ne peut être isolée d'une compréhension du

²² MACHEREY Pierre, Groupe d'étude « La philosophie au sens large », Fleck, Genèse et développement d'un fait scientifique, In *La Philosophie au sens large*, 6 fév. 2008, p. 2

contexte social qui conditionne cette approche. « *Le savoir ne repose sur aucun substrat ; les idées et les vérités n'existent que grâce à des mouvements et des interactions constants.* »²³. Il y a, avec Fleck, l'idée d'une construction sociale du savoir scientifique qui n'est pas qu'une lecture des travaux de la science, mais une condition essentielle. « *L'acte cognitif est l'activité humaine la plus conditionnée qui soit par le social, et la connaissance est tout simplement une création sociale.* »²⁴.

²³FLECK Ludwik, *Genèse et développement d'un fait scientifique*, Paris, Les Belles Lettres, 2005, 322 p. (1^{re} édition française ; édition originale allemande, 1935, p. 94

²⁴ FLECK Ludwik, *op. cit.*, p. 78

I - 3 - Critique du concept de « précurseur »

Il ne peut être fait l'économie, dans ce travail, d'une réflexion sur la question des « précurseurs » en sciences, surtout si l'on prétend travailler sur une lecture kuhnienne des travaux de Wegener en géologie. Pour présenter la pertinence de cette question, je reprendrai dans un premier temps les propos d'Emmanuel Delille dans un article « *Usages et mésusages de la notion de précurseur en histoire des sciences et des techniques, en particulier en histoire de la psychiatrie : À propos d'un échange épistolaire entre Henri Ellenberger et Georges Canguilhem (1967)* ». Il écrit notamment (sur la question du statut de précurseur en histoire de la psychiatrie) :

« Il est de bon ton en histoire des sciences de condamner l'emploi du terme « précurseur » et de recommander l'étude des réalisations de chaque savant dans leur contexte. Cette règle méthodologique est pourtant peu observée [...] où il est encore courant de prendre fait et cause pour un maître et de construire une chronologie rétrospective à partir des idées du grand homme. [...] Mais le problème inverse, c'est-à-dire l'abus du concept de « rupture épistémologique », est aussi répandu et on continue à lire des récits articulés à des dichotomies simplistes [...]. Or l'histoire n'est pas seulement une étude des changements, mais aussi des continuités et des cycles historiques, thématiques par les historiens de l'école des Annales sous la forme de la « longue durée ». Ce qui signifie que le problème méthodologique posé par les figures de précurseurs est loin d'être simple, et que les historiens n'ont pas seulement à choisir entre deux types de récits, linéaires ou discontinus, mais devraient questionner à chaque fois les filiations et les discontinuités de manière réflexive, en fonction de leur objet et de la chronologie observée. »²⁵

Il faut prendre les propos de Delille, non comme un constat, mais comme une piste féconde de travail. La question de cette perception continue ou discontinue de l'histoire de la géologie et des sciences de la Terre sera discutée dans la dernière partie de notre travail

Il semble néanmoins, pour reprendre l'idée de Delille, que prendre position sur le statut de « précurseur » d'un scientifique, en étudiant « *filiations et discontinuités* », c'est s'engager dans une certaine conception de l'histoire des sciences. Pour certains, une histoire est faite de ruptures et de discontinuités, tel qu'on nous l'enseigne bien souvent dans le milieu

²⁵ DELILLE Emmanuel, « Usages et mésusages de la notion de précurseur en histoire des sciences et des techniques, en particulier en histoire de la psychiatrie : À propos d'un échange épistolaire entre Henri Ellenberger et Georges Canguilhem (1967) », in *Revue d'histoire des sciences* 2017/2 (Tome 70), pp. 327 – 350.

scolaire, c'est dans ce sens qu'il faut lire les critiques de P. Savaton²⁶ contre une présentation tronquée de l'histoire des sciences en milieu scolaire. Pour d'autres, il y a matière en histoire, à chercher et travailler la question des continuités historiques. Et c'est dans ce sens qu'il faut lire les travaux de l'Ecole des Annales.

Pour prendre position dans ce débat, en remerciant encore une fois M. Clauzade et M. Savaton pour leurs éclairants échanges, il est possible de reprendre, et de présenter une rapide analyse des propos de Georges Canguilhem. Il écrit notamment :

« [...] Un des effets pratiques les plus importants, c'est l'élimination de ce que J.T. Clark²⁷ a appelé « le virus du précurseur ». A la rigueur s'il existait des précurseurs l'histoire des sciences perdrait tout sens, puisque la science elle-même n'aurait de dimension historique qu'en apparence. [...] Un précurseur serait un penseur, un chercheur qui aurait fait jadis un bout de chemin achevé plus récemment par un autre. La complaisance à rechercher, à trouver, et à célébrer des précurseurs est le symptôme le plus net de l'inaptitude à la critique épistémologique. Avant de mettre bout à bout deux parcours sur un chemin, il convient d'abord de s'assurer qu'il s'agit bien du même chemin. Dans un savoir cohérent un concept a rapport avec tous les autres. [...] Un précurseur serait un penseur de plusieurs temps, du sien et de celui ou de ceux qu'on lui assigne comme ses continuateurs, comme les exécutants de son entreprise inachevée. Le précurseur est donc un penseur que l'historien croit pouvoir extraire de son encadrement culturel pour l'insérer dans un autre, ce qui revient à considérer des concepts, des discours et des gestes spéculatifs ou expérimentaux comme pouvant être déplacés et replacés dans un espace intellectuel où la réversibilité des relations a été obtenue par l'oubli de l'aspect historique de l'objet dont il est traité. [...] Il est artificiel, arbitraire et inadéquat à un projet authentique d'histoire des sciences de placer deux auteurs scientifiques dans une succession logique de commencement à achèvement, ou d'anticipation à réalisation. »²⁸

A la lecture de ce passage, il convient de comprendre l'erreur de tenter de penser un « précurseur » en science. La tentation est forte, pour celui qui regarde l'histoire des sciences, ou plutôt la succession des inventions et découvreurs, de vouloir marquer d'une pierre la

²⁶ SAVATON Pierre, « Histoire des sciences et enseignement du modèle de la tectonique des plaques », *RDST*, 3 | 2011, 107-126.

²⁷ CLARK J. T., *The philosophy of science and history of science*, in *Critical Problems in the history of science*, Marshall Clagett ed., Madison, 2d ed., 1962, p. 103.

²⁸ CANGUILHEM Georges, *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences*, 1968.

naissance d'une idée. En effet, il est rassurant, pour comprendre la notion de progrès, de vouloir mesurer, dans le temps, l'essor d'une idée, et donc de la prendre, de la considérer à ses débuts. Ainsi, nous ferions naître dans l'esprit et les observations de Wegener l'idée d'un glissement des continents les uns par rapports aux autres, avec un continent Pangée à ses débuts.

Mais comme nous l'avons vu, agir de la sorte serait une erreur qui consisterait à regarder, avec les yeux du présent (une théorie géologique construite, testée, reconnue et acceptée par la communauté), un fait passé que l'on puisse dater et isoler (la publication par Wegener, *La Genèse des Continents et des Océans*, en 1915.). Ce serait, pour Canguilhem, rétrospectivement tracer un chemin qui n'existe pas, ou du moins, dont on souligne une évidence et une clarté qui n'existaient pas à l'époque. Cet observateur « *construirait* » des enchainements d'idées, de théories, avec une fluidité qu'une lecture choisie permettrait. Il nierait, ce faisant tout un aspect de l'histoire des sciences, les luttes, les oublis, les redécouvertes, les tensions et les abandons qui jalonnent l'histoire des sciences. C'est par exemple dans ce sens qu'il peut être pertinent de parcourir la thèse de doctorat de Philippe Le Vigouroux²⁹. A l'époque de Wegener, le succès de ses théories publiées dans *La Genèse des Continents et des Océans*, en 1915 n'est que très relatif, pour des raisons sur lesquelles nous reviendrons. Et la popularité de sa thèse ne sera que le fruit de luttes au sein de la communauté des géologues, et des scientifiques. Nul ne peut, en 1915, tracer le chemin et l'essor de cette thèse. Alors ce serait faire preuve d'une attitude « *artificielle, arbitraire et inadéquate* » en tant qu'historien des sciences de voir en lui un « *précurseur* » de la tectonique des plaques dans les sciences de la Terre.

Clarifions ce point. La racine latine du terme est *praecurrere* "courir en avant", qui donne *praecursor* "éclaireur, avant-coureur". Un « *précurseur* » serait une personne dont les conceptions annoncent ou préparent la voie à d'autres conceptions, un mouvement, qu'elles ont précédées dans le temps. Il y a dans l'idée du « *précurseur* » un problème pour l'historien, car il paraît bien complexe d'accepter l'idée d'une quelconque anticipation.

En effet, dans le cas des travaux en géologie d'Alfred Wegener, la tentation est grande,

²⁹ LE VIGOUROUX Philippe, *La théorie de Wegener sur la dérive des continents en France jusqu'aux années 1950 : critiques, soutiens, oubli*, Université de Nantes, Thèse de doctorat, 2018.

aujourd'hui, de décrire ses hypothèses de travail comme à l'époque *prometteuses*. C'est la critique que j'emprunte à M. Savaton lorsqu'il écrit « *Passons sur « l'idée prometteuse » qui ne l'est qu'à « posteriori » (jugement du scientifique d'aujourd'hui qui, connaissant l'actuel, ne retient du passé que l'idée qui a duré et résisté jusqu'à s'imposer) et observons que si la naissance d'une idée nouvelle est difficile, c'est aussi parce qu'elle n'est pas seule et qu'elle doit faire avec ou contre un héritage et d'autres possibles, qui viennent la contester et tenter de la réduire.* »³⁰. Le risque d'écrire l'histoire en restant ancré dans le présent, c'est de percevoir des évidences qui n'en étaient pas, comme des chemins clairs et limpides, lorsqu'une fois le temps passé, les autres chemins qui fabriquaient un labyrinthe sont effacés par le temps qui passe.

Il convient, et nous l'avons déjà dit, de se saisir du contexte pour appréhender l'évènement. L'étude des travaux de Wegener ne peut faire l'économie d'une analyse des enjeux internationaux de l'époque (guerres), de l'état des théories en vigueur, des moyens techniques à disposition (paléontologie, sondage des fonds marins, câbles de communications transcontinentaux, etc...). C'est au prix de ce travail qu'on peut envisager de saisir la place et l'importance à accorder à telle découverte, à telle hypothèse. « *Il y a une situation tout à la fois a-historique et artificielle à vouloir présenter la naissance d'une idée en la réduisant en quelque sorte à son seul énoncé.* »³¹.

Avec Canguilhem, nous soulignons donc que les historiens des sciences se doivent donc de rejeter l'idée de « précurseur », au risque de perdre la dimension historique de leur travail.

Afin de dépasser cette idée du « *précurseur* », nous voudrions nous attarder un moment sur la distinction entre « *origine* » et « *fondement* ». En effet, le scientifique qui fait naître une nouvelle théorie se doit d'être pensé, même si la figure du « *précurseur* » n'est pas adéquate. Cette distinction, classique dans les manuels scolaires de philosophie, me semble ici, opérante. En effet, l'idée d' « *origine* », si elle est marquée dans le temps, tout comme le scientifique, peut s'appliquer dans une chronologie. Mais il faut garder à l'esprit, nous l'avons vu, l'importance du contexte et des filiations. Le concept de « *commencement* » ne doit pas

³⁰ SAVATON Pierre, « Histoire des sciences et enseignement du modèle de la tectonique des plaques », *RDST*, 3 | 2011, 107-126.

³¹ *Ibid.*

être entendu chronologiquement parlant. C'est l'idée qu'il y a l'instauration de principes qui vont dans le temps se déployer. Nous reprendrons cette distinction dans la suite de notre propos, en particulier dans l'étude du cas d'Alfred Wegener et de ses travaux. S'il est à l'origine d'un article posant les bases de la dérive des continents, on ne peut nier qu'il est possible de trouver d'autres références précédentes sur des « *intuitions* » chez certains auteurs, notamment sur la coïncidence du découpage des lignes côtières de part et d'autre de l'Atlantique.

I - 4 - Conclusion de la partie I

Au terme de cette première partie, une rapide approche de la philosophie de l'histoire des sciences nous a amené à nous interroger sur la nature de la science. De ce point, nous nous sommes arrêtés sur une clarification du concept de « *fait scientifique* », en soulignant son incorporation au sein d'une époque, de théories et d'outils contemporains dont il ne peut être dissocié. La figure du « *précurseur* » a été examinée. Nous avons souligné son usage maladroit dans une perspective d'histoire des sciences, tant son usage fait appel à une démarche de rétrospection et a-historique.

La question du changement en science reste posée. Entre continuité et ruptures, il convient à présent de présenter les travaux de T. S. Kuhn dans *La Structure des révolutions scientifiques*. Ce travail nous permettra de s'équiper pour entamer un examen, dans une autre partie, des apports de Wegener dans l'histoire de la géologie.

Partie II - La question de la révolution scientifique

II – 1 – Pourquoi lire Kuhn et *La structure des révolutions scientifiques* ?

Sans développer tout un cours sur la légitimité de la philosophie de l'histoire des sciences, il nous semble important et pertinent d'expliquer pourquoi il ne semble pas possible, pour connaître l'histoire des sciences, de se contenter de lire la science comme « *un processus fragmentaire par lequel ces éléments [faits, théories, méthodes, ...] ont été ajoutés [...] au fond commun en continuelle croissance qui constitue la technique et la connaissance scientifiques.* »³². La lecture des changements scientifiques pose alors un problème de continuité dans les théories successives qui animent une discipline scientifique. Avec l'héliocentrisme de Copernic, faut-il croire que ces prédécesseurs étaient dans le faux ? Avec les travaux de Wegener sur la dérive des continents, faut-il penser que les théories le précédant sont devenues caduques ?

Le problème qu'aborde Kuhn, c'est la recherche d'outils pour penser les changements en science lorsqu'on regarde l'histoire de ces découvertes et autres inventions qui semblent parfois remettre en cause les travaux précédents.

« *La même recherche historique qui met en lumière combien il est difficile de considérer le développement scientifique comme un processus d'accumulation* »³³. Kuhn se propose de résoudre la compréhension des progrès en science. Et c'est à travers ses outils que nous pourrions cerner et saisir la portée des travaux de Wegener.

Il ne s'agit pas ici d'examiner la chronologie des découvertes des « faits scientifiques ». Il nous faut comprendre que nous avons à porter un certain regard sur la science, et en particulier sur ses objectifs.

Je souligne, à l'occasion de cette citation de Kuhn, l'intérêt d'avoir, dans la partie I, précisé les apports de Duhem. C'est, selon moi, comme ceci qu'il faut lire le propos de Kuhn ci-dessus. L'élaboration et l'amélioration du paradigme, dans le cadre de la science normale, visent à mieux rendre compte de la nature, en proposant un discours, un modèle, un paradigme qui corresponde le plus aux observations les plus fines.

³² KUHN, *op. cit.*, p. 18

³³ KUHN, *op. cit.*, p. 19

II - 2 - La « proto-science » & la science normale

Pour appréhender dans quelles conditions Wegener va être amené à publier ses hypothèses, il faut comprendre l'idée de Kuhn de la « proto-science » et la naissance d'un paradigme.

Dans *La structure des révolutions scientifiques*, Kuhn précise sa position sur la « proto science ». Il faut entendre par là une période, marquée dans le temps, dans laquelle des problèmes posés par l'observation de la nature sont abordés de manières diverses par plusieurs écoles. Les outils, les hypothèses et les expériences ne sont pas unifiées. Il souligne que ces écoles mènent entre elles des luttes fratricides. Chacune partage son temps à faire progresser son discours et à lutter contre ses concurrentes. « *C'est plutôt qu'il y a toujours des écoles concurrentes dont chacune remet en question les fondements même des travaux des autres.* »³⁴. L'idée à retenir ici étant le manque d'unité dans les approches des phénomènes. Le manque d'unité dans les approches de l'objet scientifique rend les écoles concurrentes entre elles, et n'offre par un discours clair et cohérent.

Ceci va nous permettre de comprendre les différentes réserves qui ont été émises lors de la publication des travaux de Wegener.

Il y a donc un travail d'unification de la communauté scientifique, et du discours à opérer. C'est l'idée de la naissance d'un *paradigme*. Si le terme paradigme nous vient du grec < *paradigma* > qui évoque le modèle, l'exemple, il faut l'entendre comme « *une norme de pensée et modèle d'action qui tend à s'imposer à tout individu d'un groupe* »³⁵. L'idée étant que la communauté scientifique se regroupe, et partage, un ensemble de définitions, de théories, d'outils et d'expériences, sans points majeurs d'opposition. C'est l'idée d'un consensus qui se forme sur des objets et des méthodes. Kuhn parle « *des lois, des théories, des applications et des dispositifs expérimentaux [qui] fournissent des modèles qui donnent naissance à des traditions particulières et cohérentes de recherche scientifique* »³⁶.

Lorsque le paradigme fait consensus dans la communauté scientifique, enfin unifiée, Kuhn précise que le travail de « *la science normale* » se met en œuvre. Il faut entendre par la

³⁴ KUHN, *op. cit.*, p.223.

³⁵ MORFAUX Louis-Marie, *Vocabulaire de la philosophie et des sciences sociales*, Paris, Ed. Armand Colin, 1980.

³⁶ KUHN, *op. cit.*, p. 30.

science normale le travail des scientifiques qui se retrouvent au sein d'une communauté autour d'un paradigme. Il prend soin de détailler et d'expliquer ce travail.

Il y a donc un travail à faire de renforcement de l'unité autour du paradigme, en clarifiant les objets de recherche, et en réglant les dissonances entre les membres. Kuhn parle d'un « *nettoyage* »³⁷. Kuhn précise que ce travail est un des plus important dans le temps de travail du chercheur. Il s'agit de mieux connaître les faits, en se débarrassant des observations caduques ou fausses, en vue d'améliorer la prédictions et l'explication des phénomènes.

Le travail du scientifique, dans cette solidification du paradigme, consiste donc à mieux observer les faits, à mettre au point des procédures expérimentales et de mesure, et à construire des outils théoriques permettant de meilleures prédictions et explications. Kuhn parle d'un « *programme de recherche* » lorsque « *la science normale qui, lorsqu'on l'examine de près, soit historiquement, soit dans le cadre du laboratoire contemporain, semble être une tentative pour forcer la nature à se couler dans la boîte préformée et inflexible que fournit le paradigme.* »³⁸. Le travail du chercheur est alors « *cumulatif* », car il apporte au même modèle des précisions et des outils qui renforcent le paradigme.

Ces éléments vont être nécessaires pour nous, afin de comprendre le passage de la géologie aux sciences de la Terre.

³⁷ KUHN, *op. cit.*, p. 46.

³⁸ KUHN, *op. cit.*, p.46.

II - 3 - Le statut de l'anomalie & de la crise

Nous avons présenté le mode de fonctionnement de la science normale. L'activité du chercheur consiste à « *forcer la nature à se couler dans la boîte* ». Il s'agit d'un travail incessant d'ajustement et d'amélioration. Or il arrive, que certains faits ne « *rentrent pas* » dans la « *boîte* », dans le paradigme. Le chercheur a alors à faire à une anomalie. « *La découverte commence avec la conscience d'une anomalie, c'est-à-dire l'impression que la nature, d'une manière ou d'une autre, contredit les résultats attendus dans le cadre du paradigme qui gouverne la science normale* »³⁹. Kuhn prend l'exemple de la découverte de l'oxygène pour illustrer son propos.

Dans le cas qui nous occupe, dans la géologie, l'« *anomalie* » réside, pour Wegener dans les formes des côtes continentales qui s'ajustent, et dans la présence, de part et d'autre de l'Atlantique, de fossiles similaires, sans que ce phénomène soit, selon lui, expliqué de façon convaincante. En effet, nous le verrons, l'explication de la similitude des fossiles de part et d'autre de l'océan Atlantique trouvait une explication dans l'hypothèse des « *ponts continentaux* ». Mais cette hypothèse, selon Wegener, était à rejeter en raison des problèmes de densité supposée des ponts océaniques, peu enclins selon lui à s'effondrer. En effet, le principe d'isostasie⁴⁰ fait référence au principe d'Archimède. Il permet de penser que les continents, d'une densité moindre que les roches du fond des océans, « *flottent* » sur ces dernières. Si les prétendus ponts continentaux étaient ainsi constitués, en vertu du principe d'isostasie, ils n'auraient pas pu « *s'enfoncer* » dans des roches plus denses, et ainsi disparaître. L'hypothèse des ponts continentaux est donc, aux yeux de Wegener, caduque.

La première réaction du chercheur qui travaille au sein de la communauté réunie autour du paradigme est alors d'essayer d'ajuster le paradigme pour faire « *rentrer* » cette observation ou ce fait dans le modèle. « *Il y a ensuite une exploration, plus ou moins prolongée, du domaine de l'anomalie. Et l'épisode n'est clos que lorsque la théorie du paradigme est réajustée afin que le phénomène anormal devienne phénomène attendu.* »⁴¹. Ces ajustements s'opèrent par de nouvelles observations, la mise au point de nouveaux outils,

³⁹ KUHN, *op. cit.*, p. 83.

⁴⁰ L'isostasie, appelée aussi équilibre isostatique, est un phénomène par lequel les éléments de la croûte terrestre ou, plus généralement, de la lithosphère qui se trouvent enfouis à de faibles profondeurs (de l'ordre de 100 km) sont soumis à la même pression indépendamment des irrégularités topographiques en surface. Ce modèle postule en effet qu'un excès de masse en surface tel que les montagnes est compensé par un déficit de masse en profondeur. (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Isostasie>)

⁴¹ KUHN, *op. cit.*, p. 83.

des précisions qui peuvent être apportées dans la théorie. Kuhn évoque « *les chercheurs qui élaborent de nouvelles versions et des remaniements ad hoc* »⁴². Dans *La révolution copernicienne*, Kuhn donne et explique de nombreux exemples de ce genre de réajustement dans le domaine de la mécanique céleste et de l'observation de la circulation des planètes.

Mais si l'anomalie est non résolue, un chercheur peut s'y attacher. Il faut entendre par là que l'anomalie met en péril l'unité des théories du paradigme. L'anomalie « *met clairement en question les généralisations explicites et fondamentales du paradigme* » ou « *empêche des applications* »⁴³ (les calendriers lunaires par exemple). Et loin de la « laisser de côté », il peut alors émerger l'idée que pour « *faire rentrer la nature dans la boîte* », il faut sans doute s'interroger sur la conception même du paradigme. La remise en question des théories du paradigme confère à l'anomalie le statut de déclencheur d'une « *crise* ». Dans *La révolution copernicienne*, Kuhn explique que les observations des planètes, qui vont en s'améliorant, posent des problèmes. Et que la résolution de ces problèmes passe par une remise en cause du paradigme ptoléméen. C'est l'état de crise. Il y a « *une incapacité de l'activité normale technique à résoudre des énigmes* »⁴⁴. On peut alors parler d'une perte d'unité au sein du paradigme et de la communauté. Cette perte d'unité est liée au fait que l'attachement aux théories est remis en cause. Chaque scientifique est lié à sa manière aux théories, il y a alors des tensions aiguës. « *En les voyant, on pense à un artiste qui, pour ses figures, réunirait les mains, les pieds, la tête et autres membres de divers modèles, chacun parfaitement dessiné, mais ne se rapportant pas à un corps unique : chacun n'étant absolument pas en harmonie avec les autres, le résultat serait un monstre plutôt qu'un homme.* »⁴⁵.

La situation au sein du paradigme est alors confuse. Kuhn parle « *d'un obscurcissement du paradigme* »⁴⁶.

Le chercheur change alors d'activité. En effet, il ne s'occupe plus du programme de recherche lié au paradigme en place. Il cesse son travail au sein de la science normale, et entre dans un travail de science extraordinaire. Il va chercher à repenser un nouveau paradigme qui rendra mieux compte des faits observés, y compris celui qui était jugé comme une

⁴² KUHN, *op. cit.*, p.115.

⁴³ KUHN, *op. cit.*, p. 120.

⁴⁴ KUHN, *op. cit.*, p. 104.

⁴⁵ KUHN Thomas, *La révolution copernicienne*, Paris, Belles Lettres, 1957

⁴⁶ KUHN, *op. cit.*, p. 122.

« anomalie ». « Une crise peut se terminer avec l'apparition d'un nouveau candidat au titre de paradigme, et une bataille s'en suit pour son adoption »⁴⁷. L'idée étant pour le chercheur de repenser les fondements théoriques, les observations et les outils du paradigme. Une fois encore, l'histoire de la compréhension de la circulation des planètes, relatée par Kuhn dans *La révolution copernicienne*, illustre ce propos.

⁴⁷ KUHN, *op. cit.*, p. 124.

II - 4 - L'émergence d'un nouveau paradigme

II - 4 - 1 - La place du chercheur

Suite à l'apparition de l'anomalie, qui devient crise en posant des problèmes de plus en plus aigus, on assiste à l'apparition de nouvelles théories qui viennent remettre en question le paradigme jusqu'alors en place. « *Dans chaque cas, une nouvelle théorie n'est apparue qu'après des échecs caractérisés de l'activité normale de résolution des problèmes*⁴⁸. » Mais le remplacement d'un paradigme devenu obsolète par un nouveau n'est pas un phénomène qui s'opère aisément.

En effet, il faut souligner d'une part que les chercheurs, formés, travaillant, et publiant au sein d'une communauté scientifique unie autour d'un paradigme « *résistant* » parfois au changement. Changement qui ne ferait que souligner leurs erreurs de conception. Il y a en quelques sortes, un « *attachement* » au paradigme dans lequel le chercheur évolue, une forme de résistance au changement, qui peut, nous l'avons vu, inciter le scientifique, au lieu de travailler à un changement de paradigme, préférer « *laisser de côté* » cet aspect du problème, et se concentrer sur d'autres secteurs de recherche.

Nous présenterons, par la suite, dans quelle mesure la communauté des géologues n'a pas accordé, selon Hallam, la place méritée aux travaux de Wegener, au risque de devoir renier une partie de leurs travaux ainsi remis en cause.

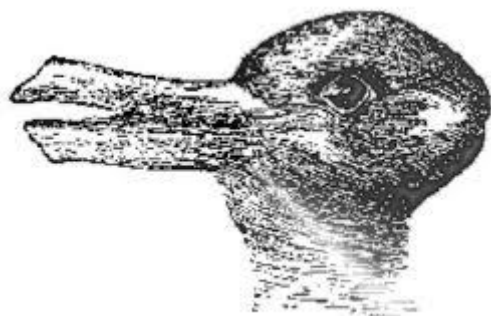
D'autre part, l'adoption par un chercheur d'un nouveau paradigme de recherche a pour implicite de l'isoler de la communauté au sein de laquelle il évolue. Ceci a un coût social important. C'est pourquoi Kuhn précise que les changements de paradigmes ne sont que rarement le fruit de chercheurs longuement installés dans un paradigme. « *Notons seulement un fait à ce propos : presque toujours, les hommes qui ont réalisé les inventions fondamentales d'un nouveau paradigme étaient soit très jeunes, soit tout nouveaux venus dans la spécialité dont ils ont changé le paradigme* »⁴⁹.

Il nous faut bien comprendre que ce chercheur, remettant en cause le paradigme en place, à partir de l'étude d'une anomalie générant une crise, ne quitte pas son secteur de recherche. En quittant un paradigme, le fait étudié reste le même. Il s'agit de changer

⁴⁸ KUHN, *op. cit.*, p. 111.

⁴⁹ KUHN, *op. cit.*, p. 131.

l'approche. Kuhn explique ce point en utilisant la figure du « canard-lapin » de Jastrow⁵⁰.



Le « canard-lapin » dit de Jastrow.

Cette figure du « *canard-lapin* » est image réversible et bistable. La figure ne change pas (si ce n'est son orientation si on le souhaite). Mais le regard porté sur l'objet nous permet d'y voir, soit un lapin, soit un canard, mais pas les deux animaux en même temps.

Dans son chapitre *Les révolutions comme transformations dans la vision du monde*, Kuhn écrit que « *Ce qui, avant la révolution, était pour l'homme de science un canard, devient un lapin* »⁵¹. Il faut souligner ici l'idée que l'objet d'étude (les traits sur le papier) ne changent pas, mais que la vision de l'objet est traduite différemment. Il en irait ainsi des révolutions scientifiques : le changement de paradigme serait un changement de regard (et d'outils pour regarder et penser) sur ce qui est devant nous.

Kuhn modère cependant la comparaison entre le changement de paradigme et l'exercice du « *canard-lapin* ». D'une part, il nous faut remarquer qu'il est possible de regarder l'image en y voyant un canard, puis un lapin, puis de nouveau un canard, etc... Or dans le changement de paradigme, la perception de l'anomalie devenue crise rend un retour en arrière intellectuellement, et socialement délicat. D'autre part, d'après les analyses de Wittgenstein, il faut, pour y voir un lapin, ou un canard, posséder l'image, a priori, du lapin ou du canard⁵². Or, dans le cas des révolutions scientifiques, le chercheur *découvre* une nouvelle manière de penser et de voir l'objet d'étude.

Ainsi, Wegener, voit dans la forme des continents, des pages de papier journal

⁵⁰ La figure du « canard – lapin » est une œuvre d'auteur inconnu. Elle est popularisée par le psychologue Joseph Jastrow, en 1900, dans la revue *Fact and Fable in Psychology*. Elle sera reprise par Ludwig Wittgenstein, dans *Investigations Philosophiques*, paru en 1953 (posthume).

⁵¹ KUHN, *op. cit.*, p. 158.

⁵² WITTGENSTEIN Ludwig, *Remarques sur la philosophie de la psychologie*, 1980 (posthume).

déchirées en différents morceaux. Et ces morceaux, ainsi éparpillés à la surface du globe seraient la trace d'un continent unique. On pourrait retrouver la forme de ce continent en réajustant les pièces. A la manière des pièces d'un puzzle éparpillés, un travail de reconstitution d'une figure originelle est ainsi possible. (Voir annexe III).

Kuhn prend l'exemple de l'observation d'Uranus par Herschel. Kuhn écrit « Herschel⁵³ annonça donc qu'il avait vu une nouvelle comète ! Ce n'est que plusieurs mois plus tard [...] que Lexel⁵⁴ suggéra que l'orbite était probablement planétaire. Une fois cette solution acceptée, il y eut plusieurs étoiles en moins, et une planète en plus dans le monde de l'astronomie professionnelle. Un corps céleste qui avait été observé à diverses reprises durant près d'un siècle, brusquement ne fut plus vu de la même manière après 1781 parce que, telle une carte anormale, il n'était plus possible de le faire rentrer dans les catégories perceptives (étoile ou comète) fournies par le paradigme de l'époque. »⁵⁵.

Il faut entendre par là que le chercheur, en créant un nouveau paradigme « travaille dans un monde différent »⁵⁶. Le vocabulaire, la perception et la définition des objets, les outils, les théories ne sont plus les mêmes. Pour clore notre propos sur le nouveau paradigme, nous reprendrons l'exemple de la révolution copernicienne : « Dans un sens semblable, les partisans de Copernic qui déniaient au soleil son titre traditionnel de « planète » n'apprenaient pas seulement ce que signifie le terme « planète », ou ce qu'est le Soleil. Ils modifiaient en fait la signification du mot « planète » afin qu'il puisse continuer à établir des distinctions utiles dans un monde où tous les corps célestes, et pas seulement le Soleil, s'apercevaient sous un aspect différent de celui qu'ils avaient revêtu auparavant. »⁵⁷.

II - 4 - 2 - La question de la comparaison

Nous avons tenté de clarifier l'apparition du nouveau paradigme. Il serait tentant de penser qu'un glissement s'opère d'un paradigme à l'autre. On pourrait imaginer que les paradigmes, l'ancien et le nouveau, se font concurrence. Et qu'une comparaison de leur pertinence au niveau du compte rendu des observations et des prédictions permettrait de juger

⁵³ HERSCHEL William, astronome britannique, 1738 - 1822.

⁵⁴ LEXEL Anders Johan, *Recherches sur la nouvelle planète*, 1783

⁵⁵ KUHN, *op. cit.*, p. 163.

⁵⁶ KUHN, *op. cit.*, p. 188.

⁵⁷ KUHN, *op. cit.*, p. 180.

du plus pertinent. Or, les choses sont bien différentes.

Le fait est d'abord, nous l'avons vu, que les tenants des différents paradigmes, s'ils travaillent sur le même objet, ne le perçoivent, ni ne le définissent de la même manière. Gardons à l'esprit l'exemple de la définition des planètes des partisans de Copernic, dans l'extrait à la fin du paragraphe précédent. Dès lors, la comparaison n'est pas forcément aisée. Et l'idée d'une preuve, portant sur l'anomalie à l'origine de la crise ne semble pas plus pertinente. En effet, la définition même de l'anomalie étant sujette à discussion, son importance étant relative aux yeux des protagonistes, la discussion n'est pas aisée. Kuhn avance que « *Les adeptes de paradigmes concurrents ne s'entendent jamais complètement, aucun des partis ne voulant admettre toutes les suppositions non empiriques dont l'autre a besoin pour rendre valable son point de vue. Comme celle de Proust et Berthollet, leur discussion est presque inévitablement un dialogue de sourds. La concurrence entre paradigmes n'est pas le genre de bataille qui puisse se gagner avec des preuves.* »⁵⁸. Et nous l'avons vu, des raisons psychologiques et sociales, peuvent peser sur l'attachement d'un chercheur à son paradigme.

Il faut alors entendre, chez Kuhn, l'idée de l'incommensurabilité des paradigmes. Il faut reconnaître, au niveau épistémologique, que la faculté pour un paradigme de résoudre l'énigme de l'anomalie est un point non négligeable. Mais il serait erroné de se lancer dans une comparaison. Pour Kuhn « *les paradigmes ne diffèrent pas seulement par leur substance, puisqu'ils ne sont pas dirigés seulement vers la nature, mais aussi, en sens inverse, vers la science qui les a produits. Ils sont la source de méthodes, des domaines de recherche et des normes de solution acceptées à n'importe quel moment donné par tout le groupe scientifique arrivé à maturité.* »⁵⁹. Ces deux entités que sont les paradigmes sont difficilement comparables, car « *l'admission d'un nouveau paradigme nécessite souvent une définition nouvelle de la science correspondante.* »⁶⁰.

Ce point est primordial pour nous dans la mesure où il nous permettra de penser le passage de la géologie aux sciences de la Terre.

⁵⁸ KUHN, *op. cit.*, p. 204.

⁵⁹ KUHN, *op. cit.*, p. 148.

⁶⁰ KUHN, *op. cit.*, p. 148.

L'objet même de la recherche est redéfini, et son contour peut être modifié. Ainsi « *Certains anciens problèmes peuvent être abandonnés à une autre science, ou déclarés tout simplement « non scientifiques ». D'autres qui dans le passé n'existaient pas ou étaient de médiocre importance deviendront, avec un nouveau paradigme, le type même de travail scientifique significatif.* »⁶¹.

Il convient alors de penser l'incommensurabilité des paradigmes entre eux. « *La tradition de science normale qui se fait jour durant une révolution scientifique n'est pas seulement incompatible avec ce qui a précédé, mais souvent aussi incommensurable* »⁶².

⁶¹ KUHN, *op. cit.*, p. 148.

⁶² KUHN, *op. cit.*, p. 148.

II - 5 - La notion de progrès chez Kuhn

On trouve chez Kuhn, dans la postface de 1969, dans *La structure des révolutions scientifiques*, des éclaircissements sur la notion de progrès.

On peut distinguer les progrès de la science normale, et ceux de la science extraordinaire. Dans la science normale, au sein d'un paradigme qui structure et façonne une communauté scientifique autour de certains modèles, des programmes de recherche sont lancés, afin de faire « *rentrer la nature dans la boîte* ». Il nous est nécessaire de préciser ce qu'il faut entendre par « *programmes de recherche* ». L'expression est rendue populaire par Imré Lakatos⁶³. Selon lui, la science se compose d'un « *noyau dur* » d'hypothèses théoriques générales sur lequel les scientifiques décident de s'accorder. On peut parler, pour reprendre les propos de Chalmers d'« *une heuristique positive [...] qui indique comment enrichir le noyau dur afin d'être à même d'expliquer et de prédire des phénomènes réels.* »⁶⁴. On peut ainsi mesurer l'efficacité croissante d'un paradigme à résoudre les énigmes de son programme de recherche.

Dans le changement d'un paradigme à un autre, « *Je ne doute pas, par exemple, que la mécanique de Newton ne soit une amélioration par rapport à celle d'Aristote, ou que celle d'Einstein ne soit meilleure que celle de Newton en tant qu'instrument pour la résolution des énigmes* »⁶⁵. On peut mesurer un progrès en ce que le nouveau paradigme unifie l'approche de plus de phénomènes et englobe les résultats des précédents paradigmes. On observe, dans la succession des paradigmes, un accroissement du champ et de l'efficacité des théories et des outils.

Pour reprendre les propos de Kuhn, la succession des paradigmes entraîne la formation d'une « *boîte* » qui « *correspond mieux* » aux phénomènes de la nature, dans son champ, plus large, et dans l'explication et la prédiction des phénomènes. C'est dans ce sens qu'il est possible de parler de progrès dans les sciences, au fil des révolutions scientifiques.

⁶³ LAKATOS Imré, « Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes », in, *Criticism and the Growth of Knowledge*, I. Lakatos et A. Musgraves, Cambridge, Cambridge University Press, 1974

⁶⁴ CHALMERS Alan F., *Qu'est-ce que la science ?*, Paris, Livre de Poche, 1976, p. 138

⁶⁵ KUHN, *op. cit.*, p. 280.

II - 6 - Conclusion de la partie II

Pour résumer, cette partie, précisons qu'il était important de présenter les travaux de Kuhn dans *La structure des révolutions scientifiques*, car c'est avec ces outils que nous nous proposons de lire les apports en géologie d'Alfred Wegener.

Pour Kuhn, la science normale relève d'un paradigme, entendu comme un modèle de théories, de définitions de champ d'exercice, d'outils, et de programmes de recherche autour duquel se forge une communauté scientifique. Il y a une unité entre la communauté et le paradigme.

Certains phénomènes, marginaux, appelés *anomalies* ne semblent pas trouver leur explication au sein du paradigme. Cela peut déboucher sur un état de *crise* lorsque l'étude, par certains chercheurs de ces anomalies les amène à remettre en question les fondements théoriques et pratiques du paradigme. Si la crise n'est pas résolue par des moyens propres au paradigme, il peut arriver qu'un autre paradigme naisse, en vue de reprendre l'explication des phénomènes, ainsi que l'anomalie.

La lutte entre les paradigmes peut déboucher sur un abandon du plus ancien au profit du nouveau, dans la mesure où ce dernier offre des théories et des outils permettant d'expliquer et de prédire plus largement et plus finement les phénomènes de la nature. Lorsque le nouveau paradigme a remplacé l'ancien, il y a un net progrès, et l'on parle alors de révolution scientifique.

La lecture kuhnienne des changements dans les sciences nous semble, a priori, pertinente dans le cas des travaux de Wegener. Il nous a semblé pertinent de reprendre les grands principes de la théorie de Kuhn sur les révolutions scientifiques, avant de voir dans quelle mesure ils peuvent s'appliquer avec justesse à la géologie.

Partie III - Le cas de Wegener

III - 1 - La géologie avant Wegener

III - 1 - 1 - Une activité ancienne

Il est possible de trouver dans l'Antiquité, en Chine, dans les royaumes arabes, en Méditerranée, des discours ponctuels sur les fossiles, les volcans, l'orogénèse, l'érosion, les rivières et fleuves. Mais ces discours sont souvent teintés de mythologie ou de croyances. Ces discours sont sans unité, ils ne génèrent pas une théorie sur la Terre. Il n'y a pas beaucoup de débats, chaque auteur véhicule ses idées, sans qu'on trouve un discours qui fasse consensus sur les fossiles, les volcans, le niveau des mers et des rivières, etc... Les auteurs sont partagés, à la fin du Moyen Age entre les partisans du catastrophisme (des bouleversements expliquent la morphologie des terres et mers), et les partisans de mouvements longs actuellement encore en cours. Notons que les positions de l'Eglise, pour se conformer aux écrits sacrés, restent pesantes. Ainsi, la tradition s'appuyant sur une lecture biblique, notamment la chronologie d'Ussher prête à la Terre un âge de 6600 ans.⁶⁶ Les idées de Buffon⁶⁷ feront débat lorsqu'il avancera un âge de la Terre de 75000 ans. De nombreux débats ont donc lieu sur l'âge de la Terre et de l'origine et la vitesse des changements qui s'y opèrent.

On estime traditionnellement que James Hutton⁶⁸, avec son ouvrage *Theory of the Earth, with Proofs and Illustrations*, publié en 1795, est le père de la géologie moderne. Ses travaux sur l'actualisme, la vitesse des modifications géologiques et la question de l'âge de la Terre lancent des pistes de recherches (voir précédemment définition au sens Lakatos). Sa contribution sur la réflexion des temps longs est essentielle car il formule l'idée du recyclage des roches par fusion. La question des temps anciens est alors repensée totalement. De multiples travaux, sur des secteurs différents, sont réalisés et constituent un début de socle pour la géologie. Ces idées trouveront de nombreuses oppositions, et les travaux de Hutton ne déboucheront pas sur une thèse partagée et reconnue, à l'image d'un paradigme. *Les Principes de Géologie* de Charles Lyell⁶⁹, publié en 1830, ont une réelle importance. Ils posent, en reprenant les travaux de Hutton, les bases de l'uniformitarisme (des mouvements longs, en cours), de la stratigraphie (étude des différentes couches géologiques), de chronologie

⁶⁶ USSHER James, *Annales Veteris Testamenti, a prima mundi origine deducti, una cum rerum Asiaticarum et Aegyptiacarum chronico, a temporis historici principio usque ad Maccabaicorum initia producto*. ("Annales de l'Ancien Testament, déduites des premières origines du monde, la chronique des sujets asiatiques et égyptiens du début des temps historiques jusqu'au début des Maccabées"), XVII^o.

⁶⁷ BUFFON Georges-Louis, *Histoire naturelle*, 1788.

⁶⁸ HUTTON James, *An investigation of the Principles of Knowledge and of Progress of Reason*, 1777

⁶⁹ LYELL Charles, *Principes de géologie – Une tentative d'expliquer les changements de la surface de la terre par des causes opérant actuellement*, 1833

relative, et de l'étude des fossiles. Lyell, dans son œuvre, précise l'objet de la géologie et ses méthodes de travail. On peut mesurer l'importance de ses travaux dans la mesure où ils furent acceptés par une certaine communauté, dont Darwin⁷⁰, lors de ses études sur les espèces.

Mais il faut souligner que de profonds débats animent la sphère des géologues. La question de l'âge de la Terre reste encore longuement discutée. Ces débats portent alors sur l'âge de la Terre (les échelles de temps invoquées sont incommensurables), l'opposition entre les catastrophistes, les uniformitarismes et les créationnistes, l'orogénèse, la nature et la chaleur du globe, etc... « *Ainsi, Lord Kelvin hésite sur un âge de la Terre compris entre 12 et 100 Ma d'années. C'est la découverte de la radioactivité, et de ses applications en géologie qui vont permettre, au début du XX^e siècle dépasser le milliard d'années concernant l'âge de la Terre. « La découverte de la radioactivité qui anéantit les calculs de Lord Kelvin »⁷¹. Aujourd'hui, l'âge de la Terre est estimé, selon les calculs, à 4.55 milliards d'années. »⁷².*

Au niveau méthodologique, la géologie se caractérise, au cours de son histoire ancienne par des pratiques particulières, propres à son champ d'étude. Lorsque les géologues quittent le rayon d'influence des religions, leurs méthodes de travail sont inductives. La géologie commence avec l'observation de la nature (fossiles, strates, volcans, niveau des mers, océans, fleuves et rivières, ...). De ces observations, les chercheurs élaborent des hypothèses sur le fonctionnement et l'explication des phénomènes naturels. On trouve l'idée de ce qu'on appelle rétrospectivement une « *géologie de grand-papa* »^{73 74}.

Il nous faut souligner la pertinence des travaux de Wheweel⁷⁵ à ce sujet. Il introduit la notion de sciences palétiologiques. Il s'agit des sciences dont « *l'objet est de descendre de l'état présent des choses à des conditions plus anciennes dont le présent dérive par des causes intelligibles* ». La question est, en constatant l'état du monde, perçu comme un effet, de remonter à la cause. C'est un principe logique d'abduction, qui, en pratique est délicat à mettre en œuvre. Nous comprenons qu'un effet puisse avoir plusieurs causes. « *Les causes*

⁷⁰ DARWIN Charles, *L'origine des espèces*, Paris, Seuil, 1859

⁷¹ GOHAU Gabriel, Analyse de l'ouvrage de Pascal Richet : *L'âge du monde*, Comité français d'Histoire de la géologie, T. XIII, 1999.

⁷² ROTH Etienne, *Méthodes de datation par les phénomènes nucléaires naturels*, Paris, Éditions Masson, coll. « Collection CEA », 1985.

⁷³ https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_la_g%C3%A9ologie

⁷⁴ Entretien avec M. Pierre Savaton, 23/10/2018.

⁷⁵ WHEWELL William, *Philosophy on the inductive sciences*, 1840

ainsi définies forment donc une chaîne qu'on peut remonter »⁷⁶. Whewell considèrera la géologie comme une science palétiologique, pour ne pas la qualifier d'historique, que l'on confondrait avec l'histoire naturelle. Il introduit également la distinction très pertinente entre les causes historiques (marquées dans le temps qui s'écoule), et les causes mécaniques (qui s'appliquent en permanence). Ces outils, introduits par Whewell offrent la possibilité de regarder le champ de la géologie, non pas comme figé, mais en évolution.

C'est par l'observation première que se construisent des théories et des principes. Ainsi, par exemple, les théories de Lyell sur les fossiles s'appuient sur son observation de fossiles dans les Andes, en France et en Italie.

Nous le verrons, les procédures changeront lorsque seront développées les méthodes de forage, de sondage, de thermodynamique, de datation, d'utilisation des mesures astronomiques, radiologiques, et radioactives.

III - 1 - 2 - Un paradigme naissant avec des tensions

Nous l'avons vu, si les principes de base de la géologie sont posés avec Lyell en 1830, il n'en reste pas moins que de profonds débats divisent la communauté des géologues. Et ces divisions interrogent l'idée même d'une communauté. Ainsi les approches de l'âge de la Terre (de cent mille ans à plusieurs milliards d'années, voir à ce titre les débats entre William T. Kelvin⁷⁷ et John Perry⁷⁸). Il convient de se référer à l'ouvrage de Richet⁷⁹ à ce sujet qui relate les différentes hypothèses et les outils utilisés au cours de l'histoire à propos de l'âge de la Terre.

L'orogénèse (la naissance, et l'érosion des montagnes) fait débat entre les tenants d'une Terre creuse (John Cleves Symmes, Jr.), les partisans des origines volcaniques, les militants de mouvements verticaux du manteau (Léopold de Buch⁸⁰), et les défenseurs de la théorie de « la pomme plissée » (en refroidissant, la croûte terrestre se contracte, et comme un

⁷⁶ GOHAU Gabriel, Des sciences palétiologiques (Whewell) aux archives de la nature, In *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, 3^e série, T. XXVI, 2012, n° 3

⁷⁷ KELVIN W. T., « On the Secular Cooling of the Earth », *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, vol. XXIII, 1864, p. 167-169

⁷⁸ PERRY J., « On the age of the earth », *Nature*, vol. 51, 1895

⁷⁹ RICHEL Pascal, *L'âge du monde*, 1999

⁸⁰ DE BUCH Léopold, *Description géognostique de la Silésie*, 1797

fruit, façonne des « plis » qui s'élèvent en altitude) comme Elie de Beaumont⁸¹.

En somme, on peut avancer que la géologie voit ses principes posés. Pour reprendre les propos de Kuhn, il dit : « *La géologie de Lyell – tous ces livres et bien d'autres ont longtemps servi à définir implicitement les problèmes et les méthodes légitimes d'un domaine de recherche, pour des générations successives de chercheurs. S'ils pouvaient jouer ce rôle c'est qu'ils avaient en commun deux caractéristiques essentielles : leurs accomplissements étaient suffisamment remarquables pour soustraire un groupe cohérent d'adeptes à d'autres formes d'activité scientifique concurrentes ; d'autre part, ils ouvraient des perspectives suffisamment vastes pour fournir à ce nouveau groupe de chercheurs toutes sortes de problèmes à résoudre. Les performances qui ont en commun ces deux caractéristiques, je les appellerai désormais paradigmes, terme qui a des liens étroits avec celui de science normale.* »⁸².

Il n'en reste pas moins qu'à l'orée du XX^e siècle, la géologie apparaît comme traversée par de nombreuses difficultés qui interrogent sur son unité. D'une part, elle est traversée par différents courants, parfois antagonistes, nous l'avons vu. De plus, elle se constitue sur des champs d'études spécialisés (stratigraphie, paléontologie, cartographie, sédimentologie, pétrologie, tectonique, mais aussi les mathématiques et la physique dans l'étude du globe). Or ces différentes spécialités évoluent parfois indépendamment les unes des autres. Certaines avancées dans une spécialité ne réinterrogeront pas les autres dans leurs pratiques et la définition de leur objet d'étude. Citons de nouveau Kuhn : « *Telle est la situation des premiers stades du développement d'une science. [...] Rien d'étonnant donc, si, aux stades primitifs du développement de n'importe quelle science, différents hommes face au même éventail de phénomènes, mais généralement pas tous en face des mêmes phénomènes particuliers, les décrivent et les interprètent de manières différentes.* »⁸³.

⁸¹ ELIE DE BEAUMONT Léonce, *Extrait d'une série de recherches sur quelques-unes des révolutions de la surface du globe*, 1835

⁸² KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 30.

⁸³ KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 38.

III - 1 - 3 - La question des formes des rives continentales avant Wegener

Dès le début de son ouvrage⁸⁴, Wegener souligne le caractère « *frappant* » de la concordance des rivages de l'Atlantique sud. Cette remarque nous interpelle à plusieurs titres. D'une part, au début du XX^e siècle, et également depuis plusieurs siècles, la cartographie des rives et des océans du globe est connue. D'autre part, Wegener n'est pas le premier à souligner cette observation. Il semble que plusieurs auteurs aient souligné ce point. On trouve ces observations chez Abraham Ortelius⁸⁵, chez Francis Bacon⁸⁶, chez François Placet⁸⁷. Mais ces observations s'accompagnent d'une dimension catastrophiste, voire mystique. Le catastrophisme est « *une théorie scientifique qui tente de construire rationnellement les croyances sur l'origine du monde et sur l'évolution des espèces en mettant en avant l'impact qu'auraient eu des catastrophes de courte durée, violentes et inhabituelles. Un nom pour ce type de théorie est apparu au XIX^e siècle, lorsqu'est apparu l'uniformitarisme, théorie qui, quant à elle, postule que les processus qui se sont exercés dans un passé lointain s'exercent encore de nos jours.* »⁸⁸. Cette idée du « catastrophisme » est travaillée par Cuvier⁸⁹. Il s'attache à définir un catastrophisme fondé sur l'étude paléontologique, dans lequel des « révolutions » majeures affectent périodiquement la distribution des espèces sur le globe, ainsi que les formes des roches. Il s'oppose en cela à un catastrophisme mystique et mythologique, tel qu'on peut le trouver dans la chronologie de Ussher⁹⁰.

C'est Antonio Snider-Pellegrini⁹¹, dans *La Création et ses mystères dévoilés*, publié en 1858, qui avance les premières observations en ce sens, accompagnées de théories relatives à la découverte de fossiles similaires de chaque côté de l'océan. Mais ses théories sont encore marquées du sceau du catastrophisme.

On notera que la présence de fossiles similaires de part et d'autre de l'Atlantique est un phénomène qui interpelle certains géologues. Mais devant ce fait observé, sans nier la concordance des rives océaniques, certains géologues vont élaborer *une théorie ad hoc*.

⁸⁴ WEGENER Alfred, *La Genèse des Continents et des Océans*, Paris, Librairie Scientifique Albert Blanchard, 1924

⁸⁵ ORTELIUS Abraham, *Thesaurus geographicus*, 1596.

⁸⁶ BACON Francis, scientifique et philosophe anglais, 1561 - 1626.

⁸⁷ PLACET François, *Corruption du grand et petit Monde*, 1668.

⁸⁸ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Catastrophisme>.

⁸⁹ CUVIER Georges, *Discours sur les révolutions de la surface du globe, et sur les changements qu'elles ont produits dans le règne animal*. Paris, G. Dufour et éd. d'Ocagne, 1825

⁹⁰ Cf. note n° 63

⁹¹ SNIDER-PELLEGRINI Antonio, *La création et ses mystères dévoilés*, 1858

Attardons-nous un instant sur ce qu'il faut entendre par « théorie ad hoc ». Lorsqu'une théorie rencontre une anomalie, la communauté établie ne cherche pas à repenser son modèle. Du moins dans un premier temps. La première démarche consiste à ajuster le modèle existant aux phénomènes. Kuhn souligne que « *[les anomalies] ne pourront pas prouver la fausseté de cette théorie [...], car ses adeptes feront ce que nous avons vu faire aux savants face à une anomalie : ils élaboreront de nouvelles versions et des remaniements ad hoc de leur théorie afin d'éliminer tout conflit apparent.* »⁹² De la même manière que les tenants du système ptoléméen, devant les nouvelles observations de la circulation des planètes ont développé l'outil de l'épicycle, les tenants de la géologie pré wegenérienne, en percevant les similitudes paléontologiques des rives océaniques ont développé l'outil des ponts transocéaniques.

La théorie des « ponts océaniques » est liée à Jules Marcou⁹³. « *Un pont terrestre ou pont de terre, en biogéographie, est un isthme ou une large bande de terre entre deux zones qui seraient autrement séparées* »⁹⁴. Ce pont permet la circulation de la faune et de la flore de part et d'autre (d'où des fossiles similaires en deux points éloignés). Ce pont peut être submergé par le niveau des océans, ou bien, d'une nature plus sensible, peut disparaître sous le coup de l'érosion, rendant ainsi séparées deux terres auparavant liées. Cette théorie trouve certains fondements dans l'existence de ponts terrestre tels que l'isthme de Panama, ou bien le Doggerland (lien terrestre entre la Grande Bretagne et l'Europe continentale lors de la dernière ère glaciaire). Marcou, et ses partisans, soutiennent donc l'hypothèse d'un pont transocéanique entre le Brésil et l'Afrique du Sud nommé *Archhelenis*. (Cf. Annexes I, II & V).

Si la théorie de Marcou peut paraître séduisante, il faut se souvenir que Kuhn souligne que d'une théorie à un réel paradigme, il faut constituer une communauté scientifique. Or Marcou fut réputé pour son caractère « entier », et sa faculté à se brouiller avec les autres géologues⁹⁵. Il s'est notamment opposé longuement aux travaux du Muséum National d'Histoire Naturelle, et au Corps des ingénieurs des mines. Il semble alors que ses positions et ses rapports tendus avec la communauté scientifique de l'époque puissent expliquer sa mise à l'écart. L'hypothèse des ponts continentaux offrait alors aux paléontologues et aux

⁹² KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 115.

⁹³ MARCOU Jules, géologue français, 1824 - 1898.

⁹⁴ Article Wikipédia : pont terrestre, https://fr.wikipedia.org/wiki/Pont_terrestre.

⁹⁵ Article Wikipedia : Jules Marcou, https://fr.wikipedia.org/wiki/Jules_Marcou.

biologistes une voie « évidente » pour penser la répartition des fossiles et des espèces actuelles sur le globe, sans avoir à repenser la question des positions anciennes des continents et des océans.

Pour des raisons non uniquement scientifiques, il semble que la communauté ne se soit pas forgée autour du paradigme modifié, intégrant la question de la paléontologie et des ponts océaniques. Kuhn précise que « *Mais toujours quelques hommes continuent à s'accrocher à l'une ou à l'autre des vues anciennes ; ils seront simplement considérés comme extérieurs à la spécialité et on ignorera leurs travaux. [...] Ceux qui ne veulent pas ou ne peuvent pas y adapter [au paradigme] leurs travaux doivent avancer dans l'isolement ou se joindre à quelque autre groupe.* »⁹⁶.

On peut donc dire, que la concordance des rives de l'océan Atlantique, si c'est un phénomène observé, n'est pas encore *pensé* au sein d'un véritable paradigme. Kuhn explique que « *l'observation des faits au début d'une science se fait beaucoup par hasard que de la manière rendue familière par son développement ultérieur. [...] les premières observations des faits se cantonnent habituellement aux nombreux phénomènes faciles à constater. [...] Aucune histoire naturelle ne peut être interprétée en l'absence d'un minimum implicite de croyances théoriques et méthodologiques interdépendantes qui permettent la sélection, l'évaluation et la critique.* »⁹⁷.

Il nous faut donc garder à l'esprit qu'avant Wegener, la concordance des rives océaniques n'est pas inconnue, mais elle n'est pas intégrée dans un paradigme scientifique suffisamment solide.

Il est possible de penser que si la concordance des rives océaniques est observée de longue date, elle ne pose pas question aux différents chercheurs. En effet, l'idée d'une permanence de la position des continents sur la surface du globe est largement acquise et partagée. On ne peut observer ces mouvements. D'autre part, cette concordance des rives océaniques n'est pas pensée comme un « problème » ou une question. Dans leurs champs de recherche, au regard des connaissances de l'époque, les paléontologues trouvent en l'idée des ponts continentaux toutes les réponses à leurs questions. Il est possible d'imaginer que pour

⁹⁶ KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 40.

⁹⁷ KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 36.

les paléontologues, cette observation de la concordance des rives ne soit pas perçue comme une piste de recherche, tant le modèle des ponts continentaux offre satisfaction. Il n'y a alors pas nécessité de travailler cet aspect-là. C'est ce que Kuhn souligne dans son ouvrage : « *Certains anciens problèmes peuvent être abandonnés à une autre science, ou déclarés tout simplement « non scientifiques »*⁹⁸. Il y aurait sans doute matière, sur ce point à un travail de recherche historique sur les modalités de classement et de distinction des différents domaines de recherche en géologie, en paléontologie, en stratigraphie, en chimie, ..., par exemple, au sein des universités. L'observation dans le temps des rapprochements, et des séparations institutionnelles au niveau universitaire de ces disciplines serait riche d'enseignement.

⁹⁸ KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 148

III - 2 - Un scientifique pluriel

III - 2 - 1 - Wegener : une biographie succincte

Alfred Wegener est né le 1^{er} novembre 1880 à Berlin. Il mène des études d'astronomie dans les universités d'Heidelberg, Innsbruck et Berlin. Il obtient en 1908 son doctorat en astronomie et météorologie à l'université de Marbourg⁹⁹.

Parallèlement, il donne des cours, et il travaille comme astronome à l'observatoire de Tegel (quartier de Berlin). Avec son frère, ils expérimentent des mesures météorologiques en ballon. Et il multiplie les expéditions en Arctique et au Groenland.

En janvier 1912, il participe à une conférence de la Société Géologique de Francfort au cours de laquelle il expose ses théories sur les translations horizontales des continents. En 1915, il publie *La Genèse des Continents et des Océans*.

Au sortir de la première guerre mondiale, au cours de laquelle il sert en tant que capitaine attaché à la météorologie, il est nommé professeur de météorologie à l'université de Hambourg. En 1924, il accepte un poste de professeur de météorologie et de géophysique à l'université de Graz (Autriche).

En 1930, il part en expédition en Arctique pour y mesurer l'épaisseur de l'inlandsis, et pour y travailler à l'implantation de stations météorologiques. Les conditions météorologiques sont très dures, et Wegener périt au retour d'une station. Son corps est retrouvé gelé le 12 mai 1931.

III - 2 - 2 - La question de la communauté scientifique : Un scientifique allemand au sortir de la guerre ?

Nous l'avons vu, Kuhn souligne dans son ouvrage que le paradigme scientifique qui porte une démarche de recherche et de progrès ne s'entend qu'au sein d'une communauté d'hommes qui partagent cet ensemble de théories, d'outils, de définitions. Or certains facteurs

⁹⁹ SCHWARZBACH Martin, *Wegener, Le père de la dérive des continents - 1880-1930*, Paris, Belin, 2000.

humains peuvent venir fragiliser, ou empêcher la cohésion de cette communauté. Nous avons vu l'exemple de Marcou, et de ses pistes de recherches, peu partagées, sur les ponts océaniques. Et le cas de Wegener va, de nouveau, illustrer ce phénomène. En effet, s'il évoque sa théorie en 1912, et publie son article *La Genèse des Continents et des Océans* en 1915, la 1^o Guerre Mondiale va mettre au ban de la société scientifique les chercheurs allemands. Il faut attendre 1924 pour que ses travaux soient traduits en français.

En 1928, il décide de ne plus continuer ses travaux de recherches dans cette direction, et se concentre sur ses travaux liés à la météorologie arctique.

De plus, Wegener n'est ni géologue, ni géophysicien. On peut donc supposer une certaine réticence de la part de la communauté des géologues à accorder du crédit à ce dernier. L'idée d'une communauté réunie autour d'un paradigme prédispose donc peu celle-ci à accueillir un étranger, dont le pays est banni après la guerre, et qui sans passer par les étapes académiques classiques d'une formation disciplinaire, viendrait remettre en cause les fondements de leur paradigme. C'est ce qu'évoque Claude Allègre¹⁰⁰ dans son ouvrage *L'Écume de la Terre*. Il faut bien saisir que Wegener est spécialisé dans la glaciologie et l'étude physique de l'atmosphère. Ces spécialités ne sont alors pas liées à la géologie. En revanche, Wegener, par sa formation de glaciologue a longuement étudié les mouvements de masses importantes (moraines, icebergs, banquises, glaciers). La question des jeux de forces et de résistances des masses terrestres ne lui est donc pas étrangère. D'autre part, fait singulier pour l'époque, Wegener s'avèrera un gros lecteur des publications scientifiques étrangères à son domaine¹⁰¹. C'est cette démarche qui offre une singularité dans l'approche de Wegener. Wegener appellera de ses vœux une unité des différentes spécialités dans les Sciences de la Terre. « *Il me semble que les chercheurs n'aient pas encore compris que toutes les sciences de la Terre doivent collaborer à l'éclaircissement de ce qu'était autrefois notre planète et que nous n'atteindrons la vérité qu'en rassemblant tous les faits qu'elles nous apportent* »¹⁰²

Anthony Hallam, dans son ouvrage *Une révolution dans les sciences de la Terre*¹⁰³ relate le peu de succès des travaux et des théories de Wegener à son époque.

¹⁰⁰ ALLEGRE Claude, *L'écume de la Terre*, Paris, Fayard, coll. « Le Temps des sciences », 1983, 338 p.

¹⁰¹ SCHWARTZBAN Martin, *op.cit.*

¹⁰² WEGENER Alfred, *La genèse des Océans et des Continents*, (dernière édition), 1929, préambule.

¹⁰³ HALLAM Anthony, *Une révolution dans les sciences de la Terre (de la dérive des continents à la tectonique des plaques)*, Paris, Seuil, 1976.

Seuls quelques scientifiques vont reprendre la théorie de Wegener. C'est notamment le cas de Boris Choubert¹⁰⁴, mais ces travaux présentent, comme ceux de Wegener des fragilités théoriques. Il faut souligner la place particulière de Holmes¹⁰⁵ et Du Toit¹⁰⁶ qui vont, dans une certaine solitude, continuer leurs recherches dans la perspective de Wegener. Holmes va travailler la question de la géochronologie. En examinant la datation radioactive des roches, il va établir un âge de la Terre à 130 Ma¹⁰⁷. Alexander Du Toit travaillera la question de la dérive des continents sous le prisme de la paléobotanique et de la paléobiologie.

Il faut attendre les années 1960 pour que les travaux de Wegener soient réhabilités par la communauté scientifique en géologie, et intégrés à la tectonique des plaques. Précisons que Wegener est alors reconnu dans son idée de la mobilité géographique des continents. Mais cette mobilité est démontrée par d'autres moyens que ceux mis en place par Wegener. Il n'y a donc pas acceptation globale et tardive des thèses de Wegener, mais une reconnaissance de l'idée principale, la mobilité des continents, soutenue par d'autres outils. La reconnaissance, tardive, de l'importance des travaux de Wegener interviendra avec les publications de Bullard, Everett, et Smith¹⁰⁸. Ces derniers publieront un article avec une iconographie qui popularisera les travaux de Wegener, et l'idée d'un super continent qui « emboîterait » les continents que nous connaissons. (Voir Annexe IV)

Des raisons de différente nature ont fait que les propos de Wegener n'ont pas convaincu la communauté scientifique de l'époque. Nous l'avons dit, les travaux de Wegener doivent se comprendre au regard des connaissances en géologie de l'époque. Si les preuves apportées par Wegener sont conséquentes, elles ne semblent pas convaincre la communauté scientifique d'alors. La longue présentation des preuves et arguments par Wegener ne semble pas faire oublier la question de la cause, du moteur de ces translations. La communauté scientifique a-t-elle rejeté les idées de Wegener au regard de cette seule question ? On serait tentés de pointer comme cause du rejet des thèses de Wegener la faiblesse de ses explications

¹⁰⁴ CHOUBERT Boris, Recherches sur la genèse des chaînes paléolithiques et antécambriennes, In *Revue de géographie physique et géologie dynamique*, vol. 8, n° 1, 1935

¹⁰⁵ HOLMES Arthur, *Principles of physical geology*, London, Th. Neslon and Sons, 1944

¹⁰⁶ DU TOIT Alexander, *Our wandering continents*, Edinburgh, Oliver and Boyd, 1937

¹⁰⁷ HOLMES Arthur, *The Age of the Earth*, 1913

¹⁰⁸ BULLARD Edward, EVERETT J. E., SMITH A. Gilbert, « The Fit of the Continents around the Atlantic », *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Londres, Royal Society, vol. 258, no 1088, 28 octobre 1965

causales. Pour bien comprendre cela, nous pouvons nous tourner vers les travaux de Naomi Oreskes¹⁰⁹.

« *The standart answer [...] is that continental drift was rejected for lack of an adequate causal mechanism. Because scientists could not explain why continents moved, they conclude that they could not move. But this is an example of rational reconstruction in the history of science* »¹¹⁰ [*La réponse standard est que la dérive des continents fut rejetée à cause des faiblesses des mécanismes explicatifs. Comme les scientifiques ne pouvaient expliquer pourquoi les continents se déplaçaient, ils en ont tiré la conclusion qu'ils ne pouvaient se déplacer. Mais c'est là un exemple d'une reconstruction dans l'histoire des sciences.*]¹¹¹

Il nous faut comprendre que les raisons du refus des thèses de Wegener sont à chercher, non pas dans un débat strictement scientifique, mais dans des discussions qui remettaient en cause les théories jusqu'à lors acceptées.

« *So why was continental drift rejected? The thesis of this book is that American earth scientist rejected the theory of continental drift not because there was no evidence to support it (there was ample), nor because the scientist who supported it where cranks (there were not), but because the theory, as widely interpreted, violated deeply held methodological beliefs and valued forms of scientific practice. The idea of the motion of continents, the empirical evidence for it, and the mechanical explanation of it developed by Arthur Holmes have all been corroborated by contemporary earth science. But to accept these ideas in the 1920s or early 1930s would have forced American geologist to abandon many fundamental aspects of the way they did science. This they not willing to do* »¹¹². [*Pourquoi la dérive des continents fut rejetée ? La thèse de cet ouvrage est que les scientifiques américains de la Terre ont rejeté cette théorie des dérives continentales, non parce qu'il n'y avait pas de preuves (il y en avait de nombreuses, non parce que les scientifiques qui soutenaient cette thèse étaient*

¹⁰⁹ ORESKES Naomi, *The Rejection of Continental Drift: Theory and Method in American Earth Science*, OUP USA éd., 1999, p. 6

¹¹⁰ ORESKES Naomi, *The Rejection of Continental Drift: Theory and Method in American Earth Science*, OUP USA éd., 1999, p. 6

¹¹¹ Traduction personnelle

¹¹² ORESKES Naomi, *The Rejection of Continental Drift: Theory and Method in American Earth Science*, OUP USA éd., 1999, p. 6

excentriques (ils ne l'étaient pas), mais parce que cette théorie, grandement interprétée, violait profondément les habituelles croyances méthodologiques, ainsi que les pratiques scientifiques jusqu'alors éprouvées. L'idée d'une dérive des continents, les preuves empiriques qui l'accompagnent, et les explications mécaniques développées par Arthur Holmes ont toutes été corroborées par les sciences de la Terre contemporaines. Mais les accepter ces idées dans les années 20, ou au début des années 30 aurait forcé les géologues américains à abandonner de nombreux aspects fondamentaux de leur manière de faire de la science. Et c'est cela qu'ils ne souhaitaient pas.]¹¹³

Oreskes souligne ici, dans l'histoire de la géologie et des sciences de la Terre, un ancrage, un attachement des scientifiques sur des positions qu'ils ne remettent pas réellement en question. Il s'agit là d'un exemple clair de ce que Kuhn précise lorsqu'il parle des résistances dans la résolution des crises et dans l'instauration d'un nouveau paradigme.

¹¹³ Traduction personnelle

III - 3 - Les apports théoriques de Wegener

III - 3 - 1 - La reprise de la question des formes des rives continentales

La genèse des Continents et des Océans, pour le non spécialiste, est d'une lecture relativement aisée. Dans l'édition de 1924, après un court avant-propos des éditeurs et des traducteurs, enthousiastes, Wegener rentre, pour ainsi dire, directement dans le vif du sujet.

En une dizaine de pages, il expose sa théorie. Puis il présente, dans une partie plus importante, ses preuves. Avant d'avancer ses preuves, Wegener reprend les théories en vigueur. Il en expose deux qui divergent profondément.

Pour résumer, d'une part, les observations de l'époque (et antérieures) révèlent des similitudes dans les fossiles et les stratifications de part et d'autre de l'océan Atlantique. Ces observations s'intègrent dans la théorie de ponts continentaux. D'autre part, l'orogénèse s'explique alors par la théorie de la contraction de la couche terrestre, liée au refroidissement progressif, en allant du noyau à l'écorce. Mais ces deux théories sont incompatibles. En effet, les phénomènes sont là : les similitudes paléontologiques et stratigraphiques, et les chaînes de montagne. Or, ces deux phénomènes font appel à l'époque à des schémas explicatifs différents et qui entrent en contradiction. Pour les paléontologues de l'époque, les similitudes des fossiles de part et d'autre de l'Atlantique s'expliquent par l'hypothèse des ponts océaniques, aujourd'hui effondrés. La présence de chaînes de montagnes trouve une explication dans la théorie de la « pomme plissée ». Les relevés de chaleur et la théorie de la constitution du globe laissent penser que, d'un noyau très chaud, la température est décroissante au fur et à mesure qu'on remonte vers la croûte terrestre. Ce refroidissement, en vertu des lois de dilation et réfraction des matériaux entraîne une réfraction de la surface terrestre, qui se « plisse » donc à certains endroits. On trouve couramment des appellations de cette théorie comme de la « pomme plissée », car la surface de la pomme, en vieillissant, se contracte, et provoque des rides à sa surface, donc des élévations plissées, ici, les chaînes de montagnes. Or, ces deux schémas explicatifs ne peuvent coïncider.

Wegener explique que « *Du moment que nous devons nous libérer entièrement de la théorie de la contraction, il nous a suffi de tenir compte des arguments les mieux fondés de la théorie de la permanence et de celle des ponts continentaux pour réconcilier ces deux idées*

apparemment si contraires, grâce à la théorie des translations. »¹¹⁴. Wegener s'attache à examiner, dans chaque théorie présente, les arguments les plus solides, et il en tire profit pour sa théorie des translations horizontales.

Wegener, dans sa préface, écrit « *Mais où donc est la vérité ? La terre ne peut avoir eu, à un moment, qu'une seule face. Y avait-il à l'époque des ponts, ou bien les continents étaient-ils séparés comme de nos jours par de larges océans ? Il est impossible d'écarter la nécessité de l'existence des anciennes jonctions terrestres, si nous ne voulons pas renoncer complètement à comprendre le développement de la vie sur le globe, et il est également impossible de se dérober aux arguments contraires à l'existence des continents intermédiaires émis par les partisans de la loi de la permanence. Il n'y a évidemment qu'une issue : Les hypothèses admises comme évidentes doivent être viciées par des erreurs cachées* »¹¹⁵

Il reste donc à trouver une théorie qui unifierait ces phénomènes.

A la fin de la première partie, Wegener écrit : « *Nous pouvons nous résumer ainsi : Les continents furent jadis reliés entre eux, non par des ponts continentaux aujourd'hui effondrés, mais parce que leurs masses rapprochées entraient en contact. La loi de la permanence subsiste ; elle ne s'applique pas aux divers océans ou continents, mais à l'ensemble des surfaces qu'ils occupent respectivement.* »¹¹⁶. Nous précisons ici ce qu'il faut entendre par « loi de la permanence ». L'idée est que le volume d'eau à la surface du globe est constant, et que « *la surface totale du fond des océans n'a pas subi de changements importants. Les bassins océaniques doivent donc être mis au rang des traits permanents de la face de la Terre, et cela au même titre que les continents dont l'immobilité n'était pas en doute jusqu'ici.* »¹¹⁷

On peut donc dire, avec Wegener que les continents dérivent les uns par rapport aux autres. Là où la communauté scientifique de son époque voyait de l'immobilisme (avec des déformations verticales), Wegener observe des mouvements horizontaux. Ce changement d'optique n'est pas sans rappeler la conversion qui s'opère chez celui qui, alternativement, observe la figure du « canard-lapin » de Jastrow (Voir p. 39).

¹¹⁴ WEGENER Alfred, *op. cit.*, p. 21

¹¹⁵ WEGENER Alfred, *La genèse des continents et des océans*, 1928 ; réédition, Paris, C. Bourgeois, 1990, p. 16.

¹¹⁶ WEGENER Alfred, *op. cit.*, p. 21

¹¹⁷ WEGENER Alfred, *op. cit.*, p. 17

On peut faire l'hypothèse que si Wegener, lui, adopte cette vision des continents dérivants, cela est peut-être lié à ce qu'il ne soit pas imprégné des visions immobilistes enseignées dans les cursus de formation (il n'est pas à la base, géologue). D'autre part, de par sa formation de glaciologue, il est enclin à penser les questions de déplacements, d'équilibres et de forces de masses conséquentes (glaciers, moraines, iceberg, calotte glaciaire). Et Kuhn nous apporte un éclairage sur l'émergence de cette idée novatrice chez Wegener : « *Notons seulement un fait à ce propos [Comment un individu invente-t-il une nouvelle manière d'ordonner les faits ?] : presque toujours, les hommes qui ont réalisé les inventions fondamentales d'un nouveau paradigme étaient soit très jeunes, soit tout nouveaux venus dans la spécialité dont ils ont changé le paradigme.* »¹¹⁸

Soulignons le fait que Wegener n'est pas géologue de formation, et qu'en 1912, lors de sa première allocution sur sa théorie, il n'a que 32 ans.

III - 3 - 2 - Les preuves & arguments

Pour soutenir sa théorie, Wegener va, dans la seconde partie de son ouvrage, présenter ses preuves. Elles sont de 5 types. Avant de les présenter très succinctement, notons que dans la traduction française, la seconde partie est intitulée « *Les preuves* ». Et que cette partie se décompose en 5 chapitres qui s'intitulent tous « *Arguments* ». Que faut-il comprendre de ces appellations ?

Dans sa première partie, Wegener présente sa théorie. Une fois sa théorie présentée, il va corroborer celle-ci, non seulement sur des phénomènes observés (non homogénéité de la structure des fonds marins, par exemple), mais également en reprenant à son compte des apports théoriques divers. Il s'agit là d'une démarche audacieuse. Wegener va trouver des ressources dans le renforcement de sa théorie en s'appropriant des outils qui lui préexistent.

« *Pour dévoiler les états antérieurs du globe, toutes les sciences s'occupant des problèmes de la terre doivent être mises à contribution, et ce n'est que par la réunion de tous les indices fournis par elles que l'on peut obtenir la vérité ; mais cette idée ne paraît toujours*

¹¹⁸ KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 131

pas être suffisamment répandue parmi les chercheurs. [...] Ce qui est certain, c'est qu'à une époque donnée la terre ne peut avoir eu qu'une seule face sur laquelle elle ne nous fournit pas de renseignements directs. Nous sommes devant la terre comme un juge devant un accusé refusant toute réponse, et nous avons la tâche de découvrir la vérité à l'aide de présomptions. Toutes les preuves que nous pouvons fournir présentent le caractère trompeur des présomptions. Quel accueil réserverions-nous au juge qui arriverait à sa conclusion en utilisant seulement une partie des indices à sa disposition ? Ce n'est qu'en réunissant les données de toutes les sciences qui se rapportent à l'étude du globe que nous pourrions espérer obtenir la « vérité », c'est-à-dire l'image qui systématise de la meilleure façon la totalité des faits connus et qui peut, par conséquent, prétendre être la plus probable. Et, même dans ce cas, nous devons nous attendre à ce qu'elle soit modifiée, à tout moment, par toute nouvelle découverte, quelle que soit la science qui l'ait permise »¹¹⁹

Dans ses propos, Wegener résume sa démarche de collecte des arguments dans différents champs disciplinaires, qui jusqu'alors, ne communiquaient pas entre eux pour fonder un discours commun sur l'histoire et l'état du globe.

Ainsi, il présente des arguments qui font appel aux lois et théories en vigueur à l'époque en :

- Géophysique,
- Géologie,
- Paléontologie et biologie,
- Paléoclimat,
- Géodésie.

Je ne crois pas utile de reprendre tous ces arguments, exception faite de certains points que nous discuterons par la suite, car ils présentent un intérêt au niveau épistémologique.

En quelque sorte, on peut avancer que Wegener a « profité » des travaux spécifiques des autres chercheurs. Son observation de la concordance des côtes océaniques ne trouve de soutien que dans sa capacité à solliciter des travaux qui lui préexistent. La pertinence de la vision de Wegener réside dans sa faculté à regrouper des travaux spécialisés. Wegener

¹¹⁹ WEGENER Alfred, *La genèse des continents et des océans, Préface*, 1928 ; réédition, Paris, C. Bourgois, 1990, p.XIII-XIV).

s'empare de la question du mouvement des continents. Il va solliciter des champs scientifiques qui jusqu'alors ne communiquaient pas entre eux. En quelque sorte, il va utiliser les éclairages de différentes spécialisations, ce qui le conduit « à faire varier les angles, et tenter de réduire les ombres projetées »¹²⁰. Ces sollicitations corroborent sa théorie. D'une certaine manière, on peut avancer que « tout était là »¹²¹.

Wegener, et on le perçoit aisément à la lecture de son ouvrage, va solliciter différents champs. D'une part pour élaborer sa théorie, et d'autre part, pour réfuter les théories jusqu'alors en place. Ainsi, par exemple, il va réfuter l'hypothèse des ponts continentaux en recourant à la théorie de l'isostasie¹²² propre aux physiciens. Il y a une singularité dans la démarche de Wegener à s'appuyer sur des champs jusqu'alors autonomes, et de les croiser. Cette richesse dans l'approche de son travail de recherche va lui offrir un étaiement certain au niveau argumentatif. Mais, on ne peut qu'observer que cette démarche va quelque part se retourner contre lui. En effet, les géologues, à son époque, sont traversés par des oppositions entre les Européens et les Américains¹²³, et vont critiquer, non seulement, cet usage diversifié d'arguments « choisis », la remise en cause d'une certaine idée de la stabilité des continents largement installée, mais également le caractère « étranger » de Wegener. Celui-ci n'est pas géologue, et la science allemande est alors mise au ban du monde scientifique.

Comme nous l'avons vu dans les parties précédentes, il n'y a pas de « père » ou de « grand fondateur » en sciences. Wegener ne fait pas une communication en créant *ex nihilo* une théorie. S'il fallait s'en convaincre, la naissance de sa théorie de la dérive des continents ne peut se comprendre que dans une histoire des sciences. Les observations sont là. Wegener leur donne un sens en les mettant en perspective les unes par rapport aux autres, au sein d'une théorie qui les dépasse.

¹²⁰ Entretien avec M. Pierre SAVATON, le 16/07/ 2020.

¹²¹ Entretien avec M. Pierre SAVATON, le 23/10/2018.

¹²² Cf. p. 27.

¹²³ ORESKES Naomi, *op. cit.*, p. 7

III - 4 - Wegener : le père d'une révolution scientifique ?

III - 4 - 1 - Un accueil frileux et des critiques

La publication de Wegener ne rencontra pas de succès dans la population des géologues. Nous employons ici le terme de « population », car l'idée d'une communauté fait appel à une unité qui fait alors défaut parmi les scientifiques. Oreskes souligne la rupture d'unité entre les géologues américains et les européens.¹²⁴ Toujours est-il que lorsque les théories de Wegener sont exposées lors du Congrès de la British Association en 1922, les idées de Wegener sont froidement accueillies. Anthony Hallam souligne qu'on trouve des réactions des scientifiques qui « *trahissaient sinon une franche hostilité, du moins un certain scepticisme* »¹²⁵.

On peut trouver des causes à cette résistance aux théories de Wegener dans un ressentiment de la communauté internationale vis-à-vis de la science allemande au sortir de la 1^{ère} Guerre Mondiale, et dans le statut de Wegener, qui n'est pas géologue de formation initiale¹²⁶.

Mais il faut souligner que les arguments avancés pour rejeter les théories wégénériennes sont de différents ordres. J'en retiendrai quelques-uns.

D'une part, l'idée de la concordance des côtes océaniques est interrogée. Ce qui apparaissait comme une observation « *frappante* »¹²⁷ pour Wegener est l'objet d'interrogations. Wegener souligne, à propos des continents que « *leurs extrémités se raccordent parfaitement dans notre reconstruction qui, en cet endroit plus qu'en tout autre ne se prête à aucune adaptation.* »¹²⁸ Or, ce point est critiqué. Selon Hallam, certains géologues émirent des doutes sur ce point. « *L'ajustement mutuel des continents qui bordent l'Atlantique fut récusé en raison de son imprécision. On trouvait regrettable que seules les lignes côtières eussent été prises en compte. En vérité, eut égard aux mouvements épirogéniques (mouvements verticaux de la croûte) dont nous savons qu'ils ont affecté un grand nombre de côtes.* »¹²⁹. En effet, on n'observe pas une coïncidence parfaite des côtes océaniques, et de plus Wegener ne semble pas prendre en compte les variations d'altitudes des côtes qui

¹²⁴ ORESKES Naomi, *op. cit.*, p. 7

¹²⁵ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 41

¹²⁶ ALLEGRE Claude, *L'écume de la Terre*, Paris, Fayard, coll. « Le Temps des sciences », 1983, 338 p.

¹²⁷ WEGENER Alfred, *op. cit.*, p. 1

¹²⁸ WEGENER Alfred, *op. cit.*, p. 34

¹²⁹ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 42

affecteraient l'idée de pièces de puzzle se séparant les unes des autres.

De plus, l'idée de « translations horizontales » des continents, et d'un continent originel *Pangée*, interroge. En effet, Wegener ne s'explique pas sur les durées d'un super continent uni, ni sur les forces qui animeraient le déplacement des continents les uns par rapport aux autres. Wegener s'explique sur la constitution de l'écorce terrestre, en termes de socles océaniques et de socles continentaux, mais la lecture de son ouvrage ne permet pas d'y trouver clairement des explications sur le *moteur* de ces dérives. « *Pourquoi le continent géant appelé Pangée serait-il demeuré si longtemps d'un seul tenant, pour soudain se fragmenter de façon aussi spectaculaire en l'espace de quelques dizaines de millions d'années seulement ?* »¹³⁰.

Un des arguments qu'avance Wegener, pour soutenir sa théorie, est d'ordre paléontologique. On trouve, de part et d'autre de l'Océan Atlantique, des fossiles d'animaux et de plantes similaires. Wegener y voit une preuve que les côtes continentales, aujourd'hui séparées par l'océan, étaient, à une autre période, réunies. Or, ce même phénomène (des fossiles en commun) est interprété par certains comme une preuve d'une théorie contraire. Il s'agit ici de la théorie des ponts continentaux. Nous l'avons vu, nous rencontrons cette théorie, notamment chez Jules Marcou¹³¹. Wegener souligne ce fait : « *la paléontologie était obligée d'admettre l'existence, autrefois, de communications terrestres entre le Brésil et l'Afrique* »¹³².

La question est complexe car Wegener reconnaît l'existence de ponts continentaux (Le détroit de Béring, par exemple). Il ne peut donc rejeter totalement l'hypothèse de ponts continentaux. Mais les observations paléontologiques, et les hypothèses de l'effondrement de ces ponts lui font préférer, pour des raisons de « simplicité » la théorie de la dérive continentale. C'est ce qu'il précise : « *La théorie des translations cependant, offre à la question d'ordre purement biologique, une solution plus simple car, pour expliquer l'extension des faunes et des flores anciennes, elle tient compte non seulement des jonctions territoriales, mais aussi des modifications que l'on peut apporter aux distances séparant les*

¹³⁰ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 44

¹³¹ Voir ci-dessus, p. 51

¹³² WEGENER Alfred, *op. cit.*, p. 6

lieux de trouvaille. »¹³³. Les observations paléontologiques « donnent à la théorie des translations un avantage évident sur celle des affaissements [des ponts continentaux] »¹³⁴. Wegener se place également dans un cadre évolutionniste darwinien. Deux espèces semblables ont nécessairement en commun un ancêtre. Si elles vivent sur 2 territoires séparés, il faut imaginer que ces territoires étaient unis à une époque plus reculée. Si l'hypothèse des ponts continentaux ne peut pas être retenue pour les raisons précédentes il faut nécessairement que les continents se déplacent...¹³⁵

La question de la vitesse de translation des continents évoquées par Wegener est également interrogée. Hallam explique que « les preuves d'ordre géodésiques furent écartées comme peu sûres ; il est vrai que les plus récentes données d'après-guerre confirment ce jugement. Malgré la prédiction de Wegener pour ce genre de preuves, il faut souligner ici que, même s'il est impossible d'établir de façon indiscutable que la dérive s'est poursuivie pendant les dernières années ou décades, cela n'infirme en rien la validité de l'hypothèse générale. »¹³⁶.

De plus, il reste très prudent sur la question de la vitesse des déplacements des socles continentaux. « Il est à prévoir que ces chiffres [de la vitesse de déplacement des continents] devront être, en bonne partie, considérablement modifiés. »¹³⁷. Wegener précise que la mesure de ces déplacements est susceptible d'être remise en cause. Les mesures astronomiques sont sujettes à interprétation car « les mesures de longitude n'ont pas été prises exactement au même endroit »¹³⁸. D'autre part, il y a la question de la mesure de la vitesse récente, et l'extrapolation de celle-ci sur des périodes longues. Est-elle constante ? Est une moyenne ? Et Wegener tient à prendre en compte la question de la réfraction du globe terrestre, ce qui modifierait le sens apporté à la mesure de la vitesse de la dérive des continents.

Dans son ouvrage, Wegener commence par avancer sa théorie. Mais il nous faut comprendre qu'il procède à un travail au préalable de réfutation des thèses des ponts continentaux et de la théorie de la pomme plissée. Ces réfutations, si elles sont présentées après sa théorie dans son ouvrage, doivent être pensées comme un préalable à l'avènement de

¹³³ WEGENER Alfred, *op. cit.*, p. 67

¹³⁴ WEGENER Alfred, *op. cit.*, p. 68

¹³⁵ Entretien avec M. Pierre SAVATON le 4 juillet 2020.

¹³⁶ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 43

¹³⁷ WEGENER Alfred, *op. cit.*, p. 91

¹³⁸ WEGENER Alfred, *op. cit.*, p. 92

sa théorie.

On le voit, Wegener, lorsqu'il expose sa théorie et ses arguments navigue entre l'idée « *frappante* » de la concordance des côtes continentales, et des arguments qu'il sait empruntés à des champs scientifiques épars.

Ces critiques, nous l'avons vu, seront importantes, et participeront au rejet de la théorie de Wegener par les scientifiques de son époque.

Il est délicat de lire les réserves des géologues de l'époque vis-à-vis des travaux de Wegener sans songer à la figure du « canard lapin de Jastrow »¹³⁹. La particularité de cette figure est de pouvoir être perçue différemment selon l'angle de vue, mais pas simultanément. La nuance importante à apporter à cette figure est la question de la réversibilité. En effet, Kuhn souligne l'idée d'une « *irréversibilité* »¹⁴⁰ de la vision d'un objet. Lorsque l'observation d'un phénomène est inscrite dans le temps, il est bien délicat de « *lire* » autrement le phénomène, tant la première vision de celui-ci est ancrée dans notre esprit. De par leur formation, leurs publications, leur reconnaissance par des pairs formés aux mêmes écoles de pensée, les scientifiques sont peu enclins à changer de point de vue. Ce changement de point de vue serait, en sus d'un bouleversement des habitudes de travail et de lecture des phénomènes, une forme de reconnaissance des limites de leur travail.

Les géologues contemporains de Wegener, formés à une lecture « immobiliste » de l'écorce terrestre (en ce qui concerne les mouvements latéraux) ne sont donc pas disposés à changer d'optique. Seuls quelques scientifiques vont reprendre les idées de Wegener.

III - 4 - 2 – Une hypothèse dépassée rapidement

Il est intéressant de souligner que l'attitude des scientifiques contemporains de Wegener n'a pas été uniforme. Si certains, nous l'avons vu, ont rejeté en bloc la théorie de la dérive des continents, certains ont pris parti pour certaines idées de Wegener. C'est notamment le cas d'Arthur Holmes¹⁴¹ et d'Alexander Du Toit¹⁴².

¹³⁹ Voir ci-dessus p. 39

¹⁴⁰ KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 158.

¹⁴¹ HOLMES Arthur, *Principles of physical geology*, London, Th. Neslon and Sons, 1944

Holmes va défendre l'idée principale de la dérive des continents de Wegener, mais sans en reprendre tous les mécanismes internes. Il va notamment défendre la théorie de Wegener dans son ouvrage *Principles of physical geology*¹⁴³. Au sein duquel il consacre un chapitre à la théorie de Wegener. Holmes va conserver l'idée d'un déplacement des continents, mais en s'appuyant sur d'autres arguments que ceux de Wegener en ce qui concerne le « moteur » du déplacement des continents. Il ne reprend pas à proprement parler la thèse de Wegener. Il soutient l'idée d'une dérive continentale, sous l'effet des courants de convection au sein de leur substratum.

Alexander Du Toit avait remarqué des similitudes géologiques entre l'Afrique du Sud et l'Amérique du Sud. Wegener évoque ses travaux dans la dernière édition de son ouvrage. Lorsque Wegener cessera de travailler la question des dérives continentales pour se concentrer sur ses recherches arctiques, Du Toit reprendra ses travaux. Dans son ouvrage *Our wandering continents*¹⁴⁴, il corrige les travaux de Wegener. Il retient l'idée d'une dérive, issue d'un ajustement des plateaux continentaux, et non pas seulement des contours des côtes. De plus, il ne propose pas un morcellement de la Pangée comme l'envisageait Wegener.

Hallam souligne que « *Du Toit a apporté un renfort considérable à l'hypothèse de la dérive des continents, d'une part en éliminant certaines erreurs de Wegener, d'autre part en intégrant une grande quantité d'éléments nouveaux et de faits disparates en une interprétation cohérente et simple.* »¹⁴⁵. Mais si Holmes et Du Toit ont continué à travailler l'idée d'une dérive des continents, ils tirent leurs conclusions par des moyens autres que ceux utilisés par Wegener. Il n'en reste pas moins que ces deux scientifiques n'ont pas convaincu la population des géologues de leur époque. « *Holmes souffrit peut-être du peu de renommée de la revue qui l'avait publié, tandis que Du Toit, à cause de son style exubérant, passait aux yeux de beaucoup pour un maniaque.* »¹⁴⁶.

A partir des années 50, indépendamment des théories de Wegener, des progrès furent réalisés dans la compréhension de la nature des fonds océaniques, ainsi que dans les variations

¹⁴² DU TOIT Alexander, *Our wandering continents*, Edinburgh, Oliver and Boyd, 1937

¹⁴³ HOLMES Arthur, *Principles of physical geology*, London, Th. Neslon and Sons, 1944

¹⁴⁴ DU TOIT Alexander, *Our wandering continents*, 1937.

¹⁴⁵ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 59

¹⁴⁶ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 60

magnétiques des pôles. Dans le cas du paléomagnétisme, il est intéressant de considérer que la fixité des pôles magnétiques semblait être un axiome fondamental. Or, en étudiant le paléomagnétisme, le chercheur Keith Runcorn¹⁴⁷ a observé des anomalies. On a observé que certaines roches, lors de leur solidification, enregistraient la direction et l'intensité du champ magnétique terrestre. Cela a autorisé un regard nouveau sur les mouvements des plaques au cours du temps. Hallam souligne que « *Runcorn avait appris à considérer, comme la plupart des géophysiciens, la dérive des continents comme quelque chose de tout à fait improbable, pour ne pas dire impossible. Il faut cependant porter à son crédit la rapidité avec laquelle il reconnut qu'on pouvait faire disparaître cette anomalie en supposant l'Amérique du Nord rattachée à l'Europe, ainsi que l'avait proposé Wegener. [...] C'est ainsi que Runcorn devint, à partir de 1956, un des principaux partisans d'une dérive latérale des continents.* »¹⁴⁸. Les découvertes en matière de paléomagnétisme ne viennent pas corroborer les théories en place. Il y a ce que Kuhn nomme des « *anomalies* ». Et ces anomalies qui posent problème à Runcorn ne pourront être résolues avec les théories en vigueur. Ces anomalies vont le pousser à repenser la question de la mobilité des plateaux. Et cette refondation de la théorie va pousser Runcorn à adopter l'idée d'une dérive latérale des continents.

Il nous faut remarquer qu'il y a, avec Runcorn, un exemple frappant, sous la plume de Hallam, de ce que Kuhn présente dans son ouvrage *La structure des révolutions scientifiques*. Le statut de l'anomalie dans l'observation des phénomènes est primordial. Runcorn a 34 ans en 1956. Il travaille sur la question de la localisation du pôle Nord magnétique, à partir d'échantillons de roches collectées de part et d'autre de l'Océan Atlantique. et devant les anomalies magnétiques relevées dans les fonds océaniques, il ne procède pas à des ajustements de son paradigme (l'immobilité des plateaux continentaux), il réinterroge son modèle, et change la définition même de son objet de travail. « *C'est un peu comme si le groupe de spécialistes était transporté soudain sur une autre planète où les objets familiers apparaissaient sous une lumière différente, et en compagnie d'objets inconnus. [...] Les scientifiques voient tout d'un autre œil. [...] Ce qui, avant la révolution, était pour l'homme de science un canard, devient un lapin.* »¹⁴⁹.

Il convient de préciser que les théories de Wegener ne viennent pas solutionner des

¹⁴⁷ RUNCORN Keith, Rock Magnetism – Geophysical aspects, In *Advances in Physics*, 4 (14), 1955

¹⁴⁸ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 67

¹⁴⁹ KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 157

problèmes ultérieurs, auxquels il n'avait pas accès. C'est dans le champ de recherche de la question des modifications du pôle Nord magnétique que des observations paléomagnétiques sont opérées. Lors de leur formation, les roches enregistrent des caractéristiques du champ magnétique terrestre. Et ces observations ne prennent sens que si on pense un déplacement des continents. Certes, Wegener avait avancé l'idée de la dérive des continents. Mais sa démarche n'est pas comparable. 30 années d'essor des recherches géologiques les séparent. Les questions ne sont pas les mêmes, ni les observations et les arguments.

« *Toutes ces nouvelles données, qui provenaient de domaines de recherche très divers, rendirent la communauté géophysique de plus en plus réceptive au concept de dérive des continents.* »¹⁵⁰

D'énormes progrès dans la connaissance des fonds océaniques, à partir des travaux de Harry Hess¹⁵¹, ont été réalisés par la suite. La concrétisation du Projet JOIDES¹⁵² (collecte d'échantillon et carottage des fonds marins) a apporté de nombreuses informations qui ont corroboré la théorie de la dérive des continents. « *A la fin de la décennie [1960 – 1970], tout le monde s'était rallié à la théorie, hormis quelques conservateurs particulièrement réfractaires.* »¹⁵³. On assiste à l'émergence d'un réel paradigme, en 1968, qui reconnaît l'idée de la mobilité. Mais les thèses de Wegener sont intégrées dans l'histoire de la géologie, et, nous l'avons vu, plus que profondément retravaillées. C'est l'apparition du paradigme, en vigueur aujourd'hui, de la tectonique des plaques.

III - 4 - 3 – La tectonique des plaques

Peu après, un groupe de 3 chercheurs, Morgan¹⁵⁴, McKenzie¹⁵⁵, et Le Pichon¹⁵⁶ jetèrent les bases de la tectonique des plaques. Cette théorie se propose d'unifier les différents outils et travaux de la compréhension de la physique du globe. La compréhension de la physique et des mouvements des plaques rendaient enfin compte des observations éparses qui

¹⁵⁰ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 83

¹⁵¹ HESS Harry, History of Ocean Basins, In *Geological Society of America*, 1962

¹⁵² Joint Oceanographic Institutes Deep Earth Sampling Programme : Le navire JOIDES Resolution est un bâtiment océanographique, qui a l'aide d'un derrick, a pu faire des prélèvements d'une profondeur de 2000 m. sur des fonds marins profonds de 7000 m.

¹⁵³ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 101

¹⁵⁴ MORGAN Jason, « Rises, trenches, great faults and crustal blocks », *J. geophys. Res.* 73, 1968

¹⁵⁵ Mc KENZIE Dan, « The North Pacific : an example of tectonics on a sphere », London, *Nature*, 216, 1967

¹⁵⁶ LE PICHON Xavier, « Sea floor spreading and continental drift », *J. geophys. Res.* 73, 1968

étaient faites dans différents domaines de recherche. Et cette théorie de la tectonique des plaques reprenait l'idée initiale de Wegener de la mobilité des éléments de surface du globe. Il faut comprendre que le modèle de la mobilité des plaques tectoniques a été construit avec d'autres questions et d'autres outils que la théorie de la dérive des continents de Wegener. Ils ont en commun l'idée de la mobilité des éléments de surface du globe. Mais il est bien délicat de penser un lien de filiation entre les deux. Avec la tectonique des plaques, la communauté des géologues est unifiée autour d'un paradigme commun et cohérent.

Les sciences de la Terre vont disposer, avec la théorie de la tectonique des plaques, d'un modèle cohérent et accepté par la communauté. Hallam précise que « *la grande majorité des géologues classiques ont été formés dans une tradition qui valorisait par-dessus tout la finesse de l'observation de détail et la prudence dans l'induction, même limitée, décourageant de façon plus ou moins subtile tout essor un peu hardi de l'imagination. On avait tendance à regarder de travers ces géophysiciens frivoles qui semblaient parfois bondir aux plus grandioses conclusions sur des preuves les plus ténues, [...] et cela d'autant plus que les arguments étaient presque toujours enveloppés d'interminables pages d'algèbre la plus incompréhensible. Caricature ? Certes, tout comme la conception inverse qui fait du géologue classique une sorte de collectionneur de timbres tatillon.* »¹⁵⁷. Il convient de formuler, à l'occasion de cette citation, quelques remarques. Hallam souligne l'importance des travaux qui sont formulés à propos de la tectonique des plaques. Cette abondance de travaux confère à la tectonique des plaques, une certaine légitimité. Mais, au-delà des images un peu caricaturales qu'il véhicule, il y a l'idée, dans les sciences de la Terre qui s'unifient et se structurent autour du paradigme de la tectonique des plaques, d'une remarque sur un changement de nature du discours. Nous avons exposé précédemment les remarques de Whewell sur l'induction dans les sciences paléontologiques. Ici, Hallam souligne que d'une géologie inductive, à la « *grand papa* », l'émergence du paradigme de la tectonique des plaques confère aux Sciences de la Terre un caractère déductif. La tectonique des plaques est alors perçue comme un modèle qui étend son champ explicatif sur des objets jusqu'alors étudiés isolément. Et elle acquiert une dimension prédictive car les lois qui régissent les phénomènes sont alors mieux comprises. On peut parler d'un « saut » épistémologique lors de cette unification des Sciences de la Terre autour de ce paradigme. Le « saut » doit s'entendre dans la forme que prend le développement des Sciences de la Terre, englobant enfin, avec la

¹⁵⁷ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 114

tectonique des plaques, une multitude d'observations non unifiées, jusqu'alors éparses.

III - 5 - Conclusion de la partie III

Nous avons tenté, dans cette partie, de succinctement résumer le cadre historique et scientifique qui permet de comprendre le passage d'une vision, peu travaillée, des continents fixés sur le globe, à la théorie scientifique de la tectonique des plaques. On peut avancer que de la publication des thèses de Wegener jusqu'à celles de Morgan, Mc Kenzie et Le Pichon, on observe une révolution scientifique au sens kuhnien du terme. C'est le propos de Hallam. En effet, comme nous l'avons vu dans la présentation de la thèse de Kuhn, il est possible de voir, dans l'histoire de la géologie et des sciences de la Terre, une révolution. Les scientifiques ont adopté une nouvelle théorie, les objets d'études et les faits ont reçu de nouvelles définitions et de nouvelles interprétations. On a su trouver des explications à des anomalies observées, les nouveaux champs de recherche se sont intégrés au fur et à mesure au sein du paradigme, et l'objet de recherche est perçu d'une manière nouvelle.

Nous avons exposé le fait que cette révolution scientifique ne s'est pas opérée spontanément. La science est une activité d'hommes qui s'inscrivent dans un jeu de formation, de cooptation, d'histoire, d'habitudes et de schémas de pensée, et de croyances. A plusieurs reprises, nous avons montré la pertinence des travaux de Wegener, et les limites et freins qu'ont connu leur expansion et leur reconnaissance par les géologues de l'époque.

Kuhn, dans la *Structure des Révolutions Scientifiques*, s'il cite Lyell¹⁵⁸, ne fait pas écho à l'œuvre de Wegener. Ne perçoit-il pas, en 1962, la place toute particulière de Wegener dans la révolution qui traverse la géologie ? Certes, la tectonique des plaques n'est pas encore à cette date un paradigme exposé et reconnu. Mais, certains auraient pu lire dans l'histoire de la géologie et des sciences de la Terre une révolution en marche. Il convient alors de discuter de la pertinence du modèle kuhnien pour appréhender ces changements.

¹⁵⁸ KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 29

Partie IV - Un modèle kuhnien qui s'ajuste mal à l'histoire des Sciences de la Terre

IV – 1 – Les signes d'une révolution des Sciences de la Terre au sens kuhnien

Nous l'avons vu, Hallam s'appuie sur les travaux de Kuhn pour faire une lecture des apports de Wegener. Il adopte l'idée de Kuhn selon laquelle « *les révolutions scientifiques se font par la substitution d'un paradigme, c'est-à-dire d'une conception du monde, à un autre.* »¹⁵⁹ Selon lui, nous avons, avec la dérive des continents, un exemple de révolution scientifique au sens de Kuhn. Et d'après lui, une des preuves les plus tangibles de ce changement de paradigme se situe dans l'adoption, par la communauté scientifique en place de ce nouveau paradigme. « *Jusqu'à ces dernières années [l'ouvrage est publié en 1975], l'hostilité à l'égard de la dérive des continents était telle, dans certains laboratoires américains, que de jeunes chercheurs adhérant ouvertement à cette doctrine auraient risqué de ne pas obtenir de poste, cependant que leurs aînés, auraient pratiquement exclus du « collège invisible »*¹⁶⁰. *Aujourd'hui, après quelques années seulement, c'est l'inverse qui a lieu : n'est-ce pas là ce qu'on appelle une révolution ?* »¹⁶¹.

Hallam accorde toute sa place à Wegener en tant qu'instigateur de la révolution scientifique qui a bouleversé les sciences de la Terre. « *La théorie de la tectonique des plaques, fondée sur l'hypothèse de la dérive des continents, a remarquablement réussi à donner une explication cohérente de nombreux phénomènes géologiques et à offrir une représentation de l'évolution de la Terre plus intelligible que toutes celles dont on disposait jusque-là. Il faut voir en elle le plus important progrès qui ait eu lieu dans les domaines de la science de la Terre depuis qu'au début du XIX^e siècle le paradigme de l'évolution uniforme et celui de la corrélation stratigraphique fondée sur l'étude des fossiles avaient donné à la géologie le rang de science véritable. Selon les critères habituels de précision, de généralité, de valeur explicative et de vérifiabilité, la tectonique des plaques apparaît comme une théorie scientifique de très haute valeur, et Alfred Wegener, qui en est le véritable promoteur, mérite d'être universellement reconnu comme l'un des plus éminents novateurs scientifiques de ce siècle.* »¹⁶².

Cette position de Hallam doit appeler plusieurs remarques.

¹⁵⁹ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 153

¹⁶⁰ ZIMAN J. M., *Public knowledge : an essay concerning the social dimension of science*, Cambridge University Press, 1968. Il traduit avec cette expression l'idée qu'une majorité de scientifique adopte, à propos d'un phénomène déterminé, un nouveau système de convictions.

¹⁶¹ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 152

¹⁶² HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 165.

D'une part, il nous faudra revenir sur la distinction à opérer entre « *précurseur* » et « *novateur* ».

D'autre part, si la conclusion de l'ouvrage d'Hallam accorde sans appel un statut de révolution scientifique aux changements liés en géologie aux travaux de Wegener, il convient de revenir sur quelques problèmes d'adéquation entre l'histoire évoquée de la géologie et le modèle kuhnien de révolution scientifique. Hallam le premier le reconnaît, il y a des tensions entre ce modèle et l'histoire de la géologie. C'est ce qu'il souligne en précisant que « *Les sciences de la Terre ont indéniablement connu une révolution au sens kuhnien du terme, et nous ne devons pas nous laisser égarer par le manque de netteté que révèle une observation détaillée.* »¹⁶³

Enfin, nous l'avons vu, il nous faut souligner la rupture intellectuelle et temporelle entre les thèses de Wegener, et l'élaboration de la théorie de la tectonique des plaques.

Nous nous proposons, dans les pages suivants d'examiner ces zones de tension entre le modèle kuhnien et l'histoire des Sciences de la Terre. L'idée étant d'examiner si ces zones qui « *manquent de netteté* » peuvent nous permettre de remettre en cause le jugement de Hallam sur la compatibilité entre le modèle kuhnien et l'histoire des Sciences de la Terre.

¹⁶³ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 157

IV – 2 – « Précurseurs » et « novateurs »

Nous avons vu dans une partie précédente toutes les précautions et les limites de l'emploi de la notion de « précurseur » en histoire des sciences. Canguilhem nous invite à une extrême prudence, « *La complaisance à rechercher, à trouver, et à célébrer des précurseurs est le symptôme le plus net de l'inaptitude à la critique épistémologique.* »¹⁶⁴.

Pourtant, Hallam clôt son ouvrage en écrivant « *Alfred Wegener, qui en est le véritable promoteur, mérite d'être universellement reconnu comme l'un des plus éminents novateurs scientifiques de ce siècle* »¹⁶⁵.

Alors, comment comprendre la distinction, s'il y a, entre « *précurseur* » et « *novateur* » ?

Dans le préambule de la dernière édition de *La genèse des Continents et des Océans*, Wegener écrit : « *Il semble que les chercheurs n'aient pas encore compris que toutes les sciences de la Terre doivent collaborer à l'éclaircissement de ce qu'était autrefois notre planète et que nous n'atteindrons la vérité qu'en rassemblant tous les faits qu'elles nous apportent.* »¹⁶⁶. Le propos pourrait nous laisser penser Wegener comme un « *précurseur* ». En effet, au sens de Canguilhem, « *Un précurseur serait un penseur, un chercheur qui aurait fait jadis un bout de chemin achevé plus récemment par un autre* »¹⁶⁷. On perçoit alors ici d'un chercheur qui ouvrirait une voie, et de plus indiquerait un chemin à poursuivre. Et la conclusion d'Hallam le qualifiant de « *novateur* » viendrait verrouiller l'image de Wegener en tant que précurseur. Mais il nous faut dépasser cette lecture par deux remarques croisées : l'une concernant la distinction entre « *novateurs* » et « *précurseurs* », l'autre en contextualisant les apports de Wegener dans la théorie de la tectonique des plaques.

L'idée de la concordance des côtes continentales sur laquelle s'appuie Wegener, apparaît avant lui, notamment dans les travaux de Snider-Pellegrini¹⁶⁸ en 1858, et en 1910 sous la plume de Taylor¹⁶⁹. « *Alfred Wegener [il] ne fut pas le premier à émettre l'idée d'une*

¹⁶⁴ CANGUILHEM Georges, *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences*, 1968.

¹⁶⁵ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 165

¹⁶⁶ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 47

¹⁶⁷ CANGUILHEM Georges, *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences*, 1968.

¹⁶⁸ SNIDER-PELLEGRINI Antonio, *La création et ses mystères dévoilés*, 1858

¹⁶⁹ TAYLOR F. B., "Bearing of the Tertiary mountain belt on the origin of the Earth's plan", *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1910

séparation des continents »¹⁷⁰. Mais on doit lui reconnaître d'être le premier à poser cette idée d'une dérive continentale dans un propos qui intègre des connaissances scientifiques de son époque (paléontologie, paléoclimatisme, stratigraphie). Il y a là une « innovation » certaine qu'il faut lui reconnaître. Mais nous ne pouvons glisser de l'image du « *novateur* » à celle du « *précurseur* ».

En effet, si les sciences de la Terre reconnaissent l'importance de Wegener dans la genèse de la théorie de la tectonique des plaques, il ne peut en être le « père ». Wegener appelle de ses vœux une unification, à son époque absente, des différentes branches qui vont constituer les sciences de la Terre. Et l'étude de l'histoire de la géologie montre que sa démarche de s'appuyer sur des arguments de branches diverses va faire école. Aujourd'hui, les sciences de la Terre sont un ensemble de disciplines variées, et unifiées dans un paradigme solide.

Mais le paradigme de la tectonique des plaques, s'il doit beaucoup à Wegener (recours à des arguments de différentes disciplines, ajustement et dérive des continents), s'est construit en renonçant à, ou en oubliant, une partie de l'héritage de Wegener. Nous l'avons vu, là où Wegener voyait une dérive des continents, les sciences de la Terre comprennent le fonctionnement de la surface du globe en termes de plaques tectoniques. Ces plaques englobent une partie des fonds marins et des continents émergés. Et Wegener ne pouvait envisager les apports liés à la découverte de la nature des fonds marins. Il y a eu une métamorphose complète du mobilisme wegenérien. C'est pourquoi on ne peut considérer Wegener comme le « *père* » de la tectonique des plaques.

De plus, la démarche, pour l'historien, de chercher un « *père* » au paradigme actuel des sciences de la Terre se heurte à la question de l'importance relative des travaux des uns et des autres. Si Wegener joue un rôle dans la transformation de la géologie en sciences de la Terre, on ne peut, sous peine de malhonnêteté, souligner l'importance des travaux de Holmes¹⁷¹ sur la propagation du fond de l'océan, et sur les travaux de Motonori Matuyama¹⁷² en paléomagnétisme. Ce dernier découvre entre les années 20 et les années 30, en examinant le champ magnétique des roches, l'idée d'une modification du champ magnétique. En effet,

¹⁷⁰ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 13

¹⁷¹ HOLMES Arthur, *Principles of physical geology*, London, Th. Neslon and Sons, 1944

¹⁷² MATUYAMA Motonori "On the Direction of Magnetization of Basalt in Japan, Tyosen and Manchuria". *Proceedings of the Imperial Academy of Japan*. 5, 1929, 203–205.

les roches anciennes ont conservé des traces d'un champ magnétique qui ne correspond pas à celui d'aujourd'hui. D'où, une modification de l'intensité et de la direction des champs magnétiques terrestres.

Holmes travaille sur la répartition des éléments chimiques radioactifs au sein des roches et émet l'hypothèse que si ceux-ci sont répartis de manière hétérogène dans les roches qui forment le substratum des océans et des continents, il pourrait en résulter un déplacement de chaleur des zones à forte radioactivité vers les zones à moindre radioactivité, et que le transfert de chaleur par conduction ne suffisant pas à évacuer rapidement un excès de chaleur, il devait s'y ajouter un transfert par convection, c'est à dire par déplacement des roches les plus chaudes au sein de roches plus froides. Il propose alors l'existence de courants de convection au sein de ce substratum. Les continents posés sur ce substratum pourraient dès lors être transportés passivement à la surface du globe : ils dériveraient. Mais Holmes construit son modèle sans se référer à la thèse de Wegener. Wegener propose sa thèse comme une solution explicative et unique à des observations biologiques, paléontologiques, etc. alors que Holmes propose sa thèse comme une conséquence des propriétés et caractéristiques des roches.¹⁷³

Motonori Matuyama travaille le paléomagnétisme des roches. Il observe que certaines roches, en fonction de leur position stratigraphique, révèlent une polarité inverse à celle du champ magnétique terrestre. Il avance l'hypothèse d'une inversion du champ magnétique terrestre au cours des temps géologiques. Il est aujourd'hui admis que le champ magnétique terrestre s'est inversé, et qu'il a ensuite varié pour revenir à sa position initiale. Ses travaux vont corroborer l'hypothèse de l'expansion océanique.

En somme, si Wegener et ses travaux ont toute leur place dans l'histoire de la géologie et des sciences de la Terre, on ne peut cependant qualifier Wegener de « précurseur ». Hallam lui reconnaît des intuitions et des méthodes qui font de lui « *un des plus éminents novateurs scientifiques de ce siècle* »¹⁷⁴. Il a formulé une hypothèse audacieuse, en s'appuyant sur des données connues. Mais, nous l'avons montré, il est possible de critiquer Hallam en lui reprochant une reconstruction rétrospective de l'histoire. Les chemins empruntés pour l'élaboration de la théorie de la tectonique des plaques ne croisent pas les travaux de Wegener.

¹⁷³ Entretien avec M. Pierre SAVATON, 4 juillet 2020.

¹⁷⁴ HALLAM Anthony, *op. cit.*, p. 165

L'idée de Wegener de la mobilité des ensembles de surface du globe est pertinente, mais c'est par d'autres moyens que les scientifiques vont élaborer la tectonique des plaques. Il serait sans doute erroné de vouloir attribuer à Wegener une parenté dans la tectonique des plaques.

IV – 3 – Penser une révolution en conservant les outils et la méthodologie ?

Pour Kuhn, lors d'une révolution scientifique, on opère un changement radical dans le mode de pensée du scientifique. « *Guidés par un nouveau paradigme, les savants adoptent de nouveaux instruments et leurs regards s'orientent dans une direction nouvelle.* »¹⁷⁵. Le propos semble trouver toute sa pertinence dans une histoire des découvertes scientifiques, par exemple lorsque Röntgen¹⁷⁶ découvre les rayons X en 1895. L'outil est nouveau, et les observations qui en découlent le sont également.

Or, dans le cas de Wegener, il semble y avoir une difficulté à penser ses apports en termes de « *révolution scientifique* » au sens kuhnien. En effet, dans son ouvrage, *La Genèse des Continents et des Océans*, Wegener établit son propos en s'appuyant sur des données déjà anciennes. Nous avons succinctement présenté les différents arguments qu'il avance. Il s'appuie en particulier sur les données paléoclimatiques et paléontologiques. De plus, il fonde également son propos sur les principes de stratigraphie adoptés par Lyell.

Il y a donc une difficulté à penser une « *révolution* » dans la mesure où l'on observe une continuité au niveau des outils et des méthodes entre d'une part les géologues partisans d'une certaine statique des continents et d'autre part Wegener qui professe leur mobilité.

Ruse précise que « *Plate tectonicists could be – had to be – as actualistic and uniformitarian as Lyell. Hence, geologists old and new could continue to approach problems in the ways that they had always done. Methodologically there was no revolution.* »¹⁷⁷ [Les partisans de la tectonique des plaques pourraient être - devraient être - aussi actualistes et uniformitarismes que Lyell. Par conséquent, les géologues anciens et nouveaux pourraient continuer à aborder les problèmes comme ils l'ont toujours fait. Sur le plan méthodologique, il n'y a pas eu de révolution.]¹⁷⁸.

Il y a donc une difficulté à penser un changement de paradigme, une révolution, qui, en même temps, serait une continuité. Voilà un premier point qui doit attirer notre attention pour modérer les propos de Hallam.

¹⁷⁵ KUHN Thomas, *op. cit.*, p.157

¹⁷⁶ RONTGEN Wilhelm, physicien allemand, 1845-1923.

¹⁷⁷ RUSE Michael, What kind of revolution Occurred in Geology ?, In, *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol. 1978, p.257

¹⁷⁸ Traduction personnelle.

IV – 4 - Redéfinir les objets, repenser les explications

A la lecture de Kuhn, nous l'avons vu, le changement de paradigme opère en l'observateur une modification fondamentale et irréversible de la perception du phénomène. Le canard, perçu enfin comme un lapin, ne redevient pas un lapin¹⁷⁹. Pour prendre un exemple dans l'univers de la chimie Priestley¹⁸⁰ et Lavoisier¹⁸¹ ont tous deux découverts l'oxygène à la même période. Mais là où Priestley ne voyait dans sa découverte que l'air « déphlogistiqué », Lavoisier perçu lui le caractère singulier et nouveau de l'oxygène.

D'une certaine façon, il est possible d'avancer que pour Kuhn, lors d'une révolution scientifique, les faits ne changent que parce que nous les voyons et les interprétons différemment. Mais cela doit nous interpeller sur plusieurs points.

Ruse souligne que les choses ne sont pas si simples. En effet, on ne peut pas dire que les faits changent réellement. « *People knew of earthquakes and volcanoes before the geological revolution ; they know of earthquakes and volcanoes after the revolution [...] also they knew of certain fascinating details, like the fact that high up the Alps there are recent fossil formations.* »¹⁸² [Les gens connaissaient les tremblements de terre et les volcans avant la révolution géologique, ils connaissaient les tremblements de terre et les volcans après la révolution [...] ils connaissaient aussi certains détails fascinants, comme le fait qu'en haut des Alpes, il y ait des formations fossiles récentes.]¹⁸³.

Si les explications de ces phénomènes changent avec la révolution, on peut tout de même se demander si la perception du fait en elle-même change en fonction du paradigme que l'on adopte. Ruse souligne que dans la révolution copernicienne, il y a eu des modifications profondes de la définition de certains objets (la définition de la notion de planète, par exemple). Or, dans le cas qui nous intéresse ici, on peut dire que la mesure sismique du tremblement de la terre (son intensité, sa durée, la localisation et la profondeur de son épicerentre) reste la même.

D'une certaine manière, contrairement à ce qu'avance Kuhn, on pourrait, dans le cas

¹⁷⁹ Voir la figure du « canard – lapin » p. 30

¹⁸⁰ PRIESTLEY Joseph, *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, 1786

¹⁸¹ LAVOISIER Antoine, *Traité élémentaire de chimie*, 1789

¹⁸² RUSE Michael, *op. cit.*, p. 254

¹⁸³ Traduction personnelle.

de la géologie, avec Ruse, dire que les réalités ne changent pas, mais que les explications et les définitions sont différentes lors du passage d'un paradigme à un autre.

Il nous faut cependant souligner un phénomène particulier que l'on observe dans l'histoire des Sciences de la Terre. Avant Wegener, et après lui, les continents se définissent par leur frontière avec l'océan. Ces découpages, dont les traits coïncident, fondent la théorie de la dérive des continents. Mais les années 60 vont faire émerger une interrogation sur la nature même de ces frontières continentales. Avec la théorie de la tectonique des plaques, c'est un jeu d'emboîtement de plaques lithosphériques, et non de continents, qui va être élaboré. Une plaque lithosphérique est formée par le manteau supérieur et une croûte terrestre de nature océanique, continentale ou océanique et continentale. La question du niveau des océans, et donc du trait de frontière continent / océan va amener les chercheurs à repenser la définition même des continents. Ruse explique que la question de la définition des limites des continents est importante, car on part de l'hypothèse de leurs ajustements réciproques. N'y a-t-il pas un risque pour le géologue de définir la forme des continents qui viendrait corroborer son hypothèse ? *« It cannot be denied that in their matching efforts geologists have chosen different boundaries. Indeed, to an outsider there is some suspicion that some first find the best fit and then justify their choice afterwards. But, be this as is may, here at least a case might be made for saying that geologists are not working with raw data, but with « facts » that have been sifted and influenced by the theory that the geologists hold dear. »*¹⁸⁴. [On ne peut nier que, dans leurs efforts de jumelage, les géologues ont choisi différentes limites. En effet, pour un étranger, on pourrait soupçonner que certains trouvent d'abord le meilleur ajustement, puis justifient leurs choix par la suite. Mais quoi qu'il en soit, ici au moins, on pourrait faire valoir que les géologues ne travaillent pas avec des données brutes, mais avec des « faits » qui ont été passés au crible et influencés par les théories que les géologues défendent (chérissent)]¹⁸⁵. Dans cette dernière remarque, on perçoit toute l'importance, au niveau épistémologique, de la distinction faite entre « des données brutes », et des « faits » perçus à travers une théorie. Pour ainsi dire, en termes de données brutes, nous disposons de traces noires sur une feuille de papier. Le spécialiste des mammifères traitera ce « fait » comme un lapin, tandis que le spécialiste des palmipèdes y trouvera un « fait » de canard.

Il y a donc matière à nuancer les propos de Kuhn sur le changement de perception des

¹⁸⁴ RUSE Michael, *op. cit.*, p. 256

¹⁸⁵ Traduction personnelle.

faits scientifiques lors de la substitution d'un paradigme à l'autre.

La dernière remarque que nous apporterons à la question des faits scientifiques porte sur leur apparition. En effet, dans ses exemples, tirés de l'astronomie, de la physique ou de la chimie, Kuhn porte son attention sur le fait que le phénomène soit perçu différemment. Or, dans le cas de l'histoire des sciences de la Terre, il y a eu un phénomène singulier. Les premières descriptions, puis le paradigme naissant de Lyell, portent sur des observations terrestres. Et les années 60 vont faire émerger un champ d'observation extrêmement fertile : l'observation des fonds océaniques. Nous l'avons évoqué, le projet JOIDES¹⁸⁶ va permettre de découvrir la nature et la forme des fonds océaniques, jusqu'alors inconnus. Là où les géologues se perdaient en hypothèses, les faits vont venir corroborer la théorie de la tectonique des plaques. « *The most distinctive fact about geological revolution is the large body of new information gathered by such means as coordinated worldwide surveys – news information which was absolutely crucial in turning continental drift from an unsupported pipe-dream into a well-confirmed hypothesis* »¹⁸⁷. [Cependant le fait le plus distinctif sur la révolution en géologie est le grand nombre de nouvelles informations qui ont été absolument cruciales pour transformer la dérive des continents d'un rêve à une hypothèse bien confirmée.]¹⁸⁸. Le projet JOIDES a permis aux scientifiques d'avoir une carte des fonds marins, d'y découvrir des chaînes de montagnes, des volcans, des fosses, des natures de sols particuliers. Avec les travaux de Hess¹⁸⁹, ces données cartographiques ne seront plus interprétées comme des indications d'une surface donnée, mais comme des résultantes d'une dynamique des plaques lithosphériques et des fonds océaniques.

La révolution des Sciences de la Terre a permis une découverte, et non seulement une redéfinition, de quantité de faits et d'informations qui été jusqu'alors inaccessibles, et hypothétiques.

Avec ces trois remarques sur la question des faits, nous apportons ici de sérieuses nuances à l'ajustement de la théorie des révolutions scientifiques de Kuhn à l'histoire des sciences de la Terre.

¹⁸⁶ Cf. Note 154

¹⁸⁷ RUSE Michael, *op. cit.*, p. 255

¹⁸⁸ Traduction personnelle.

¹⁸⁹ HESS Harry, *History of Ocean Basins*, 1962.

IV - 5 - Penser la crise kuhnienne, et penser la crise en Sciences de la Terre

Une autre remarque qui doit interpeller le lecteur de Kuhn qui regarderait l'histoire des Sciences de la Terre, c'est la question du moment et de la durée de la crise.

En effet, pour Kuhn, on peut observer que dans le déroulement de la science normale, au sein d'un paradigme établi et reconnu par la communauté, il puisse apparaître des anomalies qui, de manière croissante, mettent à mal la stabilité du paradigme. Kuhn précise que « *Justement, parce qu'elle exige une démolition à grande échelle du paradigme et des changements majeurs dans les problèmes et les techniques de la science normale, l'émergence de nouvelles théories est généralement précédée par une période de grande insécurité pour les scientifiques. Comme on pouvait s'en douter, cette insécurité tient à l'impossibilité durable de parvenir aux résultats attendus dans la résolution des énigmes de la science normale. L'échec des règles existantes est le prélude de la recherche de nouvelles règles* »¹⁹⁰. Kuhn appuie son propos sur la cosmologie ptoléméenne qui « *était dans un état scandaleux avant les travaux de Copernic* »¹⁹¹. Ce jugement s'appuie sur le fait que « *la complexité de l'astronomie augmentait beaucoup plus vite que son exactitude* »¹⁹².

Or, la comparaison entre l'histoire de l'astronomie et celle des sciences de la Terre semble trouver des limites fondamentales.

D'une part, il nous faut souligner que la nature de ces activités scientifiques n'est pas du même ordre. L'astronomie se prête à des modélisations mathématiques, et à un jeu de prédictions sur les positions respectives des planètes. La géologie, nous l'avons vu, semble se construire sur une tradition d'observation, d'échantillonnage, de cartographie, et d'élaboration d'hypothèses explicatives. René Dars présente la géologie comme une science « *qui a pour but de décrire et d'expliquer les aspects et la disposition des roches et des terres sur lesquelles vit l'homme, [elle] a toujours été une science d'observation et une science historique* »¹⁹³. Dans son histoire, la géologie a d'abord été descriptive, c'est la « *géologie à papa* »¹⁹⁴. Avec l'essor de la théorie de la tectonique des plaques, elle acquiert une dimension explicative certaine.

¹⁹⁰ KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 102

¹⁹¹ KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 101

¹⁹² KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 103

¹⁹³ DARS René, *La géologie*, PUF, Paris, 1192, p. 3

¹⁹⁴ Cf. notes 75 & 76

D'autre part, Kuhn évoque des tensions qui peuvent exister, au sein des scientifiques, entre les partisans d'un ancien paradigme, et ceux partisans d'un nouveau paradigme. (On peut de nouveau songer ici à l'accueil qui fut réservé aux travaux de Copernic). Hallam, dans son ouvrage,¹⁹⁵ relate que les géologues pré-wegénériens n'apparaissent pas en tension de manière fondamentale. S'il y a un consensus autour des travaux de Lyell, les activités de recherche semblent s'exercer indépendamment les unes des autres. Les travaux de Wegener ne génèrent qu'un accueil glacial. Il faut attendre les années 60 pour que les géologues « découvrent » le mobilisme, très rapidement. Depuis les travaux de Taylor et de Wegener, au début du XX^e, l'idée de la dérive des continents est oubliée, à quelques exceptions près. Et dans les années 60, tout change. « *De 1960 à 1970, les sciences de la Terre ont vécu une décennie fulgurante, fertile en découverte et en naissance de nouveaux modèles, avec, très vite, l'adoption du nouveau paradigme, celui de la tectonique des plaques. Très vite aussi, la quasi-totalité des géologues et géophysiciens s'est ralliée au point de vue proposé ou... imposé par un groupe important de géophysiciens de haut niveau.* »¹⁹⁶.

De 1920 à 1960, la géologie ne semble pas en crise. D'une part parce que 40 à 50 ans est une période sans doute un peu longue pour parler d'une crise. Certes Kuhn lui-même relativise l'idée d'une violente crise entre deux paradigmes qui trouveraient une résolution rapide. Dans son ouvrage *La révolution copernicienne*¹⁹⁷, il souligne que la publication de la théorie héliocentriste a, de longues années durant, même reprise et défendue par Galilée, été combattue et n'a pas su s'imposer rapidement. Dans le champ des Sciences de la Terre, Hallam fait courir la révolution scientifique des premières publications de Wegener en 1915 jusqu'aux publications de Morgan, Mc Kenzie et Le Pichon en 1968. Or, l'examen historique de cette période nous a révélé d'une part qu'en 1928, Wegener cesse de travailler sa thèse de la dérive des continents, et qu'elle « tombe dans l'oubli » (exception faite pour Holmes et Du Toit). D'autre part, Hess, au début des années 60, soutient l'idée de l'expansion océanique. Les anomalies de pesanteur observées traduisaient des mouvements de convection du manteau terrestre. Les observations de plusieurs disciplines, nous l'avons vu, viennent corroborer cette théorie. Et la paradigme, soutenu par et unifiant la communauté scientifique est établi peu avant les années 70. Dès lors, le calendrier de l'histoire des sciences de la Terre et de la géologie n'est plus le même. La question de la durée d'un passage d'un modèle à un autre ne

¹⁹⁵ HALLAM Anthony, *Ibid.*

¹⁹⁶ LEMOINE Marcel, *De Wegener à la tectonique des plaques : sept fois sept ans de réflexion*, Comité Français d'Histoire de la Géologie, T. XVIII, 2004, p. 11

¹⁹⁷ KUHN Thomas, *La révolution copernicienne*, Paris, Belles Lettres, 1957.

s'envisage plus sur un temps long (40 ans), mais sur un temps court (une dizaine d'années). Toute la question est de savoir si on se doit d'intégrer ou non les travaux de Wegener dans la révolution scientifique. L'originalité des travaux de Wegener dans sa perception de la mobilité, là où les scientifiques ne percevaient, sans réellement le noter, que de l'immobilisme doit nous permettre de penser Wegener comme faisant partie à part entière de la révolution. Or, le peu de succès emporté par sa thèse, l'oubli dont il a été victime, et le fait que la tectonique des plaques se soit élaborée sans ses travaux, ne laissent pas de possibilité de le penser comme étant instigateur de la révolution scientifique dans les sciences de la Terre.

Ruse évoque une piste tierce pour comprendre le statut des thèses de Wegener dans l'histoire de la géologie au XX^e siècle. C'est l'idée d'une « renaissance » des idées de Wegener, oubliées, puis ressuscitées.

« *It was round about 1960 that, like a phoenix from the ashes, the hypothesis rose again. The key paper seems to have been by Harry H. Hess, published in 1962, but circulated before that, entitled "History of Ocean Basins", and containing in his own words "an essay in geo-poetry"* »¹⁹⁸. [Vers 1960, tel un phœnix qui renaît de ses cendres, l'hypothèse (de Wegener) est remontée à la surface. Le document clef semble avoir été publié en 1962 par Harry H. Hess, mais déjà diffusé auparavant, intitulé « *History of Ocean Basins* », et contenant, avec ses propres mots, un « essai de géo-poétique »]¹⁹⁹. Mais cette approche ne résiste pas à l'analyse historique de la construction de la théorie de la tectonique des plaques. Hess n'utilise pas les travaux de Wegener. Si on trouve dans ses travaux l'idée d'une mobilité des formes rocheuses à la surface du globe, pour Hess, il s'agit de plaques lithosphériques du fond marin qui glissent autour de la surface, en emportant avec elles les continents.

« *And yet, perhaps talk of a "phoenix" is misleading, for it was not really Wegener's hypothesis that Hess revived.* »²⁰⁰ [Et pourtant, peut-être que parler de "phœnix" est trompeur, car ce n'était pas l'hypothèse de Wegener que Hess a ressuscité. »]²⁰¹

D'autre part, la géologie, une fois qu'elle a laissé de côté les travaux de Wegener a continué son travail de manière habituelle, avec ses codes et ses références. C'est ce que

¹⁹⁸ RUSE Michael, *op. cit.*, p. 242

¹⁹⁹ Traduction personnelle

²⁰⁰ RUSE Michael, *op. cit.*, p. 242

²⁰¹ Traduction personnelle

souligne Lemoine lorsqu'il explique « *Et pourtant, à lire les publications de certains, ou à écouter le silence assourdissant de beaucoup d'autres, on a nettement l'impression qu'une grande majorité de géologues et de géophysiciens poursuivaient alors leurs recherches, sans être le moindre du monde conscients de vivre une « crise » de leur science, et que, malgré tout, cette science progressait : là, le modèle de Kuhn est pris en défaut.* »²⁰².

Il serait possible de penser une crise qui s'étalerait dans le temps au sein d'une communauté scientifique. Par exemple, si l'époque, et l'histoire des sciences nous en montre des exemples nombreux, ne permettait pas la publication, la diffusion, et les communications entre les scientifiques, on pourrait alors comprendre un état de crise qui durerait. Mais au début du XX^e siècle, les échanges entre les scientifiques sont plus aisés et fluides qu'à l'époque de Copernic. Il est donc délicat d'accuser une ignorance de la communauté scientifique à l'égard des thèses de Wegener. [Il multipliera les conférences, les publications, et les ré éditions de son ouvrage jusqu'en 1928.] La communauté des géologues n'ignore pas les travaux de Wegener. Elle les accueille, au mieux avec un silence glacial, au mieux avec de nombreuses critiques.

Les sciences de la Terre, et la géologie, ont donc vu leur histoire marquée par les thèses de Wegener. Mais ce serait pécher, épistémologiquement et historiquement parlant, que de lier la théorie de la tectonique des plaques aux travaux de Wegener.

La notion de « *crise croissante* »²⁰³ que l'on trouve dans le modèle kuhnien ne semble pas ici opérante pour décrire la réalité des changements en géologie. Si on entend par « *crise* » une tension créée par des paradigmes qui se confrontent en direct, dans le même temps, la même période, alors cela ne semble pas avoir été réellement le cas pour la géologie. Par contre, il est possible d'entendre la notion de « *crise* », non pas inscrite dans le temps, mais perçue comme une tension intellectuelle entre deux systèmes, deux paradigmes qui cherchent tous les deux à expliquer des phénomènes. Et une fois encore, cela ne semble pas être le cas pour la géologie car, nous allons le voir, les phénomènes sont *nouveaux* avec Wegener.

Une fois encore, il faut tempérer le jugement de Hallam qui considère les travaux de Wegener comme participant d'une révolution scientifique au sens kuhnien.

²⁰² LEMOINE Marcel, *op. cit.*, p. 14

²⁰³ KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 102

IV – 6 – Evolution ou révolution ?

Hallam titre son ouvrage *Une révolution dans les sciences de la Terre*. Il perçoit donc le changement étudié comme une *révolution*. Or, nous l'avons vu, le schéma de Kuhn sur la substitution des paradigmes ne colle pas tout à fait à l'étude de l'histoire des sciences de la Terre. Faut-il pour autant abandonner l'idée dans les sciences de la Terre, d'une *révolution*, au profit d'une *évolution* ?

Il est possible d'avancer l'idée d'une évolution dans les sciences de la Terre. En effet, on observe un modèle qui conserve ses méthodes et ses outils à travers le temps. Mais un modèle qui absorbe un conséquente quantité d'informations radicalement nouvelles en peu de temps (la découverte des fonds marins entre 1955 et 1965). Il serait alors tentant de regarder l'histoire des sciences de la terre, non pas comme une révolution, mais comme une évolution qui procéderait avec des continuités (méthodologiques), et des sauts (découverte de nouvelles informations). Cette piste est étudiée par Ruse lorsqu'il écrit « *Evolution implies some sort of gradual change. Certainly, there have in the past been « saltationary » evolutionary theories involving jumps* »²⁰⁴ [L'évolution implique une sorte de changement graduel. Il y a eu dans le passé des « sauts », des théories évolutives impliquant des sauts]²⁰⁵.

Cette piste qui consiste à regarder l'histoire des sciences de la Terre à travers des « *lunettes évolutionnistes* » viendrait à la suite des critiques élaborées à l'encontre du modèle kuhnien. Mais il s'agirait de critiques fondamentales qui remettent en cause l'idée même de la structure des changements en science. Faut-il accorder aux critiques faites jusqu'à présent la faculté de renverser la théorie kuhnienne ?

Ruse souligne que « *In recent years a number of philosophers of science have endorsed « evolutionary » metatheories of scientific change, as opposed to Kuhn's « revolutionary » metatheory. I do not mean that these philosophers of science deny that what we commonly call « revolutions » occurs in science. Rather, the point is that these significant changes are not abrupt as Kuhn argues, but more gradual and in significant respects analogous to evolution as we encounter and understand it elsewhere* »²⁰⁶ [Ces dernières années, un certain nombre de philosophes des sciences ont approuvé les métathéories

²⁰⁴ RUSE Michael, *op. cit.*, p. 258

²⁰⁵ Traduction personnelle

²⁰⁶ RUSE Michael, *op. cit.*, p. 257

« *évolutionnaires* » du changement scientifique, par opposition aux métathéories « *révolutionnaires* » de Kuhn. Je ne veux pas dire que ces philosophes de la science nient que ce que nous appelons communément « *révolutions* » se produisent en science. Le fait est plutôt que ces changements importants ne sont pas brusques comme le soutient Kuhn, mais plutôt progressifs, et à bien des égards, analogues à l'évolution que nous rencontrons et le comprenons par ailleurs.]²⁰⁷. Il y aurait donc matière à glisser, devant l'histoire des sciences de la Terre d'une vision *révolutionnaire* à une vision *évolutionnaire*.

Il est à noter que Kuhn lui-même, dans *La structure des révolutions scientifiques*, évoque cette idée d'une évolution, au niveau métathéorique. Il compare le changement qui s'opère dans les idées scientifiques, et celui qui s'opère dans le champ des organismes vivants. Lorsqu'on évoque, dans le champ de l'évolution, la notion de progrès à partir d'une origine, se pose la question des fins, la téléologie. Kuhn souligne l'innovation capitale des travaux de Darwin présentant une évolution, avec des périodes stables et des mutations, « *à partir d'une origine commune, mais vers aucun but* »²⁰⁸.

Il semblerait alors délicat de comparer l'évolution biologique des organismes, sans but, et l'évolution des idées scientifiques, qui, on serait tenté de le penser, doit nous guider vers la vérité et la compréhension de la nature. Or, nous l'avons vu, Kuhn, dans la lignée de Duhem, soutient une vision de la science qui n'a pas pour finalité de dire la vérité, mais qui cherche à rendre compte des phénomènes en les expliquant avec des lois. C'est le <*sozein ta phainomena*>, sauver les phénomènes.

Il y a donc matière à penser une comparaison possible entre l'évolution des organismes biologiques et l'évolution des idées scientifiques. Kuhn souligne que « *Il serait facile de pousser trop loin l'analogie entre l'évolution des organismes et celle des idées scientifiques. Mais en ce qui concerne les problèmes soulevés par ce chapitre de conclusion [La révolution, Facteur de progrès], elle est presque parfaite.* »²⁰⁹. On peut donc avancer que Kuhn ne nie pas une dimension évolutionniste aux idées scientifiques.

Mais cette comparaison doit être discutée. En effet, si la science a pour but de « *sauver*

²⁰⁷ Traduction personnelle

²⁰⁸ KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 234

²⁰⁹ KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 235

les phénomènes », et non de dire la vérité, on ne peut pour autant avancer qu'elle progresse au hasard, comme une mutation génétique qui apparaîtrait d'un coup. Ruse explique toutes les réserves qu'il oppose à cette comparaison. « *Generally, my worry stems from the fact that although one can of course mean very much as one like by « evolution » - certainly everyone else has done so in the past hundred years - if one wants to say something usefully informative, rather than simply reiterating the tautology that scientific change involves change, presumably one wants to draw a significant analogy between scientific evolution and evolution as it is elsewhere most commonly experienced and thoroughly understood, namely in biology. But straight away one runs into a monstrous disanalogy, which makes talk of theory « evolution » a lot less interesting than one might have expected: the raw data of biological evolution, mutations, are random in the sense that they do not occur when needed nor are they directed towards the adaptive ends of their possessors. However, new innovations in science very much are produced to suit the need – Vine and Matthews for example introduced their hypothesis specifically to explain the funny things they found about the magnetism of the sea-floor. A brilliant creative scientist is not akin to a gene point wrong. For this reason, I wonder how valuable talk of theory evolution, including geological theory evolution, really is.* »²¹⁰ [En général, mon inquiétude vient du fait que, bien que l'on puisse bien sûr aimer l'idée d'« évolution » - certainement tout le monde l'a fait au cours des cent dernières années – si l'on veut dire quelque chose d'utile, plutôt que de simplement réitérer la tautologie que le changement scientifique implique un changement, sans doute on veut faire une analogie significative entre l'évolution scientifique et l'évolution car elle est d'ailleurs la plus expérimentée et la plus profondément comprise, à savoir en biologie. Mais tout de suite on tombe sur une disanalogie monstrueuse, qui fait beaucoup parler de théorie de l'évolution moins intéressante que ce à quoi on aurait pu s'attendre. Les données brutes de l'évolution, les mutations sont aléatoires dans le sens où elles ne se produisent qu'en cas de besoin, et ne sont pas dirigées vers les extrémités adaptatives de leurs possesseurs. Cependant, les nouvelles innovations scientifiques sont produites pour répondre aux besoins – Vine²¹¹ et Matthews²¹², par exemple, introduisent leurs hypothèses spécifiquement pour expliquer les choses curieuses qu'ils ont trouvé sur le magnétisme du fond marin. Une création scientifique brillante ne ressemble pas à un gène qui tourne mal. Pour cette raison, je me demande à quel point parler

²¹⁰ RUSE Michael, *op. cit.*, p. 258

²¹¹ VINE F. J., Spreading of the ocean floor: new evidences, In *Science*, 154, 1966

²¹² MATTHEWS D. H., Magnetic anomalies over ocean ridges, In *Nature*, London, 199, 1963

d'évolution de la théorie est réaliste.]²¹³.

En parcourant les propos de Ruse, il nous paraît donc prudent d'être mesuré dans l'emploi de l'idée de métathéories évolutionnistes. Il convient, au minimum, d'avoir à l'esprit les critiques ainsi formulées.

Alors entre les deux options – une évolution ou une révolution – nous faut-il adopter une attitude tranchée ?

Ruse a attiré notre attention sur des critiques pertinentes si l'on tente d'appliquer le modèle kuhnien à l'histoire des sciences de la Terre. Pour autant, il tempère l'idée d'une évolution. Il y a donc une difficulté à penser rigoureusement l'histoire des sciences de la Terre avec les catégories discutées précédemment. Une solution serait alors d'injecter *un peu de souplesse* dans ces catégories, afin d'obtenir un regard qui s'adapte au mieux aux réalités historiques. Ruse déclare « *I stand by my claim that the geological revolution was not so very evolutionary. By this time, it might be felt that I am arguing that there is something very mysterious about the geological revolution. This is not really so. What I am arguing is that certain current metatheories of scientific change are not really that applicable, although this is not to deny that, as I hope this paper shows, the metatheories can stimulate one towards a more adequate analysis. My claim is that the revolution in geology was less abrupt than a kuhnian would have it; more so than an evolutionist would have it.* »²¹⁴ [En bref, je maintiens mon propos selon lequel la révolution géologique n'a pas été très évolutive. A ce moment, on pourrait penser que je soutiens qu'il y a quelque chose de très mystérieux dans la révolution géologique. Ce n'est pas vraiment le cas. Ce que je dis, c'est que certaines métathéories actuelles du changement scientifique ne sont pas vraiment applicables, bien que ce ne soit pas nier que, comme je le montre dans cet article, les métathéories peuvent stimuler une analyse plus adéquate. Je prétends que la révolution en géologie fut moins brusque que le penserait un partisan de Kuhn, et plus brusque que ne le penserait un partisan de l'évolutionnisme.]²¹⁵. Il nous faut donc penser une manière de sortir de cette dichotomie.

Dans les sciences de la Terre, la persistance des outils et des méthodes à travers le

²¹³ Traduction personnelle

²¹⁴ RUSE Michael, *op. cit.*, p. 259

²¹⁵ Traduction personnelle

temps, et l'arrivée brusque de nouvelles informations et champs d'études montrent la difficulté de penser la pertinence du modèle kuhnien des révolutions scientifiques. Mais cela aura le mérite de nous permettre de nous interroger sur l'incommensurabilité des histoires des sciences. Les différents modèles pour comprendre le changement scientifique se doivent d'être pensés en termes théoriques, avec des ajustements nécessaires qui interrogent ces modèles.

Dans la conclusion de son propos, Ruse s'interroge, au-delà de la dichotomie évoquée plus haut, sur le statut de la géologie. « *Is modern geology irreducibly historical in a way that physics is not, or does the revolution in geology take us one step closer to the overall unification of the sciences [...]?* »²¹⁶ [La géologie moderne est-elle irréductiblement historique, d'une manière qu'on ne retrouve pas dans la physique, ou bien la révolution géologique nous mène-t-elle d'un pas supplémentaire vers l'unification globale des sciences ?]²¹⁷

Pour tenter de répondre à cette question, il nous faut sans doute relire l'histoire de la géologie, et en particulier la démarche de Wegener. Nous l'avons vu dans les parties précédentes, au-delà des singularités des observations et des hypothèses de Wegener, c'est sa démarche pour s'adresser à la communauté scientifique qui doit nous interpeller. En effet, Wegener, pour soutenir son hypothèse de la dérive des continents va faire appel aux travaux des scientifiques en place (même si certains de ces scientifiques ne se reconnaîtront pas dans les idées de Wegener). Il a recours à une démarche d'unification de différentes branches scientifiques pour soutenir son hypothèse. Il y a là l'idée *d'une unification globale des sciences* qui ne doit pas nous échapper.

On remarquera qu'aujourd'hui que pour Dars, la géologie n'est plus enfermée dans sa dimension descriptive et historique. « *Au cours des dernières décennies, la géologie a acquis le statut de science exacte. Les développements récents, qui ont généralisé l'usage de l'outil informatique, les perfectionnements incessants des techniques physico-chimiques, et l'adoption de la théorie de la tectonique des plaques ont transformé cette science d'observation et d'histoire en science expérimentale.* »²¹⁸. Il faut entendre, avec les propos de

²¹⁶ RUSE Michael, *op. cit.*, p. 260

²¹⁷ Traduction personnelle

²¹⁸ DARS René, *op. cit.*, p. 123

Dars que la géologie, intégrée aux sciences de la Terre est sortie de son champ qui la cantonnait à la découverte et à l'explication du passé. Il ne s'agit plus de lire, scientifiquement parlant, le passé des roches à la surface de la Terre. Il ne s'agit plus de se contenter de faire une histoire des roches. L'adoption de la théorie de la tectonique des plaques a modifié la pratique, l'objet d'étude, et le discours de la géologie. Elle n'est plus limitée à sa dimension descriptive et explicative. Les sciences de la Terre, en manipulant des outils divers, et en élargissant son champ d'étude, acquièrent une dimension expérimentale et prédictive.

La géologie n'est plus enfermée dans sa dimension d'explication de l'histoire de la Terre. Pour s'en convaincre, il nous suffit de songer que son champ d'étude porte à l'universalisme. Pour Dars, « *Depuis deux cents ans, son étude par les géologues a permis de mettre au jour un grand nombre de faits qui ont abouti à une explication globale de la manière dont elle se comporte. Si bien que la Terre est devenue un modèle pour l'étude des autres planètes du système solaire, et, peut-être, dans un lointain futur, pour l'exploration des quelques 120 planètes extrasolaires qui ont été découvertes récemment par les astronomes.* »²¹⁹. Avec cette remarque, on ne peut que songer à l'idée que la science renforce son discours lorsque ses théories s'étendent sur des champs de plus en vastes.

[Nous remarquerons, si nous nous autorisons un clin d'œil rétrospectif de l'histoire (ce contre quoi nous avons évoqué mille précautions à prendre), que Wegener, astronome de formation et non géologue, par son innovante hypothèse de la dérive des continents, a rendu possible, le changement de statut de la géologie, en élargissant son champ d'étude aux planètes qu'il observait de par sa formation...]

Au terme de son article, Ruse pose la question ; « *Is modern geology irreducibly historical in a way that physics is not, or does the revolution in geology take us one step closer to the overall unification of the sciences, as some have argued has been the case with the revolution in genetics of the 1950's ?* »²²⁰[La géologie moderne est-elle irréductiblement historique d'une manière que la physique n'est pas, ou bien la révolution géologique fait-elle un pas de plus vers l'unification globale des sciences, comme certains l'ont fait valoir avec la révolution génétique des années 50 ?]²²¹

²¹⁹ DARS René, *op. cit.*, p. 122

²²⁰ RUSE Michael, *op. cit.*, p. 260

²²¹ Traduction personnelle

On peut penser qu'avec l'établissement de la théorie de la tectonique des plaques, qui est aujourd'hui un paradigme bien partagé par la communauté scientifique, la géologie n'a plus comme pratique exclusive l'explication historique des formes géologiques. Elle acquiert une dimension nouvelle, de par son recours et donc son unité, avec la physique, entre autres, dans le travail d'élaboration de lois régissant les phénomènes. Ce qui lui permet explication et prédiction.

Nous l'avons vu, les critiques de Ruse interrogent les changements dans les sciences de la Terre sur leur caractère révolutionnaire ou évolutionnaire. Certains pourraient ne pas se satisfaire de la réponse de Ruse qu'on pourrait qualifier de « normande » : « *Je prétends que la révolution en géologie fut moins brusque que le penserait un partisan de Kuhn, et plus brusque que ne le penserait un partisan de l'évolutionnisme* »²²². Cette difficulté à penser les changements dans les sciences de la Terre, entre évolution et révolution, doit nous inviter à relire certains propos de Kuhn.

Avant de revenir sur cette distinction entre évolution et révolution, il convient de s'interroger pour savoir si l'histoire de la géologie et des sciences de la Terre au XX^e siècle n'offre pas un cas de fondation d'un paradigme. Là où certains, en reprenant Kuhn, évoquent l'idée d'un changement de paradigme, il nous est permis de penser, au regard du détour historique auquel nous avons procédé, que le XX^e siècle voit l'instauration d'un paradigme, la fondation d'une base assumée et partagée par la communauté scientifique. En effet, Kuhn le premier évoque, au début de son ouvrage, la situation des pré-paradigmatique.

*« L'histoire suggère que la route conduisant à un solide accord de base sur la recherche à entreprendre est extraordinairement ardue. L'histoire suggère aussi, cependant, certaines raisons de ces difficultés. En l'absence d'un paradigme ou d'une théorie prétendant à ce titre, tous les faits qui pourraient jouer un rôle dans le développement d'une science donnée risquent de sembler également importants. Par conséquent, l'observation des faits au début d'une science se fait beaucoup plus au hasard que de la manière rendue familière par son développement ultérieur. De plus, n'ayant aucune raison de rechercher quelque information abstruse, les premières observations des faits se cantonnent habituellement aux nombreux phénomènes faciles à observer. »*²²³

²²² Cf. notes 184 & 185

²²³ KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 35

En effet, dans *La tension essentielle*²²⁴, Kuhn nous éclaire sur ce point. Il nous propose dans cet ouvrage, pour clarifier certains points de *La structure des révolutions scientifiques*, une lecture de l'histoire et de la nature de la science qui oscille en tradition et innovation. Nous l'avons vu, pour Kuhn, l'histoire de la science connaît des périodes de tradition scientifiques au sein desquelles les scientifiques, partageant un paradigme – un consensus précisera Kuhn -, font progresser la science dans ses découvertes. C'est ce que Kuhn nomme « *la science normale* ». Les chercheurs font alors preuve, selon lui, d'une « *pensée convergente* »²²⁵. Et ces périodes sont rythmées par des révolutions, suite à des « *crises* », qui permettent l'avènement d'un nouveau paradigme. C'est la science révolutionnaire. Les chercheurs de ce moment clef font preuve d'un « *mode de pensée divergent* ». Il explique « *Tout travail scientifique est caractérisé par une certaine divergence, et des divergences gigantesques sont au cœur des épisodes les plus significatifs du développement scientifique.* »²²⁶. On perçoit clairement le parallèle entre pensée convergente / pensée divergente, et tradition / innovation. Il y a donc une tension. « *C'est pourquoi je parle d'une « tension essentielle » implicite dans la recherche scientifique. Pour faire son travail, le chercheur doit adhérer à un ensemble complexe de facteurs intellectuels et techniques. Mais sa réputation, s'il a du talent et de la chance, dépendra peut-être de sa capacité à abandonner ce réseau d'adhésions, pour en adopter un autre qu'il a lui-même inventé. Très souvent, le chercheur accompli doit faire simultanément preuve d'un caractère traditionaliste et iconoclaste* »²²⁷. Kuhn présente ainsi *la tension essentielle* qui traverse l'activité scientifique. Et c'est une image qui nous permettrait de saisir la vision de la science de Ruse, partagée entre un fonctionnement évolutif et un fonctionnement révolutionnaire. Il est possible de penser, au-delà de la dichotomie évolution / révolution, un mode d'élaboration des progrès en sciences, et en particulier dans les sciences de la Terre, qui unisse ces deux aspects.

²²⁴ KUHN Thomas, *La tension essentielle*, Paris, Gallimard, 1977

²²⁵ KUHN Thomas, *La tension essentielle*, Paris, Gallimard, 1977, p. 305

²²⁶ KUHN Thomas, *op. cit.*, p. 305

²²⁷ KUHN Thomas, *op. cit.*, p.307

Conclusion

Après une carrière de scientifique, Kuhn s'est tourné vers la réflexion sur l'histoire des sciences. Il présente une analyse très fine de la révolution qui s'opéra dans le domaine de l'astronomie avec les travaux de Copernic²²⁸. Quelques années plus tard, il publie un ouvrage bien plus théorique sur le changement scientifique. *La structure des révolutions scientifiques* est rapidement devenue un ouvrage majeur en épistémologie. Il est frappant de constater que sa théorie des substitutions de paradigmes s'ajuste très bien à la révolution copernicienne. De plus, dans *La structure des révolutions scientifiques*, il s'appuie sur de nombreux exemples tirés de la physique et de la chimie. Il est donc très tentant de projeter la pertinence de la lecture kuhnienne sur d'autres changements importants dans le monde scientifique.

Dans notre travail, nous avons voulu évaluer cet ajustement des théories kuhniennes à l'histoire de la géologie, et en particulier aux apports de Wegener avec son hypothèse des dérives continentales.

Si Hallam revendique une lecture kuhnienne de l'histoire des sciences de la Terre, il nous est apparu pertinent de procéder à quelques questionnements. Après examen, la figure de Wegener est certainement novatrice dans cette histoire. Mais les hypothèses qu'il formule, si elles sont audacieuses, ne sont ni premières, et elles ne remettent pas en cause les fondements méthodologiques et les observations établies de longue date par les prédécesseurs de Wegener. La figure du « *précurseur* » n'étant pas opérante, elle ne peut être attribuée à Wegener, à qui le titre de « *novateur* » convient mieux.

De manière plus générale, nous avons pu nous interroger sur les conséquences des travaux de Wegener dans la définition des objets d'étude de la géologie, ainsi que sur le concept de « *crise* » qui semble mal ajusté aux réalités historiques de la géologie. Ce travail a été l'occasion pour nous de discuter du statut du changement en géologie, entre révolution et évolution. Les propos de Ruse ont été, à ce sujet, éclairants. La géologie, en trouvant une légitimité au sein des Sciences de la Terre naissantes, a perdu sa dimension exclusivement historique et descriptive dans laquelle elle s'était cantonnée à ses débuts. Quant à la dichotomie entre évolution et révolution au regard des changements et des découvertes du XX^e siècle, il nous a paru nécessaire de dépasser ce stade, et de comprendre que les sciences

²²⁸ KUHN Thomas, *La révolution copernicienne*, Paris, Belles Lettres, 1957

de la Terre, lors de leur élaboration, ont procédé par sauts évolutifs, des ruptures de rythme dans une continuité. En effet, le modèle kuhnien des révolutions scientifiques ne nous paraît pas totalement pertinent, d'une part dans la mesure où la géologie pré-wegénérienne n'était pas complètement constituée en paradigme unifié, et d'autre part, car on observe de nombreuses continuités méthodologiques et théoriques qui précèdent Wegener et qui lui survivent. Ces deux éléments principaux, auxquels viennent se rajouter les remarques de notre dernière partie nous font grandement hésiter pour qualifier les changements au sein des sciences de la Terre au XX^e siècle de révolution scientifique. Il s'agirait plutôt de l'instauration d'un paradigme.

L'examen de l'histoire des progrès en géologie et dans les sciences de la Terre n'a pu être possible qu'en adoptant les principes épistémologiques de Kuhn. Mais en réalisant cette lecture kuhnienne de l'histoire de la géologie, il nous est apparu des critiques qu'il était nécessaire d'adresser à la vision kuhnienne. Ces critiques nous ont amené à examiner plus en profondeur le propos de Kuhn. Il est certain, au regard de notre travail présent, que l'histoire de la géologie est singulière, et qu'*elle ne se plie pas complètement* aux catégories kuhnienne.

Nous nous permettons de reprendre, pour conclure notre propos, et ainsi répondre à la question qui sert de titre à notre présent travail, les propos de Ruse « *The Earth sciences do indeed appear to have undergone a revolution in the Kuhnian sense and we should not be misled by the fact that, viewed in detail, the picture may appear somewhat blurred at the edges* »²²⁹ [Les sciences de la Terre semblent en effet avoir subi une révolution dans le sens kuhnien, et nous ne devons pas être induits en erreur par le fait que, vue en détail, l'image peut apparaître quelque peu floue sur les bords.]²³⁰ Ruse semble reconnaître la pertinence de la vision kuhnienne, avec de nombreuses réserves. Il y a une efficacité dans la lecture kuhnienne à rendre compte des changements historiques en sciences de la Terre, mais cette dernière n'est pas parfaitement ajustée. L'image kuhnienne des changements dans les sciences de la Terre est-elle nette ? Nous répondrons, au regard de notre travail, et avec prudence : non.

Dans *La structure des révolutions scientifiques*, dans son premier chapitre « L'acheminement vers la science normale », Kuhn évoque la construction de paradigmes qui donne la science normale. Il précise que « *Lorsque, au cours du développement d'une science*

²²⁹ RUSE Michael, *op. cit.*, 244

²³⁰ Traduction personnelle

de la nature, un individu ou un groupe produit pour la première fois une synthèse capable d'attirer la plupart des spécialistes de la génération suivante, les écoles antérieures disparaissent graduellement. Leur disparition est due en partie à la conversion de leurs membres au nouveau paradigme. Mais toujours quelques hommes continuent à s'accrocher à l'une ou à l'autre des vues anciennes ; ils seront simplement considérés comme extérieurs à la spécialité et on ignorera leurs travaux. »²³¹. Nous pouvons observer que Kuhn laisse un vide dans son propos concernant ceux qui tentent de construire, en vain, un paradigme rassemblant la communauté scientifique de son époque. Wegener n'a pas su convaincre son époque. Il a appelé de ses vœux une unité des scientifiques autour de sa thèse. Mais sa démarche, construite sur des observations, il le reconnaît, présentait des défauts à certains niveaux, en particulier sur la question de l'origine des forces en présence. Le travail d'observation et de synthèse était là, mais il n'a su réaliser cette unité. « On a pu constater les translations continentales par une méthode empirique [...] On a adopté ainsi la méthode inductive que les sciences naturelles sont obligées de suivre dans la grande majorité des cas. [...] La théorie des translations n'a pas encore son Newton. On ne doit pas s'inquiéter de sa venue : la théorie n'est en effet qu'à ses débuts »²³².

En appelant de ses vœux un « Newton » en géologie, Wegener semble avancer plusieurs idées. On comprend bien, d'une part, qu'il reconnaît que son travail est encore trop empreint d'empirisme, et que d'autre part, l'unité des Sciences de la Terre ne peut se réaliser que dans un travail de théorisation et de formalisation, qui n'est pas à son époque accomplie. En effet, la figure invoquée de Newton, dans la remarque de Wegener, est à entendre comme celle du scientifique qui rend compte de milles observations et domaines de recherche éparés en une formule (la théorie de la gravitation universelle). Mais la figure de Newton est sans doute invoquée ici comme celle qui va unifier la discipline autour de formules mathématiques partagées, mais qui va également unifier les hommes de sciences, jusqu'alors divisés, séparés, et méconnaissant ou ignorants les travaux des autres.

Il ne s'agit pas ici de souligner les lacunes de son propos, nous l'avons fait, mais de souligner que son hypothèse des dérives continentales possède un statut particulier. Il nous apparaît que la thèse de Wegener est une tentative non aboutie, et oubliée, d'unifier les sciences de la Terre sous un nouveau paradigme. Et il faut lui rendre raison sur un point : les

²³¹ KUHN T.S., *op. cit.*, p. 40

²³² WEGENER Alfred, *op. cit.*, préface de la dernière édition (1929)

sciences de la Terre sont aujourd'hui unifiées autour du paradigme de la tectonique des plaques. Mais nous l'avons montré, il y a une rupture historique et intellectuelle entre les thèses de Wegener et la tectonique des plaques.

Si la lecture de Kuhn ne rend pas une image nette de la géologie de cette époque, faut-il pour autant la rejeter ? Nous ne le pensons pas. D'une part car dans l'histoire d'autres disciplines scientifiques, elle est extrêmement pertinente et ajustée. D'autre part, elle nous semble fondamentalement utile pour une approche première et générale dans l'histoire de la géologie et des sciences de la Terre. Les difficultés d'ajustement de la théorie à cette histoire n'ont pas été des freins à notre réflexion. Au contraire, ces décalages ont été autant d'occasion pour nous de mieux comprendre l'histoire des sciences de la Terre, et de soumettre la théorie kuhnienne à un examen poussé. Il convient de retenir que le modèle kuhnien ne peut s'appliquer de manière rigide, sans ajustements, à l'étude d'une discipline scientifique. La science offre encore des singularités dans sa pratique, sa constitution et son histoire. Et un modèle unique et rigide ne semble pas pertinent pour l'appréhender. D'où une impérieuse nécessité de travailler ces histoires, et ce modèle kuhnien. C'est cette lecture, partielle et critique, de Kuhn qui motivait la réalisation de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEGRE Claude, *L'écume de la Terre*, Paris, Fayard, 1983
- ARISTOTE, *Météorologiques*, Paris, Garnier Flammarion, 2008
- BACHELARD Gaston, *Le rationalisme appliqué*, Paris, P.U.F., 1949
- BACHELARD Gaston, *L'engagement rationaliste*, Paris, P.U.F., 1972
- BRAUSTEIN Jean-François, Bachelard, Canguilhem, Foucault, le style français en épistémologie, in WAGNER P. (dir.), *Les philosophes et la science*, Paris, Gallimard, 2002
- BUFFON Georges-Louis, *Histoire naturelle*, 1788.
- BULLARD E, EVERETT J.E., SMITH A., The Fit of the Continents around the Atlantic, In *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Londres, Royal Society, vol. 258, no 1088, 28 octobre 1965
- CANGUILHEM Georges, *Les études d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie*, Paris, Vrin, 1968
- CANGUILHEM Georges, *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, Vrin, 1968.
- CHALMERS Alan, *Qu'est-ce que la science ?*, Paris, Poche, 1976
- CHOUBERT Boris, Recherches sur la genèse des chaînes paléolithiques et antécambriennes, In *Revue de géographie physique et géologie dynamique*, vol. 8, n° 1, 1935
- CLARK J. T., The philosophy of science and history of science, In *Critical Problems in the history of science*, Marshall Clagett ed., Madison, 2d ed., 1962
- CUVIER Georges, *Discours sur les révolutions de la surface du globe, et sur les changements qu'elles ont produits dans le règne animal*. Paris, G. Dufour et éd. d'Ocagne, 1825
- DARS René, *La géologie*, Paris, PUF, 1192
- DARWIN Charles, *L'origine des espèces*, Paris, Seuil, 1859
- DE BUCH Léopold, *Description géognostique de la Silésie*, 1797
- DESCARTES René, Théorie de la Terre, In *Principia philosophiae*, Paris, Vrin, 1644
- DELILLE Emmanuel, Usages et mésusages de la notion de précurseur en histoire des sciences et des techniques, en particulier en histoire de la psychiatrie : À propos d'un échange épistolaire entre Henri Ellenberger et Georges Canguilhem (1967), In *Revue d'histoire des sciences* 2017/2 (Tome 70)
- DU TOIT Alexander, *Our wandering continents*, Edinburgh, Oliver and Boyd, 1937
- DUHEM Pierre, *Sauver les apparences. Sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*, Paris, Vrin, 1908
- DUHEM Pierre, *La théorie physique, son objet, sa structure*, Paris, Rivière et Cie, 1914
- EINSTEIN Albert & INFELD Léonard, *L'évolution des idées en physique*, Paris, Flammarion, 1938
- ELIE DE BEAUMONT Léonce, *Extrait d'une série de recherches sur quelques-unes des révolutions de la surface du globe*, 1835
- FLECK Ludwig, *Genèse et développement d'un fait scientifique*, Paris, Les Belles Lettres, 2005, 322 p. (1^{re} édition française ; édition originale allemande, 1935)
- GOHAU Gabriel, *Analyse de l'ouvrage de Pascal Richet : L'âge du monde*, Comité français d'Histoire de la géologie, T. XIII, 1999.
- GOHAU Gabriel, Des sciences palétiologiques (Whewell) aux archives de la nature, In *Travaux du Comité Français d'Histoire de la Géologie*, 3^o série, T. XXVI, 2012, n° 3
- HALLAM Anthony, *Une révolution dans les sciences de la Terre*, Paris, Seuil, 1976
- HESS Harry, History of Ocean Basins, In *Geological Society of America*, 1962
- HOLMES Arthur, *Principles of physical geology*, London, Th. Neslon and Sons, 1944
- HUTTON James, *An investigation of the Principles of Knowledge and of Progress of Reason*, 1777
- KELVIN W. T., « On the Secular Cooling of the Earth », *Transactions of the Royal Society of*

Edinburgh, vol. XXIII, 1864

KIEFER Irène, *La dérive des continents*, Paris, Bibliothèque Documentaire de l'Ecole des Loisirs, 1978.

KUHN Thomas, *La révolution copernicienne*, Paris, Belles Lettres, 1957

KUHN Thomas, *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 1962

KUHN Thomas, *La tension essentielle*, Paris, Gallimard, 1977

LAKATOS Imré, « Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes », in, *Criticism and the Growth of Knowledge*, I. Lakatos et A. Musgraves, Cambridge, éd. Cambridge University Press, 1974

LAUDAN Rachel, The recent Revolution in Geology and Kuhn's Theory of Scientific Change, In *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol. 1978, Volume II: Symposia and Invited Papers (1978), pp. 227-239

LAVOISIER Antoine, *Traité élémentaire de chimie*, 1789

LE PICHON Xavier, "Sea floor spreading and continental drift", *J. geophys. Res.* 73, 1968

LE VIGOUROUX Philippe, *La théorie de Wegener sur la dérive des continents en France jusqu'aux années 1950 : critiques, soutiens, oubli*, Thèse de doctorat, Université de Nantes, 2018.

LEMOINE Marcel, *De Wegener à la tectonique des plaques : sept fois sept ans de réflexion*, Comité Français d'Histoire de la Géologie, T. XVIII, 2004

LEVI STRAUSS Claude, *La pensée sauvage*, Paris, Plon, 1962

LEXEL Anders Johan, *Recherches sur la nouvelle planète*, 1783

LYELL Charles, *Principes de géologie – Une tentative d'expliquer les changements de la surface de la terre par des causes opérant actuellement*, 1833

MARVIN U. B., *Continental drift: the evolution of a concept*, Smithsonian Institution Press, 1973

Mc KENZIE Dan, « The North Pacific: an exemple of tectonics on a sphere », *Nature*, London, 216, 1967

MACHEREY Pierre, Groupe d'étude « La philosophie au sens large », Fleck, Genèse et développement d'un fait scientifique, In *La Philosophie au sens large*, 6 fév. 2008

MATTHEWS D. H., Magnetic anomalies over ocean ridges, In *Nature*, London, 199, 1963

MATUYAMA Motonori "On the Direction of Magnetization of Basalt in Japan, Tyosen and Manchuria". *Proceedings of the Imperial Academy of Japan.* 5, 1929, 203–205.

MORFAUX Louis-Marie, *Vocabulaire de la philosophie et des sciences sociales*, Paris, Ed. Armand Colin, 1980.

MORGAN Jason, « Rises, trenches, great faults and crustal blocks », *J. geophys. Res.* 73, 1968

NEWTON Isaac, *Philosophie Naturalis Principa Mathematica*, Londres, 1687

ORESQUES Naomi, *The Rejection of Continental Drift: Theory and Method in American Earth Science*, OUP USA éd., 1999

ORTELIUS Abraham, *Thesaurus geographicus*, 1596.

PERRY J, « On the age of the earth », *Nature*, vol. 51, 1895

PLACET François, *Corruption du grand et petit Monde*, 1668.

POINCARÉ Henri, Sur la valeur objective des théories physiques, In *Revue de Métaphysique et de Morale*, 10^e année, 1902

POINCARÉ Henri, *La valeur de la science*, Paris, Champs Flammarion, 1905

POPPER Karl, *Conjectures et réfutations*, Paris, Payot, 1963

PRIESTLEY Joseph, *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, 1786

RICHET Pascal, *L'âge du monde*, Paris, Seuil, 1999

ROTH Etienne, *Méthodes de datation par les phénomènes nucléaires naturels*, Paris, Éditions Masson, coll. « Collection CEA », 1985

RUNCORN Keith, Rock Magnetism – Geophysical aspects, In *Advances in Physics*, 4 (14),

1955

RUSE Michael, What kind of revolution Occurred in Geology? In, *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol. 1978,

SAVATON Pierre, *Histoire des sciences et enseignement du modèle de la tectonique des plaques*, in RDST, <https://journals.openedition.org/rdst/394>

SCHWARZBACH Martin, *Wegener, Le père de la dérive des continents - 1880-1930*, Paris, Belin, 2000

SNIDER-PELLEGRINI Antonio, *La création et ses mystères dévoilés*, 1858

SOURIAU Etienne, Du génie en philosophie, in *Revue Philosophique de la France et de l'Etranger*, t. CLXV, n° 2, 1975

STENON Nicolas, *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus*, 1669.

TAYLOR F. B., "Bearing of the Tertiary mountain belt on the origin of the Earth's plan", *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1910

USSHER James, *Annales Veteris Testamenti, a prima mundi origine deducti, una cum rerum Asiaticarum et Aegyptiacarum chronico, a temporis historici principio usque ad Maccabaicorum initia producto*. ("Annales de l'Ancien Testament, déduites des premières origines du monde, la chronique des sujets asiatiques et égyptiens du début des temps historiques jusqu'au début des *Maccabées*"), XVII^e.

VINE F. J., Spreading of the ocean floor: new evidences, In *Science*, 154, 1966

WEGENER Alfred, *La genèse des continents et des océans*, Paris, Librairie Scientifique Albert Blanchard, 1915

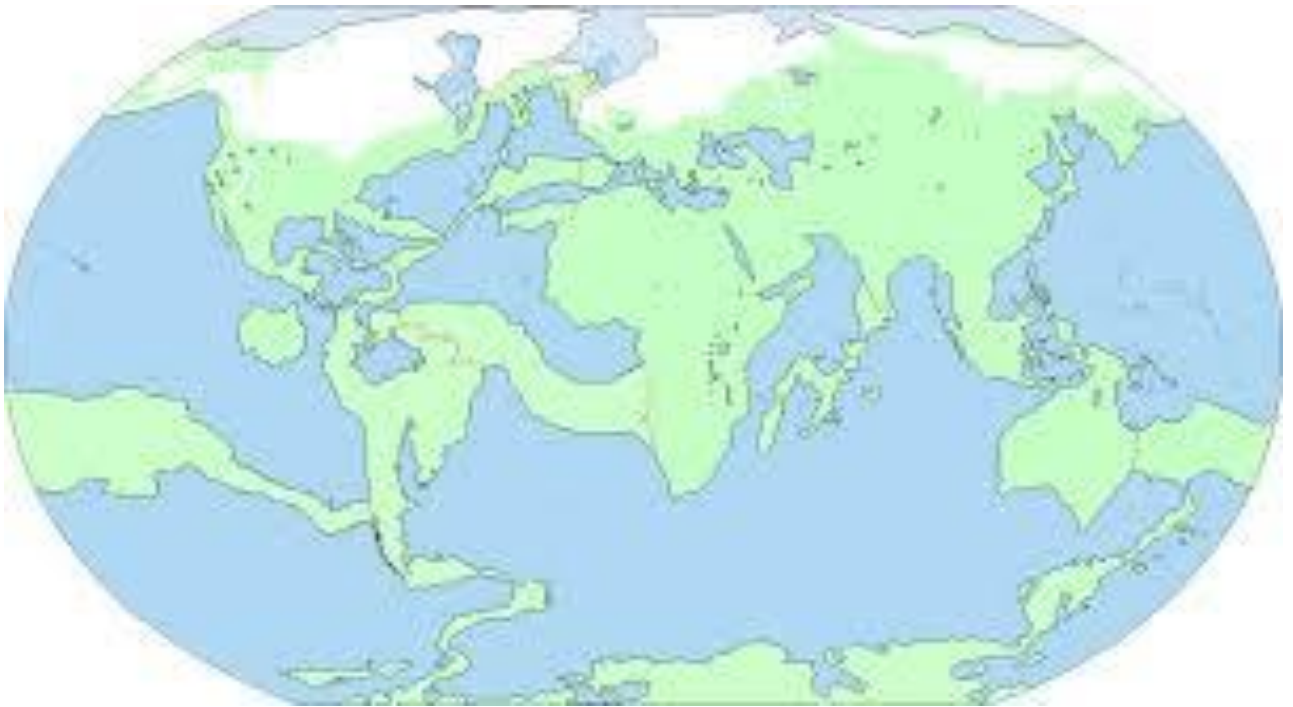
WHEWELL William, *Philosophy on the inductive sciences*, 1840

WITTGENSTEIN Ludwig, *Remarques sur la philosophie de la psychologie*, Paris, P.U.F., 1980 (posthume).

ZIMAN J. M., *Public knowledge: an essay concerning the social dimension of science*, Cambridge, Cambridge University Press, 1968.

ANNEXES

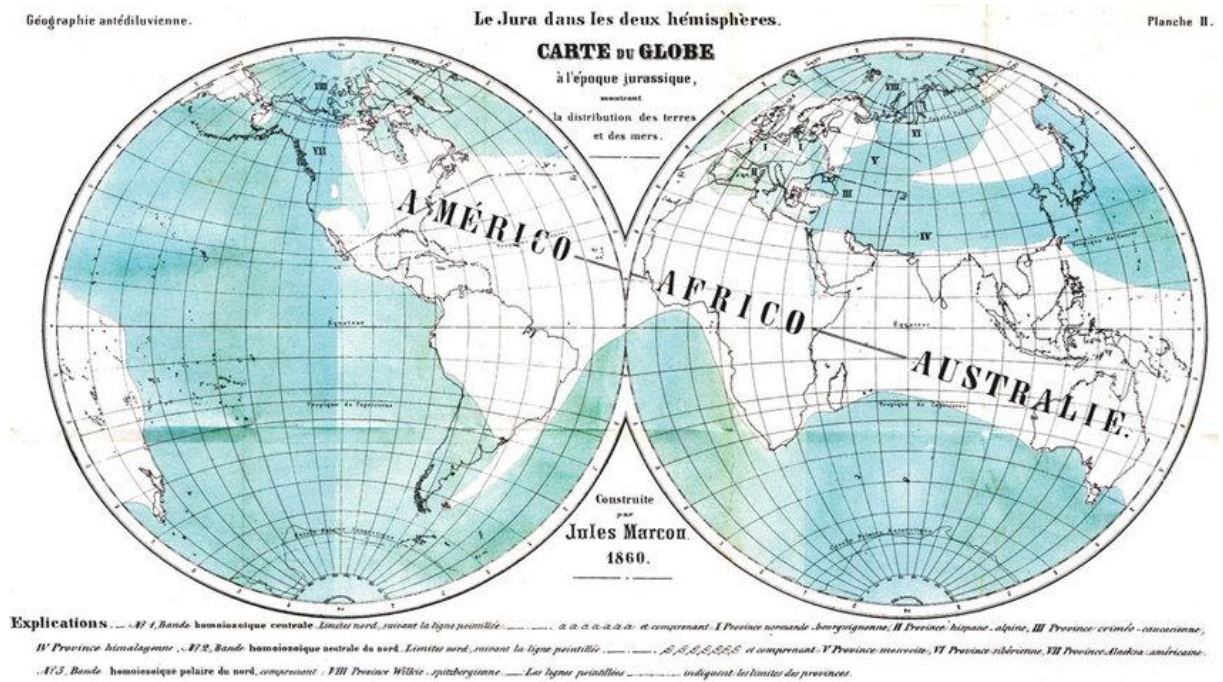
Annexe I



Représentation d'un hypothétique pont transocéanique Archhelenis

Source : https://www.tapatalk.com/groups/conceptual_evolution/a-million-years-bct3492.html

Annexe II

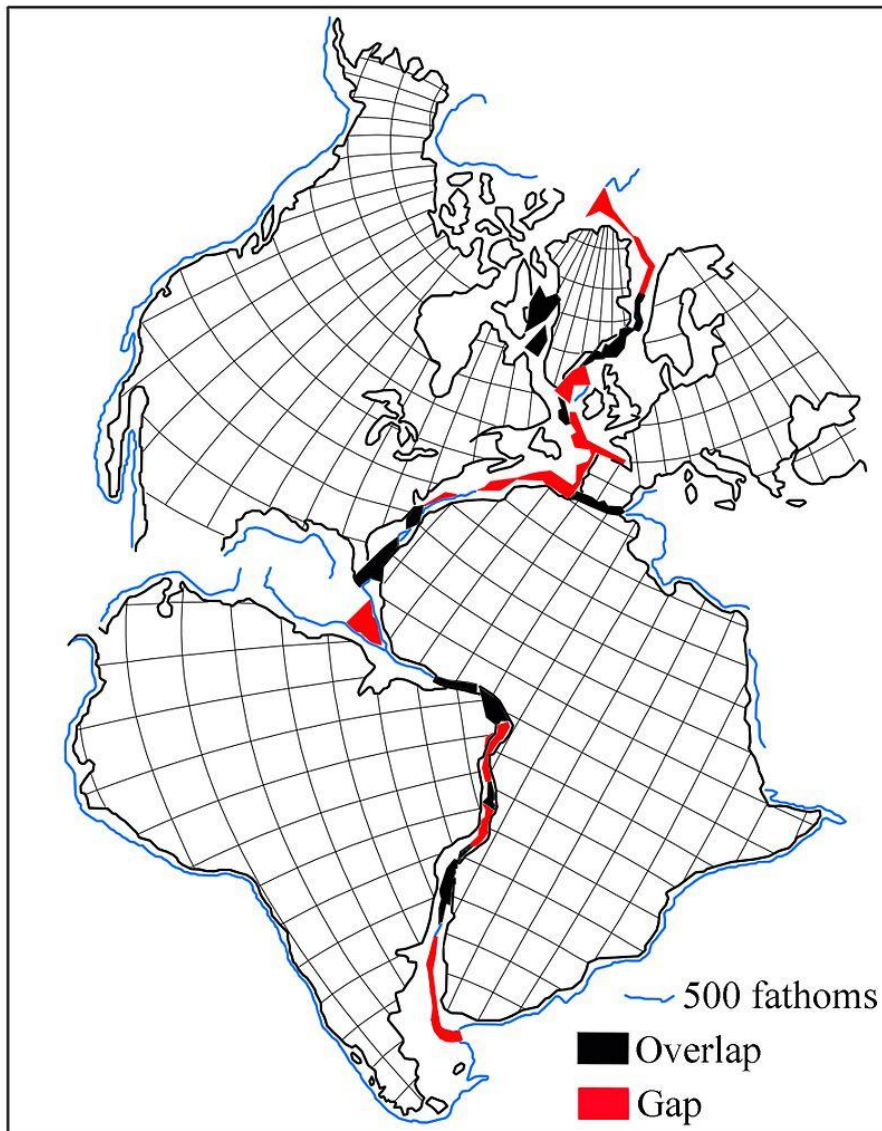


MARCOU Jules, Carte du globe à l'époque jurassique, 1860.

[en bleu, les océans & en blanc, les terres]

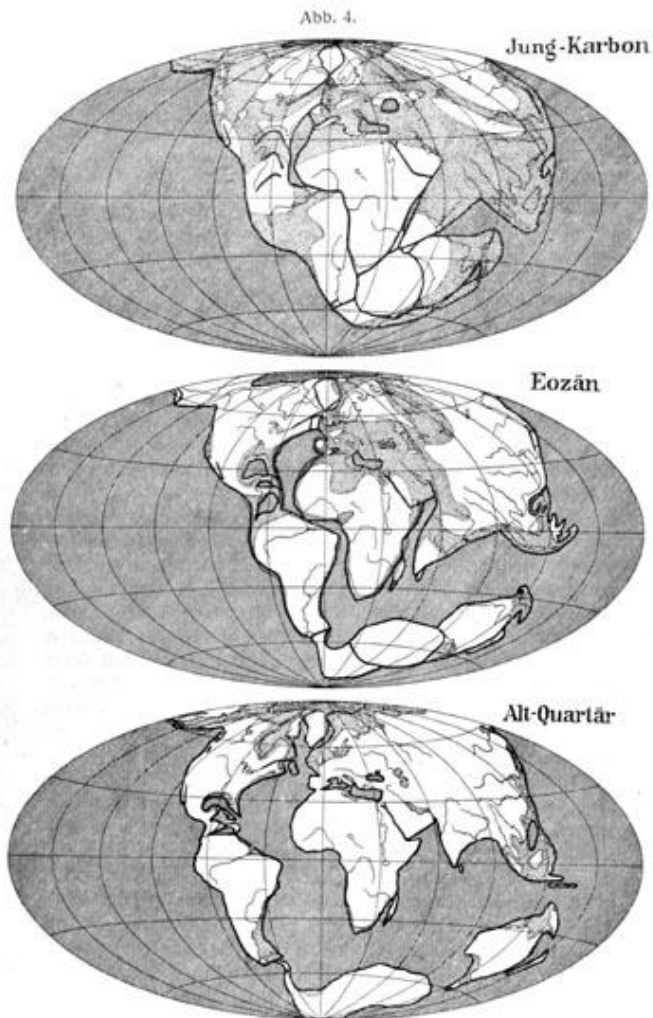
Source : https://www.researchgate.net/figure/Colour-online-Jules-Marcous-reconstruction-of-the-palaeogeography-of-the-Jurassic_fig10_323857071

Annexe III



Reconstruction par Bullard et coll. du supercontinent Amérique-Groenland-Europe-Afrique (1965).

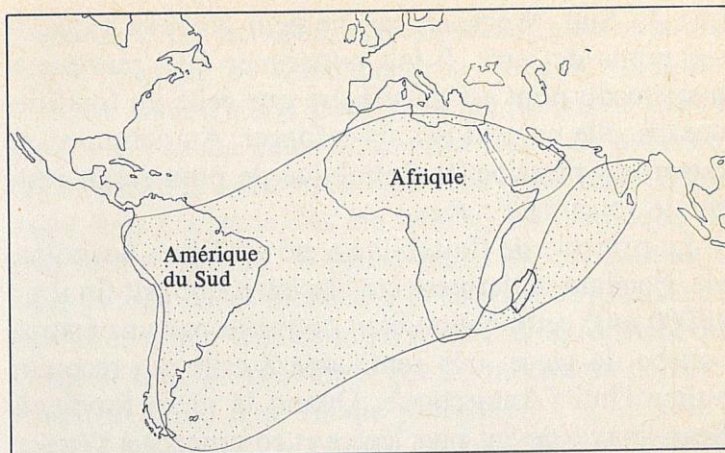
Annexe IV



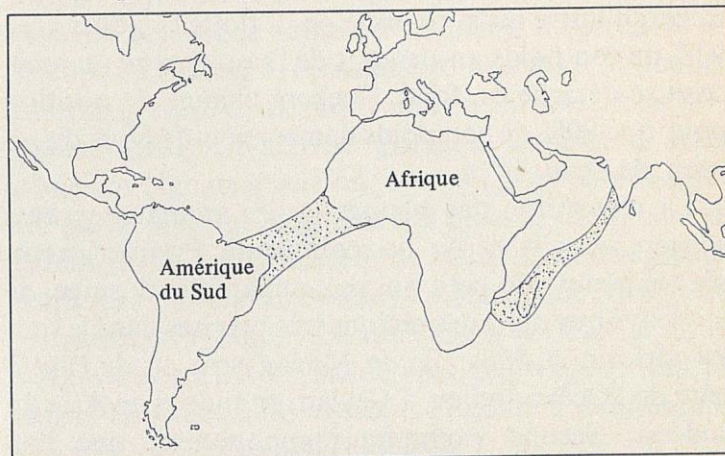
Rekonstruktionen der Erdkarte nach der Verschiebungstheorie
für drei Zeiten.
Schraffiert: Tiefsee; punktiert: Flachsee; heutige Konturen und Flüsse nur zum Erkennen.
Gradnetz willkürlich (das heutige von Afrika).

In WEGENER Alfred, *La genèse des continents et des océans*, Paris, Librairie Scientifique Albert Blanchard, 1915

Annexe V



Les ponts de terre tels qu'on les imaginait au XIX^e siècle. Celui qui relie l'Afrique à l'Amérique du sud est aussi important que les deux continents réunis.



Les ponts de terre tels qu'on les imaginait à l'époque de Wegener. Ils sont beaucoup plus modestes, puisque personne n'avait été capable de trouver la moindre trace des immenses ponts supposés engloutis.

SOMMAIRE

Page de garde	1
Remerciements	2
Incipit	3
Préambule	4
Problématique & Pistes de travail	5
Partie I - La question du « fait scientifique » et du « précurseur »	9
I - 1 - Pourquoi il faut s'interroger sur l'histoire des sciences	9
I - 2 - La question du « fait scientifique » et son interprétation	12
I - 3 - Critique du concept de « précurseur »	18
I - 4 - Conclusion de la partie I	23
Partie II - La question de la révolution scientifique	24
II - 1 - Pourquoi lire Kuhn et <i>La structure des révolutions scientifiques</i> ?	24
II - 2 - La « proto-science » & la science normale	25
II - 3 - Le statut de l'anomalie & de la crise	27
II - 4 - L'émergence d'un nouveau paradigme	30
II - 4 - 1 - La place du chercheur	30
II - 4 - 2 - La question de la comparaison	32
II - 5 - La notion de progrès chez Kuhn	35
II - 6 - Conclusion de la partie II	36
Partie III - Le cas de Wegener	37
III - 1 - La géologie avant Wegener	37
III - 1 - 1 - Une activité ancienne	37
III - 1 - 2 - Un paradigme naissant avec des tensions	39
III - 1 - 3 - La question des formes des rives continentales	41
III - 2 - Un scientifique pluriel	45
III - 2 - 1 - Wegener : une biographie succincte	45
III - 2 - 2 - La question de la communauté scientifique : Un scientifique allemand au sortir de la guerre ?	45
III - 3 - Les apports théoriques de Wegener	50
III - 3 - 1 - La reprise de la question des formes des rives continentales	50
III - 3 - 2 - Les preuves & arguments	52
III - 4 - Wegener : le père d'une révolution scientifique ?	55
III - 4 - 1 - Un accueil frileux et des critiques	55
III - 4 - 2 - Une hypothèse dépassée rapidement	58
III - 4 - 3 - La tectonique des plaques	61
III - 5 - Conclusion de la partie III	64
Partie IV - Un modèle kuhnien qui s'ajuste mal à l'histoire des Sciences de la Terre	65
IV - 1 - Les signes d'une révolution des Sciences de la Terre au sens kuhnien	65
IV - 2 - « Précurseurs » et « novateurs »	67
IV - 3 - Penser une révolution en conservant les outils et la méthodologie ?	71

IV - 4 - Redéfinir les objets, repenser les explications	72
IV - 5 - Penser la crise kuhnienne, et penser la crise en Sciences de la Terre	75
IV - 6 - Evolution ou révolution ? Quel statut pour la géologie ?	79
Conclusion	87
Bibliographie	91
Annexes	94
Sommaire	99

