

Ce poly n'est pas un cours complet, même si sans doute trouverez-vous ici ou là au long de ces quelques 200 pages, un fourmillement parfois rebutant de connaissances typiques d'un cours. Le propos est de venir en aide au lecteur, étudiant de l'EMSE ou autre, dans sa compréhension des processus naturels en le baladant dans des échelles de temps ou d'espace très variées et en tirant ici ou là sur la pelote de la complexité par quelques brins.

Une approche globale des processus est indispensable à la compréhension des phénomènes naturels et cette culture devient d'autant plus nécessaire qu'avec les temps modernes, l'homme est devenu **la 1^{ère} espèce consciente que son activité influence le futur de notre planète**. Il ne faut ni s'en enorgueillir ni en avoir peur, mais garder à l'esprit que les générations que nous formons aujourd'hui auront à agir demain en étant capables de considérer leur action en termes de problèmes globaux, dans leur complexité et dans le respect de ce qui l'entoure, animal, végétal, minéral. Pour ces générations, de plus en plus peuplées et actives, le caractère holistique des processus naturels — *au sens où ceux-ci ont tendance au travers de leur fonctionnement à créer des ensembles structurés qui présentent des dimensions supérieures à la somme de leurs parties* — imposera de les aborder avec une pensée complexe en vue d'une politique de développement soutenable. Le mot anglais « soutenable » est peut-être préférable à « durable », dont la connotation temporelle entrave la compréhension du concept en laissant penser qu'il s'agit de faire durer l'état actuel quand il s'agit au contraire de le faire évoluer. Le développement soutenable implique une politique de croissance responsable et respectueuse, fondée sur la mitigation¹ et non sur un retour supposé vertueux (et complètement irrationnel) aux temps d'avant, Eden écologique pour une pensée unique. Viser à limiter l'intensité de certains aléas tels que ceux liés à des phénomènes climatiques et géologiques impose d'en saisir les processus et les interactions. Et même si nous devons en venir à considérer toute politique de mitigation comme inaccessible, en terme de coût aussi bien que de technique, il resterait à fournir l'indispensable effort d'adaptation aux changements d'environnement qui, de toute manière, attendent notre espèce et auxquels, de toutes façons, nous n'échapperons pas !

La dilapidation des ressources naturelles est, pour les combustibles fossiles, irréversible pour la fraction déjà consommée. Souhaitons qu'il soit possible de la réduire pour les sociétés les moins industrialisées². Face à cette situation, **le plus dérangeant n'est pas tant la disparition d'une énergie** quand d'autres sont renouvelables et seront largement à la disposition de l'homme dans le futur, **que l'épuisement d'un gisement source d'une foule d'applications** autres qu'énergétiques. Sur ce plan là, l'irréversibilité de nos actes doit peser dans nos décisions. S'agissant d'éléments utiles à la fabrication de nos objets et outils manufacturés, l'épuisement de la ressource est virtuel. Le recyclage devient la norme et constituera demain le nouveau gisement, délocalisé et permanent, dont la raréfaction sera en quelque sorte presque seulement dépendante de la taille de la population mondiale³.

L'utilisation des deux ressources vitales, l'air dont nous commençons à peine à saisir l'importance d'une gestion, et l'eau, tombée du ciel et donc toujours considérée comme bénédiction de(s) (D)ieu(x) — *utilisez à votre convenance majuscule, singulier et pluriel* — sera demain au cœur des préoccupations humaines. Protéger et gérer nécessite une compréhension claire du cycle de l'eau, du carbone, des substances contaminantes etc., ainsi que des interactions entre tous les réservoirs. Passant par nos besoins, cette eau merveilleuse rejoint un cours d'eau, « diluteur » muet des rejets dont nous le chargeons, dont nous ne connaissons que la surface. Parfois, la vie de ce fleuve vient nous rappeler, au détour d'une angoisse médiatisée, que nous nous sommes forgé un vrai souci (*e.g.* les PCB, les antibiotiques, les perturbateurs endocriniens ...). Certes, les pays industrialisés ont pris conscience qu'ils ont les moyens de s'éviter des problèmes à venir et l'eau de nos rivières devient chaque jour moins sale. Pour le reste, l'immensité océanique si mal connue⁴ sert encore trop souvent de poubelle à nos déchets, on la considère à tort comme un garde-manger inépuisable, comme le moyen idéal de circulation sans entretien pour nos marchandises⁵ sur des bateaux pollueurs (fortunes de mer, dégazages, conteneurs etc.), voire parfois des quasi-épaves flottantes⁶... Tous ces problèmes ne sont pas récents. Le Nouvel

¹ **Mitigation**, signifie atténuation. Dans le cadre de la prévention de risques majeurs naturels, l'objectif de la mitigation est d'atténuer les dommages sur les enjeux, afin de les rendre plus supportables par la société.

² L'absolue nécessité de rattraper leur retard économique, ou simplement de cuire, de se chauffer, de se déplacer implique, pour les sociétés les plus pauvres, l'utilisation des ressources les moins chères, pour l'heure les combustibles fossiles, quel qu'en soit le prix à payer à long terme. On voit combien il y a loin des intentions aux accords et des accords aux réalités qui les suivent (Kyôto, Montréal, Copenhague ou Paris 2015) ... La mitigation passe ici très certainement par notre capacité à proposer des techniques de substitution au moins aussi rentables en terme de coût/performance. Une stratégie adaptative s'impose à nous qui ne relève pas des éco-taxes ou autres incitations à consommer moins, quand le rêve du modèle développé pillier des ressources qui est le nôtre multiplie les besoins d'une population en pleine croissance, tant démographique qu'industrielle. C'est **une Grameen green mitigation** participative qu'il nous faudra inventer.

³ On voit bien ici comment la mondialisation des échanges s'accompagne d'une prise de conscience que le jardin planétaire est borné. L'idée qu'un jour le nombre des individus devra l'être aussi est déjà perceptible à travers l'émergence de notions telles que le nombre d'individus que la Terre est capable de nourrir. Là encore une stratégie d'adaptation prévaudra sur un « croissez et multipliez » ancestral, nécessaire au salut d'un groupe initial faible vivant dans un espace infini pour lui, mais devenu destructeur pour un groupe nombreux exerçant une prédation forte sur un espace fini.

⁴ La première carte des fonds océaniques, celle de l'atlantique Nord, publiée par **B. Heezen et M. Tharp**, date de 1957, et la publication de l'ensemble des fonds océaniques mondiaux (par les mêmes auteurs) a attendu 1977. En outre, nous sommes encore très loin d'avoir identifié toutes les espèces vivantes, leurs cycles de vie, leurs interdépendances.

⁵ En 2005, 50.000 navires sillonnaient les mers du globe, Plus de 6 milliards de tonnes ont transité par mer cette année-là, soit 80% du trafic commercial mondial.

⁶ Les pavillons de complaisance sont nombreux, les sociétés de classification des navires ne sont pas toujours transparentes, 12

Obs. écrivait en 2000, N°1879, « 40 000 navires de plus de 300 tonnes sillonnent en permanence les océans et un bateau rejoint tous les trois jours le fond des mers » et de rajouter, presque en commentaire par anticipation à notre propos, « Mais plus que naufrages et dégazages sauvages, c'est la terre et ses fleuves poubelles qui polluent massivement la mer ».

70% de la surface terrestre n'ont pour témoin de nos activités que les riverains de l'océan, ici une marée noire, là une tempête trop brutale. Quid de l'impact de la surpêche sur la ressource halieutique ? Le désert du Sahara offre au marcheur l'incandescence d'un coucher de soleil ou le chant des dunes ; la solitude noire du fond des mers nous indiffère. La griffure mortelle du filet sur le fond de la mer existe-t-elle puisque personne n'est là pour la voir. La plaie béante de la carrière réclame réparation au nom du droit du sol lorsque cesse son exploitation, pas celle de la drague suceuse de sable et de tout le vivant qu'elle contient. La mer est à tous, le sable à personne. **Tout ce qui se passe sous l'eau est largement hors du champ de conscience de l'humain.** Que l'on y arrache les récifs ou le sable pour produire des bétons⁷, ou bien que l'on construise partout à l'excès au bord des plages ne laissant ainsi aucune latitude au rivage pour s'adapter ou amortir les variations saisonnières d'énergie, on accusera d'abord le CO₂ de fondre les glaces et de provoquer la montée du niveau de la mer. Pourtant, Maldives et Iles Marshall sont autant malades sinon plus du dragage de leurs sables côtiers que de la montée du niveau de la mer, le 5^e rapport du GIEC (IPCC 2014, http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIAR5-Chap29_FGDall.pdf) s'en fait l'écho. Que n'a-t-on dit d'une catastrophe, pourtant prévisible, la submersion de la Nouvelle Orléans ? Qui se soucie des 4 à 5 Gigatonnes (10⁹) de sédiments bloqués par quelques 36389 barrages dans le monde (répertoriés par la Commission Internationale des Grands Barrages, <http://www.icold-cigb.org/homeF.asp>), soit 1/4 des 16 à 19 Gigatonnes qui arrivaient avant jusqu'à l'océan (d'après l'IPCC 2014), nourrissant ainsi des deltas qui ne peuvent plus que reculer, et ce d'autant plus vite que la mer monte... Et le sable de nos plages n'est qu'une infime fraction de la masse de sédiments qui arrivent à la mer.

Bref, inconsciemment ou pas, **l'homme d'aujourd'hui a largement mutualisé ses déchets et gère la ressource sans autre règle que la loi du plus fort (y compris en U.E.).** Il eut mieux valu une approche systémique à l'échelle de la ressource et des déchets générés, pour une gestion commune... Dans « *la voie pour l'avenir de l'humanité* » 2011, Edgard Morin explore des possibles réformes, rêves peut-être, utopies sans doute, mais la route que l'humanité s'est tracée devra changer ; la réussite de notre espèce a résidé dans sa capacité à coévoluer avec notre monde, pas sûr que nous gagnions à refuser plus longtemps d'en faire partie.

Heureusement, notre regard est en train de changer. La perception de la finitude du milieu qui nous accueille (espace et temps), dont la mondialisation n'est qu'une des manifestations, se fait jour. Elle vient s'ajouter à celle de la diversité croissante et non finie des connaissances indispensables à la prise en compte de la complexité des processus mis en jeu.

L'approche systémique de l'interface Géosphère ∩ Atmo-hydro-sphère ∩ biosphère

est une absolue nécessité pour aider à mieux comprendre et à réduire la vulnérabilité des enjeux qui nous attendent... Ce dernier point n'est déjà plus notre propos, et les objectifs de ce poly se limitent à fournir quelques-unes des clefs indispensables pour **appréhender les processus naturels de manière globale.**

Il s'agit là d'une obligation particulière, qui impose une remobilisation très forte de nos modes de fonctionnement. J'emprunterai aussi à Edgar Morin la prise de conscience qu'il nous faut faire, que la cause profonde du danger qui nous guette « *est d'abord dans l'organisation de notre savoir en systèmes d'idées, de théories, d'idéologies* », que la science peut, par spécialisation excessive, conduire vers « *une nouvelle ignorance liée au développement de la science elle-même, à l'usage dégradé de la raison. Tant que nous ne relient pas les connaissances selon les principes de la connaissance complexe, nous restons incapables de connaître le tissu commun des choses... ...les erreurs progressent en même temps que nos connaissances. N'est-il pas urgent de réinterroger une raison qui a produit en son sein son pire ennemi, la rationalisation?* »

Fort de cette interrogation, il m'a paru indispensable de proposer aux élèves de l'EMSE une exploration du tissu des processus naturels sur 4.56 milliard d'années d'une histoire toujours renouvelée⁸ (à différentes échelles), de l'inerte au vivant, ou comme l'aurait dit C. Allègre, « *de la pierre à l'étoile* » et de confronter des arguments scientifiques qui, pourtant tous publiés dans des revues à comité de lecture, s'opposent dans l'exposé des faits ou dans les modèles que les auteurs en tirent. L'objectif d'une telle confrontation est d'inviter le lecteur à penser de manière critique, à éviter les courts-circuits de la réflexion et les conventions culturelles qui alimentent la doxa.

J-Luc Bouchardon

seulement des 50 sociétés existantes dans le monde sont agréées par l'Europe.

⁷ l'ordre de grandeur des chiffres avancés du « sand-mining » que l'on peut trouver ici ou là se situent entre 75 et 150 106 tonnes, plus que ce que les rivières apportent chaque année ? les bilans sont difficiles à étayer.

⁸ Chp. 1, Evacuer la Chaleur de la Planète : La conduction ; La Convection ; L'advection ; Les bilans énergétiques internes.

Chp. 2, Les météorites : Classification des météorites ; Composition chimique des météorites ; Les météorites différenciées et le fractionnement chimique dans le système solaire ; Les chondrites, météorites non différenciées ; Les comètes, second type d'objets primitifs, encore plus froids ; La chasse aux trésors.

Chp. 3 La Terre vue par la géophysique : Gravimétrie et Géodésie ; Séismicité ; Magnétisme

Chp. 4 Les enveloppes rocheuses de la Terre : Le Noyau Terrestre ; Le couplage Noyau-Manteau-Atmosphère et la couche D" ; Le Manteau Terrestre ; La valse à trois temps, l'Hadéen, l'Archéen, et les Temps Modernes ; La croûte terrestre et la lithosphère, interaction entre manteau et atmosphère.

Chp. 5 L'enveloppe gazeuse de la Terre : Composition de L'atmosphère Terrestre actuelle ; Structure thermique et chimique verticale de l'atmosphère (*Troposphère et phénomènes climatiques - Troposphère, siège de l'effet de serre - La stratosphère et la protection contre les UV solaires - La mésosphère - La thermosphère*) ; Stratification électromagnétique de l'atmosphère ; Circulation de l'atmosphère ; Circulation océanique ; Histoire de l'atmosphère.