

Guy Bédriot

**Le climat en  
suivant la  
pluie  
et  
miscellanées  
d'antan**

Guy Bédriot

**LE CLIMAT EN SUIVANT  
LA PLUIE  
ET  
MISCELLANÉES D'ANTAN**



## CHEZ LE MÊME ÉDITEUR

Le Lexique six Langues de l'Eau, collectif, 2001  
Planète Eau : repères pour demain, Jean-Luc Redaud, 2000  
L'eau, ressource vitale, Jean-Louis-Pascal Ballif, 2001  
Histoire illustrée de 5 000 ans d'hygiène publique, Maurice Paquier, 2001  
L'industrie des carrières et le développement durable, collectif, 2002  
Histoires d'eaux parisiennes, Maurice Paquier, 2004  
Plages en Ville, baignades en Marne, Thomas Deschamps, 2004  
L'eau en France : quelle stratégie pour demain ? Jacques Oudin, 2004  
La guerre de l'eau aura-t-elle lieu ? Nguyen Tien-Duc, 2004  
Les eaux pluviales, James Chéron, Alix Puzenat, 2004  
L'eau potable et l'assainissement, Jean-Luc Martin-Lagardette, 2004  
Environnement et politiques locales, un nouveau défi ? Régis Morvan, 2006  
Les cours d'eau et le droit, Philippe Marc, 2006  
Un nouveau rôle pour les agences de l'eau ? Bernard Kaczmarek, 2006  
Les agences de l'eau : quarante ans de politique de l'eau, Jean-Loïc Nicolazo, Jean-Luc Redaud, 2007  
L'eau dans son environnement rural, Jacques Bordet, 2007  
L'eau... Une histoire peu ordinaire, Raoul Caruba, 2008  
Le renouveau du droit public fluvial, Guy Arzul, 2008  
La prise en charge des dettes d'eau des usagers démunis en France, Henri Smets, 2008  
Le vade-mecum de l'eau, Jean-Luc Martin-Lagardette, 2009  
De l'eau potable à un prix abordable, Henri Smets, 2009  
Regard juridique sur la double nature de l'eau, Marie-Agnès Bordonneau, 2009  
Les principes du droit et de l'administration des Eaux, Dante A. Caponera, 2010  
L'accès à l'assainissement, un droit fondamental, Henri Smets, 2010  
Le droit à l'eau : une urgence humanitaire, Bernard Drobenko, 2010  
La mise en oeuvre du droit à l'eau : les solutions à Paris, Henri Smets, 2011  
Le Conseil Mondial de l'Eau, René Coulomb, 2011  
Théorie et pratique du droit de l'eau, Alan Saout, 2011  
La tarification progressive de l'eau potable, Henri Smets, 2011  
Dérèglement climatique et ressources en eau, Nguyen Tien-Duc, 2012  
Le droit à l'eau potable et à l'assainissement en Europe, Henri Smets, 2012  
Le droit à l'eau : une urgence humanitaire 2ème édition, Bernard Drobenko, 2012  
La protection juridique des cours d'eau, Aude Farinetti, 2012  
La part fixe dans la tarification de l'eau des ménages, Henri Smets 2012  
Les nouveaux tarifs de l'eau potable, Henri Smets 2013  
La recherche des fuites d'eau, Alex Gaspar, 2013  
Les sources du droit à l'eau en droit international, Marie-Catherine Petersmann, 2013  
Territoires, villes et campagnes face à l'étalement urbain et au changement climatique, collectif, 2013  
L'eau, entre réglementation et marché, sous la coordination de Max Falque, 2014  
Le filtre planté de roseaux, guide d'exploitation, 2014  
La Traversée de la pluie, Guy Bédriot, 2014  
Introduction au droit de l'eau, Bernard Drobenko, 2014  
L'accès à l'eau : un nouveau droit de l'Homme ? Franck Duhautoy, 2015  
Le statut juridique de l'eau à l'épreuve des exigences environnementales, Julia Gudefin, 2015  
Balade écologique au fil de la Seine, Bernard Vedry, 2015  
La loi sur l'eau de 1964 : bilans et perspectives, Collectif, 2015  
Le recouvrement des factures d'eau, Henri Smets, 2016  
L'eau dans les pays en développement, Francis Rosillon, 2016  
Qualité microbiologique des eaux en agglomération parisienne, Vincent Rocher, Sam Azimi, 2016  
Histoires d'eau : le versant vert de l'eau française, André Paulus, 2016  
La police de l'eau. Réglementer les usages des eaux : un déficit permanent, 2017  
Le code de l'eau, 4<sup>ème</sup> édition, Bernard Drobenko, Jacques Sironneau, 2017  
Evolution de la qualité de la Seine en lien avec les progrès de l'assainissement de 1970 à 2015, Vincent Rocher, Sam Azimi, 2017

### **Périodiques :**

L'eau, L'industrie, les Nuisances (mensuel)  
Le Guide de l'Eau, collectif

### **ISBN : 979-10-91089-32-6**

Copyright Éditions Johanet 2017, Paris

*Il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage (Loi du 11 mars 1957) sans l'autorisation de l'éditeur ou du centre Français d'exploitation du droit de copie.*

*"En hommage à Jean-Marie Masson"*



## PRÉFACE

Mais qu'allait-il faire dans cette galère ? A quoi bon se poser des questions sur la méthodologie et les données utilisées par les modèles climatiques ? Ce qui atteint le grand public, cultivé ou non, est que le climat se réchauffe et que la cause de ce réchauffement est due à l'émission de gaz carbonique. Circulez, il n'y a rien de plus à savoir. Il n'est alors pas de catastrophe qui ne soit reliée au réchauffement climatique et les journalistes, et les politiciens, peuvent s'en donner à cœur joie, trouvant là matière à copie où excuse à des politiques court-termistes. Dans le domaine de l'eau et de l'hydrologie qui est au départ celui de Guy Bédier (et du mien), nous avons pourtant appris à nous méfier de l'invocation systématique du changement climatique, d'une part pour expliquer les étiages et les sécheresses alors que l'agriculture effectue presque partout des prélèvements importants, d'autre part pour expliquer les crues et les inondations quand on s'intéresse d'un peu près aux effets de l'aménagement du territoire et en particulier de l'urbanisation.

On trouvera dans ce livre d'intéressantes réflexions concernant la température. Qu'est-ce que la température moyenne du globe et comment l'estime-t-on à partir de multiples mesures ponctuelles, ou surfaciques si l'on utilise des mesures satellitaires ? La température est certainement l'une des grandeurs environnementales les plus difficiles à appréhender. Il suffit pour s'en convaincre d'observer plusieurs thermomètres placés dans une même pièce. La nature de l'instrument, un rayon de soleil, un courant d'air, un déplacement de l'appareil influencent vite la mesure. Il existe bien sûr des normes internationales de l'OMM concernant les stations « officielles » mais sont-elles toujours respectées ? On connaît l'histoire d'une dérive de la température dans un abri météo dont la peinture au départ blanche s'était écaillée au cours du temps. Que dire aussi des réseaux de mesure, dont les points de mesure se trouvent généralement au sein ou à proximité d'agglomérations dont le réchauffement n'est pas a priori dû au climat. Il serait intéressant de comparer sur un même territoire la température moyenne estimée à partir de ces réseaux avec celle estimée à partir d'un réseau composé du même nombre de stations placées aléatoirement ou selon un maillage régulier, mais cela coûterait cher... On sait aussi que les réseaux officiels se dotent de plus en plus d'appareils automatiques et se clairsèment pour des raisons budgétaires. Ne perd-on pas ainsi une précieuse continuité des séries

de mesure ? On voit aussi, avec frayeur, que des services météorologiques envisagent sérieusement d'utiliser les données de réseaux « participatifs » constitués des appareils connectés installés à leur gré, sans souci des normes internationales, par des particuliers dans leur jardin ou sur leur balcon, et j'en parle d'expérience. On sait aussi que la surface de la Terre est principalement constituée des mers et des océans, où il n'existe pas de séries continues de mesures depuis la disparition, il y a une dizaine d'années, des rares navires météorologiques. La situation n'est guère meilleure sur de vastes étendues des continents où les mesures sont rares, voire inexistantes. Les satellites, dont les générations se succèdent rapidement avec les problèmes de continuité de mesure afférents, sont censés suppléer à l'absence ou à la rareté des mesures en surface mais leur intégration avec les mesures des réseaux « traditionnels » pose de redoutables problèmes de changement d'échelle et d'interpolation. C'est donc tout un chantier qui est toujours ouvert, à travers la forêt des normes et des protocoles de mesure, le sauvetage des données anciennes lentement et difficilement extraites d'archives poussiéreuses et parfois amiantées, pour homogénéiser tant de données disparates et reconstituer l'évolution de la température moyenne de la Terre devant servir au calage et à la validation des modèles climatiques.

On parlera aussi dans ce livre des modèles climatiques. Au fait, qu'est ce qu'un modèle mathématique ? On pourrait dire que c'est l'animation sur un ordinateur des équations régissant un ensemble de phénomènes. Celles qui régissent le climat ne sont pas parfaitement connues. On sait cependant qu'elles dérivent en particulier des équations, non linéaires, de Navier et Stokes, auxquelles se superposent des réactions biogéochimiques. La caractéristique non linéaire des équations est importante car elle signifie que les effets ne sont pas, pour le meilleur ou pour le pire, proportionnels aux causes et qu'il est impossible de séparer dans les effets la part respective des causes. Les modèles climatiques, qui par bien des aspects ressemblent aux modèles météorologiques, sont particulièrement complexes, sans doute les plus complexes des modèles utilisés dans les géosciences, impliquant une vaste gamme d'échelles de temps et d'espace. Le couplage du compartiment atmosphérique aux compartiments océanique et terrestre est un problème particulièrement ardu, souvent traité en traitant ces derniers compartiments comme des conditions aux limites. Il y a donc dans ces modèles une part plus ou moins importante d'empirisme. Pour avoir tâté des modèles hydrologiques, infiniment plus simples, je peux imaginer que les modèles

climatiques recèlent aussi leur part d'ombre. Quid par exemple des relations entre les nuages et le rayonnement ? Quid des émissions de chaleur des centrales thermiques classiques ou nucléaires ? En raison de leur faible rendement (de l'ordre de 30%), les centrales nucléaires rejettent environ 70% de la chaleur qu'elles produisent, chaleur qui réchauffera l'eau des rivières ou de la mer, pour rejoindre tôt ou tard l'atmosphère, tout comme d'ailleurs les 30% transformés en électricité. Bien que n'émettant pas de gaz carbonique les centrales nucléaires sont-elles aussi vertueuses qu'on le dit vis à vis du réchauffement de la planète ? Si l'on parle beaucoup, voire exclusivement, des émissions de gaz carbonique comment traite-t-on les émissions de vapeur d'eau (gaz à effet de serre beaucoup plus puissant que le gaz carbonique) sur les continents ? On estime en effet que près de 10% de l'écoulement des fleuves sont transpirés du fait de l'irrigation. Les résultats des modèles climatiques ne sont pas toujours satisfaisants ce qui oblige à des corrections parfois drastiques. Ces modèles, appliqués aux conditions actuelles, produisent souvent trop de précipitations. Pour en tenir compte, on corrige les précipitations futures en les minorant du pourcentage majorant les précipitations actuelles. On peut comprendre que croire au second ordre des prévisions quand le premier ordre n'a pas été décrit de façon satisfaisante puisse choquer des esprits chagrins !

Guy Bédiot souligne que la climatologie est une science en devenir. Elle s'est longtemps contentée de décrire les climats du présent et du passé, ce qui n'était déjà pas si simple, et elle aspire, et on lui demande maintenant, de passer au stade prédictif ce qui est infiniment plus difficile. On salue les efforts et les réalisations des climatologues numériques d'aujourd'hui qui doivent construire et manipuler des outils d'une très grande complexité mais on leur demande un peu de modestie et de permettre à des praticiens qui ont toute leur vie rassemblé et interprété des données climatiques de s'inviter au débat. Cela dit, nous participerons avec détermination et enthousiasme à l'effort social consistant à réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, ce qui contribuera à faire un monde plus vivable, plus respirable et plus frais. En attendant ces jours heureux, ne brûlez ni Guy Bédiot, ni son préfacier, cela alourdirait le bilan carbone de la planète !

Pierre Hubert  
Paris, Juillet 2017



## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le dernier chapitre de *La Traversée de la pluie et l'hydro climatologie* décrit un « vaste foutoir » dont on ne sait comment en sortir par une recherche raisonnée. Pour ne pas affoler les futurs chercheurs, je vais essayer de leur donner des raisons d'espérer, suite à quelques lectures faites depuis la parution de mon livre. D'abord, *Climats et Sociétés* de Denis Lamarre et Pierre Pagney, qui était resté dans un coin de ma bibliothèque tout comme le magnifique ouvrage de Théodore Monod *Les déserts* : j'y ai trouvé des pistes pour me conforter dans ma démarche. En fouinant un peu sur internet, j'ai appris l'existence d'une carte des coefficients des coefficients de variation des précipitations moyennes annuelles établie par le Climate Research Unit de l'université d'East Anglia dont les auteurs Mitchell et Phil Jones sont aussi des contributeurs du GIEC. Denis Lamarre m'indiqua avoir lui-même travaillé sur une carte plus ancienne, égarée depuis, pour ses travaux dirigés à l'université de Dijon. Très récemment il m'a fait parvenir son dernier ouvrage *Les métamorphoses du climat* qui constitue une excellente introduction à la diversité géographique des climats et à différentes façons de les appréhender. « Avant de songer à étudier le devenir des climats, mieux vaut savoir en quoi ils consistent précisément et où ils se trouvent »<sup>1</sup>.

Je me suis replongé dans « *les sciences de l'imprécis* » d'Abraham Moles<sup>2</sup> que j'avais trop survolé naguère. Et avec la lecture de *Conjectures et Réfutations. La croissance de la connaissance scientifique* de Karl Popper j'ai été convaincu que les sciences du climat n'en étaient qu'à leur tout début et qu'il restait de très longs chemins avant d'y voir un peu plus clair.

La première partie débute avec la reprise d'un rapport que ma direction de Seine Normandie m'avait demandé sur le changement climatique en 2000. J'essaie d'en faire une critique avant d'aborder ce qui avait pu changer 15 ans plus tard avec la COP21 et de revenir sur l'établissement des faits concernant le réchauffement global et l'accroissement du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Ces faits constituent la conjecture énoncée par le GIEC sur laquelle j'apporte quelques éléments de réfutation.

---

1. Page 85 dans la collection « essais » des éditions universitaires de Dijon.

2. Dans *La Traversée de la pluie* j'ai cité Albert Moles au lieu d'Abraham, son vrai prénom.

Dans la seconde partie, je m'efforce de faire une liste des causes du climat et dans la troisième j'aborde les totaux annuels de précipitations par leurs coefficients de variation et livre quelques considérations sur le réservoir hydrique de l'atmosphère. Le chapitre sur les déserts existe grâce au livre de Théodore Monod.

Enfin, *in fine* je livre quelques souvenirs de ma vie professionnelle. Ce sont les miscellanées d'antan.

## PREMIÈRE PARTIE

# L'appréhension du climat global sous l'angle du changement

### A. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE GLOBAL TEL QU'IL EST PERÇU EN L'AN 2000<sup>3</sup>

Ce chapitre est constitué d'un extrait d'un rapport que j'ai rédigé en 2000 à la demande de l'agence de l'eau Seine Normandie. Voici cet extrait. Cela va me servir de base pour aborder la suite.

#### 1. Fluctuations et variations climatiques

Les fluctuations climatiques à long terme ont toujours constitué un thème de réflexion tout au long de l'histoire de l'Humanité. Avec l'avènement de la météorologie moderne, ces réflexions à caractère philosophique ont laissé peu à peu place à des études et recherches scientifiques effectuées par des chercheurs isolés ou en équipes, puis à des programmes nationaux et internationaux.

Le colloque de Norwich de 1975 sous l'égide de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) rattachée à l'ONU et de l'Association internationale de météorologie et de physique de l'atmosphère constitue une étape importante, avant la mise en place des programmes internationaux. La relation de ce colloque faite par H. H. Lamb de l'Université d'East Anglia et publiée en 1976 dans la revue " *La Météorologie* " montre l'étendue des problèmes soulevés et donne une idée des moyens et des méthodes de recherche de l'époque. C'est le premier colloque où l'on constate une prise de conscience des scientifiques sur le fait que « la nécessité d'alimenter une population qui ne cesse de croître rapidement sur tout le globe rend l'homme plus vulnérable aux fluctuations climatiques, même lorsque celles-ci se produisent normalement d'une année à l'autre ». Il est noté que « depuis les années 1960

---

3. La deuxième partie de ce rapport, « *Le climat et l'hydrologie du bassin Seine-Normandie* » a fait l'objet d'une reprise et d'un développement beaucoup plus large dans le livre précédent « *La Traversée de la pluie et l'hydro climatologie ; souvenirs discursifs* »

un certain nombre d'événements climatiques observés se sont traduits par la réapparition de glaces de la mer Arctique le long des côtes de l'Islande, par les déficiences de la mousson en Inde (après plusieurs décennies de quasi-régularité dans les deux cas), ..., par la longue sécheresse qui a régné sur la savane d'Afrique du Nord et d'autres régions situées approximativement sous les mêmes latitudes. Cette sécheresse maximale en 1973, a entraîné la mort d'environ 200.000 personnes, obligé la population à quitter massivement la région, et soulevé des problèmes politiques importants dans plusieurs pays. »

Parmi les principaux résultats obtenus grâce aux méthodes d'études des paléoclimats du globe (en particulier grâce aux isotopes stables dans les couches de glace, aux dépôts de sédiments des fonds océaniques et aux cercles de croissance des arbres), il y a la mise en évidence de cycles de variations de 100.000, 40.000 et 20 à 25.000 ans : « ce résultat renforce sérieusement l'idée selon laquelle les variations des caractéristiques de l'orbite de la terre, dont les échelles de temps sont exactement les mêmes, jouent un rôle important sur l'occurrence des époques glaciaires et interglaciaires successives (Milankovitch). (...) Shackleton est de ceux qui mettent l'accent sur la quasi-régularité avec laquelle la période la plus chaude et relativement stable qui correspond à une période interglaciaire se trouve limitée à environ 10000 ans, c'est-à-dire approximativement l'intervalle de temps qui s'est écoulé depuis la période interglaciaire que nous vivons actuellement ».

On ne peut pas dire qu'en 1975 le réchauffement climatique était à l'ordre du jour. Il est difficile de résumer en quelques lignes le compte-rendu dense de 7 pages de Lamb. Ce qu'il faut noter pour finir, c'est une grande réserve sur l'emploi des modèles numériques pour une prévision des fluctuations climatiques du même niveau de précision que la reconstitution des données paléo climatiques ; mais c'est aussi la première fois qu'une communication (celle de Hunt) « porte sur les effets probables des changements de nébulosité résultant d'activités humaines<sup>4</sup>, question qui, jusqu'alors n'avait pas dépassé le stade de la conjecture. ”

En 1978, J. Dettwiller publie un article remarquable et très documenté sur “ *l'évolution séculaire de la température à Paris* ”<sup>5</sup>. Il utilise différentes approches pour proposer les éléments d'une réponse claire et sans ambiguïté à la difficile question de la cause de l'accroissement. Il conclut ainsi : “ Globalement, depuis la fin du siècle dernier, l'influence

---

4. Souligné par moi.

5. “ *La Météorologie* ” VI<sup>ème</sup> série n°13 - juin 1978, pages 95 à 130

de l'urbanisation et des activités humaines a entraîné d'après l'analyse de séries chronologiques une hausse de 1,3°C sur les températures moyennes annuelles à Montsouris et vraisemblablement plus de 1,5°C au centre de la ville". Dettwiller note une réduction de l'amplitude quotidienne consécutive principalement à l'augmentation des températures minimales au centre de Paris, surtout en été où l'écart avec la zone rurale peut atteindre 5°C. Dettwiller rappelle que la variation interannuelle est importante, puisqu'elle est de 4°C sur la période 1801-1977, avec 8,5°C en 1879, et 12,5°C en 1959. Il fait aussi référence à " Kellogg suggérant qu'au cours des siècles passés et probablement depuis 1.000 ans ou davantage, la température moyenne de l'hémisphère Nord ne s'est guère écartée de plus de  $\pm 1^\circ\text{C}$  de la moyenne ".

On voit donc que les scientifiques de l'époque se préoccupent d'expliquer le réchauffement des températures de surface par les activités humaines concentrées dans les agglomérations. Dettwiller tente déjà d'établir des ordres de grandeur des émissions de chaleur au niveau de la seule agglomération parisienne, mais remarque la complexité des variables influençant la température et sa mesure proprement dite.

D'une manière générale, les changements climatiques et leurs causes sont étudiés au plan local ou régional mais pas à l'échelle du globe.

## **2. Qu'est-ce que le changement climatique global ?**

Les recherches sur plusieurs phénomènes régionaux tels que l'agrandissement du trou d'ozone au-dessus de l'Antarctique, l'oscillation d'el niño..., ont contribué et contribuent encore à la réflexion sur un changement climatique plus global. C'est néanmoins grâce aux moyens nouveaux et considérablement accrus des ordinateurs que des chercheurs vont pouvoir modéliser le changement climatique global, à partir d'un phénomène connu depuis des décennies et directement lié au développement des activités humaines : l'augmentation du dioxyde de carbone gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

En 1988<sup>6</sup>, l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) qui, depuis des décennies aussi, inscrit à chacun de ses Congrès les problèmes de fluctuations, de variations voire de changements climatiques, s'associe avec le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) pour mettre en place le groupe IPCC (Intergovernmental Panel

---

6. La conférence de Villach a eu lieu en 1986 : c'est à cette date que le réchauffement dû à l'effet de serre a été acté par les astrophysiciens.

on Climatic Change), dont la traduction française est le GIEC (Groupe Intergouvernemental des Experts sur le Climat). A partir de cette date, on peut dire que l'ensemble de la communauté scientifique mondiale est mobilisé sur le changement climatique global en relation avec les émissions croissantes de gaz à effet de serre<sup>7</sup> et liées aux activités humaines.

*“ Qu'est-ce que l'effet de serre ?*

La température moyenne de notre planète résulte de l'équilibre entre le flux de rayonnement qui lui parvient du soleil et le flux de rayonnement infrarouge renvoyé vers l'espace. La répartition de la température au niveau du sol dépend de la quantité de gaz à effet de serre (GES) présents dans l'atmosphère. Sans eux, la température moyenne serait de -18°C et la terre serait inhabitable. Leur présence amène cette température à 15°C. Les gaz responsables de l'effet de serre d'origine anthropique sont le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O), l'ozone troposphérique (O<sub>3</sub>), les CFC et les HCFC gaz de synthèse responsables de l'attaque de la couche d'ozone stratosphérique, ainsi que les substituts des CFC : HFC, PFC et SF<sub>6</sub>. Les gaz à effet de serre sont naturellement très peu abondants. Mais du fait de l'activité humaine, la concentration en CO<sub>2</sub> a augmenté de 30% depuis l'ère préindustrielle. Les effets combinés des gaz à effet de serre équivalent aujourd'hui à une augmentation de 50% de CO<sub>2</sub> depuis cette période. ”<sup>8</sup>

Les rapports du GIEC alternent avec de grandes réunions intergouvernementales au cours desquelles sont élaborées des décisions à soumettre à la signature puis à la ratification de chaque Etat.

1988 : création du GIEC

1989 : conférence de La Haye

1990 : premier rapport du GIEC

1992 : conférence de Rio

1995 : second rapport du GIEC

1997 : conférence de Kyoto

2000 : le troisième rapport du GIEC, puis réunion à La Haye

7. Depuis quelques années le GIEC privilégie l'expression « forçage radiatif » à « effet de serre » pour montrer que cela peut agir dans un sens ou dans l'autre.

8. Extrait du “ *Programme national de lutte contre le changement climatique 2000/2001* ”, page 13

***Les principales conclusions du second rapport du GIEC de 1995***

- “ depuis 1750 le taux de CO<sub>2</sub> dans l’atmosphère a augmenté de 30%, celui de CH<sub>4</sub> de 145 % ;
- Depuis la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, la terre s’est réchauffée de 0,3°C à 0,6°C et on a assisté à une montée du niveau des océans de 10 à 25 cm ;
- Toutes les analyses confirment l’effet notable des activités humaines sur ces variations, même s’il demeure de nombreuses incertitudes sur leurs évaluations, et surtout sur les conséquences qui peuvent s’ensuivre.
- La comparaison entre le changement observé dans la température moyenne globale et le résultat des simulations suggère que le réchauffement des cent dernières années n’est vraisemblablement pas dû aux seules causes naturelles et que les caractéristiques géographiques d’un réchauffement dû aux activités humaines sont identifiables dans les observations du climat. ”<sup>9</sup>

### **3. En l’an 2000, où en est la connaissance scientifique sur le changement climatique global ?**

Parmi les très nombreux livres et articles récents consacrés à ce sujet, l’article de Robert Kandel paru à l’automne 1999 dans la revue « *Natures, Sciences et Sociétés* » semble être une excellente référence pour donner un point de vue “ physique de l’atmosphère ”. En effet, à la demande des institutions de recherches fondatrices de la revue (CNRS, INRA, IFREMER, CEMAGREF, CIRAD et IRD), celle-ci vient de faire l’objet d’une évaluation scientifique et contradictoire par une dizaine d’évaluateurs de disciplines et de pays différents qui ont conclu à son très bon niveau et qui ont souligné le caractère remarquable de l’article de Kandel.

Robert Kandel confirme que le climat change et changera en s’appuyant lui aussi sur les variations périodiques dites “ de Milankovitch ”, lesquelles expliquent notamment les glaciations. Il indique que l’homme augmente le CO<sub>2</sub> depuis le début de l’ère industrielle (l’augmentation semble plus importante que celle indiquée dans la définition précédente de l’effet de serre). “ Cette question se trouve compliquée par le fait que les émissions de CO<sub>2</sub> dues à la combustion de carburants fossiles sont souvent accompagnées d’émissions de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), gaz qui se transforme en aérosols. Dans certaines régions du globe, ces aérosols

---

9. Extrait du “ *Programme national de lutte contre le changement climatique 2000/2001* ”, pages 13 et 14

anthropiques tendent à augmenter, directement ou indirectement, la réflexion du rayonnement solaire vers l'espace. Ce renforcement de ce que j'appelle " l'effet parasol " compense en partie, et ce dans certaines régions seulement, le renforcement de l'effet de serre. ”

En partant d'un modèle extrêmement simplifié, voire caricatural, il montre dans un premier temps que le système radiatif comporte des rétroactions négatives, ce qui le rend stable dans le cas où il y a réchauffement ou refroidissement de la surface du globe.

Ensuite, après avoir noté que la vapeur d'eau est le premier gaz à effet de serre, il remarque que les rétroactions les plus importantes sont celles qui proviennent des modifications du cycle de l'eau, entraînées par un réchauffement des basses couches.

“ La sensibilité du climat n'est grande que si la rétroaction " vapeur d'eau " est positive, ce qui implique une perturbation significative de la branche atmosphérique du cycle de l'eau. La condensation, et donc généralement la formation de nuages, doivent limiter l'augmentation de l'humidité atmosphérique. Les plus grandes incertitudes surgissent lorsqu'on cherche à évaluer les rétroactions entraînées par une modification de la nébulosité, de sa couverture, de ses propriétés physiques. En effet, les nuages contribuent à la fois à la réflexion de l'énergie solaire et au blocage du rayonnement infrarouge vers l'espace... Même si l'effet parasol de la nébulosité continue d'être plus fort que son effet de serre, sa rétroaction radiative peut-être positive si le deuxième effet augmente plus que le premier. Les résultats obtenus avec les différents GCM<sup>10</sup> sont en désaccord flagrant, ce qui explique l'éventail des réchauffements calculés pour un scénario de doublement du CO<sub>2</sub>. En outre, ces résultats dépendent fortement des hypothèses plus ou moins arbitraires qui rentrent dans les paramétrisations des processus microphysiques de formation et de dissipation des gouttelettes et les transformations entre eau liquide et glace ”.

“ Finalement, il ne faut pas oublier que si la température moyenne à la surface du globe constitue un paramètre commode pour résumer l'état physique d'un modèle simple, voire caricatural, de tels modèles restent trop schématiques pour être d'une utilité autre que publicitaire ou médiatique. Pour la vie des gens ou des plantes, il faut étudier les changements climatiques à attendre à l'échelle des régions, en particulier les changements dans les taux d'évaporation et de précipitation,

---

10. Global Climatic Model

qui ont au moins autant d'importance pour l'agriculture que les changements de température. Le " réchauffement global " ne sera important que si le cycle de l'eau est perturbé, et les perturbations du cycle de l'eau, localement, aux échelles régionales, modifieront les conditions d'épanouissement de la vie végétale et animale sur notre planète. "

Kandel ne dit pas si de tels modèles régionaux sont réalisables, ni à quelles conditions. Il évoque ensuite la réduction des aérosols comme risque de réchauffement, si dans le même temps il n'y a pas réduction des gaz à effet de serre, et le rôle d'inertie thermique des océans qui contrôle l'importante rétroaction vapeur d'eau. Enfin, il réfute la " croyance qu'un réchauffement global serait nécessairement accompagné par une augmentation généralisée de la fréquence d'événements météorologiques extrêmes. "

Enfin, après avoir énuméré 6 facteurs importants d'incertitudes, Kandel conclut tout de même que " l'emploi croissant de carburants fossiles conduit inéluctablement à une transformation de plus en plus rapide de l'atmosphère de la planète, avec des conséquences climatiques qui peuvent compromettre la notion même de développement durable. "

### **Les 6 facteurs d'incertitudes énumérés par Robert Kandel**

- *La vitesse du développement économique, dans le Tiers-Monde et ailleurs ;*
- *Les taux d'émissions de CO<sub>2</sub>, d'autres gaz à effet de serre, du SO<sub>2</sub> ... qui dépendent à la fois du développement économique, des mutations technologiques, et des contraintes politiques acceptées ;*
- *L'ampleur et la vitesse des changements climatiques anthropiques (et naturels), en particulier les changements dans le bilan hydrique, et leur répartition géographique ;*
- *Les " impacts " négatifs ou positifs de ces changements dans les domaines écologiques et socio-économiques, et leur répartition géographique ;*
- *Les capacités d'adaptation de la biosphère et des différentes sociétés humaines ;*
- *La capacité des décideurs à changer de cap quand la prospective est défavorable.*

Ne faire référence qu'à un auteur, même estimé et reconnu, pour faire le point des connaissances scientifiques sur le changement climatique

global peut paraître une provocation. Il faut être clair : les centaines de chercheurs et d'experts qui collaborent au sein du GIEC ont donné une réponse, de type institutionnel. Celui qui a pratiqué la dispute<sup>11</sup> au sein de la communauté scientifique et qui a étudié certaines crises de l'histoire des sciences, éprouve de la difficulté à admettre une vérité quasi unanime, dont les preuves n'ont pas été formellement établies. Même si Kandel semble très en retrait par rapport aux discours catastrophistes relayés par les institutions et les médias, il conclut, en quelque sorte comme le GIEC, qu'il faut réduire les émissions de toutes natures (gaz à effet de serre ou à effet parasol) par précaution.

A titre indicatif, pour souligner la diversité des attitudes sur ce sujet, le forum internet " médiaterre " du Comité 21 accueille en 2000 une polémique suite aux articles d'Yves Lenoir. Ce scientifique écrit, comme Kandel, que la communauté scientifique ne s'intéresse pas assez aux modifications du cycle de l'eau et à leurs implications dans le changement climatique. Voilà un champ de recherche à balayer, qui concerne tout le monde, a fortiori l'agence de l'eau.

Ce constat de l'état des connaissances sur le climat en l'an 2000 met en relief de nombreuses incertitudes. Cela encourage la mission effet de serre pour attirer l'attention sur des impacts potentiels tirés d'une modélisation effectuée par Météo France sur la base d'un doublement de la concentration de dioxyde de carbone entraînant un réchauffement global.

Je cite ci après les principaux éléments de cette liste d'impacts

*« En France l'élévation de la température hivernale serait de 1 à 2°C, alors que l'élévation en été et en automne serait supérieure à 2°C sur la plus grande partie du pays. En ce qui concerne les précipitations, les résultats indiquent une augmentation des pluies en hiver et une certaine diminution en été. »<sup>12</sup> Et plus loin " Compte tenu d'hypothèses raisonnables sur l'évolution des émissions au cours du siècle à venir, les modèles calculent pour l'an 2100 une augmentation de température moyenne de 1 à 3,5°C. »<sup>13</sup>*

– *L'élévation du niveau de la mer "serait causée principalement par la fonte partielle des glaciers et par la dilatation thermique de la tranche d'eau superficielle des océans et des mers. La*

---

11. Au sens noble des débats universitaires du Moyen Age

12. Source : " impacts potentiels du changement climatique en France au XXI<sup>ème</sup> siècle ", page 7

13. ibidem page 14

*valeur la plus probable à l'horizon de 2100 est une hausse autour de 50 cm. ”*

- “Réduction de la durée d’enneigement ”.*
- L’effet sur les eaux superficielles et souterraines : la modélisation du bassin de la Dore, en Auvergne, indique “ une occurrence de crues plus accentuées et plus fréquentes en hiver et des étiages plus marqués en été. ” ... De manière générale, “ les nappes les plus étendues devraient voir leur niveau moyen s’élever légèrement, l’irrégularité accrue des approvisionnements entre saisons et années devrait se répercuter sur le régime des nappes locales à faible réserve, comme celles des massifs anciens ou celles à vidange rapide. ”*
- L’effet sur les sols : “ vitesse accrue des cycles du carbone et des éléments nutritif”, “ aggravation des risques d’érosion hydrique, compte tenu de l’augmentation de la pluviométrie pendant les saisons où le sol est peu couvert, compte tenu aussi de l’augmentation prévue des événements de type orageux et de la diminution possible de la quantité de matière organique dans le sol ”.*
- L’impact sur l’agriculture : augmentation des rendements céréaliers, diminution des récoltes viticoles, développement des mauvaises herbes, des maladies cryptogamiques et des insectes, déstabilisation accrue des systèmes de production.*
- L’impact sur la sylviculture : possibilité d’extension vers le Nord de la France d’espèces, telles que des pins (Alep et maritime) et des chênes (vert et pubescent).*
- L’impact sur les écosystèmes forestiers méditerranéens : augmentation de la durée du stress hydrique des espèces en place et risques accrus d’incendies.*
- L’impact en zone de montagne : réduction de la couverture neigeuse avec accroissement de la sécheresse estivale et des risques d’incendies ; accroissement des risques de glissements de terrain, de flux de boue, de chutes de rochers. La flore alpine devrait s’étendre en altitude avec des conséquences complexes.*
- L’impact sur le tourisme : l’attractivité estivale de la façade Ouest et de la moyenne montagne pourrait augmenter ; sur les sites touristiques, des problèmes de manque de ressource en eau, de disparition des plages de sable, de diminution d’enneigement et de limitation du développement des transports sont à prévoir.*

- *L'impact sur la santé : “ la prévision de l'impact sur la santé du changement climatique s'avère un exercice d'une grande difficulté ”<sup>14</sup>*

*Le rapport rappelle aussi que “ les projections obtenues sont plus fiables aux échelles hémisphériques ou continentales qu'à l'échelle régionale. On se fie davantage aux prévisions concernant la température qu'à celles concernant le cycle hydrologique. ”<sup>15</sup>*

***Fin de citation de l'extrait de mon rapport réalisé en août 2000.***

## **B. 15 ANS APRÈS, VOICI MES COMMENTAIRES SUR CE QUI PRÉCÈDE**

Les conclusions hâtives évoquées plus haut sont le résultat de scénarii élaborés sur des hypothèses en cascade non vérifiées et non vérifiables pour le moment. Elles établissent une liste des conséquences issues d'une seule cause, le réchauffement global, ce dernier étant dû essentiellement selon le GIEC, au forçage radiatif découlant de l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre comme le gaz carbonique, résultat de la combustion des ressources d'énergie fossile.

Très fortement influencé en 2000 par la « doxa<sup>16</sup> » de l'époque, j'ai résumé mes rares lectures du moment, sans me préoccuper de la cause unique du réchauffement, à savoir l'action anthropique émettrice de gaz dits à effets de serre, en introduisant cependant une légère réserve avec l'article mesuré de Robert Kandel.

En 2000, nous sommes en pleines hypothèses et conjectures diverses sans réponse définitive sur le sujet.

Dès avant 2000, certains, comme Olivier Godard en France, ont proposé la mise en place de marchés de droits à polluer au niveau international, si bien qu'on ne voit plus l'intérêt du monde intelligent à prendre des précautions drastiques pour faire face à un péril identifié. Les politiques s'en mêlent, sans parler des médias et des sociétés de communication de toutes espèces qui sentent que le sujet peut rapporter gros, sous forme de taxes pour les Etats et sous forme de marchés pour les autres.

---

14. Il serait intéressant de confronter cette liste d'impacts avec celles établies après l'an 2000.

15. “ *Programme national de lutte contre le changement climatique 2000/2001* ”, page 14

16. « Ensemble des opinions communément admises dans une société donnée. »

Bref, c'est la foire à l'empoigne. Dans ces conditions, la science est vaincue. Au moins pour l'instant, car les équipes de recherche continuent à produire de nouvelles connaissances au sein de leurs labos.

Après 2000, tout cela va prendre un tour à l'opposé de la recherche scientifique sur le climat, dans un grand bruit médiatique. Le GIEC est piloté par des économistes. Se pose la question suivante : le GIEC à sa création n'a-t-il pas écopé d'une finalité allant bien au-delà de la seule étude du climat, en privilégiant les études sur les conséquences du climat auquel on a fait subir une tendance au réchauffement global lié à l'augmentation de l'effet de serre attribuée à l'accroissement des émissions de gaz carbonique ?<sup>17</sup> En laissant libre cours à tous les scénarii catastrophes, on peut faciliter la mise en œuvre d'une fiscalité avantageuse et de rapports de forces géopolitiques sous l'influence d'une idéologie universellement admise.

Côté scientifique, chacun y va de sa petite touche sur une conséquence possible d'un réchauffement du climat, sans se poser des questions sur l'existence et la nature même de ce changement. Les biologistes s'en mêlent : ces travaux ne sont pas inutiles car ils présentent des qualités heuristiques indéniables, mais sur le fond du problème, à savoir « le climat change-t-il ? » peu de choses ont été apportées. Sur-tout qu'elles vont pratiquement toutes dans le sens du réchauffement lié à l'effet de serre renforcé par les émissions de CO<sub>2</sub>, pour suivre la pensée dominante.

Lorsque j'ai remis mon rapport en août 2000, j'étais soulagé d'avoir fini en traduisant l'opinion majoritaire sur le sujet. En réalité, j'étais inquiet d'avoir donné en quelque sorte mon aval à la doxa. Une grande interrogation subsistait en mon for intérieur, mais j'étais incapable d'avancer des arguments contraires et de proposer une autre démarche. Une occasion favorable se présenta avec la nomination de mon épouse à Nouméa et je pris ma retraite en essayant d'oublier tout cela.

Aujourd'hui, avec le recul, je me souviens des deux passages du document de la mission effet de serre du gouvernement français qui m'avaient contrarié. Le premier est la liste des impacts potentiels tirés d'une modélisation effectuée par Météo France : en fait, je n'ai pas d'objections à faire puisqu'il s'agit de résultats de scénarios du réchauffement liés au doublement du gaz carbonique. Mon seul commentaire

---

17. L'article de Georges Rossi de l'Université de Bordeaux « *Histoire d'une réussite : le réchauffement climatique* » m'incline à poser la question.

est que ces travaux semblent avoir pour finalité de sensibiliser aux aspects catastrophistes.

En revanche, je ne comprends pas le rôle réel des différents gaz dits à effet de serre. Je suppose que chacun de ces gaz a été isolé en laboratoire où leurs molécules ont été soumises au rayonnement solaire pour évaluer leur comportement dans la transformation en rayonnement infrarouge. Le problème que je soulève est le suivant : comment passer du laboratoire à l'atmosphère et à ses mouvements ? Il me semble qu'il y a là un hiatus, une lacune préjudiciable au raisonnement.

Enfin, j'avais mal jaugé la position de Robert Kandel qui avec ses 6 facteurs d'incertitudes admettait en quelque sorte le lien prépondérant avec l'activité anthropique.

## **C. OÙ EN EST-ON EN 2015, ANNÉE DE LA COP 21 ?**

La doxa de l'an 2000 se prolonge et s'accroît avec l'aide des médias, de certaines organisations non gouvernementales et du gouvernement français.

Poursuivant mon envie d'approfondir mes connaissances dans le domaine des précipitations, j'en viens à la section 2 du 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC de 2014, intitulée « *changements climatiques observés et prévus en rapport avec l'eau* », et au chapitre 2.1.1 « Précipitations (y compris les épisodes extrêmes) et vapeur d'eau ». La synthèse nous fait courir à travers les terres émergées du globe avec des indications parcellaires, voire contradictoires par moment, déplorant l'insuffisance de données de qualité.

Je citerai simplement le paragraphe suivant :

« Il ressort des études théoriques et des modèles climatiques que, sous un climat qui se réchauffe par suite de l'augmentation des gaz à effets de serre, les épisodes de précipitations extrêmes devraient être plus élevés que la moyenne. Il se peut que l'influence des actions anthropiques soit plus facile à détecter dans les précipitations extrêmes que moyennes du fait que les premières dépendent de la disponibilité de la vapeur d'eau, tandis que les secondes sont tributaires de la capacité de l'atmosphère à rayonner de l'énergie aux grandes longueurs d'onde (libérée comme chaleur latente par la condensation) vers l'espace, capacité limitée par

l'augmentation des gaz à effet de serre. Prises ensemble, les études fondées sur les données d'observation et celles basées sur la modélisation aboutissent à la conclusion générale selon laquelle une augmentation de la fréquence des épisodes de fortes précipitations (ou de la proportion des précipitations totales correspondant à de fortes précipitations) a *probablement* eu lieu sur la majeure partie des terres émergées à la fin du XX<sup>ème</sup> siècle et qu'il est *plus probable qu'improbable* que cette tendance prenne en considération une action anthropique. Le niveau de l'intervention humaine ne peut pas être évalué à ce stade. [GT I RiD, 9.5.4, 10.3.6, QF 10.1] »<sup>18</sup>.

Que révèle cet extrait ?

D'abord, on part du fait qu'il y a réchauffement global et qu'il existe une relation forte entre le réchauffement et les gaz à effet de serre, principalement le CO<sub>2</sub>. Comme cela fait partie des hypothèses de départ pour la modélisation, il est impossible de trouver et de prouver une absence de relation.

Le titre indique qu'il s'agit de changements climatiques observés ou prévus : on a donc entremêlé des résultats de modèles climatiques aux observations, ce qui est contraire à une démarche scientifique rigoureuse.

Sur les précipitations extrêmes, je renvoie à ce que j'ai écrit à ce sujet dans *La Traversée de la pluie*, à savoir les très nombreuses mais au demeurant assez faibles connaissances dont on dispose en matière d'observation des précipitations. Par ailleurs, le rapport ne peut envisager que ce qu'il se passe sur les terres émergées - ce qui au demeurant est bien normal puisque ce n'est que là où l'on dispose de données d'observation sur les dernières décennies -, et que les sept dixièmes de la surface du globe sont ignorés.

La sémantique du résumé révèle l'absence totale d'une quelconque certitude : « il est *plus probable qu'improbable* ».

J'essaie de me mettre à la place des rédacteurs à qui on a demandé de faire une synthèse de ce que les groupes de travail *ad hoc* ont trouvé sur le sujet au cours des derniers mois. Bien évidemment, cela part dans tous les sens : ce genre de synthèse devient vite un exercice très difficile voire impossible ou tout bêtement dérisoire. On ne contribue pas à

---

18. Les mots et expressions en *italique* sont dans le texte original.

l'édification du « mur de la science achevée » cher aux épistémologues, mais plutôt à la découverte d'un amoncellement de débris difficilement identifiables. J'ai eu une petite expérience avec les thèses qui étaient proposées pour l'obtention du Prix Henri Milon d'hydrologie décerné annuellement par la Société Hydrotechnique de France. On n'a jamais demandé aux membres du jury de réaliser une synthèse de ces thèses : un rapporteur (1 pour chaque thèse) était désigné hors jury pour faire une synthèse de la thèse examinée, en tirer les points forts et les faibles et donner son avis in fine. Comme il y avait chaque année environ huit thèses présélectionnées<sup>19</sup> le membre du jury se forgeait son opinion et votait souvent en fonction de son passé professionnel, du thème étudié par le postulant et de l'éloquence du rapporteur sur la qualité du travail effectué. Il y avait une très grande diversité de thèmes. Comme le jury comportait une quinzaine de membres, un échange de points de vue avait lieu avant le vote final, lequel pouvait se traduire par la non attribution du premier prix. Il y avait bien sûr des points de vue très divergents, mais pas toujours.

La plupart du temps, je me demandais si la démarche proposée par le postulant était suffisamment scientifique : à vrai dire, je n'en ai eu que rarement la certitude. Très peu de thèses ont porté sur un problème de prévision opérationnelle : c'était surtout de la prédétermination ou simplement de la description de phénomènes actuels ou passés, par exemple les traces laissées par la dynamique fluviale à la fin du quaternaire.

Pour revenir au chapitre 2.1.1 « Précipitations (y compris les épisodes extrêmes) et vapeur d'eau », cet extrait, comme tout l'ensemble du rapport pose la question de sa place dans l'univers de la science. D'une manière générale, on a l'habitude d'opposer les sciences dures aux molles, les sciences exactes aux sciences du flou, du vague, de l'imprécis. Est-ce de cela qu'il s'agit ? Il y a une gradation de la science en partant de son aptitude à prévoir et de la fiabilité de ses prévisions. Il existe des prévisions sans aucune incertitude, ce qui pourrait correspondre à l'expression « sciences dures ou exactes », par exemple celles concernant les éclipses. Il y a ensuite les « *Sciences de l'imprécis* » pour reprendre le titre de l'ouvrage d'Abraham Moles qui y inclut une partie des sciences de la nature, en particulier la prévision météorologique, et toutes les sciences humaines. Je me permets de dégager de cet ensemble les deux catégories extrêmes suivantes :

---

19. Cette présélection m'a toujours laissé dubitatif : elle peut être passée à côté d'un ouvrage digne d'intérêt pour certains membres du jury

- La première, que j'appellerais les conjectures c'est-à-dire les hypothèses, les présomptions ou les suppositions. Une conjecture est une opinion fondée sur des apparences, sur des probabilités<sup>20</sup> qui n'est capable d'aucune évaluation de l'incertitude de ses prévisions. Le texte du GIEC appartient à cette catégorie. Il convient de faire attention dans l'utilisation du mot « conjecture », car pour les mathématiciens ce peut être un théorème non démontré comme le fut celui de Fermat. Dans cette catégorie des conjectures, on pourrait identifier de nombreux cas intermédiaires avant d'aboutir à la dernière. Ce n'est pas mon propos.
- La dernière, que je décrirais comme une martingale, chère aux joueurs impénitents, ou à la lecture du marc de café ! Dans ce cas, le résultat relève entièrement du domaine du hasard plus ou moins biaisé par celui ou celle qui pratique ce genre de prédiction.

En fait, on passe par différentes étapes, du déterminisme le plus pur (la prévision de l'éclipse) à un aléatoire supposé intégral (le chaos apparent des précipitations sur le globe).

Comment s'en sortir ? Je suivrai les préconisations de Yevjevich et d'Harmancioglu pour la recherche en hydrologie<sup>21</sup> et les appliquerai au climat en partant d'une question simple : « quelles sont les causes du climat ? ». Auparavant, je vais revenir sur le fond de la discussion, à savoir le réchauffement global et l'action anthropique.

## **D. L'ÉTABLISSEMENT DES FAITS**

### **1. Le réchauffement est-il réel ?**

Oui si l'on considère les séries de températures affichées par le GIEC.

Ces séries sont-elles irréprochables ? Non si on retient les 2 aspects suivants :

- premièrement, la sincérité de certains membres du GIEC a été écornée par le CLIMATEGATE au début des années 2000. Je

---

20. Comme l'indiquent le Larousse de 1971 et Le Petit Robert de 2016.

21. Page 150 de « *La Traversée de la pluie et l'hydro climatologie* ».

laisse de côté cette polémique sans grand intérêt, en gardant à l'esprit qu'il peut y avoir des doutes sur les conclusions affichées.

- deuxièmement, un mélange de données d'origines diverses peut-il fournir une mesure de la température moyenne globale ? C'est une question qui mérite qu'on s'y arrête.

Il existe au moins trois catégories de procédés pour déterminer la température moyenne globale.

- Par des calculs sur l'énergie reçue et renvoyée par la Terre, on aboutit à une valeur tournant autour de 15°C, voire 14°C pour certains.
- Par des calculs statistiques sur les observations effectuées sur le globe : en l'occurrence plusieurs modes opératoires ont été réalisés, difficiles à décortiquer et à évaluer par un œil extérieur. C'est l'une de ces manières de procéder qui ont été utilisées par le GIEC pour suivre l'évolution au cours des dernières années.
- Par des méthodes paléo climatiques fondées sur la sédimentologie, sur l'analyse des cercles de croissance des troncs d'arbres ou sur d'autres objets d'étude peu propices à une grande précision, mais très utiles pour comprendre l'évolution générale des climats régionaux sur de longues périodes assimilables aux ères géologiques.

Dans le deuxième cas, il est fait une grande confiance aux calculs statistiques sans un œil critique suffisamment acéré. Dans ces conditions, espérer établir une chronique de la température moyenne globale n'a pas de sens d'un point de vue strictement scientifique, car c'est impossible à réaliser de façon irréfutable avec les systèmes anciens de mesure. Peut-être le sera-ce un jour avec les capteurs satellitaires, mais à ce moment-là, il faudra encore attendre un ou deux siècles d'observations !

Questions préalables : que signifie une mesure de température, où l'effectuer et à quel moment ? La solution de recours au réseau d'observations météo avec un abri à 2 mètres du sol répond très imparfaitement à la question. Je me souviens des 3 faits suivants :

- La station de Niamey où l'abri était situé sur une parcelle de gazon dûment irriguée pour satisfaire à une des spécifications de l'OMM alors qu'alentour régnait une sécheresse quasi absolue.
- Les observations effectuées par Morand, un collègue géographe, en forêt de Fontainebleau durant l'épisode de froid de novembre 1962-mars 1963 : il n'avait pas gelé au sol sous forêt<sup>22</sup>.

---

22. Communication orale.

- La variabilité considérable des températures observées par les bénévoles du réseau complémentaire de la météo avait fait l'objet d'un rapport à la commission « hydrologie » du conseil supérieur de la météorologie et justifiait en quelque sorte certaines préconisations de l'OMM.

Tout cela met l'accent sur les risques d'erreurs importantes de ce type de mesurage hors réseau officiel auquel le GIEC est parfois contraint d'avoir recours.

La température de l'air est vraiment délicate à mesurer : alors que penser de l'innovation du thermomètre qui permet de la mesurer au centième de degré ?

Si au lieu de vouloir à tout prix une chronique de la température moyenne globale mesurée on se contente d'un indice ou d'un indicateur sur la période donnée, alors la démarche semble justifiée. En ce sens, la température peut bien augmenter ou diminuer sur la période étudiée, sans que l'on soit obligé de la considérer comme la vraie température moyenne. C'est la tendance de la température moyenne globale qui seule est prise en compte dans ce cas.

Il y a cependant une condition minimale : les données sont toujours recueillies aux mêmes endroits, avec les mêmes protocoles.

Par ailleurs, le réchauffement actuel semble être corroboré par quantité d'observations commencées bien avant le début du dérèglement démographique et la période récente. Un exemple parmi d'autres : le recul des glaciers<sup>23</sup> dans les Alpes. Cependant, au cours du siècle dernier, il y a eu des rémissions importantes comme celle des années 1950-1970.

Avant de commencer à s'interroger sur toutes les sortes de causes possibles du réchauffement observé, posons-nous d'abord la question des mesures elles-mêmes et sur ce qui peut introduire des différences au cours du temps.

Il y a tous les aspects liés à la mesure : l'observateur, le protocole suivi défini par les services de l'Etat où sont effectuées les mesures, les matériels utilisés. Tous ces aspects peuvent entraîner des erreurs soit systématiques soit aléatoires.

---

23. Le temps de réaction des glaciers pour croître ou pour reculer, est très long, bien supérieur à deux décennies, voire à plusieurs siècles.

En général, les erreurs de type aléatoire n'entraînent pas de modification sur la tendance. En revanche, les erreurs systématiques ont une influence importante sur une chronique particulière. Mais comme les résultats de tous les points de mesure sont mélangés pour obtenir une moyenne globale, les erreurs systématiques se trouvent vraisemblablement compensées entre elles. C'est du moins l'hypothèse de départ.

Reste l'environnement de ces mesures, qui pour une partie des stations évoluerait toujours dans le même sens, alors que l'environnement des autres ne change pas. Et là on pense en particulier aux îlots de chaleur urbains. En effet, certaines stations ont été installées à l'origine près des agglomérations, voire à l'intérieur : elles subissent un échauffement dans le temps sur la durée de la chronique d'observation. A elles seules, elles peuvent expliquer une tendance au réchauffement en totale indépendance de toute autre cause<sup>24</sup>.

Même en se contentant d'un indicateur de tendance sur la période d'observation, il reste de nombreuses zones d'ombres.

## **2. La concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère a-t-elle augmenté durant la dernière période ?**

L'historique des relevés montre que la concentration en CO<sub>2</sub> augmente tout autour du globe de la même manière, avec environ 380 ppmc<sup>25</sup> partout dans la basse atmosphère en 2006. Cette augmentation est constante depuis le début des mesures :

- à Mauna Hoa en Hawaï avec 315 ppmc en 1958 ;
- à la station de Mace Head en Irlande (capteur à 25 m de hauteur) avec 350 ppmc en 1992 ;
- à Sand Island au milieu du Pacifique Nord (capteur à 7 m de hauteur) avec 355 ppmc en 1992 ;
- à Cape Grim en Australie (capteur à 94 m de hauteur) de 353 en 1992 à 375 ppmc en 2006<sup>26</sup>.

L'origine semble indiscutablement anthropique, liée à la combustion d'énergies fossiles. Les émissions se mélangent et se répartissent tout autour du globe. Notons qu'il y a un cycle saisonnier de la concentration

---

24. Jacques Dettwiller l'avait déjà observé en étudiant la chronique de la température de la cave de l'observatoire de Paris.

25. Partie par million de concentration.

26. En 2016 on mesure partout près de 400 ppmc.

du dioxyde de carbone dans l'atmosphère qui augmente dans l'hémisphère Nord d'octobre à avril et diminue d'avril à octobre. C'est l'inverse en hémisphère Sud. L'amplitude de ce cycle, d'environ 10 ppmc, n'altère pas la tendance générale observée.

En admettant que la tendance actuelle continue, il y aura forcément un jour, celui où la consommation d'énergie fossile s'atténuera pour redescendre à un palier très bas. Que se passera-t-il ? Y aura-t-il décroissance de la concentration en CO<sub>2</sub> ? Par ailleurs le CO<sub>2</sub> est absolument nécessaire pour la photosynthèse : comment les organismes dépendant de la photosynthèse s'adapteront-ils à ce nouveau palier ?

## **E. CONJECTURE ET RÉFUTATIONS**

Y a-t-il une relation entre les deux phénomènes précédents passés en revue, le réchauffement global et l'augmentation du gaz carbonique dans l'atmosphère, ce dernier étant considéré comme un gaz à effet de serre ? En admettant que la température globale moyenne augmente malgré les zones d'ombres, est-ce le mécanisme de l'effet de serre qui en est responsable, qui en est la cause unique ?

Pour organiser ce chapitre, je me fonde sur la dialectique développée par Karl Popper entre conjecture et réfutation comme moteur de la croissance de la connaissance scientifique.

### **1. La conjecture**

Le GIEC affirme qu'il y a réchauffement global et que c'est l'effet de serre dû principalement à l'augmentation de la concentration du gaz carbonique qui en est la cause.

### **2. Quelques éléments de la réfutation**

- La combustion d'énergies fossiles génère aussi de la chaleur sensible : que deviennent les calories émises ? Ces dernières s'ajoutent à celles provenant des centrales nucléaires et à toutes celles contenues dans les eaux de refroidissement des activités industrielles. Et d'une manière générale dans les rejets d'eau usée : il y a toujours addition de calories à l'eau prélevée pour usage domestique ou industriel. Il y a les rejets directs dans

l'atmosphère bien moindres que les rejets de calories dans l'eau qui se retrouvent dans les rivières puis en mer. A-t-on évalué ces quantités de chaleur qui d'une part participent à l'échauffement des eaux et qui d'autre part faussent vraisemblablement la mesure de la température globale moyenne ? Directement pour les prélèvements en mer, indirectement en modifiant l'environnement des stations terrestres influencé par les îlots de chaleur. Lorsqu'on brûle une énergie fossile on produit de la chaleur avant, ou en même temps qu'on émet du gaz carbonique. A première vue, personne ne se préoccupe de cet aspect. Tous se polarisent sur l'émission de CO<sub>2</sub> rangé pour la circonstance dans la catégorie « gaz à effet de serre ». Or, cette chaleur existe et doit être évacuée. Quel est le meilleur moyen de l'évacuer ? Il y a l'évacuation directe dans l'atmosphère par les réfrigérants atmosphériques des centrales nucléaires comme celle de Nogent sur Seine, mais aussi et surtout l'eau courant à la surface du globe.

- Les rejets d'eau usée : exemple La Mauldre qui reçoit les eaux de la station d'épuration de Saint Quentin en Yvelines. La Mauldre affluent de gauche de la Seine à l'aval de Paris voit sa température augmenter de plusieurs degrés centigrades.
- Les rejets d'eau de refroidissement : exemple la centrale thermique de Porcheville sur la Seine ou la centrale nucléaire de Flamanville sur la Manche.... Le mélange des eaux chaudes (après refroidissement de la centrale thermique de Porcheville) avec les eaux de Seine prend plusieurs kilomètres de parcours en période d'étiage avant de commencer à se réaliser comme cela a été mesuré au début des années 70. Le gradient entre les deux eaux peut dépasser plusieurs degrés centigrades.

On a remarqué aussi que la Seine charriait encore beaucoup de glaçons dans les années 50-60, et que ce phénomène se produisait beaucoup plus rarement depuis.

L'eau est un vecteur remarquable d'évacuation de la chaleur produite. Or où va cette eau ? La plupart du temps elle finit en mer. Comme ce sont des eaux douces, elles restent en surface, là où les échantillons sont prélevés pour en mesurer la température.

Au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, il a existé une période de refroidissement du milieu des années 40 à la fin des années 60. Si bien que certains scientifiques prévoyaient un début de période glaciaire. Comme les temps changent vite ! Durant cette période des stations de mesure ont

migré des centres villes vers les aérodromes comme je l'ai évoqué pour la France au dernier chapitre (le n°28) de *La Traversée de la pluie*. Or les aérodromes sont à l'époque en retrait de l'îlot de chaleur urbain, situation qui va évoluer ensuite. Résumons : dans un premier temps les températures moyennes chutent du fait du déplacement des stations de mesure à l'extérieur des agglomérations, au sein d'aérodromes récemment construits ; puis dans un second elles s'élèvent à nouveau en raison de l'extension de l'urbanisation.

- Quand le petit âge glaciaire s'est produit de la fin du 14<sup>ème</sup> jusqu'à la moitié du 19<sup>ème</sup> siècle, on ne pouvait pas incriminer le taux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère ou tout autre gaz à effet de serre résultant de l'activité du monde intelligent. D'ailleurs on ne connaît pas de façon certaine la raison de cet épisode glacé. Le rayonnement solaire aurait subi un changement lié à la rotation de la Terre.
- Il est difficile de ramener un phénomène observé comme le réchauffement, à une seule cause au milieu d'une telle complexité de facteurs ambiants.
- Je ne connais pas le mécanisme de l'effet de serre. Pour moi c'est une « boîte noire », un mystère dont j'aimerais bien connaître le fonctionnement. Mais c'est une boîte noire qui a deux réalités.
  - Dans la première les entrées et les sorties sont connues car elles sont conçues par des membres du GIEC. De ce fait elles peuvent comporter autant de versions que d'équipes qui fabriquent les différents modèles dont les rapports font régulièrement état. Cela expliquerait au moins en partie, les écarts affichés dans les prévisions du GIEC concernant le futur réchauffement.
  - Dans la seconde on aurait affaire à quelque chose qui ressemblerait à la boîte réelle, celle qui régit le climat, si notre connaissance scientifique était suffisamment développée. Ce qui sera peut-être le cas dans un jour lointain.

Il vaudrait mieux employer l'expression de « forçage radiatif » utilisée par le GIEC, qui permet de présenter aussi bien le réchauffement que le refroidissement, et laisser « effet de serre » aux médias.

Enfin, comment est-on arrivé à évaluer l'aptitude des différents gaz à être « gaz à effet de serre » ? Cela reste une énigme pour moi.

Comment est-on passé de l'évaluation de l'effet de serre de la couverture atmosphérique de la Terre -ce qui la différencie des autres

planètes- au détail des différents gaz dont les variations de concentration restent infimes au regard de l'influence qu'on leur attribue ?

Un dernier point capital concerne la méthodologie suivie pour modéliser. Il existe deux voies pour aborder ce problème :

La première est celle, classique, utilisée par le GIEC avec des modèles numériques fondés sur des lois physiques ou empiriques reconnues agissant au sein de cellules de 10 à 100 km de côté sur 100 à 1000 mètres de hauteur, englobant l'atmosphère, la surface continentale et les océans. Ces cellules sont analogues à celles utilisées par les météorologues, mais affectées de dimensions plus élevées d'au moins un ordre de grandeur. Elles prennent en compte toutes sortes de données supposées en rapport avec la finalité de l'étude, à savoir déterminer l'influence anthropique sur le climat. Elles cherchent à détecter une cause (ici l'augmentation du gaz carbonique) et à lui attribuer la conséquence, en l'occurrence le réchauffement.

La seconde voie se limite à l'observation du comportement du système climatique sans passer par quelque connaissance physique que ce soit. On identifie d'une part les causes (c'est-à-dire les entrées du système : ici la concentration en gaz carbonique dans l'atmosphère, et bien sûr le rayonnement solaire, etc.) et leurs variations et d'autre part les effets produits. C'est une sorte de boîte noire très simplifiée par rapport aux lois de la physique, très utilisée dans le monde industriel. Dans ce cas on n'attribue pas a priori la variation des effets produits à une cause précise comme le fait le GIEC ; on identifie la cause après l'application du modèle. Cette méthode pourtant très complémentaire de la première n'est pas utilisée par les équipes du GIEC.

On trouve de plus amples détails avec le livre de Philippe de Larminat, *Changement climatique : identification et projections*.<sup>27</sup>

En bref, dans le premier cas on détecte l'influence du monde intelligent à l'aide de l'accroissement du dioxyde de carbone et on lui attribue le réchauffement climatique. Dans le second on identifie l'activité solaire comme la cause essentielle.

« Comprenne qui pourra » s'écrie le poète<sup>28</sup>.

---

27. ISTE (Ed.), 138 p. Un compte rendu de ce livre est paru dans la revue *Norois* en 2015, rédigé par Cyril Fleurant.

28. Paul Eluard.

## **F. RÉCAPITULONS**

### **1. Pour revenir à l'établissement de la réalité du phénomène**

- a - Peut-on mesurer la température du globe sur la durée des deux derniers siècles ? Non ce ne peut être que relatif.
- b - Peut-on déceler une tendance, en relatif, sans être contraint à la mesure exacte de la température du globe ? Oui avec des risques d'erreurs pour homogénéiser les données et pour combler les lacunes spatiales dans les séries d'observation avec une méthode statistique comme le krigeage. Voir plus bas.
- c - Il est indéniable que la concentration en gaz carbonique dans l'atmosphère a augmenté de façon quasi constante au cours des dernières décennies.

### **2. Pendant que l'on mesurait la température, que s'est-il passé sur le globe ?**

- a - Le déplacement des points de mesure par suite du dérèglement démographique qui s'accroît entre les deux guerres mondiales, se traduit par leur éloignement vers l'extérieur des villes. Cela ne concerne pas les zones inhabitées.
- b - Qu'entraîne ce déplacement vers l'extérieur des villes et les déplacements successifs liés aux travaux d'extension de l'urbanisation ? C'est un refroidissement remarqué et concomitant d'expressions du langage de l'époque, telles que : « guerre froide » ou « hiver nucléaire ».
- c - A l'époque, beaucoup d'ingénieurs se sont préoccupés de ces transferts et de leur incidence sur les séries d'observation.
  - i. Ils ont procédé à des mesures concomitantes sur plusieurs mois au point de départ et au point d'arrivée pour essayer de corriger les données (les anciennes ou les nouvelles) afin de rendre chaque série homogène.
  - ii. Concrètement, ces travaux ont été effectués. Que sont-ils devenus ? La réalité de la vie a vite fait le tri.

En quoi de nouvelles sources de données pouvaient influencer la prévision météorologique, qui était la principale finalité recherchée à l'époque ? Très vite les services se sont rendus compte qu'ils chassaient une chimère et ont baissé les bras par fatalisme. De plus, cela leur prenait beaucoup de temps, pertes qu'ils ne pouvaient justifier que par une finalité de recherche scientifique, ce dont les chefs de service opérationnel n'ont rien à faire

### **3. Puis démarre une seconde phase avec une relative stabilisation des points de mesure sur les terres émergées**

Elle est soumise à un environnement évoluant sous la contrainte du développement démographique accompagné de l'extension des urbanisations. Et d'une activité toujours croissante du monde intelligent qui utilise davantage de combustibles fossiles, pour ne retenir que cet aspect.

- a - L'utilisation de ces combustibles a un effet direct sur la chaleur dégagée au ras du globe.
- b - Tout cela influe directement sur les températures relevées aux points de mesure des terres émergées.
- c - Question : que devient cette chaleur dégagée au ras du globe ? C'est une piste que j'avais déjà posée dans mon rapport de l'an 2000 en préconisant de faire un bilan de cette production et de son transfert par les eaux.
- d - En effet une grande partie de la chaleur générée est reprise dans les circuits hydrauliques tels que les prélèvements pour l'eau potable et pour d'autres usages (comme le refroidissement) avec en bout de chaîne des rejets d'eau réchauffée dans les milieux aquatiques. Ces eaux réchauffées suivent les cours d'eau et se retrouvent pour la plupart dans les eaux marines sillonnées par les navires à partir des quels on effectue des mesures de température.
- e - Ce qui précède n'est qu'une piste pour suivre le réchauffement. Toutes les atteintes au ras du globe concernant les terres émergées ont aussi une incidence. Cela est évoqué sous le terme « vaste foutoir » dans le dernier chapitre de « *La Traversée de la pluie* ».

#### **4. Il y a la production de dioxyde de carbone**

Quelles sont nos connaissances réelles sur l'effet de serre, sur ses mécanismes, sur ses fonctionnements ? Le dioxyde de carbone a été choisi comme l'emblème de ce « forçage radiatif » ainsi que le GIEC l'a dénommé : c'est un choix pratique pour établir un système de taxation.

Certes, il y a une similitude entre la courbe du réchauffement observé par le GIEC et celle du taux de CO<sub>2</sub> qui augmente. S'agit-il d'une simple coïncidence ou d'une relation effective ? Je lis beaucoup de romans policiers et dans la plupart les enquêteurs ne croient jamais aux coïncidences, ce qui fait que la découverte d'un indice devient la preuve de la culpabilité d'un participant. Même si par la suite, en présence d'autres indices, ils doivent revenir sur leur première conviction. Or, les membres du GIEC ne trouvent pas d'autres indices pour faire machine arrière.

#### **5. Effet de serre ou forçage radiatif ?**

La deuxième expression a été introduite dans les rapports du GIEC pour tenir compte de l'éventualité d'un phénomène qui refroidirait le globe. Pour l'instant tous les voyants du GIEC vont dans le sens du réchauffement, marqué par l'expression fortement médiatisée « effet de serre » dû aux gaz issus de l'activité anthropique.

C'est une précaution plus qu'oratoire. Car comment qualifier ce qu'il s'est passé en France lors du petit âge glaciaire ?

Comment rendre compte du refroidissement lié à une explosion volcanique de grande ampleur ?

#### **6. Le petit âge glaciaire**

Est-ce que le petit âge glaciaire décrit par Emmanuel Leroy Ladurie dans son « *histoire du climat de la France depuis l'an mil* » est la conséquence de l'activité ou de la non activité du monde intelligent ? Non bien sûr.

Ce petit âge glaciaire qui a duré du début du 14<sup>ème</sup> au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle n'a pas reçu d'explication définitive. Nous en restons à des hypothèses. La plus plausible serait liée à un des cycles de Milankovitch. En tout cas il n'y a pas de lien avec l'activité du monde intelligent.

En faisant l'analogie avec aujourd'hui, pourquoi le réchauffement observé par le GIEC ne serait-il pas une simple coïncidence avec l'augmentation du gaz carbonique ?

## **7. Commentaire sur le krigeage**

Les outils mathématiques sont très utiles et nécessaires. Encore faut-il les employer à bon escient sans passer à côté d'aspects importants. Par exemple le krigeage, formalisé par le statisticien français Matheron. Il fut inventé par David Krigde pour l'estimation des filons ou des amas de minerais comme l'or ou le diamant en Afrique du Sud, ce qui donna de très bons résultats : or, ces minerais sont fixés dans l'espace terrestre et leur quantité varie très peu avec le temps<sup>29</sup>. Le krigeage est très efficace dans ces cas là. Mais est-ce bien raisonnable de l'appliquer pour combler des lacunes d'information spatiale sur des variables extrêmement changeantes au fil du temps, comme certains membres du GIEC le préconisent à propos des données manquantes de température ?

---

29. Sauf s'ils sont exploités !

## DEUXIÈME PARTIE

### A la recherche des causes du climat

Voilà un titre très ambitieux.

Tout d'abord, qu'est-ce qu'une cause ? Voyons le Larousse : « ce qui fait qu'une chose existe ; origine, principe : connaître la cause d'un phénomène<sup>30</sup> ; il n'y a pas d'effet sans cause. »

Dans ce qui suit, je vais envisager différents types de causes et les asseoir sur les définitions du dictionnaire.

Les causes déterministes.

Les causes cycliques

Les causes cycliques en va et vient.

Les causes aléatoires.

Les causes tendanciellees.

Les causes bifurcantes, adjectif que j'ai fabriqué à partir du verbe bifurquer et que nous verrons plus bas.

Les causes issues des « mécanismes de télé connexion » pour reprendre l'expression du GIEC, comme l'ENSO et beaucoup d'autres.

A ces causes dont la liste reste ouverte, il faut ajouter les divers bruits provenant de la pratique du mesurage pour produire les observations nécessaires à l'étude des climats et pouvant en altérer les résultats.

Les origines déterministes du climat de la Terre :

- En premier lieu le rayonnement solaire et sa constance, laquelle peut être affectée par le cycle des taches solaires ;
- Ensuite la gravitation universelle et tout ce qui en découle directement de façon déterministe comme les rotations de la terre et de la lune, la force de Coriolis, ....

---

30. Phénomène. « Fait scientifique, observable : chercher les causes d'un phénomène ; les phénomènes naturels. »

Le déterminisme est le principe d'après le quel tout fait a une cause, et dans les mêmes conditions les mêmes causes produisent les mêmes faits, ce qui implique l'existence des lois spécifiques des faits et des causes envisagés.

Les causes cycliques se rattachent au déterminisme, de même que les causes cycliques en va et vient.

Les causes des variations aléatoires. Aléatoire est ce qui repose sur un événement incertain, hasardeux. Se dit d'une grandeur qui peut prendre un certain nombre de valeurs à chacune desquelles est rattachée une probabilité.

Les causes tendancielle. Tendanciel : qui indique, marque une tendance dans une évolution, une orientation déterminée dans l'évolution d'un phénomène.

Les causes bifurcantes. Bifurquer signifie se diviser en deux, à la façon d'une fourche : la route bifurque. Prendre une autre direction. Changer d'orientation. Bifurcation : endroit où une chose se divise en deux. L'adjectif « bifurcant » que je propose, s'applique à un phénomène qui prend une autre direction sous l'effet d'une cause identifiée et appelée bifurcante. La théorie des bifurcations, en mathématiques et en physique est l'étude de certains aspects des systèmes dynamiques. Une bifurcation intervient lorsqu'un changement d'un paramètre physique produit un changement majeur dans l'organisation d'un système.

Les mécanismes de télé connexion : il s'agit là d'une expression employée dans le rapport du GIEC pour désigner des phénomènes découlant des mouvements des énormes masses d'eau océaniques comme El niño oscillation australe (ENSO), l'oscillation Nord atlantique (NAO) et la télé connexion Pacifique - Amérique du Nord (PNA), et influençant le climat des terres émergées les plus proches.

Voyons maintenant quels sont ces différents types de causes qui interviennent dans l'étude du climat. La plupart de mes exemples tourneront autour des précipitations atmosphériques, ce qui n'empêche pas quelques incursions sur d'autres domaines. Passons-les en revue en les regroupant dans deux catégories de durée : les temps géologiques et les temps récents beaucoup plus courts.

## **A. LES CAUSES PERMANENTES AU COURS DES TEMPS GÉOLOGIQUES**

### **1. Les deux principaux facteurs déterministes du climat**

- Le rayonnement solaire et sa constance laquelle peut être affectée par le cycle des taches solaires ;
- La gravitation universelle et tout ce qui en découle directement de façon déterministe comme les caractéristiques des différentes rotations de la terre et de la lune, la force de Coriolis... Par exemple les rotations de la Terre sur elle-même et autour de son axe sont à l'origine des cellules atmosphériques, celles de Hadley, celles de Ferrel et les cellules polaires. L'ensemble de ces cellules détermine le climat de la Terre.

### **2. Les causes cycliques dont les effets s'observent en chaque point du globe**

- Les causes cycliques diurnes avec l'exemple des températures quotidiennes.
- Les causes cycliques saisonnières interviennent dans beaucoup de domaines, par exemple dans la photosynthèse : la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère augmente dans l'hémisphère Nord d'octobre à avril et diminue d'avril à octobre. C'est l'inverse en hémisphère Sud.
- Les causes cycliques lunaires avec l'exemple des marées.
- Les causes cycliques à l'origine des refroidissements et des glaciations mais aussi des réchauffements. Celles-là sont à rechercher pour expliquer les avancées et les retraits glaciaires du quaternaire. Serait-ce la conséquence de l'un des cycles de Milankovitch liés à un effet de la rotation de la Terre ? Cette cause provient-elle uniquement du déterminisme de la gravitation universelle et du rayonnement solaire ? Comment et pourquoi ? Parallèlement, il convient d'être conscient qu'il faut beaucoup d'eau pour mettre en œuvre un glacier et beaucoup de chaleur pour le faire se retirer. Quelles sont les conséquences pour les zones climatiques non directement affectées par ces épisodes glaciaires ?

### **3. Les causes cycliques en va et vient d'un hémisphère à l'autre**

- L'effet entre deux solstices.

1<sup>er</sup> exemple, la répartition des pluies entre les solstices : c'est le travail que nous avons effectué Jean Marie Masson et moi dans l'article publié dans la *Houille Blanche* en 1993 : « *Pourquoi pleut-il davantage le second semestre en hémisphère Nord et inversement en hémisphère Sud* ». Ici, le facteur déclenchant est déterministe : il comprend à la fois le rayonnement solaire et la gravitation universelle avec les trois principaux mouvements rotatoires de la Terre, autour du soleil et sur elle-même avec son axe incliné. L'aléatoire provient de la circulation des masses atmosphériques autour du globe, l'eau y étant représentée sous ses 3 phases : liquide, gazeuse et solide. A l'intérieur de la zone intertropicale ce sont les cellules de Hadley : la répartition des précipitations entre les solstices et les hémisphères y est remarquable. Ailleurs, c'est beaucoup moins tranché ; la cartographie des différences entre premier et second semestre sur les terres émergées des deux hémisphères montre un cône d'abri des chaînes himalayennes qui s'étend en gros de l'Iran à la Bulgarie où la « loi »<sup>31</sup> s'inverse. Il faut bien voir que la rotation de la terre entraîne deux effets apparemment contradictoires. D'abord, les masses d'air mettent environ 8 jours à faire le tour du globe à nos latitudes tempérées, d'Ouest en Est. Pendant ce temps la terre tourne huit fois sur elle-même, laissant derrière chaque relief un cône d'ombre qui s'étale d'Est en Ouest : là encore, il y a une influence aléatoire qui s'insert dans le déterminisme. Il y avait d'autres anomalies dont je ne me souviens plus exactement. Notons enfin l'importance des cordillères américaines (Rocheuses et Andes) et des montagnes chinoises qui entravent la progression des masses d'air en créant des déserts locaux.

- L'effet entre 2 équinoxes.

2<sup>ème</sup> exemple : les mouvements migratoires des hirondelles. Cela n'a rien à voir avec les précipitations, mais c'est pour fixer les idées sur cette notion de cause cyclique en va et vient. J'ai l'impression qu'une hirondelle connaît mieux le climat que moi dans sa partie déterminée. En effet elle se fonde sur la gravitation universelle pour quitter la Bretagne avec l'équinoxe d'automne en tenant compte de l'inertie thermique prolongeant sa source de nourriture à base d'insectes et liée à la constance du rayonnement solaire, puis pour revenir à celui de printemps, sans se

---

31. « Il pleut davantage le second semestre sur l'hémisphère Nord et inversement sur l'hémisphère Sud. »

préoccuper des aléas rencontrés sur le trajet, liés à des types de temps variables issus de la circulation générale et pouvant provoquer de gros massacres. Elle éduque sa progéniture pour renouveler le cycle des migrations, toujours sur la base de la gravitation universelle. Quelques jours avant le départ vers le Sud, elles s'attroupent sur les lignes électriques sans doute pour se répartir les rôles. Comment faisaient-elles avant l'électricité ?

#### **4. Les causes des variations aléatoires**

Celles liées :

- À l'enveloppe atmosphérique du globe terrestre contenant de l'eau (à l'état triphasique gaz, liquide et solide) et à ses mouvements ;
- Aux mouvements des océans.

Ce sont pour partie les domaines propres des sciences météorologique et océanographique.

Par ailleurs, il faut citer les causes des variations aléatoires liées :

- À la naissance de la vie, à son développement et à son extinction ;
- À l'activité du monde intelligent qui impacte fortement la surface du globe et les basses couches de l'atmosphère : vaste ensemble qui est déterminant au ras du globe dans la production et les échanges de chaleur mais que je n'étudierai pas.

#### **5. Les causes bifurcantes**

Elles sont déclenchées par un facteur purement déterministe puis soumises à de l'aléatoire.

##### **5 - 1. Celles provenant du centre de la Terre**

Les causes bifurcantes déclenchées rapidement, voire brutalement avec effet de durée limitée constituent une catégorie où l'on peut ranger les explosions volcaniques comme celle du Krakatoa le 27 août 1883 dans les îles de la Sonde après plusieurs semaines d'éruptions successives.

Dans le cas du Krakatoa, la cause profonde est déterministe : c'est la pression du magma sous la croûte terrestre. La date de l'explosion en elle-même est aléatoire. Elle aurait pu ne pas avoir eu lieu cette

année-là, du moins à cette date-là. Ses effets sur la zone de la cellule de Ferrel dans l'hémisphère Nord ont duré plusieurs mois avec un abaissement notable des températures qui a contribué à pourrir les récoltes. C'est la dissémination des particules volcaniques en haute atmosphère qui en est la cause, phénomène que les astrophysiciens connaissent et désignent comme l'effet parasol. Je n'ai aucune idée des effets sur les précipitations. Plus récemment en 2013, nous avons vécu les éruptions des volcans islandais et leurs effets sur la circulation aéronautique : c'était sans commune mesure.

L'histoire du monde intelligent révèle de très nombreux cas d'explosions<sup>32</sup> volcaniques. Des listes de ces événements existent ici ou là. Mais je n'ai trouvé aucune liste paraissant complète. La plupart de ces explosions ont eu lieu dans l'hémisphère Nord où la surface des terres émergées est de loin la plus importante. Peu de choses sont écrites sur les explosions sous-marines où l'essentiel des particules reste piégé dans l'eau et ne peut traverser l'atmosphère.

L'explosion du Krakatoa estimée à 172 décibels (comparés aux 100 décibels de référence du marteau - piqueur) fut entendue très loin à la ronde, jusqu'à Alice Springs en Australie et aux abords de l'île Maurice. Une autre estimation de la puissance de cette explosion procède par comparaison à la bombe d'Hiroshima, soit un millier de bombes. Je ne sais pas ce que valent ces estimations, mais elles donnent une idée de l'importance de ces phénomènes au regard du climat, sans omettre les nombreux tsunamis générés par la destruction de l'île.

Une autre explosion remarquable fut celle du Tambora en Indonésie qui s'est déroulée principalement le 10 avril 1815 : le panache s'est élevé à 43 km et a déversé une telle quantité de particules que 1816 fut une année sans été en Europe et en Amérique du Nord.

## **5 - 2. Les causes bifurcantes provenant de l'Espace**

Une cause bifurcante brutale avec effet de durée indéterminée : c'est la collision d'un astéroïde avec la Terre<sup>33</sup>. L'épisode de la congélation des mammouths<sup>34</sup> pourrait relever de ce genre de cause. Je ne suis pas paléo climatologue : c'est sans doute vers eux qu'il faut se renseigner.

---

32. J'emploie ce terme et non « éruptions », car l'explosion est la cause principale de la diffusion des particules en très haute altitude surtout au delà des 20 kilomètres où l'effet « parasol » est le plus sensible.

33. Ce serait la cause de l'inclinaison de son axe à l'origine des saisons.

34. Voir le paragraphe en bas de page 55 de « *La Traversée de la pluie* ».

Le choc aurait pu faire se déplacer la zone tropicale où vivaient les mam-mouths vers la zone du cercle polaire et provoquer leur congélation.

## **6. Les causes tendanciennes**

### **6 - 1. Celles liées à l'apparition de la vie sur la Terre**

Il s'agit de causes dépendantes de l'installation du climat sur Terre et qui l'influencent par interaction ou par rétroaction. En premier lieu l'apparition de la vie sur Terre grâce à l'énergie solaire, avec son long développement continu agrémenté de quelques à-coups. Et parmi les causes possibles provenant de la vie je distinguerais la photosynthèse, car c'est elle qui est devenue le cœur des discussions actuelles sur les raisons d'un éventuel réchauffement de la planète et sur les moyens de le diminuer.

Les plantes vertes, terrestres et aquatiques font de la photosynthèse : en présence de lumière elles absorbent du gaz carbonique. Le carbone retrouvé dans les êtres vivants qui ont mangé et digéré ces plantes, provient de ce processus de respiration. Leurs cellules absorbent l'oxygène nécessaire à leur vie, ingèrent une partie du carbone qui va être sédimementé au fond des océans avant fossilisation et rejettent du gaz carbonique excédentaire dans l'atmosphère.

### **6 - 2. Celles liées au développement du monde intelligent**

- L'explosion démographique (la population du globe passant d'un facteur 1 à un facteur 7 en 150 ans, avec continuation du phénomène pour les décennies à venir) entraîne *de facto* une croissance exponentielle des activités humaines. Prenons seulement un aspect, celui de l'habitat : l'occupation au sol avec ses dessertes de communication s'est étendue et continue de s'étendre, même si les constructions en hauteur se sont développées.

Souvent l'occupation au sol a fait fi de certaines réalités comme les zones inondables le long des cours d'eau mais aussi de l'évacuation des eaux pluviales suite à des événements pluvieux plus ou moins localisés et plus ou moins rares.

En un mot, le dérèglement démographique est la première cause de l'augmentation des risques soit d'inondation par un cours d'eau riverain ou de débordement des évacuateurs soit de sécheresse provoquant une insuffisance des ressources pour

l'alimentation en eau. En admettant que le climat soit resté stationnaire, ce qui reste à prouver, on voit que la principale cause du prétendu dérèglement climatique est le dérèglement démographique et non l'inverse.

- La croissance de la connaissance scientifique et sa conséquence sur le développement gigantesque des techniques de toutes sortes.

Le résultat de l'activité de 1 million d'habitants d'aujourd'hui n'est pas celui de 1 million d'il y a 150 ans. Entre temps, la synergie s'est développée avec un monde intelligent en croissance permanente et doté de moyens techniques de plus en plus amplifiés.

- L'accroissement de l'urbanisation n'est pas la conséquence d'un fait climatique : c'est plutôt l'accroissement démographique associé au phénomène d'urbanisation galopante qui entraîne le développement des îlots de chaleur urbains, dont la température ne cesse d'augmenter avec l'extension des agglomérations. On parlait naguère de 5°C entre Paris et la campagne environnante il y a 2 ou 3 décennies, maintenant on envisage 8°C. L'albedo<sup>35</sup> diminue en ville et les surfaces bâties absorbent une plus grande quantité de rayonnement qu'elles réémettent ensuite sous forme de chaleur.

Les derniers siècles, ceux où l'on possède des mesures sur les variables du climat correspondent à un développement croissant de la démographie et de l'activité du monde intelligent.

- Un dernier constat : les tendances varient dans le temps, augmentent ou s'atténuent.

Elles peuvent s'annuler, voire s'inverser : c'est un fait dont il faut tenir compte. Ainsi, lorsque dans un siècle ou deux il n'y aura plus d'énergie fossile utilisée, l'émission de CO<sub>2</sub> cessera d'augmenter. Sa concentration dans l'atmosphère diminuera par la photosynthèse et ne pourra être incriminée en tant que cause de réchauffement. Enfin, les causes tendanciennes sont aussi sujettes à des aléas.

---

35. L'albedo, fraction de la lumière reçue que diffuse un corps non lumineux par lui-même, est un indice qui varie de 0 à 1. Il caractérise un corps noir qui absorbe la totalité de l'énergie incidente et est alors égal à 0. Il est égal à 1 lorsqu'il renvoie la totalité de l'énergie incidente, en l'occurrence ici l'énergie solaire. Au cours des dernières décennies, l'albedo a fortement varié sur les zones où l'activité humaine a été très développée. C'est une cause déterministe.

## 7. Les mécanismes de télé connexion entre les masses marines (et leurs courants) et les terres émergées soumises aux mouvements de l'atmosphère

Pour le GIEC, il s'agit de décrypter l'influence des différentes masses marines sur le climat des terres émergées. Ces mécanismes varient au gré des changements de répartition des océans et des terres émergées au cours des ères géologiques. D'une manière générale, les masses marines sont exposées aux deux principales causes déterministes : le rayonnement solaire et la gravitation universelle, cette dernière s'exprimant aussi par la force de Coriolis. Une première remarque s'impose concernant la séparation hémisphérique des océans Pacifique, Indien et Atlantique par un courant équatorial s'établissant d'Ouest en Est : en hémisphère Sud les masses océaniques sont affectées d'un mouvement dans le sens des aiguilles d'une montre et inversement en hémisphère Nord. Les mers et les lacs subissent aussi ce type de mouvement dû à la force de Coriolis. Le premier cas d'étude le plus médiatique est celui de l'ENSO<sup>36</sup>. C'est aussi la découverte la plus ancienne que l'on doit au britannique Gilbert Walker en 1920 en comparant la pression barométrique du Pacifique Sud avec celle de l'océan Indien. La force des alizés, la répartition des précipitations, le niveau de la mer et le positionnement de la thermocline<sup>37</sup>, tous sont impactés par ce phénomène cyclique dont l'étude se poursuit.

On peut dire que nous sommes au tout début des investigations sur ces zones de mécanismes de télé connexion. Ce qui m'intéresse est relatif aux impacts sur les précipitations. Et en l'occurrence, hormis quelques indications de lieux plus particulièrement concernés *a priori*, les choses restent vagues, floues et imprécises. Ceci est normal puisque nous sommes au début des recherches sur le rôle de chacun des océans. Par exemple, le phénomène climatique appelé « Dipôle Océan Indien » découvert par le japonais Toshio Yamagata en 1999, aurait des impacts importants sur le climat de l'Inde et des pays alentours : il découlerait d'anomalies de température de la surface de l'Océan Indien. La majorité de la chaleur disponible à la surface de la terre est emmagasinée dans les océans, qui de ce fait jouent un rôle important sur le climat, complémentaire de celui de l'atmosphère.

Il existe une grande quantité de mécanismes de télé connexion dont l'inventaire n'est pas terminé.

---

36. El Nino - Southern Oscillation

37. La séparation entre les eaux chaudes de surface et celles plus froides de la profondeur.

## **8. Autres causes possibles**

### **8 - 1. Les courants jets**

Le phénomène a été découvert lors d'un vol de reconnaissance avant le largage de la bombe d'Hiroshima. Les météorologues suivent leurs variations qui servent aux compagnies aériennes pour calculer les trajectoires de leurs aéronefs et cherchent à comprendre leur influence sur le climat.

### **8 - 2. Le forçage radiatif**

Le cas a été abordé avec le renforcement de l'effet de serre sous la production anthropique de dioxyde de carbone. Ce phénomène peut se produire aussi en sens inverse par exemple dans le cas des aérosols. Tout ne semble pas avoir été exploré par les physiciens.

### **8 - 3. Le magnétisme**

- Le magnétisme terrestre pour mentionner l'influence du globe terrestre et pour faire référence à Vincent Courtillot, dans « son nouveau voyage au centre de la Terre », et à ses équipiers.
- Le magnétisme solaire dont une expression est l'existence d'un cycle de taches solaires. Les périodes froides coïncident avec des périodes où les taches solaires sont rares et pourraient être une des causes du petit âge glaciaire.
- La ceinture de Van Allen se traduit par deux ceintures magnétiques de l'atmosphère fortement chargées d'énergie.

### **8 - 4. Les cycles orbitaux de la Terre identifiés par Milutin Milankovitch**

- 1. L'excentricité de l'orbite terrestre qui passe du cercle à l'ellipse tous les 100000 ans : de ce fait la distance du soleil à la Terre varie.
- 2. L'inclinaison de l'axe qui peut varier de 3° tous les 42000 ans.
- 3. La précession des équinoxes due à la rotation de la Terre selon un cycle de 25000 ans.

Apparemment, ces causes concernent peu les changements dans la vie d'aujourd'hui, mais il convient de les mentionner.

## **9. Pour mémoire, les bruits affectant les observations, notamment les protocoles de mesure**

### **B. LES CHANGEMENTS AU COURS DES ÈRES GÉOLOGIQUES**

Les principaux changements résultent de ce que Wegener appelait la dérive des continents, qu'il avait déduite de la simple observation des limites des terres émergées. Par exemple les côtes brésiliennes s'emboîtaient dans celles de l'Afrique, avec de multiples preuves tirées de la géologie. Longtemps raillée par « d'éminents spécialistes » la théorie de Wegener fut réhabilitée par la « tectonique des plaques<sup>38</sup> ».

Ces changements affectent principalement les mécanismes de télé connexion évoqués ci-dessus.

- La répartition des terres émergées et des océans en surface du globe qui peut être jugée stable sur plusieurs millénaires : actuellement c'est l'hémisphère Nord qui possède la plus grande part des terres émergées sans qu'on sache si ce fait a une influence déterminante sur le climat du globe.
- La disposition et l'importance des reliefs et de leurs orientations. L'orographie fait obstacle à l'écoulement des masses d'air. C'est une cause déterministe. Conjuguée avec l'aspect aléatoire de l'écoulement des masses d'air, l'orographie tient une place très importante dans la répartition des pluies autour du globe : j'en ai fait l'expérience sur une toute petite partie, celle du bassin Seine Normandie avec ce que j'ai nommé le « gradient pluviométrique »<sup>39</sup>. Cette méthode empirique n'est pas applicable partout telle quelle<sup>40</sup>. Elle mérite une adaptation au cas par cas.

---

38. Un ami fervent acteur et spectateur de compétitions sportives utilisait l'expression « tonique des claques ». Pour lui, recevoir une raclée devait amener à réfléchir et à réagir pour aborder les futures compétitions.

39. Voir le chapitre 2 « *La cartographie des précipitations annuelles* » pp 23-27.

40. Pierre Guillot me faisait remarquer que sur le Jura, le maximum pluviométrique se situait beaucoup plus à l'Ouest de la ligne de crêtes bordant la frontière suisse.

## **C. CONCLUSION PROVISOIRE**

Cette recherche des causes du climat de la Terre n'est pas exhaustive ; ce n'était pas le but. Elle aboutit plutôt à un début de classement en catégories. Qu'apporte-t-elle ? Les causes possibles, même si elles ne sont pas toutes identifiées, sont très nombreuses et de natures très différentes. En l'état, il semble difficile d'affirmer sans conteste que c'est celle-là ou que ce sont celle(s)-là qui est (ou sont) responsable(s) du réchauffement global actuel observé.

Il est certain que le climat évolue de façon permanente avec ou sans à-coups. Cette évolution peut laisser apparaître des plages jugées stationnaires, comme celle qui accompagne l'histoire du monde intelligent depuis quelques millénaires.

## TROISIÈME PARTIE

### Les précipitations sur le globe

En écrivant « *La Traversée de la pluie et l'hydro climatologie* », mon propos a particulièrement abordé les trois sujets suivants : le bilan hydrique global annuel, les totaux annuels de précipitations et les pluies quotidiennes. Je reviens sur eux ci-après.

L'établissement station par station des chroniques pluviométriques journalières a été traité longuement dans « *La Traversée de la pluie* ». Il y a différentes façons d'aborder l'étude de ces chroniques. Pour ma part, je me suis intéressé à deux types de données : les totaux annuels de précipitations et les pluies maximales journalières sur lesquelles je reviendrai in fine.

De nombreux traitements peuvent être appliqués aux totaux annuels de précipitations en dehors de l'établissement d'une chronique homogène :

- Le tracé des isohyètes à partir de toutes les stations en faisant appel aux coordonnées géographiques (longitude, latitude et altitude) et en confrontant les résultats avec les isohypses et avec d'autres éléments comme la distance à la mer, l'orientation des vents pluvieux, etc., comme j'ai tenté de l'expliquer dans *La Traversée de la pluie*, avec l'exemple du bassin Seine Normandie.
- La confection des moyennes mobiles sur  $x$  années, station par station ( $x$  pouvant prendre la valeur de 30 ans comme à l'habitude ou une autre valeur convenant mieux au chercheur). J'ai donné un exemple avec le travail de Petit-Renaud sur la façade atlantique.
- La recherche d'une loi de probabilité pour décrire l'ensemble des totaux annuels de précipitations d'une chronique, et extensible aux autres chroniques, c'est ce j'ai effectué sur 35 stations réparties sur le territoire de Seine Normandie et alentour avec deux lois, celles de Gauss et de Galton.
- La liste de ces traitements est longue et pas forcément exhaustive.

## **A. LES TOTAUX ANNUELS DE PRÉCIPITATIONS**

Je commence avec l'établissement des coefficients de variation<sup>41</sup> des totaux annuels de précipitations (c.v.) de chaque station et leur géographie.

### **a. La découverte du c.v. constant sur une zone (c.v. est le coefficient de variation des totaux annuels de précipitations à une station donnée)**

Au début de l'été 1967, j'ai reçu ma nomination d'attaché de recherche : j'étais affecté à un laboratoire de géographie physique de la Sorbonne qui me demandait des heures de travaux dirigés dont le thème n'était pas fixé, en plus de mes travaux de recherche à définir. A l'époque, je réalisais des études climatologiques à l'agence financière de bassin Seine Normandie. Je venais de découvrir que le coefficient de variation des totaux pluviométriques annuels était constant et égal à 0,18 sur l'ensemble du bassin et alentour comme je l'évoque dans *La Traversée de la pluie*. J'étais déjà passé à autre chose sans avoir pris le temps de réfléchir aux conséquences de cette découverte. De fait, j'étais troublé par cette nomination d'autant qu'on me rattachait à un directeur de recherche de la Sorbonne peu passionné par la climatologie et que je ne me sentais pas fait pour l'enseignement, même supérieur. Que devais-je faire ?

Je fis tout de suite part de cette nomination à mon directeur François Valiron en lui disant que je voulais continuer mon travail de recherche à l'agence. Le salaire qu'on me proposait était à peu de choses près équivalent à celui que je percevais à l'agence. Ma question était la suivante : serait-il possible que je sois embauché au CNRS en restant affecté à l'agence ? Cette éventualité intéressait évidemment Valiron, qui aurait gagné un emploi. Comme il connaissait le précédent directeur du CNRS, il m'emmena le rencontrer d'autant qu'il voulait discuter d'un autre sujet avec lui. « Jeune homme vous n'y pensez pas : le détachement d'un directeur de recherche peut s'envisager, à l'extrême rigueur celui d'un maître de recherche mais pas d'un simple attaché ». Mon cas était tranché. Le mois suivant j'eus la surprise de voir mon salaire augmenter d'environ 10% !

---

41. Le rapport de l'écart type à la moyenne.

Je suis passé rapidement à d'autres occupations sans avoir publié dans une revue scientifique puisque je trouvais suffisant que ces résultats paraissent en collaboration avec Raymond Arléry<sup>42</sup>, dans la monographie du bassin Seine Normandie dirigée par Jean Tixeront. J'étais coupé du monde organisé de la recherche et cela me convenait parfaitement. Donc pas de confrontation avec des « pairs » comme cela s'est généralisé depuis. J'ai assisté de loin à diverses tentatives d'ajustements des totaux pluviométriques annuels à différentes lois de probabilités, pensant que ces travaux étaient utiles pour la formation des nouveaux venus, mais peut-être superfétatoires à cause de la constance des c.v. Encore fallait-il le montrer.

### **b . A la recherche d'autres c.v. trouvés ailleurs sur le globe**

Après la publication de *La Traversée de la pluie* en 2014, soit près de cinquante ans plus tard, je me suis mis en quête d'autres résultats de coefficients de variation des totaux pluviométriques annuels sur l'ensemble de la planète. En lisant plus attentivement « *Climats et Sociétés* » de Denis Lamarre et Pierre Pagney, je trouvai un premier indice. Il concernait une référence à un travail de Jean Luc Racine sur l'Inde publié dans la revue Hérodote, en 1985. Cet auteur a géographié<sup>43</sup> le coefficient de variation des pluies annuelles de l'Inde, le pays objet de son étude. Ce coefficient va de 15% sur la côte occidentale (au Nord du Kerala) à un peu plus de 30% au Nord Ouest<sup>44</sup>. L'est de l'Inde a un pourcentage inférieur à 30%, voire 20%. Racine note aussi : « la crise agricole n'est pas en soi une crise climatique, qui supposerait un changement de tendance du climat, une altération profonde [...] ; elle est l'expression de la normalité : car les accidents sont récurrents, parfois plus graves qu'à l'ordinaire »<sup>45</sup>.

Ces quelques mots démontrent à quel point le recours à une bibliographie pertinente est le bienvenu dans les activités de recherche : beaucoup de chercheurs ont observé des faits que nous ne savons plus voir, obsédés que nous sommes par la statistique. L'activité numérique sert de complément très utile mais ne peut tout. En revanche, elle peut contribuer à masquer bien des choses qui ont été déjà décrites dans le passé.

---

42. Il était le chef de la division climatologie de la météorologie nationale.

43. Je reprends « géographier » ce terme cher à Denis Lamarre en lieu et place de « cartographe » surtout lorsqu'il s'agit de rester sur les terres émergées.

44. Page 175 de l'ouvrage de Denis Lamarre et Pierre Pagney

45. *Ibidem*, page 180.

Il y a quelque mois déjà, je pensais qu'il serait urgent et bienvenu que quelqu'un établisse la carte mondiale du coefficient de variation des pluies annuelles, sachant qu'il y aura toujours le problème récurrent du vide d'observation sur la surface des mers et océans.

C'est à ce moment que j'ai reçu une lettre de Denis Lamarre m'affirmant : « la carte des c.v.<sup>46</sup> des pluies annuelles à l'échelle planétaire existe depuis longtemps. Je m'en suis souvent servi pour les TD de climatologie en licence, mais j'ai si bien classé le dossier que je ne le retrouve pas ! »

Il est possible que Jean Luc Racine ait eu accès à cette carte, ce qui expliquerait sa connaissance du coefficient de variation des pluies annuelles sur l'Inde.

Je me dois de citer plus longuement la lettre de Denis Lamarre. « Le climat [global], i.e. le système TOAE - Terre Océans Atmosphère Espace – est un système physique extrêmement complexe, fondamentalement chaotique, dont l'expression majeure (météorologique) est la circulation générale de l'atmosphère. Les différents climats sont produits, aux échelles spatiales considérées, par la succession habituelle des masses d'air au sein de la circulation générale. Exemple, d'après la thèse de Pierre Pédelaborde (1957) : le climat du Bassin parisien est caractérisé par la succession saisonnière des masses d'air qui multiplie les occurrences de pluies faibles. D'où le faible c.v. de 0,18. Au Kérala, la mousson est courte, mais régulière en rythme saisonnier et en abondance pluviale, d'où un c.v. également faible, malgré 4 à 5 fois plus de pluie qu'à Paris. Dans les deux cas (Bassin de Paris, Kérala) la configuration habituelle de la dynamique de l'atmosphère donne à la moyenne annuelle des pluies une indiscutable réalité ; c'est évidemment l'inverse dans les régions arides, d'où des c.v. élevés. »

### **c . Enfin une carte des c.v. sur le globe**

En navigant sur internet, j'ai trouvé un rapport du Met Office Hadley Centre sur « *Climat sahélien : rétrospective et projections* »<sup>47</sup>. A ma grande surprise en page 5 il y a la figure 1 reproduisant un planisphère coloré avec la légende suivante : « La carte présente le coefficient de variation des précipitations annuelles (écart-type normalisé par rapport aux valeurs de référence). Le Sahel se distingue comme étant l'une des

---

46. Coefficient de variation des précipitations annuelles : j'emploierai l'abréviation c.v. par la suite.

47. Rapport du secrétariat du club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest.

régions où la variation est la plus prononcée. La carte est établie à partir de données du CRU<sup>48</sup> (Mitchell et Jones, 2005). »

La carte des coefficients de variation de Mitchell et Phil Jones présente des couleurs censées être ordonnées par ordre croissant entre le vert clair et le rouge foncé. C'est une classification ordinale : le vert clair représente la catégorie des plus faibles coefficients constants de variation et couvre la partie septentrionale de l'Europe, de l'Asie et de l'Amérique du Nord. Les hautes latitudes de l'hémisphère Sud appartiennent à cette catégorie, mais les terres émergées où il existe des stations d'observation sont beaucoup plus restreintes en superficie.

La carte n'exprime aucune valeur cardinale : cependant on peut parier que la valeur du vert sur les hautes latitudes de l'hémisphère Nord se situe près de 0,1.

Le Sahel (12°N-20°N), région semi-aride située au Sud du désert du Sahara, est très vulnérable à la variabilité annuelle : sur la carte il figure en rouge ce qui représente vraisemblablement une valeur du c.v. supérieure à 1. Le rapport fait état de très nombreux travaux d'analyse des chroniques disponibles dans l'espoir de trouver un lien avec le réchauffement climatique et l'action de l'homme : sans résultat probant. Le Sahara figure en blanc, sans ordre de grandeur du c.v. En examinant attentivement cette carte on perçoit aussi l'importance de l'influence des reliefs comme l'Himalaya, qui déporte les forts c.v. vers le Nord en relation avec le mécanisme de télé connexion de l'océan Indien. C'est vrai aussi pour l'Alaska où le mont Mac Kinley culmine à plus de 6000 mètres d'altitude et pour le Yukon voisin au Canada.

En hémisphère Sud, on retrouve une bande zonale de fort c.v. avec l'Australie du Nord Ouest, la Namibie et le Nord du Chili.

Enfin, cette carte ordinale des coefficients de variation de Mitchell et Phil Jones démontre que du chaos initial local apparent semble naître un ordre global. Le c.v. se géographie d'abord de façon zonale en suivant approximativement l'axe des latitudes ou parallèles. Sa valeur progresse en s'éloignant des hautes latitudes vers l'équateur. Tout cela me remémore la remarque de Théodore Monod : « les lignes, les frontières n'existent que sur nos cartes : la nature est d'un seul tenant et, malgré l'artifice de l'homme qui découpe la réalité en tranches pour la

---

48. Climate Research Unit (East Anglia University).

commodité du langage, demeure, malgré nos atlas, un évident continuum.<sup>49</sup> »

Concernant les reliefs, il faut se souvenir de la remarque d'Ernest Bénévent à propos des Alpes françaises : les précipitations y croissent jusqu'à un optimum autour de 2000 mètres d'altitude. Au-delà, elles décroissent avec l'épaisseur des masses nuageuses. Si vous faites un vol sur un jet d'une compagnie commerciale, à 10 000 mètres d'altitude vous survolez très largement les nuages à quelques exceptions près comme le franchissement de la zone de convergence inter tropicale (ZCIT). Par leur présence, les reliefs élevés modifient la répartition des précipitations annuelles au sol, surtout si en outre ils font partie intégrante d'un mécanisme de télé connexion. Ils participent vraisemblablement à une variation des c.v. Comment ? Je ne sais pas. En tout cas, ils perturbent la circulation générale atmosphérique au niveau de la troposphère. Aux hautes latitudes de l'hémisphère Sud où ils sont absents, c'est le lieu des quarantièmes rugissants, des cinquantièmes hurlants et des soixantièmes mugissants.

La zone vaste des hautes latitudes de l'hémisphère Nord semble située sur la cellule polaire et en partie sur celle de Ferrel. C'est la toundra et la taïga, où les précipitations annuelles sont assez faibles en plaine, de l'ordre de 100 à 200 mm. Le c.v. y est constant, le plus faible du monde d'après la carte de Mitchell et Phil Jones. C'est un constat. Comment se fait-il que le c.v. des totaux de précipitations annuelles soit constant en tout point de cette zone, exceptés l'Alaska et le Yukon au Canada ?

## **B. LE RÉSERVOIR HYDRIQUE DE L'ATMOSPHÈRE**

### **a . Partons d'hypothèses solides**

A notre époque géologique :

- la quantité d'eau contenue dans le globe est constante ;
- la surface des terres émergées est constante ;
- la répartition des reliefs et leur importance ne varient pas ou leurs variations sont tout à fait négligeables ;

---

49. *Les déserts*, page12.

- les rotations de la Terre sur elle-même (cycle diurne), autour du soleil (révolution annuelle) et sur son axe avec un effet en va-et-vient déterminant les saisons sont considérées constantes, de même que la force de Coriolis qui en découle ;
- les rotations de la Lune sont connues, de même que leurs influences sur les marées ;
- l’atmosphère terrestre reste elle aussi constante en volume, même si certains de ses composants varient ;
- la hauteur de l’atmosphère est de 60 km au droit de l’équateur et de 30 km aux cercles polaires ;
- le rayonnement solaire reste constant aux taches solaires près ;
- enfin les flux hydriques entrants annuellement dans l’atmosphère sont égaux aux flux sortants, l’ensemble étant régulé par le rayonnement solaire et la rotation de la terre.

### **b . Les conséquences envisageables**

Tout cela contribue à ce que le réservoir hydrique de l’atmosphère reste globalement constant, mais en quantité beaucoup plus importante au niveau de l’équateur, pour les trois raisons suivantes : la hauteur de l’atmosphère, l’impact plus important du rayonnement solaire et la température interne favorisant un plus grand stockage de l’eau sous ses 3 phases : vapeur, liquide et solide.

Par ailleurs, le cycle de la rotation de l’axe terrestre provoque un effet en va-et-vient de la ZCIT (Zone de Convergence Inter Tropicale) accompagné du déplacement des limites des cellules de Hadley, de celles de Ferrel et des polaires<sup>50</sup>. C’est l’effet saisonnier, lequel se traduit par un déplacement égal à la distance entre les tropiques, de l’ensemble du réservoir hydrique du Nord au Sud puis du Sud au Nord pour revenir à l’emplacement initial au bout d’un an (révolution annuelle) et ainsi de suite.

Donc le pas de temps de l’année est un choix heureux : on peut et on doit s’intéresser aux précipitations totales annuelles et à leurs coefficients de variation, quelle que soit la date choisie de début de l’année. En l’occurrence, l’année civile convient parfaitement puisqu’elle est utilisée par les tous les services climatologiques.

---

50. Pour le déplacement annuel de la ZCIT voir [https://fr.wikipedia.org/wiki/Zone\\_de\\_convergence\\_intertropicale](https://fr.wikipedia.org/wiki/Zone_de_convergence_intertropicale)

Arrêtons-nous sur l'expression « réservoir hydrique global atmosphérique ». A mes yeux, elle traduit à la fois un concept et un objet concret, l'atmosphère dans sa partie troposphérique la plus dense c'est-à-dire celle au contact de la Terre. Pour être plus précis, on devrait donc dire « réservoir hydrique troposphérique ». Le concept décrit les flux hydriques qui y entrent grâce à la pompe solaire et qui en sortent pour cause de trop plein. Je ne m'aventurerai pas sur les processus de formation des précipitations, ni a fortiori sur ceux d'évaporation : c'est un luxe de détails qui ne convient pas pour l'élaboration de bilans globaux.

### **c . Justification de l'approche par les précipitations**

Pourquoi ai-je systématiquement évacué l'approche par l'évaporation ?

Je dois une explication au lecteur. L'évaporation et l'évapotranspiration sont chères aux hydrologues, qui raisonnent sur tout ou parties des terres émergées. Or, sur mer, il y a aussi évaporation dont les hydrologues n'ont pas besoin, à tort ou à raison. La transpiration a été introduite par les agronomes, soucieux des besoins en eau des plantes, et les hydrologues l'ont incorporée dans leurs études sur tout ou partie des terres émergées. Dans un raisonnement global où les données mesurées les plus nombreuses se rapportent aux précipitations, et où l'évaporation et l'évapotranspiration reposent uniquement sur des calculs qui font intervenir différentes variables mesurées ou estimées, plus ou moins accessibles et toujours en très petit nombre, j'ai donc opté pour raisonner uniquement à partir des précipitations. Cela m'a conduit à imaginer un réservoir hydrique implanté dans l'atmosphère où les entrées résultant de l'évaporation sont égales aux sorties que sont les précipitations sous leurs différentes formes. Bien sûr, ce réservoir imaginé est une expression abstraite digne d'un concept bien pratique pour un raisonnement global.

La plupart des agronomes et des hydrologues ne cherchent pas à comprendre l'enchaînement des causes qui font que leurs résultats fluctuent<sup>51</sup>. Ils ont chacun une finalité bien précise et trouvent généralement une solution en traitant leurs entrées avec des modèles probabilistes. Est-ce satisfaisant ?

---

51. C'est un constat que font ceux qui réfléchissent au devenir des sciences hydrologiques, comme Yevjevich. Voir *La Traversée de la pluie*, pages 150 sqq.

On peut dire qu'il s'agit là d'une conséquence de la « barbarie du spécialisme » chère à José Ortega y Gasset et évoquée dans *La Traversée de la pluie*. On ne se préoccupe pas du voisin, a fortiori de celui qui pourrait donner une vue plus déterministe des entrées de notre problème. Et on passe ainsi à côté de possibles solutions.

#### **d . L'évaluation du réservoir hydrique global atmosphérique**

On a vu dans *La Traversée de la pluie*, que le réservoir sans cesse renouvelé par l'évaporation fournissait au total 577 milliers de kilomètres cubes de précipitations par an sur l'ensemble de la surface du globe, selon l'estimation de l'équipe de Shlikomanov en 1993. Rappelons l'évaluation de Baumgartner et Reichel en 1975, soit 496 milliers de kilomètres cubes, et celle de Wust en 1922, soit 334 milliers de kilomètres cubes. Je ne sais toujours pas pourquoi ces évaluations diffèrent autant. S'agit-il de différences des méthodes de calcul ou d'une évolution des conditions environnementales lors desdits calculs ?

Pour fixer un ordre de grandeur comparatif de ces évaluations, le volume du lac Léman est de 89 kilomètres cubes. J'ai conservé la dimension en kilomètres cubes en pensant que les giga mètres cubes sont moins parlants. Chaque année, il entre et sort de l'atmosphère l'équivalent de 3750 fois le volume du lac Léman<sup>52</sup>. C'est énorme.

Premièrement, on sait que la hauteur de l'atmosphère est la plus élevée au dessus de l'équateur : 60 kilomètres contre 30 kilomètres au dessus des hautes latitudes et que par conséquent la répartition méridienne des volumes du réservoir hydrique reflète cette différence.

Deuxièmement, on sait aussi que les plus fortes précipitations annuelles tombent dans la zone intertropicale malgré les deux ceintures zonales de déserts, l'une en hémisphère Sud, l'autre au Nord.

Troisièmement, la quantité totale précipitée est la même d'une année à l'autre : ce que l'on peut supposer sur une zone quelconque considérée entre deux parallèles.

Quatrièmement, il convient de prendre en compte les moyennes mobiles effectuées par Petit-Renaud<sup>53</sup> sur la façade atlantique de l'Europe : leur allure générale est semblable et montre la même succession

---

52. En se fondant sur l'évaluation de Wust, la plus faible.

53. *La Traversée de la pluie* pp 91 et 92.

d'années humides ou sèches sur cet axe. Ce fait semble corroboré par la remarque que m'avait faite Louis Serra<sup>54</sup> à propos des sécheresses sur la France et l'Europe occidentale.

Cinquièmement, la rotation de la Terre sur elle-même entraîne le déplacement du réservoir hydrique d'Ouest en Est sur la zone de Ferrel pendant toute l'année (Ce qui correspond à l'action des westerlies, les vents d'Ouest). Dans le même temps, elle répartit (au hasard ?) les précipitations sur toute la zone.

Sixièmement, le hasard faisant bien les choses le c.v. de chaque point de la zone est le même. Le hasard serait-il une forme d'expression du déterminisme ?

Septièmement, il reste à tracer les isohyètes pour voir la répartition des précipitations annuelles et avoir accès à un mode de calcul du total des précipitations annuelles sur le globe. Mais on ne peut le faire que sur les terres émergées.

## **C. REMARQUES COMPLÉMENTAIRES SUR LES C.V. DU GLOBE**

En accord avec tout ce qui précède, le c.v. se géographie d'abord de façon zonale, aux hautes latitudes de l'hémisphère Nord où il se trouve constant et le plus faible excepté en Alaska, où il se brouille avec les reliefs. Le mont Mac Kinley est à plus de 6000 mètres et explique au moins en partie la confusion des couleurs de la carte de Mitchell et Jones, cette confusion traduisant des c.v. fort différents.

Je reviens sur la croissance des c.v. depuis les hautes latitudes jusqu'à la zone équatoriale. Je n'ai pas discuté avec un mathématicien statisticien mais il me semble que la loi de probabilité décrivant la chronique de précipitations totales annuelles avec un c.v. égal à 0,1 ne peut pas être la même que celle correspondant à un c.v. supérieur à 1 et qu'il se produit une flexion de cette loi pour délivrer des lois assez différentes pour chaque classe de c.v. entre 0 et 0,1, entre 0,1 et 0,2 etc., ....

Il s'ensuit qu'une loi de distribution appliquée à une chronique du Sahel, où le c.v. est supérieur à 1, doit reproduire des suites d'années

---

54. Id. p 65.

sèches englobant celle comparable à la durée de la sécheresse observée dans les années 70 et leur affecter une probabilité d'occurrence. Autre remarque importante : la longueur des chroniques d'observation pluviométrique dans le Sahel ne peut être limitée à une trentaine d'années sans le risque évident de passer à côté d'événements essentiels pour une bonne compréhension de l'occurrence de ces phénomènes soumis en outre à un mécanisme de télé connexion provenant de l'océan au large du Gabon, et très dispersés dans le temps et dans l'espace. Ne pas omettre aussi qu'avec le dérèglement démographique, l'augmentation des populations dans ces zones sensibles accroît le caractère catastrophique des conséquences de ces sécheresses.

Le c.v. constant mais relativement faible (c.v.=0,1) implique une distribution des totaux pluviométriques annuels proches de la loi normale de Gauss, au moins pour les valeurs les plus communes autour de la moyenne. Il s'ensuit que les efforts pour trouver la loi unique de probabilité décrivant tous les échantillons de ces totaux se révèlent vains. Mais ils ne sont pas inutiles parce qu'ils inclinent à réfléchir et à trouver une répartition zonale des différentes lois possibles superposables à celle des c.v. de la carte de Mitchell et Jones.

## **D. LE CAS DES DÉSERTS**

La carte de Mitchell et Jones délimite des zones en blanc où manifestement le c.v. est hors d'atteinte. La plus vaste d'entre elles est le Sahara, qui donne l'occasion de s'arrêter sur le cas des déserts. Auparavant, il semble utile de préciser ce qu'est un désert.

Pour aborder la notion de désert, il y a au moins deux possibilités :

- Soit on part de la répartition de la population humaine sur les terres émergées, en prenant les zones où elle est inférieure à 1 habitant au kilomètre carré : l'absence d'habitants est la signification première de désert. C'est le parti pris par Denis Lamarre et Pierre Pagney. La carte du monde des zones où la densité de population est inférieure à 1 habitant au kilomètre carré est très révélatrice de ces déserts<sup>55</sup>.
- Soit on part du manque d'eau lié à l'aridité du climat comme le fait Théodore Monod.

---

55. *Climats et Sociétés*, figures 4a et 4b, pp 150-151.

Dans le premier cas, on peut mélanger des déserts d'origines climatiques très différentes. Il y a bien sûr les déserts chauds, les déserts froids polaires ou d'altitude mais aussi les déserts pluvieux. Ce qui fait leur caractéristique commune c'est l'absence ou la rareté des habitants.

Dans les déserts froids polaires ou d'altitude on peut rencontrer de la glace et les précipitations peuvent atteindre une moyenne annuelle supérieure à 100 mm sans que cela invite le monde intelligent à s'y installer de façon durable.

Dans les déserts pluvieux c'est surtout la densité de la forêt équatoriale qui sert de repoussoir : c'est le cas par exemple en Amazonie ou en Papouasie Nouvelle Guinée. Ce sont des climats avec un taux d'humidité qui affecte la respiration.

Avec la technique moderne, l'homme peut vivre dans des conditions climatiques hostiles. Mais cela reste limité en surface à des îlots urbains qui bénéficient de toutes les commodités dans un environnement soit bien climatisé soit bien chauffé.

C'est bien sûr le manque d'eau qui va maintenant guider mon propos, grâce à Théodore Monod.

- « Dans l'hémisphère Nord : les déserts et semi- déserts Nord américains, le Sahara, les déserts d'Arabie, irano- ouraniens, centrasiatiques, etc., et dans l'hémisphère Sud : chilo- péruvien, argentins, Sud-Ouest africain et australiens. La réalité de cette double zone d'aridité sub-tropicale Nord et Sud serait encore beaucoup plus apparente, d'ailleurs, si les cartes climatiques prolongeaient leur dessin à la surface des océans. »<sup>56</sup>
- « On ne le redira jamais assez, les déserts sont simplement les régions où le climat installe la sécheresse, où faute d'une humidité suffisante la couverture végétale recule, se fragmente en lots disjoints et, à la limite, disparaît et où, corrélativement, l'altération chimique des roches va devoir céder la place aux actions mécaniques. »
- « Si l'aridité est d'origine essentiellement climatique, il va nous falloir comprendre l'origine et la distribution géographiques des déserts à la surface du globe, nous demander quels sont sur celui-ci les mécanismes climatiques aptes à engendrer la sécheresse et

---

56. Extrait de l'ouvrage de Théodore Monod « *les déserts* » page 18.

à travers celle-ci, le désert avec toutes ses implications physiques, biologiques et humaines. »

- En poursuivant la lecture de Théodore Monod<sup>57</sup> : « l'on aura tendance à imaginer que les divers types de déserts se partageant les continents « s'arrêtent » avec ceux-ci sur le littoral, sans oser franchir ce dernier. ... En réalité, par exemple, les déserts côtiers occidentaux, Sahara atlantique, Namib, Basse Californie, Atacama, Australie de l'Ouest se prolongent à d'énormes distances sur la mer, ce qui signifie que, s'il y avait des terres émergées sur l'emplacement de la mer des Sargasses, de la région Ascension-Sainte Hélène, au Sud de l'océan Indien de l'espace Galapagos-Marquises, etc., ces régions seraient ou désertiques ou, au moins subarides. »<sup>58</sup>
- « Pour en revenir à la zonalité de la double ceinture terrestre des déserts, il faut bien reconnaître que la continuité et la régularité de celle-ci n'est en réalité que très relative. C'est toujours la même chose avec la nature : dès que l'on veut tant soit peu généraliser, simplifier, résumer, on risque d'être, comme le manuel scolaire, « vrai en gros, faux dans le détail ». »<sup>59</sup> »

Les zones désertiques sont d'aridité différente : subaride, aride et hyperaride.

Il y a une ceinture de zones désertiques entre les 20° et 40° de latitude sur les 2 hémisphères ; cela correspond en partie aux cellules de Ferrel dans leur proximité avec la zone intertropicale.

Ces ceintures désertiques sont discontinues : elles forment plutôt un chapelet avec des trous humides. Dans l'Himalaya, Cherrapundji, où se trouve le maximum pluviométrique du globe, est à la même latitude qu'In Salah dans le Sahara.

Il s'agit là de déserts chauds.

Il y a aussi des déserts littoraux avec de fortes condensations, mais sans pluie recueillie au pluviomètre. Là les lichens se développent, par exemple en bordure de la Mauritanie ou de la Namibie.

---

57. « *Les Déserts* » page 18. Pour alimenter mon propos je n'ai relevé que ce qui concerne les précipitations. Le livre de Théodore Monod est beaucoup plus riche et couvre bien d'autres domaines : je vous invite vivement à l'étudier.

58. *Ibidem*, page 18.

59. *Ibidem*, page 18.

Tous les essais pour faire parler des indices plus ou moins tarabiscotés, incluant la pluie et la température de l'air (Emberger, Capot-Rey, etc.) ne traduisent pas pleinement l'aridité et ses divers degrés. La plupart de ces essais de fabrication d'indices sont limités et souvent voués à l'échec et à l'abandon.

Mais Théodore Monod remarque que c'est tout de même la moyenne pluviométrique annuelle qui donne une bonne idée de la répartition au niveau mondial.

Jean Dubief cité par Théodore Monod indique que les pluies moyennes annuelles sur le Sahara ne sont pas si anarchiques qu'on le prétend. Certes elles sont très faibles, de 1 à quelques mm (In Salah, Ouargla, etc.).

Théodore Monod considère que l'isohyète 100 à 150 mm peut décrire la limite d'un désert<sup>60</sup>. Ce serait le cas pour le Sahara.

Le Sahara est considéré comme le désert le plus aride sur une grande partie de sa surface.

Les autres déserts ne le sont pas de manière aussi intense. Ainsi le désert Rouge du centre Ouest de l'Australie autour d'Alice Springs est à classer dans le subaride. Dès qu'il y a une pluie, de la végétation surgit et participe entre autres choses à l'alimentation des chameaux importés d'Afghanistan au 19<sup>ème</sup> siècle.

Donc la notion de désert n'est pas figée.

Enfin, les références à des travaux allemands des années 60 et 70 sont très importantes. Il s'agit de ceux de Oort (1970) et C. Troll et Kh. Paffen (1964).

Oort décrit le fonctionnement des cellules autour de la terre : les cellules de Hadley découvertes en 1735, et celles de Ferrel sur les deux hémisphères entre les 20° et 70° degrés de latitude.

La carte de l'étendue des déserts sur le globe, proposée par C. Troll et Kh. Paffen, montre que les déserts ne s'arrêtent pas au littoral des continents.

---

60. Pas dans les hautes latitudes où taïgas et toundras prospèrent avec une pluviométrie du même ordre de grandeur

La circulation troposphérique s'articule autour du système convectif que représentent les cellules de Hadley. Autour de l'équateur une zone de basse pression s'est formée. L'air chargé en vapeur d'eau par son passage sur les océans chauffés par le soleil, subit la poussée des vents dominants d'est, les alizés qui convergent vers l'équateur : c'est la zone de convergence inter tropicale (ZCIT) L'air s'élève en altitude, se refroidit en produisant de fortes précipitations. Asséché il redescend ensuite au-dessus des deux tropiques en formant une double ceinture anticyclonique tropicale à l'origine de la présence de déserts comme le Sahara. Il s'agit de déserts zonaux.

Théodore Monod indique aussi page 20 : « Parmi les facteurs géographiques (en tant que distincts des phénomènes zonaux), il faut en évoquer trois : continentalité, relief, courants maritimes froids, qui peuvent d'ailleurs se combiner et dont il ne sera pas toujours aisé de séparer les effets. Ils caractérisent, après les déserts zonaux, les déserts azonaux : continentaux, d'abri ou d'écran, côtiers ou maritimes, sans oublier pour être complet, les déserts froids (polaires ou montagnards). »

Je cite encore Théodore Monod : « Il faut évidemment pour classer, localiser et identifier les différents déserts à la surface du globe, disposer d'une méthode de diagnostic et si possible, d'un procédé quantitatif puisqu'il va s'agir, une fois de plus, de parvenir à tracer des limites là où la nature n'en a guère placé. L'outil le plus simple, mais aussi le plus simpliste, est évidemment la pluviométrie et l'on a souvent été tenté de découper dans les valeurs de celle-ci des tranches censées caractériser tel ou tel type de climat. C'est ainsi que la limite du Sahara est souvent donnée comme coïncidant avec l'isohyète de 100 à 150 mm. »

Page 24 : « Enfin on n'oubliera pas qu'étant donné l'ampleur de la variabilité annuelle en un point donné, les lignes en apparence si précises des isohyètes de nos cartes ne représentent que de sommaires approximations : la courbe des 100 mm en Mauritanie, qui passe « en moyenne » par Nouakchott et l'Adrar, se trouvait en 1951-52 à 300 km plus au Nord, en 1941-42 à 300 km plus au Sud, d'où un écart dans l'espace de 600 km. Les arbres ne se déplacent pas au gré de ces fluctuations épisodiques mais il n'en n'est pas moins vrai que pour le nomade et ses animaux la limite steppe/désert balaie des centaines de kilomètres en latitude. »

## **E. LE RECOURS AUX ISOHYÈTES AU-DELÀ DES DÉSERTS**

On a vu précédemment que le c.v. se géographie de façon zonale du plus faible dans les hautes latitudes vers les plus élevés dans la zone intertropicale où se trouve le Sahara, désert chaud que Théodore Monod délimite par l'isohyète de 100 à 150 mm, ce qui conduit à envisager la répartition des totaux de précipitations annuels dans l'espace géographique étudié, autrement dit le tracé des isohyètes. En croisant ces deux informations (le c.v. et les isohyètes) y a-t-il un espoir de trouver une estimation du volume d'eau provenant annuellement du réservoir hydrique atmosphérique et précipitant entre deux latitudes données ? Si oui cette estimation ne sera que partielle car limitée aux seules terres émergées.

D'une année à l'autre, on constate une sorte de stabilité de la forme des tracés. C'est ce que j'ai constaté sur le bassin Seine Normandie en traçant les cartes de précipitations annuelles qui accompagnaient l'édition de l'annuaire du réseau pluviométrique complémentaire. Autrement dit lorsque vous avez effectué le tracé des isohyètes de précipitations annuelles sur une région donnée, cette forme est acquise et devient indéformable, en accord avec les hypothèses de départ. Si ces hypothèses deviennent instables, par exemple lorsqu'on a changé d'époque géologique, les transformations qui s'ensuivent vont se répercuter sur tout ce qui précède, à la fois les c.v. et les isohyètes. Bien sûr, en année sèche, les isohyètes indiquent des valeurs faibles, contrairement aux années humides. Mais la forme d'ensemble reste la même : il pleut davantage toujours au même endroit (par exemple le Haut Follin à 902 m dans le Morvan) et les zones les plus sèches sont toujours les mêmes (aux environs de Dreux et de Brétigny sur Orge).

Si ces isohyètes présentent toujours la même organisation ou la même forme, on peut faire appel à la théorie de la Gestalt<sup>61</sup>. Une des idées de la Gestalt est que la forme est indéformable.

C'est une théorie selon laquelle les propriétés d'un phénomène psychique - ici celui qui conduit le tracé des isohyètes - ne résultent pas de la simple addition des propriétés de ses éléments, mais de l'ensemble des relations entre ces éléments. C'est un tout considéré dans sa structure plutôt qu'une juxtaposition de parties. Les isohyètes sont une forme de représentation d'un phénomène concret : le cumul des précipitations

---

61. Gestalt signifie forme en allemand. C'est une théorie de la structure qui s'oppose à celle du comportement, le behaviorisme.

géographié sur un temps donné. Ce n'est pas la Nature qui trace les isohyètes : le tracé est une interprétation du phénomène pluvieux par un individu du monde intelligent qui le représente à un pas de temps donné : l'année, le jour, etc.

Parmi les lois de l'organisation perceptive, j'attache une importance particulière à celle de fermeture : lorsque les images sont imparfaites, notre cerveau a tendance à combler les vides afin de percevoir ces informations dans leur totalité. Avec le tracé d'isohyètes on rencontre des difficultés de fermeture en limite de zone étudiée. Lorsque j'ai eu à tracer les isohyètes des totaux annuels de précipitations sur Seine Normandie ou de leurs moyennes<sup>62</sup> j'ai dû faire face à deux problèmes en limite de bassin.

Le premier concernait les limites terrestres avec les bassins contigus de Loire Bretagne, Rhône Méditerranée Corse, Rhin Meuse et Artois Picardie. C'est une difficulté qui provient de l'absence d'isohyètes de même nature sur le bassin contigu ou la région voisine. On ne peut pas raccorder les courbes.

J'ai laissé les isohyètes s'arrêter à ces limites en attendant d'avoir un interlocuteur de chacun de ces bassins pour mieux ajuster les tracés. J'ai attendu en vain sauf pour Loire Bretagne, où le travail a finalement été effectué.

Le second problème concerne le littoral où les isohyètes s'arrêtent faute d'observations sur les surfaces marines : fermer leur contour est impossible. Comment s'en sortir autrement qu'en disant que la pluie sur la mer c'est inutile ! Pourtant il pleut sur la mer et c'est une quantité très importante pour établir le bilan hydrique global annuel. De l'ordre de 70% si on utilise le ratio surface en eau surface totale du globe !

J'ai été confronté à un troisième cas, celui des larges vallées où j'ai dû faire des choix à l'aveugle. C'est ainsi que sur la vallée de la Seine large par endroits, j'ai tracé des isohyètes surestimées comme me l'a indiqué de nombreuses années plus tard Julien Bonnet, qui avait repris la gestion du réseau pluviométrique complémentaire.

Dans *La Traversée de la pluie*, j'ai utilisé les isohypses pour tenir compte de ce que j'ai appelé le gradient pluviométrique afin de tracer les isohyètes.

---

62. Voir pp 25, 26 et 27 de *La Traversée de la pluie*.

Les isohypses ou lignes d'égalité de hauteur se substituant aux précédentes représentations des cartes d'état major faites de hachures, sont une commodité pour visualiser les reliefs en les traduisant sous forme de courbes de niveau. Elles dépendent d'une référence qui est l'altitude zéro tirée d'un système de nivellement. En France, il y a 3 systèmes de nivellement successifs : Bourdaloue au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, Lallemand entre les deux guerres avec un zéro inférieur de 71 cm à celui de Bourdaloue, le dernier étant le nouveau nivellement géographique qui date des années 60. Ces changements ont eu des conséquences sur le tracé des isohypses et sur les chroniques de relevés limnimétriques des cours d'eau dont il faut tenir compte pour éviter des erreurs lorsqu'on transforme les hauteurs en débits.

Le tracé de l'isohyète est fait pour représenter la ligne d'égalité de précipitations pendant une durée donnée, à partir des observations effectuées au sol. Il peut simplement consister en une ligne interpolant les hauteurs observées ou de manière plus complexe en faisant intervenir des facteurs explicatifs comme l'éloignement à la mer ou le relief situé entre les points du réseau d'observation comme je l'ai réalisé sur le bassin Seine Normandie. Il n'y a pas de point de référence à partir duquel on construit le champ pluviométrique.

Le recours aux isohyètes pourrait-il nous conduire à préciser des limites de zones climatiques homogènes à la surface du globe, principalement sur les terres émergées habitées puisque les observations pluviométriques sont absentes ailleurs ? Je ne sais pas répondre.

Cependant, la présence de reliefs zonaux très imposants comme l'Himalaya affecte la circulation générale. En supposant un globe entièrement maritime sans relief, la zonalité serait vraisemblablement remarquable. Avec la présence de l'Himalaya et en combinaison avec le mécanisme de télé connexion de l'océan indien, toutes les limites sont rejetées vers le Nord sur la carte des c.v. de Mitchell et Jones, ce qui fait que la pluviométrie de Cherrapundji pourtant situé à la même latitude qu'In Salah dans le Sahara, est la plus forte du monde.

On peut d'ores et déjà affirmer que la répartition des précipitations sur les océans est loin d'être uniforme, entre les hautes latitudes et la zone équatoriale. Par ailleurs, le fait que les zones de c.v. constants suivent en gros les parallèles suggère une prolongation sur les océans de ce que l'on observe sur les terres émergées, comme pour la carte dressée par Troll et Paffen et citée par Théodore Monod dans le cas des déserts.

Cette répartition le long des parallèles est aussi conforme aux observations effectuées sur la circulation générale de l'atmosphère.

Une dernière question : pourrait-on évaluer le total annuel des précipitations sur la surface totale du globe soit 510 000 000 kilomètres carrés et le comparer aux évaluations de Wust, de Baumgartner et Reichel et de Shlikomanov ? Par exemple en utilisant la carte des c.v. de Mitchell et Phil Jones avec des scénarios d'extension aux surfaces marines. Cela relève encore d'une chimère pour le moment, car il manquerait le noyau dur représenté par les cartes marines des isohyètes de totaux annuels de précipitations !

Pour introduire les données marines dans le calcul du bilan annuel global, le seul espoir restant réside dans les observations satellitaires : c'est pour toujours hors de ma portée. Mais je me permets d'inviter le lecteur à se rendre sur un site relatif aux trajectoires de cyclones<sup>63</sup>. Ces cartes nous apprennent beaucoup en rapport avec ce que je viens d'évoquer. Tout d'abord les trajectoires ne traversent pas toute la surface du globe, surtout dans l'hémisphère Sud. Cela signifie qu'il n'y a pas d'homogénéité sur tout le parcours entre deux parallèles. Les océans du Sud ne sont pas tous entièrement affectés comme dans le Nord. En outre, des précipitations abondantes suivent toutes ces trajectoires comme me l'avait indiqué Joël Danloux avec l'exemple du cyclone Anne qui avait frappé la Nouvelle Calédonie en janvier 1988. Tous ces météores s'alimentent en traversant les mers et océans et agissent comme de vastes pompes aspirantes et refoulantes dont l'action se résorbe très vite après avoir touché un continent. Avec les satellites il est probable que la croissance des connaissances sur le climat trouve un net gain.

## **F. L'UTILITÉ DU GRADEX**

Pour terminer, je reviens sur les « mécanismes de télé connexion » avec l'exemple de la France métropolitaine.

Un mécanisme de télé connexion traduit l'influence d'une importante masse d'eau (océan, mer, grand lac) sur les terres émergées situées à proximité.

---

63. <http://www.cyclonextreme.com/cyclonedicotrajectoire.ht>

Le premier qui affecte la France sur ses côtes occidentales est le Nord de l'Atlantique sur lequel a longtemps été basé un navire météorologique stationnaire. Les données recueillies par ce dernier ont été utilisées par Pierre Pédelaborde dans sa thèse « *Le climat du Bassin parisien* ». L'atlantique Nord a une influence prédominante sur le climat de cette région. Ce mécanisme subit une perturbation avec le courant du Gulf Stream qui en développe trois secondaires intéressant les côtes françaises : dans le golfe de Gascogne, en Manche et en Mer du Nord. Les précipitations sur le bassin parisien sont assez fréquentes (en moyenne près d'un jour sur 2 avec au moins 0,1 mm), dépassant rarement les 50 mm en 24 heures. Le c.v.<sup>64</sup> y est constant à 0,18 et le tracé des isohyètes est indéformable avec des moyennes annuelles sur 30 ans excédant le mètre sur les côtes et sur les reliefs.

Le second provient de la Méditerranée occidentale et affecte tout le littoral, les reliefs environnants<sup>65</sup> et le couloir rhodanien, pouvant remonter jusqu'en Bourgogne<sup>66</sup>. Ce mécanisme se traduit surtout en automne par des pluies intenses dont la probabilité d'occurrence est bien cernée par le gradex des pluies quotidiennes. A l'origine le **gradient** des valeurs **extrêmes** ou **gradex** a été développé en 1967 par Pierre Guillot et Daniel Duband pour estimer les crues extrêmes des cours d'eau sur lesquels EDF-DTG projetait la construction de barrage<sup>67</sup>. A défaut de données de débits, les auteurs ont proposé son application aux données pluviométriques plus nombreuses, plus disponibles et moins coûteuses sur la base d'hypothèses simples à mettre en œuvre et répondant à l'objectif poursuivi. La valeur du **gradex** s'exprime en millimètres et traduit entre autres choses la différence entre la pluie décennale et la pluie centennale<sup>68</sup>. En calculant le **gradex** pour chaque station de la région concernée, il est possible de le cartographier<sup>69</sup> comme je l'ai indiqué précédemment<sup>70</sup>.

De cette façon, on peut voir la trace sur le sol français, et bien au-delà des frontières notamment l'italienne, de l'influence du mécanisme de télé connexion émanant de la méditerranée occidentale. Je n'ai pas

---

64. Rappel : le c.v. est le coefficient de variation des précipitations totales annuelles en chaque point de la zone étudiée.

65. Les Pyrénées orientales, les Cévennes, la Côte d'Azur, les Alpes du Sud et la Riviera.

66. Rappelons-nous l'épisode pluvieux du 30 septembre 1965.

67. Voir le chapitre 16 « la fréquence des précipitations quotidiennes extrêmes » de *La Traversée de la pluie*.

68. Voir page 121.

69. « Géographier », préconiserait Denis Lamarre.

70. *La Traversée de la pluie*, page 123.

réalisé ce travail que je laisse volontiers à de plus jeunes pour qu'ils s'exercent. Ce mécanisme général de télé connexion affecte les terres littorales et l'arrière-pays et peut vraisemblablement être détaillé en sous-mécanismes par exemple en séparant celui de la Côte d'Azur et celui des Pyrénées orientales.



## CONCLUSION

Essayons d'imaginer un globe à surface entièrement liquide, sans terres émergées donc sans relief capable d'entraver la circulation générale de l'atmosphère. Que se passerait-il ? Peut-on prendre le soixantième parallèle de l'hémisphère Sud, celui des soixantièmes mugissants où il n'y a pas de terres émergées, pour nous faire une idée ?

Le globe réel n'est pas celui-là. Les terres émergées existent avec de redoutables reliefs et l'hémisphère Nord en est doté plus que le Sud. Cette réalité a-t-elle une influence sur l'organisation du climat du globe ? Si oui, laquelle ? Je crois que nous sommes incapables de répondre à ces questions, du moins pour le moment.

Je veux en venir au fait que les sciences du climat n'en sont qu'à leur début. De ce fait, elles sont peut-être déjà des sciences de l'imprécis dans certains secteurs.

La météorologie a pris de l'avance. On peut distinguer trois étapes dans sa formation. La première est celle de l'invention du baromètre par Torricelli, de l'expérience de Pascal et de la création des observatoires en Europe. La seconde est la réponse de Le Verrier sur la faisabilité d'une prévision de la catastrophe de la mer Noire où la flotte française fut détruite en partie devant Odessa. La troisième démarre avec la Grande Guerre et les besoins de prévision du temps ressentis par l'aviation.

Quelle est la différence entre science météorologique et science du climat ? C'est un changement de dimensions, à la fois temporelle et spatiale. On demande à la météorologie une prévision de quelques heures à quelques jours sur une zone délimitée dans l'espace et on suit le développement de certains météores comme les cyclones d'heure en heure. Concernant la science climatique, on attend d'elle des prévisions locales à court terme (de 2 à 30 semaines), régionales à moyen terme (de 6 mois à 100 ans) et à long terme (jusqu'à plusieurs millénaires) pour le globe tout entier.

Pour prendre l'exemple des mécanismes de télé connexion, on a vu que le plus ancien découvert il y a cent ans, l'ENSO, n'est pas encore très bien connu. Et malgré les très nombreuses découvertes plus récentes, la liste de ces mécanismes est loin d'être exhaustive. Le GIEC se polarisant sur la température globale a plus ou moins délaissé bon

nombre d'autres variables, dont les précipitations. On le voit, la science climatique est encore très loin de nos attentes.

A ce stade, je ne résiste pas à citer Abraham Moles : « Dans toute science à son début, si rationnelles qu'en soient les bases, il y a une période de lutte contre les éléments aléatoires, où les vertus de la raison sont d'un faible secours. Le style même du travail d'investigation en est changé ; il prend des aspects de rituels, de manière de faire, voire de styles incantatoires qui le font ressembler à une religion, faible mais opérante. »<sup>71</sup>

Je compléterai par Karl Popper<sup>72</sup>.

« La tradition scientifique se distingue de la tradition préscientifique en ce qu'elle comporte deux instances. Comme celle-ci elle transmet des théories, mais elle transmet aussi une pratique de la critique à leur endroit. Ce mode de transmission n'en fait pas des dogmes, mais au contraire est assorti d'une exigence de discussion et de perfectionnement des théories ainsi reçues. C'est là une tradition hellénique qu'on peut faire remonter à Thalès, le fondateur de la première école qui n'ait pas eu pour finalité principale la perpétuation d'un dogme.

La démarche critique, la tradition du libre examen des théories qui consiste à faire apparaître les faiblesses afin d'y apporter des améliorations représente l'attitude raisonnable, celle de la rationalité. Elle fait un usage étendu du raisonnement et de l'observation celle-ci servant toutefois les intérêts de celui-là. »

Dans *La Traversée de la pluie*, j'affirmais mon agnosticisme : j'ai un peu lu sur les affaires de l'Inquisition avec Galilée et de Lyssenko avec les généticiens soviétiques. La vérité ne me dérange pas. Aussi, je terminerai ce livre avec le premier mot d'un célèbre roman<sup>73</sup> de Raymond Queneau :

Doukipudonktan.

---

71. *Les sciences de l'imprécis*, aux éditions du Seuil, page 45. Mars 1995.

72. *Conjecture et réfutations. La croissance du savoir scientifique*. Page 85 chez Payot.

73. *Zazie dans le métro*.

## MISCELLANÉES D'ANTAN

Les souvenirs professionnels que je vous sou mets ici peuvent paraître tous hors sujet. Cependant chacun d'entre eux offre une vue différente de la nécessité de prévoir les situations climatiques suffisamment longtemps à l'avance. Et par là de se rendre compte que les sciences du climat sont encore à l'état embryonnaire et qu'il faut se méfier des prêcheurs en eau trouble. Seul un texte est en dehors des préoccupations sur le climat. Il est là pour répondre à la question « pourquoi avoir créé le SANDRE ? »



## La question des pas de temps

Au cours de la promotion et de la diffusion de *La Traversée de la pluie*, j'ai été étonné de l'absence totale d'intérêt de la part de l'agence de l'eau Seine-Normandie où j'ai passé 35 ans de ma vie professionnelle et qui n'a pas commandé un seul exemplaire.

Au départ, j'ai pensé à une forme d'omerta guidée par le contexte médiatique autour du changement climatique ou par le fait qu'il est plus facile de pitonner des modèles sur son ordinateur que de recourir aux archives d'observation et à la recherche de la réalité du terrain à l'aide de techniques appropriées de mesurage. Maintenant, en laissant provisoirement de côté l'aspect omerta, je pense que j'ai toujours été en décalage avec mes collègues de l'agence de l'eau Seine-Normandie sur la question des temps. Je vais essayer de m'expliquer.

Dès ses débuts, l'agence a travaillé sur deux fronts, celui de la mobilisation de la ressource et celui de la dépollution. Pour ce faire, elle a dû imaginer les redevances sur les prélèvements et celles moins évidentes sur les rejets pollués. Le financement des travaux correspondant aux sommes provenant des redevances était facilité pour les ouvrages concernant la ressource, car de très nombreux projets existaient dans les cartons des ingénieurs, ce qui n'était pas le cas pour la dépollution.

Au début, la grande monographie<sup>74</sup> pilotée par Jean Tixeront et rédigée avec l'aide de personnalités extérieures s'est d'abord naturellement tournée vers les problèmes de quantité liés à la ressource, alors que très vite, l'essentiel des forces de l'agence a été consacré aux problèmes de pollution - dépollution, avec des résultats remarquables déjà sur le moyen terme.

Hormis l'incidence de la construction de la centrale nucléaire de Nogent sur Seine qui a permis la réalisation de ce qu'on appelait le barrage « Aube »<sup>75</sup>, lequel - cela tombait bien - venait en tête des barrages à construire dans la programmation que j'avais effectuée en 1974, et l'épisode de la sécheresse de 1976 qui a permis de lancer des travaux d'inter- connexion de réseaux d'alimentation en eau potable, il ne s'est

---

74. Cet ouvrage est complètement oublié par l'organisme qui l'a créé : il suffit de consulter le numéro hors série de la revue *Confluence* de l'agence de l'eau Seine - Normandie consacré à la célébration des 50 ans de la loi sur l'eau de 1964.

75. Composé de 2 barrages réservoirs construits sur des affluents et alimentés par l'Aube grâce à un canal de dérivation.

pas produit de nouvelles opportunités pour programmer des ouvrages importants d'amélioration de la ressource du bassin de la Seine. Les seuls problèmes recensés en liaison avec l'hydro-climatologie furent ceux appartenant à la catégorie de « l'assainissement pluvial », surtout pour les matières entraînées par le ruissellement et sans se préoccuper beaucoup de la pluie, sauf pour les gestionnaires de réseaux d'assainissement confrontés aux débordements. Ajoutons-y ceux liés à la gestion des barrages réservoirs au fil de l'eau (en temps de crue ou de sécheresse).

Le temps de la pollution - dépollution comprenant les évolutions technologiques concomitantes est un temps essentiellement court, humain : nous sommes dans le domaine de ce que l'OCDE pratiquait avec le concept de PER, c'est-à-dire une Pression sur un Etat du milieu récepteur et une Réponse pour en atténuer ou éliminer les effets. C'est typiquement le temps de la vie courante. Les phénomènes hydro-climatiques sont d'une toute autre nature avec une durée nécessaire d'observation se rapprochant de l'infini pour en connaître l'essentiel des occurrences possibles.

En conséquence, sans en avoir bien conscience sur le moment, je n'ai jamais été positionné sur la même gamme de temps que mes collègues de la pollution - dépollution.

Les circonstances climatiques actuelles (février 2015) font que la nappe de la Beauce regorge d'eau et qu'il n'est pas question d'entrevoir une sécheresse sévère sur ses émissaires avant trois ou quatre années avec toutes les conséquences sur la dilution des matières polluantes.

C'est peu de dire que mon livre tombe au mauvais moment ! Surtout que je provoquais souvent mes collègues en leur demandant : « comment décririez-vous la qualité de l'eau d'une rivière tarie ? » sachant qu'ils ne voulaient pas imaginer qu'un tel événement puisse arriver. Ils devaient me prendre pour un fou !

Dans un autre registre, celui des crues de la Seine, je me souviens de plusieurs rencontres avec le délégué de bassin Seine Normandie de l'époque, Amayon, dont le bureau était proche du mien. C'était durant les années 1981-1983.

Au début 1982, eut lieu la grande crue de la Seine à Paris, la plus grande que j'ai vécue pratiquement au jour le jour. Son maximum eut lieu au début janvier à un peu plus de 6 mètres (6,13 m). Il avait fallu évacuer le personnel et le matériel de notre péniche amarrée en amont

du pont de Grenelle. C'était encore très loin du record de 1910 (8,62 m). Amayon, qui connaissait mon penchant pour l'hydrologie, essayait de savoir ce que je pensais de l'efficacité des barrages réservoirs dans la lutte contre les inondations à Paris. A un moment je lui avais dit que les barrages étaient surtout utiles et irremplaçables pour le soutien d'étiage, efficaces contre les petites et moyennes crues et inutiles voire dangereux en cas de très grandes crues comme celles de 1910, 1924 et 1955. De mon point de vue un incident majeur sur la digue d'un ouvrage pouvait conduire rapidement à une situation amplifiant la crue : on avait connu des déplacements de digue lors de la mise en eau du barrage Marne en 1974, déplacements qui se trouvèrent liés à l'élasticité normale de l'ouvrage et cela nous avait entièrement rassurés à l'époque. Mais je ne pouvais pas m'empêcher de penser à quelque chose d'accidentel, comme l'installation de renards détectés trop tardivement ou un acte de sabotage.

Comme Amayon<sup>76</sup> n'était pas convaincu, il me poussa dans mes retranchements. Je pris alors la décision de reconstituer l'hydrogramme de la crue de 1910. A l'époque, ce n'était pas encore bien vu de travailler sur les crues à l'agence, car cela restait du domaine des prérogatives de l'Etat. Et je procédai au travail d'évaluation des volumes écoulés au dessus de la cote d'alerte. Je ne me souviens plus du résultat exact final. Il s'était écoulé entre 7 et 9 fois le volume maximal stockable dans les barrages réservoirs, celui du futur barrage Aube compris. Mes propos sur l'inefficacité des barrages réservoirs en période de très grandes crues devenaient crédibles.

Amayon me déclara alors que dans le cadre de ses fonctions administratives, il se devait de lancer une étude et qu'il comptait la faire

---

76. Amayon, qui était ingénieur général du GREF, avait une préoccupation obsessionnelle, celle de fusionner les corps du GREF et des Ponts. Il me disait que le premier objectif auquel il venait de parvenir avait été de provoquer une réunion commune des deux conseils généraux de ces corps. C'était en 1983, je crois. Pourquoi me faisait-il ces confidences ? Je ne lui ai jamais demandé. Pourquoi vouloir cette fusion que beaucoup d'ingénieurs des Ponts ne voulaient pas, là aussi il ne m'a pas éclairé parce que cela ne m'intéressait pas. Aujourd'hui je pense que c'est la montée en puissance des énarques qui le faisait agir. Je me souviens que Chambolle (ponts) qui avait succédé à Saglio (mines) ne voulait pas que son adjoint Gleizes (GREF), lui succède en 1988 à la tête de la DEPPR. Sans doute Rocard a-t-il profité de cette animosité pour nommer l'énarque Mousel qui lui avait succédé à la tête du PSU.

En 2005 la météo a été fusionnée avec les Ponts et 3 ou 4 ans plus tard le tout a été rejoint par le GREF. Les mines restent à l'écart, pour le moment, et peut-être pour longtemps, car c'est une autre culture. Je fais cette diversion parce que seul des gens issus des mines m'ont répondu ou accusé réception et aucun de tous les autres, qu'ils soient d'origine météo, Ponts ou GREF. Le danger de la soumission des agences de l'eau au conseil général d'un seul et même corps évoqué pages 18-19 de *La Traversée de la pluie* est devenu bien présent. Ce même corps n'est-il pas l'ossature de l'actuel ministère de l'écologie et du développement durable ?

exécuter par un hydraulicien reconnu du CEMAGREF. Il me demanda de lui confier mes graphes, ce que je fis sans barguigner, pour les transmettre à Rémi Pochat. Je n'ai jamais su ce qu'il en était advenu : de façon récurrente il était encore périodiquement affirmé que les barrages réservoirs réduisaient de façon significative la hauteur des crues à Paris. J'espère que le message s'est affiné depuis et est devenu plus proche de la réalité.

Au début de mes travaux à l'agence, j'ai rencontré Lallemand, l'ingénieur des TPE chargé de l'annonce des crues sur la Seine. C'était l'époque où nous récupérions les archives des échelles d'annonce des crues pour les transcrire sur cartes perforées en vue d'études ultérieures comme celles que nous avons effectuées avec le concours du labo d'hydrologie mathématique de Montpellier sur les sites de barrages réservoirs en projet dans le bassin de l'Oise. Il était proche de la retraite et semblait toujours à l'affût de la prochaine grosse crue. Il utilisait les réglottes que Bachet avait mises au point avant la Seconde Guerre mondiale pour propager les ondes de crue et prévoir les cotes en plusieurs endroits prédéterminés. Il les mettait à jour chaque fois qu'il se présentait une crue sur la Seine ou sur l'un de ses affluents, comme les Morin capables de modifier sensiblement la prévision de la cote au pont d'Austerlitz. Lui qui avait connu la crue de 1955 est resté bredouille dans sa quête d'un nouvel événement de cette ampleur. Ici le temps écoulé pour espérer une crue exceptionnelle ressemble à celui du domaine des sécheresses. Il en diffère cependant un peu, car une crue exceptionnelle sur un grand bassin ne met que quelques semaines, voire quelques jours à se former, tandis que la constitution d'une sécheresse<sup>77</sup> exceptionnelle requiert une préparation de plusieurs mois, voire des années, sous nos climats tempérés.

Mais au regard d'une comparaison avec le temps de pollution-dépollution dépendant uniquement des activités humaines, les crues et sécheresses relèvent d'un autre ordre de grandeur du temps et d'une soumission aux caprices de la nature, caprices dont nous voudrions bien percer les mystères pour enfin prévoir longtemps à l'avance le déroulement des situations climatiques.

Plouézec, janvier 2015

---

77. Il y a une grande différence de durée entre une sécheresse agricole résultant d'une à plusieurs semaines sans précipitations ne concernant que les premiers décimètres des sols cultivés, et la sécheresse hydrologique affectant les nappes et cours d'eau après des délais beaucoup plus longs.

## La naissance d'un « monstre<sup>78</sup> » : le SANDRE<sup>79</sup>

En 1986 a eu lieu la réorganisation de l'agence de l'eau Seine Normandie et l'on m'a demandé d'animer un groupe « banques de données » avec en priorité la refonte de la banque de la qualité des eaux de Seine Normandie.

Depuis 1971, nous vivions sous l'Inventaire national de la Pollution (INP), comme toutes les agences de l'eau. Une liste des « paramètres<sup>80</sup> » avait été établie au tout début sous la houlette de René Brémond dans la direction de la prévention des pollutions alors dirigée par Jean-François Saglio. Comme tout était géré par l'Etat, il n'y avait pas de souci concernant l'homogénéité au niveau national. En 1981, nous savions que l'Etat n'avait plus les moyens de financer cet ensemble et que très vite les agences seraient mises à contribution. Pierre Balland imagina un système « le réseau national de bassin ou RNB » pour prendre la suite : c'était la porte ouverte à des changements reflétant un besoin accru de données pour mieux comprendre. Sur Seine Normandie, il avait été créé un réseau complémentaire « petites rivières » où des campagnes spécifiques de prélèvement étaient organisées à des dates mobiles et mettant en jeu de nouveaux « paramètres ». Edith Crouzet et Véronique Jovy avaient mis en place ce réseau complémentaire et le géraient sur papier.

J'avais donc à faire face à plusieurs problèmes :

- D'abord, mon ignorance du monde de la qualité des eaux ;
- La création de nouveaux « paramètres » à ajouter à ceux du début de l'INP sans en limiter *a priori* la liste ;
- La création de nouveaux points de prélèvement sans en limiter *a priori* la liste ;
- Des campagnes de mesures décidées à des dates différentes ;
- La création d'une nouvelle base de données capable de gérer tous ces changements : à l'époque, chaque agence avait déjà sa base de données INP, avec des logiciels et des matériels fort différents.

Très vite, je me suis rendu compte qu'il était nécessaire d'avoir un projet commun aux 6 agences et au ministère. Mon directeur d'alors,

---

78. C'est un collègue qui m'a indiqué qu'il considérait le SANDRE comme un monstre, car il avait pris d'énormes proportions : il suffit de consulter internet pour s'en convaincre.

79. C'est un acronyme pour désigner le Secrétariat d'Administration Nationale des Données Relatives à l'Eau.

80. Ce vocabulaire ne m'a jamais paru correct puisqu'il s'agit en fait de diverses variables utilisées pour décrire la qualité de l'eau.

Claude Fabret était d'accord sur le principe, qu'il proposa aux autres directeurs lesquels donnèrent leur accord.

Il me fallait trouver une solution pour que chacun ait accès au même ensemble de « paramètres » et puisse créer ceux qui l'intéressent.

Je ne sais plus comment je m'y suis pris après de nombreux tâtonnements, pour découvrir que mon problème relevait de la création d'un système d'information doté d'une administration des données. Une équipe basée à l'université d'Aix en Provence animée par Tardieu avait conçu des méthodes de conception de système d'information, en particulier Merise. En cherchant qui utilisait cette méthode, je suis tombé sur une toute nouvelle société, la société DELF dont les 3 principaux membres étaient Michel Grimal, Jean Hugues et Bernard Leblanc, qui avaient travaillé en particulier sur la gestion des restaurants des PTT.

Un livre venait de paraître sur l'administration des données rédigé par un membre de l'Insee : je suis allé l'interviewer pour me rendre compte que c'était une administration passive des données. Les membres de l'Insee créaient ce dont ils avaient besoin et l'administrateur prenait note.

Ce qu'il me fallait c'était une administration active qui donne des réponses pour garder un système de « paramètres » homogène d'une agence à l'autre, donc au niveau national et qu'il n'y ait aucune ambiguïté. En fait, il s'agissait d'élaborer une normalisation de la représentation des « paramètres<sup>81</sup> » à laquelle se référerait chaque intervenant sur l'eau quel que soit son organisme d'appartenance, c'est-à-dire qu'il fallait aller au-delà du seul Réseau National de Bassin des agences de manière à inclure toutes les données produites avec d'autres finalités, comme la santé, la police des eaux, la distribution de l'eau, ..., et touchant tous les milieux (superficiel, souterrain, autres).

Une première étude réalisée par l'équipe de DELF auprès d'un échantillon d'intervenants des agences, des Services Régionaux d'Aménagement des Eaux (SRAE), de la police des eaux, de la santé et de la distribution des eaux a permis de mieux cerner les enjeux concernant les référentiels et les échanges de données.

---

81. La description d'un « paramètre » est assez compliquée. Prenons l'exemple du perlimpinpin censé décrire en partie la qualité de l'eau. Il s'agit de savoir si ce perlimpinpin provient d'un prélèvement dans l'eau, dans du sédiment, dans le foie d'un poisson, etc, et de le distinguer des autres en incluant sa méthode d'analyse en lui attribuant un code d'identification. C'est un des aspects du « monstre ».

Parallèlement, un groupe de travail avait été mis en place pour refondre les référentiels hydrographiques : il était animé par Jacques Lefevre de Loire Bretagne. La refonte fut achevée au bout de quelques mois. Elle fut complétée par la création d'un support numérique : la BD Carthage.

Il fallait bâtir un référentiel concernant les « paramètres » au sens large. Des groupes de travail constitués des différents experts des agences, des SRAE et des services de police des eaux, avaient été mis en place pour rédiger un début de dictionnaire des données rassemblant tout ce qu'on pouvait savoir sur tel ou tel « paramètre », sa façon de prélever, d'analyser, etc. Au préalable ils avaient suivi une formation à la méthode Merise organisée par Seine Normandie au CETE d'Aix en Provence avec Paul Boi et Gilbert Abouhair.

DELF proposa une organisation de l'ensemble du système d'information avec l'accord de Seine Normandie maître d'ouvrage de l'étude qui permettait au ministère d'en assurer la cohérence. La réunion d'examen des résultats eut lieu le 12 juillet 1989 au ministère sous la présidence de Michel Mousel, directeur de l'eau. Avec Liliane Chauffrey et Régis Lesguillier nous avons préparé en parallèle une édition du premier dictionnaire des données en 3 volumes, un bleu, un blanc et un rouge : il fallait bien marquer le coup pour le bicentenaire de la Révolution !

La réunion tourna très vite au règlement de comptes après le départ de Michel Mousel, qui avait senti la tempête se lever. Certaines agences ne voulaient pas une recentralisation du système, même légère, comme celle proposée par DELF : tout devait être réparti dans chaque agence. Claude Fabret, qui venait d'apprendre son éviction de la direction de Seine Normandie, ne se priva pas de dire ce qu'il pensait de l'attitude de ses collègues. Après cette réunion il me confia que cette confrontation permettrait de repartir sur de nouvelles bases plus conformes au besoin de la France.

Comme nous entrions dans la période des vacances, rien ne se produisit avant mi-septembre. Le successeur de Claude Fabret, Pierre Frédéric Ténier Buchot (PFTB) prit ses fonctions et me demanda après une première réunion avec les autres directeurs ce que j'avais bien pu leur faire pour les mettre autant en colère. Il me demanda de prendre rendez-vous avec Michel Mousel pour essayer de débloquer la situation, les choses ne pouvant en rester là.

Jean-Luc Laurent et son adjoint Richard Stock avaient été très intéressés par la démarche de DELF sur la constitution d'une administration des données dont ils ressentaient le besoin pour leur agence Rhin Meuse bien au-delà des problèmes de qualité des eaux. Une réunion avec Claude Truchot représentant Michel Mousel, Jean Luc Laurent, Richard Stock et moi-même eut lieu au ministère. Il fut décidé que je préparerais un cahier des charges de mise en place du secrétariat d'administration des données et un autre pour étudier un schéma directeur des données sur l'eau. Ne voulant pas être détaché au ministère, il fut convenu que je resterais affecté à Seine Normandie en accord avec PFTB et Michel Mousel et que les études seraient pilotées par Seine Normandie avec la participation financière des autres agences sur la base de la clé de répartition habituelle pour les études inter-agences.

Le schéma directeur fut étudié par une équipe de Bossard Consultants animée par Nicolas Bonnet. Les résultats de chaque étape furent discutés au cours des réunions des directeurs, lesquels choisirent la réalisation d'un réseau national de données sur l'eau (RNDE<sup>82</sup>). En parallèle l'organisation et la mise en place du secrétariat national des données relatives à l'eau (SANDRE) fut décidée. Il restait à choisir qui ferait le travail.

Il y avait deux possibilités aux yeux de certains directeurs : soit l'IFEN (Institut Français de l'Environnement) qui avait été créé à la demande du ministre Brice Lalonde, organisme qui n'avait pas la faveur des hauts fonctionnaires de l'environnement ni de ceux des finances, soit l'Office International de l'Eau (OIEau). Ce fut ce dernier qui fut choisi.

Je fus chargé avec Jean François Donzier, alors directeur de l'OIEau, de recruter l'animateur du SANDRE et celui du RNDE. Notre choix se porta sur Vincent Blanc et sur Dominique Preux qui prirent leurs fonctions à Limoges.

Vincent Blanc fit vivre le SANDRE avec des dizaines d'experts passionnés de prendre part à cette aventure, à un point tel qu'un jour il me demanda pourquoi je voulais que le travail fût aussi minutieux. En effet chaque « paramètre » identifié était décliné avec une arborescence très détaillée. Je lui répondis qu'il ne fallait pas casser l'élan et que c'était aux responsables des futurs réseaux de mesure de délimiter le champ de leur action en toute connaissance. A l'époque, les grands absents

---

82. Acronyme pour « Réseau National de Données sur l'Eau »

de ce travail étaient les chercheurs, que je n'ai pas su convaincre d'y participer.

Je n'ai pas suivi les travaux du SANDRE, estimant que mon intervention de mise en place était terminée. Simplement, je suivais avec les directeurs l'évolution du RNDE au travers des rapports de Dominique Preux lequel avait proposé de réaliser des « produits de synthèse » issus des données recueillies. Bien que j'aie été plus favorable à la seule réalisation de banques de données, je reconnais que la démarche de Dominique Preux avait un côté concret plus accrocheur que la simple mise à disposition des résultats de mesure.

Aujourd'hui (octobre 2015), je viens de consulter le SANDRE sur Internet et je constate l'ampleur et la complexité du système créé et actuellement poursuivi par ONEMA : ce qui ne m'étonne pas connaissant la capacité des intervenants à créer de nouveaux « paramètres » pour étudier de manière détaillée des problèmes liés à certaines substances<sup>83</sup> en rapport avec la santé autant qu'avec les milieux aquatiques proprement dits. Un monstre était né.

Plouézec, octobre 2015.

---

83. En outre, la créativité des membres des différents groupes de travail a permis la prise en compte de la notion de taxon dans le système de représentation des données de la qualité des eaux.



## L'opération « Shadoks »

Un matin de la mi-octobre 1971, je fus convoqué par ma hiérarchie, qui voulait me confier le suivi de la réalisation d'une opération destinée à assurer l'alimentation en eau potable d'une partie de l'agglomération parisienne. La mise en place du réseau pluviométrique complémentaire était achevée sur le terrain et l'organisation du recueil des données en vue de leur publication au fur et à mesure était bien avancée : j'avais donc du temps libre pour me consacrer à cette nouvelle tâche.

La compagnie générale des eaux (CGE), qui gérait l'usine de production d'eau potable de Neuilly sur Marne, s'inquiétait de la baisse du débit de la Marne tandis que le barrage de Champaubert aux Bois dont le réservoir de 35 millions de mètres cubes qui assurait naguère un soutien du débit de la Marne à l'étiage était en train d'être englobé dans le futur lac du Der, et ne pouvait plus être utilisé.

L'étiage en cours de la Marne était l'un des plus sévères, avec un débit de l'ordre de 13 à 15 m<sup>3</sup> par seconde, tout à fait comparable à celui mesuré par une équipe de Belgrand au lendemain de la défaite de Sedan, soit le 3 septembre 1870, et dont j'avais trouvé le compte rendu dans les archives<sup>84</sup> du service de la navigation de la Seine.

Pour remédier provisoirement à cette situation, la CGE proposait de pomper de l'eau en Seine pour la remonter au droit de l'usine de Neuilly sur Marne. En effet, la Seine bénéficiait d'un soutien d'étiage assuré d'une part par le barrage réservoir de Panecières sur l'Yonne et d'autre part par celui de la forêt d'Orient qui fonctionnait depuis 1964, date de sa première mise en eau.

Le jeu consistait à remonter de l'eau en quantité suffisante du bief aval de la marne canalisée se trouvant en communication directe avec la Seine, jusqu'au bief dans lequel puisait l'usine de production d'eau potable. Un accord était réalisé avec la Ville de Paris, qui gérait l'usine de Saint-Maur, affectée depuis peu à la production d'eau brute destinée au lavage des rues et des caniveaux de l'agglomération. Cette usine serait utilisée provisoirement pour relever l'eau du bief de Saint-Maurice dans le bief de Saint-Maur. De son côté, la CGE faisait son affaire de la réalisation du pompage direct dans le bief de Saint-Maur.

---

84. La photocopie de ce document avait été publiée dans le numéro 2 des cahiers techniques de l'agence de l'eau Seine Normandie.

Restait le problème de remonter l'eau du bief aval de la Marne en communication directe avec le Seine dans le bief de Saint-Maurice. Il était admis qu'un régime permanent s'établirait lorsque tout fonctionnerait ensemble.

« Ils pompaient, pompaient, pompaient » disait Claude Piéplu en parlant des Shadoks. C'était une émission loufoque de deux à trois minutes sur la première chaîne, juste avant le journal télévisé. Un dessin animé commenté par la voix inclassable de Claude Piéplu qui mettait d'excellente humeur de nombreux téléspectateurs dont j'étais. J'ai très vite accolé « Shadoks » à l'opération en cours.

La commission des aides de l'agence avait attribué un financement à la CGE pour réaliser le relevage d'un débit de 4 à 5 m<sup>3</sup>/s depuis la Seine dans le bief de Saint-Maurice. L'opération fut confiée à une filiale de la CGE et dirigée par un ingénieur en chef, Blanchard, lequel était mon interlocuteur sur le terrain. Deux barges furent installées sur le bief aval. Six pompes correspondant au débit souhaité furent cédées par EDF à l'agence et furent fixées sur ces barges.

De son côté, Blanchard dirigea la fabrication et l'installation d'une conduite calculée par les hydrauliciens de sa société et fixée sur le perré maçonné en rive gauche du bief canalisé de la Marne, au dessus du barrage de la navigation. L'aval de cette conduite était façonné de manière à réceptionner les eaux refoulées par les 6 pompes et l'amont se déversait directement dans le bief de Saint-Maurice. Plusieurs essais se déroulèrent pour vérifier son bon fonctionnement. À chaque fois, les eaux relevées provoquaient une surverse à la crête du barrage de la navigation entraînant une oxygénation des eaux de Seine et « l'euphorie des poissons »<sup>85</sup> bénéficiaires.

Blanchard m'expliqua que lorsque l'ensemble fonctionnerait, la surverse serait minime et l'essentiel de l'eau pompée irait à l'usine d'eau potable de Neuilly sur Marne.

De mon côté, je m'intéressais à l'évolution des débits de la Marne à la station de jaugeage de Noisiel. André Goubet dirigeait alors la circonscription électrique « Nord et Paris » dont un des services gérait les stations de jaugeage du bassin de la Seine. Goubet connaissait parfaitement les difficultés de mesurage des débits de rivières envahies par la végétation aquatique pour les avoir étudiées. Noisiel était

---

85. J'emprunte cette expression à Pierre Balland.

concernée, mais avec l'automne les difficultés s'estompaient. Je pouvais suivre l'évolution du débit sur un simple coup de téléphone au service concerné, lequel était chargé de relever chaque matin la hauteur d'eau à l'échelle limnimétrique de la station et de la convertir en débit.

Au début novembre, tout était en place sur le bief aval, à l'usine de production d'eau brute de Saint-Maur et à l'usine d'eau potable de la CGE lorsque le débit de la Seine se mit à décroître brusquement. Pas besoin de mesurer, cela se voyait. On contacta alors le service des barrages réservoirs, lequel indiqua qu'il était tenu par le règlement d'eau des ouvrages. Ce règlement d'eau stipulait que la campagne de soutien d'étiage commençait le 1<sup>er</sup> juillet et se terminait le 31 octobre. Les débits lâchés tenaient compte de la réserve stockée. Au 31 octobre au soir, la réserve était épuisée à Panecières et au lac de la Forêt d'Orient !

Tout ça pour ça. L'opération Shadoks était terminée. La conduite fixée sur le perré resta en place durant de longues années.

Je continuai à suivre l'évolution des débits à Noisiel. Il ne pleuvait pas et le tarissement se poursuivait lentement, jusqu'à un jour de minovembre, où le débit à Noisiel se stabilisa puis se mit à remonter. Oh pas beaucoup : 1 à 2 voire 3 m<sup>3</sup>/s. J'en parlai autour de moi. Il n'y avait pas d'explication sautant aux yeux. Je fis alors l'hypothèse que ce phénomène était lié au cycle végétatif. En période de croissance, la végétation pompe l'eau dans le sol, notamment les arbres qui pour transpirer continuent à prélever de l'eau jusqu'au jour où le cycle se termine, c'est-à-dire en automne. C'est ce qu'il était en train de se passer : la succion par les racines des arbres était stoppée et, de ce fait, libérait un stock d'eau.

Plusieurs mois (années ?) plus tard, Jean Marie Masson m'écrivit qu'il avait trouvé dans un livre de Roger Lambert, un géographe hydrologue du Sud-Ouest de la France, la même observation. Je n'en sais pas davantage aujourd'hui.

L'opération Shadoks fut à l'origine d'une réflexion sur la sécurité de l'alimentation en eau potable de la région parisienne. On s'orienta vers la mise en commun de la production grâce à des équipements assurant l'interconnexion des divers réseaux d'eau potable. Un autre sujet d'inquiétude se résumait à la question suivante : est-ce que le volume de l'eau stockée dans les barrages sera suffisant pour parer à un étiage très sévère ?

Sur le bassin de la Marne, la question ne se posait pas puisque le barrage du lac du Der était en construction, même si le projet de Villers-le-sec destiné à recueillir les eaux de la Chée, de la Saulx et de l'Ornain était encore à l'étude avant d'être abandonné définitivement. Sur le bassin de la Seine la construction du barrage Aube fut proposée après la sécheresse de 1976 puis réalisée afin d'assurer le refroidissement de la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine et de ce fait contribuait à la sécurité de la production d'eau potable. Sur le bassin de l'Yonne, plusieurs projets furent étudiés mais aucun ne fut jugé indispensable. C'est du bassin de l'Oise qu'émanaient le plus d'inquiétudes parce qu'il n'existait aucun grand réservoir. Plusieurs sites d'inégales dimensions avaient été retenus : ceux de Varennes en Argonne sur l'Aire et de Villers en Argonne sur l'Aisne furent rejetés en 1977 suite à une décision politique. Celui d'Origny- Sainte-Benoîte rencontra beaucoup de difficultés techniques dues aux défauts d'imperméabilité de la cuvette de rétention et fut finalement abandonné. Le bassin de l'Oise reste non équipé.

Cet épisode de l'opération Shadoks m'est longtemps resté en tête et m'a conduit en 1979 à élaborer un programme d'études<sup>86</sup> pour se préparer à gérer les réservoirs amont du bassin en cas de sécheresse et d'étiage prolongés. La question se résumait à : « comment se réserver une poire pour la soif ? ». Dans une situation climatique donnée, la prévision météorologique était à l'époque limitée à une durée de 5 jours. Elle a été considérablement améliorée puisque maintenant elle peut être étendue à une dizaine de jours, mais le problème reste entier puisqu'on ne connaît pas l'évolution des situations climatiques. Quand la pluie va-t-elle survenir en quantités suffisantes pour relever les débits des cours d'eau ? A défaut, certains hydrologues se tournent vers des modèles de prévision probabiliste en avenir incertain en utilisant notamment les travaux de Bayes. Mais cela ne vaut pas une prévision déterministe suffisamment fiable qu'on ne sait pas encore faire. Pour combien de temps encore ?

Angers, octobre 2016.

---

86. Les résultats des études ont été dispersés au gré des changements intervenus dans la direction de l'agence et l'organisation de celle-ci. Une réflexion serait à mener pour la création d'un service d'archives intelligent et efficace au sein de ce type d'organisme. Mais cela est une autre histoire.

## Marcel Pierre

Un après-midi de 1974, je fus convié par ma hiérarchie à une réunion pour me présenter à Marcel Pierre accompagné de Jean Tixeront : il s'agissait de préparer le fascicule de la Monographie du bassin Seine Normandie consacré aux transferts d'eau de bassin à bassin par les canaux de la navigation. Marcel Pierre était à la retraite depuis son départ de Reims, où il dirigeait le service de la navigation. Jean Tixeront l'avait choisi pour effectuer ce travail. A l'issue de cette réunion, Marcel Pierre et moi avons discuté de la façon de démarrer l'opération. Il se trouvait que j'avais rendez-vous le lendemain avec Durozoi, chef du service de la navigation de Saint-Quentin pour faire le point sur les études du projet de barrage d'Origny-Sainte-Benoîte en dérivation de l'Oise. Marcel Pierre était disponible et connaissait Durozoi, qu'il prévint par téléphone. Nous nous retrouvâmes en Gare de l'Est et dans le train nous nous mîmes d'accord sur les données qu'il fallait obtenir pour l'alimentation et le fonctionnement du bief de partage du canal de Saint-Quentin qui joint l'Escaut à la Somme. Ces deux fleuves se situent hors du bassin Seine Normandie, mais l'alimentation de leur bief de partage dépend essentiellement du bassin de l'Oise par la rigole de l'Oise et du Noirrieu. Une longue galerie souterraine creusée et maçonnée par des prisonniers des guerres du premier Empire prolonge la rigole jusqu'au bief de partage.

La réunion terminée, nous retournâmes à la gare de Saint-Quentin. A ma grande surprise, Marcel Pierre demanda à la dame du kiosque si par hasard elle avait des cartes postales de la prison de Saint-Quentin : « c'est là que j'ai passé 6 mois et je voudrais un souvenir ».

Dans le train, il m'expliqua brièvement qu'il avait été emprisonné parce qu'on l'accusait d'avoir fait sauter les portes des écluses du canal de l'Oise à l'Aisne pendant la période de préparation du débarquement des alliés en 1944. Plusieurs membres des FTP, tous communistes m'att-il répété, avaient été arrêtés et torturés : ils n'avaient pas parlé. Ils faisaient partie de l'opération qui avait été préparée avec Marcel Pierre alors correspondant d'un réseau de renseignement britannique. Il leur devait une fière chandelle pour leur courage et leur abnégation. Déconcerté par ce que je venais d'apprendre, je ne posai pas de question. Le sujet ne fut plus évoqué : je n'ai pas l'âme d'un journaliste.

Par la suite, en étudiant les transferts d'eau par le canal de l'Oise à l'Aisne, j'appris que Marcel Pierre avait été en poste après la Grande Guerre à Vailly sur Aisne (« prononcez Vély, me disait-il ») et qu'il avait été chargé de la reconstruction du canal dont le bief de partage passait sous le Chemin des Dames. L'alimentation de celui-ci était assurée par le bassin de Monampeuil et par l'usine de relèvement des eaux de l'Aisne de Bourg et Comin construite sous la direction de Marcel Pierre et couplée à une usine de production électrique qui alimentait les communes environnantes. Il connaissait donc parfaitement les lieux pour organiser un acte de Résistance destiné à paralyser suffisamment le trafic sans provoquer trop de dégâts.

Marcel Pierre portait toujours un costume gris bleu et était coiffé d'un chapeau de la même couleur. Les mariniers du canal de l'Aisne à la Marne le reconnaissaient de loin et le hélaien de façon fort sympathique. Ils lui étaient reconnaissants d'avoir réalisé l'automatisation de leur canal qui leur faisait gagner jusqu'à 30% sur leurs temps de parcours. C'était simple me disait-il, il suffisait d'y penser. Chaque péniche sortant d'une écluse déplaçait un bras immergé vers le perré du canal et déclenchait un signal électrique transmis à l'écluse suivante dont la porte d'accueil s'ouvrait pendant que la péniche s'approchait. Par la suite, ce système fut généralisé à l'ensemble des canaux supportant le routage du fret.

Chaque bief de partage fit l'objet d'une étude dactylographiée en plusieurs exemplaires (1 pour la bibliothèque de l'agence, 1 pour Tixeront, 1 pour la délégation régionale de l'agence concernée, 1 pour le service de la navigation gérant le canal, 1 pour Marcel Pierre et 1 pour mon service). Et un dernier pour l'agence de bassin limitrophe de Seine Normandie.

Dans chaque étude, Marcel Pierre insérait les relevés pluviométriques de la station la plus proche du bief de partage : cela pouvait expliquer en partie les variations des transferts de bassin à bassin.

Pour chaque étude, sur une quinzaine au total, nous consacrons au moins une journée de visite au service de la navigation concerné, lequel détenait les archives de gestion. Marcel Pierre posait les questions selon un formulaire préparé par lui. Mon rôle était d'écouter et d'apprendre : j'intervenais fort peu, sauf pour demander de préciser ce que je n'avais pas bien saisi. C'est surtout sur le terrain que les détails importants étaient abordés avec les éclusiers. Leurs réponses et celles

des barragistes lui permettaient d'évaluer les débits nécessaires délivrés par le bief de partage de part et d'autre, le volume stocké et le système d'alimentation du bief de partage : les débits entrants et leurs provenance (cours d'eau, bassins réservoirs, pompage de relevage à partir des biefs aval). Les durées de chômage (travaux d'entretien, pénuries d'alimentation et leurs causes) étaient notées.

Il me revenait d'effectuer la synthèse de l'ensemble de ces études cas par cas pour la présenter à la mission déléguée. Ce que je fis pour une réunion de 1977. J'avais préparé des cartes traduisant les transferts de bassin à bassin en notant par un système d'échelle de couleurs les fréquences dans un sens et dans l'autre. Le rouge signifiait en période de sécheresse et le bleu correspondait aux périodes d'abondance. Je me souviens du cas de l'alimentation du bief de partage du canal de la Marne au Rhin, alimenté par pompage en Meuse parfois depuis la Moselle lors des temps de sécheresse et par gravité depuis l'Ornain en temps de crue, le surplus étant déversé vers la Meuse.

Ces études étaient faites pour bien connaître le fonctionnement des transferts ; elles n'avaient pas pour objet d'établir des redevances de prélèvement. Cependant je me souviens du cas de la rigole de l'Oise et du Noirrieu qui transfère un débit variant de 800 à 1600 litres par seconde, vers le bief de partage du canal de Saint-Quentin. Mon collègue Dourousseau m'avertit un jour que l'agence Artois Picardie soutenait un projet de recyclage des eaux du canal de part et d'autre du bief de partage. Pour moi cela ne changeait rien du point de vue de la perception des redevances puisqu'un texte réglementaire avait été pris au moment de la mise en place de la loi sur l'eau de 1964. En substance, il était acté que les agences ne pouvaient taxer l'Etat au titre de l'alimentation des canaux de la navigation<sup>87</sup>. Beaucoup plus tard j'appris par un autre collègue de la même agence Artois Picardie que l'eau de la rigole de l'Oise et du Noirrieu participait à l'alimentation en eau potable de Dunkerque et de son agglomération. Tout cela montre que des transferts d'eau de toutes sortes existent et se développent sans qu'on prenne la peine d'en évaluer les bilans quantitatifs, a fortiori en termes de calories.

Marcel Pierre mourut en 1979. Tous les rapports qu'il avait écrits sur les transferts d'eau de bassin à bassin avaient disparu. De même, je n'ai jamais pu retrouver le rapport de synthèse que j'avais soumis à la mission déléguée. J'avais pensé que déposer un exemplaire

---

87. De son côté, l'Etat ne se prive pas d'appliquer une taxe sur les redevances perçues par les agences de l'eau.

à la bibliothèque de l'agence en assurait la conservation. En fait j'ai confondu la mission d'archivage qui est de conserver des documents déposés, avec celle de la bibliothèque qui est la mise à disposition des lecteurs intéressés : or parmi ces derniers il en est de peu scrupuleux qui pillent le fonds bibliothécaire.

Angers, décembre 2016.

## SIGLES

<b>BD Carthage</b> :.....	Banque de données numérisées des cours d'eau français
<b>CEMAGREF</b> :.....	Centre d'Etudes du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et Forêts
<b>CFC</b> :.....	Chlorofluorocarbure, gaz à effet de serre
<b>CH<sub>4</sub></b> :.....	Méthane, gaz à effet de serre
<b>CETE</b> :.....	Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement
<b>CGE</b> :.....	Compagnie Générale des Eaux
<b>CIRAD</b> :.....	Centre de coopération internationale en recherche agronomique
<b>Climategate</b> :.....	Piratage d'un ensemble de courriels et de fichiers du CRU, entraînant une controverse avant le sommet de Copenhague de novembre 2009
<b>CNRS</b> :.....	Centre National de la Recherche Scientifique
<b>CO<sub>2</sub></b> :.....	Dioxyde de carbone ou gaz carbonique, gaz à effet de serre
<b>COP21</b> :.....	21 <sup>ème</sup> Conference Of Parties, qui s'est tenue au Bourget en 2016
<b>CRU</b> :.....	Climate Research Unit de l'université d'East Anglia
<b>c.v</b> : .....	coefficient de variation des totaux annuels de précipitations en un point donné sur les terres émergées. Le coefficient de variation est le rapport de l'écart-type à la moyenne d'une chronique d'observation de trente ans ou plus.
<b>DELFI</b> :.....	société de conception de systèmes d'information
<b>DEPPR</b> :.....	Direction des Etudes de Prévention des Pollutions et des Risques
<b>EDF-DTG</b> :.....	Electricité de France- Division Technique Générale
<b>ENSO</b> :.....	El Nino - Southern Oscillation
<b>FTP</b> :.....	Francs Tireurs et Partisans
<b>GCM</b> :.....	Global Climatic Model
<b>GES</b> :.....	Gaz à effet de serre
<b>GIEC</b> :.....	Groupe International d'Etudes du Climat
<b>GRADEX</b> :.....	Gradient des valeurs extrêmes de précipitations journalières
<b>GREF</b> :.....	Génie Rural Eaux et Forêts
<b>HCFC</b> :.....	Hydrochlorofluorocarbure, gaz fluoré à effet de serre

<b>IFEN</b> :.....	Institut Français de l'Environnement
<b>IFREMER</b> : .....	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
<b>INP</b> : .....	Inventaire National de la Pollution
<b>INRA</b> : .....	Institut National de Recherche Agronomique
<b>IPCC</b> : .....	Intergovernmental Panel on Climatic Change
<b>IRD</b> : .....	Institut de Recherche sur le Développement. Cet organisme a remplacé l'ORSTOM Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre Mer
<b>Merise</b> : .....	Méthode de conception de système d'information
<b>NAO</b> : .....	Oscillation Nord Atlantique : mécanisme de télé connexion
<b>N<sub>2</sub>O</b> : .....	Protoxyde d'azote ou oxyde nitreux, gaz à effet de serre
<b>NSS</b> : .....	Natures Sciences et Sociétés
<b>O<sub>3</sub></b> : .....	Ozone troposphérique
<b>OCDE</b> : .....	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
<b>OIEau</b> : .....	Office International de l'Eau
<b>OMM</b> : .....	Organisation Météorologique Mondiale
<b>ONEMA</b> : .....	Office National d'Etude des Milieux Aquatiques
<b>ONU</b> : .....	Organisation des Nations Unies
<b>PER</b> : .....	Pression Etat Réponse
<b>PNA</b> : .....	Mécanisme de télé connexion Pacifique Amérique du Nord
<b>PNUD</b> : .....	Programme des Nations unies pour le développement
<b>ppmc</b> : .....	Partie par million de concentration
<b>PSU</b> : .....	Parti Socialiste Unifié
<b>PTT</b> : .....	Poste Télégraphe Téléphone
<b>RNB</b> : .....	Réseau National de Bassin
<b>RNDE</b> : .....	Réseau National de Données sur l'Eau
<b>RPC</b> : .....	Réseau Pluviométrique Complémentaire de celui de la météorologie nationale sur le bassin Seine Normandie
<b>SANDRE</b> : .....	Secrétariat d'Administration Nationale des Données Relatives à l'Eau
<b>SRAE</b> : .....	Service Régional d'Aménagement des Eaux
<b>SO<sub>2</sub></b> : .....	Dioxyde de soufre ou anhydride sulfureux, gaz qui se transforme en aérosols
<b>TD</b> : .....	Travaux Dirigés

## *Sigles*

**TOAE** : ..... Terre Océans Atmosphère Espace  
**TPE** : ..... Travaux Publics de l'Etat  
**ZCIT** : ..... Zone de Convergence Inter Tropicale  
**Zone de c.v.** : ..... Zone où le c.v. est constant pour tous les points de la zone



# INDEX

## A

- Abraham Moles: 9, 24, 72
- action anthropique: 20, 23, 25
- administration des données: 80, 82
- Adrar: 63
- aérodromes: 31
- aéronefs: 46
- aérosols: 15, 17, 46, 94
- Afghanistan: 62
- Afrique du Nord: 12
- Afrique du Sud: 36
- agence de l'eau: 11, 18, 75, 79, 85
- agglomérations: 13, 28, 31, 44
- Aisne: 88, 89, 90
- Aix en Provence: 80, 81
- Alaska: 53, 54, 58
- albedo: 44
- aléas: 41, 44
- aléatoire: 25, 28, 40, 41, 47
- Alice Springs: 42, 62
- alizés: 45, 63
- Alpes: 27, 54, 68
- altitude: 19, 42, 49, 53, 54, 60, 63, 66
- Amayon: 76, 77
- Amazonie: 60
- Amérique du Nord: 38, 42, 53, 94
- André Goubet: 86
- Antarctique: 13
- Arabie: 60
- archives: 75, 78, 85, 88, 90
- aride: 53, 61, 62
- aridité: 59, 60, 61, 62
- Artois Picardie: 65, 91
- Asie: 53
- assainissement pluvial: 76
- astéroïde: 42
- astrophysiciens: 13, 42
- Atacama: 61
- atmosphère: 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 22, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 52, 54, 55, 56, 57, 67, 71

Aube: 75, 77, 88  
Australie: 28, 42, 53, 61, 62

## **B**

Bachet: 78  
Banque de données: 93  
barbarie du spécialisme: 57  
barrage: 68, 75, 77, 85, 86, 88, 89  
barrages: 75, 76, 77, 78, 87  
barragistes: 91  
Basse Californie: 61  
Bassin parisien: 52, 68  
Baumgartner et Reichel: 57, 67  
Bayes: 88  
Belgrand: 85  
Bernard Leblanc: 80  
bief: 85, 86, 87, 89, 90, 91  
bief de partage: 89, 90, 91  
bilan hydrique: 17, 49, 65  
bilans globaux: 56  
Blanchard: 86  
boîte noire: 31, 32  
bombe d'Hiroshima: 42, 46  
Bossard Consultants: 82  
Bourg et Comin: 90  
Bourgogne: 68  
Bretagne: 40, 65, 81  
Brétigny sur Orge: 64  
Brice Lalonde: 82  
bruits: 37, 47  
Bulgarie: 40

## **C**

calculs statistiques: 26  
calories: 29, 30, 91  
Canada: 53, 54  
canal: 75, 89, 90, 91  
Cape Grim: 28  
Capot-Rey: 62  
capteurs satellitaires: 26  
carburants fossiles: 15, 17  
catastrophe: 71  
cause bifurcante: 42  
cause cyclique: 40

- cause déterministe: 44, 47
- causes aléatoires: 37
- causes du climat: 10, 25, 37, 48
- causes tendanciennes: 37, 38, 43, 44
- ceintures magnétiques: 46
- cellules atmosphériques: 39
- cellules polaires: 39
- centrale nucléaire: 30, 75, 88
- cercle polaire: 43
- chaleur: 13, 22, 28, 29, 30, 31, 34, 39, 41, 44, 45
- chaleur latente: 22
- Chambolle: 77
- Champaubert aux Bois: 85
- changement climatique: 2, 9, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 20, 75
- chaos: 25, 53
- Chée: 88
- Chemin des Dames: 90
- Cherrapundji: 61, 66
- Chili: 53
- chronique: 26, 27, 28, 49, 58, 93
- cinquantièmes hurlants: 54
- circulation générale: 41, 52, 54, 66, 67, 71
- circulation troposphérique: 63
- classification ordinale: 53
- Claude Fabret: 80, 81
- Claude Piéplu: 86
- Claude Truchot: 82
- climat: 1, 9, 10, 11, 15, 16, 18, 21, 22, 25, 31, 32, 35, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 51, 52, 59, 60, 63, 67, 68, 71, 73
- Climate Research Unit: 9, 53, 93
- climatologie: 9, 11, 25, 49, 50, 51, 52, 76
- Climat sahélien: 52
- Climats et Sociétés: 9, 51, 59
- coefficients de variation: 9, 10, 50, 51, 53, 55
- coïncidence: 35, 36
- concentration: 14, 18, 20, 28, 29, 32, 33, 39, 44, 94
- condensation: 16, 22
- cône d'ombre: 40
- Confluence: 75
- congélation: 42, 43
- conjecture: 9, 12, 25, 29
- conséquence: 21, 32, 35, 39, 44, 57, 76
- continentalité: 63
- coordonnées géographiques: 49
- COP21: 9, 93

cordillères américaines: 40  
Coriolis: 37, 39, 45, 55  
Côte d'Azur: 68, 69  
courant équatorial: 45  
courants jets: 46  
courants maritimes froids: 63  
courbes de niveau: 66  
croissance des connaissances: 67  
crue: 76, 77, 78, 91  
C. Troll: 62  
c.v.: 50, 51, 52, 53, 54, 58, 59, 64, 66, 67, 68, 95  
cycle de l'eau: 16, 17, 18  
cycles du carbone: 19  
cyclone: 67  
Cyril Fleurant: 32

## D

Daniel Duband: 68  
Danloux: 67  
David Kridge: 36  
débordement: 43  
degrés centigrades: 30  
démarche scientifique: 23  
Denis Lamarre: 9, 51, 52, 59, 68  
dépollution: 75, 76, 78  
dérèglement climatique: 44  
dérèglement démographique: 27, 33, 43, 44, 59  
désert: 53, 59, 61, 62, 63, 64  
désert Rouge: 62  
déserts: 9, 10, 40, 54, 57, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66  
déserts azonaux: 63  
déserts zonaux: 63  
déterminisme: 25, 38, 39, 40, 58  
Dettwiller: 12, 13, 28  
dioxyde de carbone: 13, 18, 29, 32, 35, 39, 46  
Dipôle Océan Indien: 45  
discours catastrophistes: 18  
dispute: 18  
Dominique Preux: 82, 83  
données d'observation: 23  
doxa: 20, 21, 22  
Dreux: 64  
droits à polluer: 20  
Duband: 68  
Dunkerque: 91

Durousseau: 91

Durozoi: 89

## E

eau brute: 85, 87

eau potable: 2, 34, 75, 85, 86, 87, 88, 91

eaux réchauffées: 34

échantillon: 80

échelle limnimétrique: 87

écluse: 90

éclusiers: 90

économistes: 21

Edith Crouzet: 79

effet de serre: 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 29, 30, 31, 35, 46, 93, 94

effet parasol: 16, 18, 42

el niño: 13

Eluard: 32

Emberger: 62

Emmanuel Leroy Ladurie: 35

énergie fossile: 20, 29, 30, 44

énergie solaire: 16, 43, 44

enneigement: 19

ENSO: 37, 38, 45, 71, 93

environnement: 2, 28, 30, 34, 60, 82

épistémologues: 24

équateur: 53, 55, 57, 63

équinoxe: 40

ères géologiques: 26, 45, 47

Ernest Bénévent: 54

erreurs systématiques: 28

Espace: 42, 52, 95

Etat: 14, 27, 76, 77, 79, 91

étiage: 30, 77, 85, 87, 88

Europe: 2, 42, 53, 57, 58, 71

évaporation: 16, 56, 57

évapotranspiration: 56

explosion volcanique: 35

## F

façade atlantique: 49, 57

Fermat: 25

fermeture: 65

Ferrel: 39, 42, 54, 55, 58, 61, 62

Flamanville: 30

Fontainebleau: 26  
forçage radiatif: 14, 20, 31, 35, 46  
forêt d'Orient: 85  
France métropolitaine: 67  
François Valiron: 50

## G

Gabon: 59  
Galton: 49  
Gauss: 49, 59  
gaz à effet de serre: 13, 14, 16, 17, 18, 20, 23, 29, 30, 31, 93, 94  
gaz carbonique: 14, 20, 21, 28, 29, 30, 32, 33, 36, 43, 93  
géographier: 51  
Georges Rossi: 21  
Gestalt: 64  
GIEC: 9, 14, 15, 18, 20, 21, 22, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 45, 71, 93  
Gilbert Abouhair: 81  
Gilbert Walker: 45  
glacier: 39  
glaçons: 30  
Gleizes: 77  
golfe de Gascogne: 68  
gouvernement français: 21, 22  
gradex: 67, 68  
gradient pluviométrique: 47, 65  
Grande Guerre: 71, 90  
gravitation universelle: 37, 39, 40, 41, 45  
Grenelle: 77

## H

Hadley: 39, 40, 52, 55, 62, 63  
Harmancioglu: 25  
hasard: 25, 58, 89  
hautes latitudes: 53, 54, 57, 58, 62, 64, 66  
Haut Follin: 64  
Hawaï: 28  
hémisphère Nord: 13, 39, 40, 42, 45, 60, 71  
hémisphère Sud: 39, 40, 45, 71  
Hérodote: 51  
heuristiques: 21  
hiatus: 22  
Himalaya: 53, 61, 66  
hirondelle: 40  
histoire des sciences: 18

## *Index*

Houille Blanche: 40  
Hunt: 12  
hydro climatologie: 9, 11, 25, 49  
hydrologie: 11, 24, 25, 27, 77, 78  
hypothèse: 28, 87

### **I**

île Maurice: 42  
îles de la Sonde: 41  
îlots de chaleur: 28, 30, 44  
impact: 19, 20, 55  
Inde: 12, 45, 51, 52  
indicateur: 27, 28  
Indonésie: 42  
inertie thermique: 17, 40  
influence anthropique: 32  
inondation: 43  
In Salah: 61, 62, 66  
Iran: 40  
Irlande: 28  
Islande: 12  
isohyète: 62, 63, 64, 66  
isohypses: 49, 65, 66

### **J**

Jacques Dettwiller: 28  
jaugeage: 86  
Jean François Donzier: 82  
Jean-François Saglio: 79  
Jean Hugues: 80  
Jean-Luc Laurent: 82  
Jean Luc Racine: 51, 52  
Jean Marie Masson: 40, 87  
Jean Tixeront: 51, 75, 89  
Joël Danloux: 67  
Julien Bonnet: 65  
Jura: 47

### **K**

Karl Popper: 9, 29, 72  
Kellogg: 13  
Kerala: 51  
Kh. Paffen: 62  
Krakatoa: 41, 42

krigeage: 33, 36  
Kyoto: 14

## L

lac du Der: 85, 88  
lac Léman: 57  
La Haye: 14  
Lallemand: 66, 78  
La Mauldre: 30  
Lamb: 11, 12  
Larminat: 32  
Larousse: 25, 37  
latitude: 49, 61, 62, 63, 66  
Leroy Ladurie: 35  
Liliane Chauffrey: 81  
loi de distribution: 58  
loi de probabilité: 49, 58  
Loire Bretagne: 65, 81  
longitude: 49  
Louis Serra: 58  
l'Yonne: 85, 88

## M

Mace Head: 28  
magnétisme: 46  
mammoths: 42, 43  
Manche: 30, 68  
marc de café: 25  
Marcel Pierre: 89, 90, 91  
marées: 39, 55  
mariniers: 90  
Marne: 2, 77, 85, 86, 88, 90, 91  
martingale: 25  
masses d'air: 40, 47, 52  
masses marines: 45  
Matheron: 36  
Mauldre: 30  
Mauna Hoa: 28  
Mauritanie: 61, 63  
mécanisme de télé connexion: 53, 54, 59, 66, 67, 68, 94  
médias: 18, 20, 22, 31  
médiaterre: 18  
Méditerranée occidentale: 68  
mer Arctique: 12

mer des Sargasses: 61  
Mer du Nord: 68  
mesurage: 27, 37, 75, 86  
Météo France: 18, 21  
météorologie: 11, 27, 51, 71, 94  
méthane: 14  
méthode empirique: 47  
méthodes paléo climatiques: 26  
Met Office Hadley Centre: 52  
Michel Grimal: 80  
Michel Mousel: 81, 82  
Milankovitch: 12, 15, 35, 39, 46  
Milutin Milankovitch: 46  
mission déléguée: 91  
Mitchell: 9, 53, 54, 58, 59, 66, 67  
modèles climatiques: 22, 23  
modèles numériques: 12, 32  
modélisation: 18, 19, 21, 23  
molécules: 22  
Monampeuil: 90  
monde intelligent: 20, 31, 32, 34, 35, 41, 42, 43, 44, 48, 60, 65  
monographie: 51, 75  
montagnes chinoises: 40  
mont Mac Kinley: 53, 58  
Montsouris: 13  
Morand: 26  
Morin: 78  
Morvan: 2, 64  
Moselle: 91  
mousson: 12, 52  
Moyen Age: 18  
moyennes mobiles: 49, 57  
mur de la science achevée: 24

**N**

Namibie: 53, 61  
nappe: 76  
navigation: 85, 86, 89, 90, 91  
nébulosité: 12, 16  
Neuilly sur Marne: 85, 86  
Niamey: 26  
Nicolas Bonnet: 82  
niveau de la mer: 18, 45  
niveau des océans: 15  
nivellement: 66

Nogent sur Seine: 30, 75  
Noirrieu: 89, 91  
Noisiel: 86, 87  
Norois: 32  
Norwich: 11  
Nouakchott: 63  
Nouvelle Calédonie: 67

## O

observateur: 27  
occurrence: 12, 19, 26, 32, 44, 45, 55, 59, 68  
océan Indien: 45, 53, 61  
océans Pacifique: 45  
Oise: 78, 88, 89, 90, 91  
Olivier Godard: 20  
omerta: 75  
OMM: 11, 13, 26, 27, 94  
ONU: 11, 94  
Oort: 62  
Origny- Sainte-Benoîte: 88  
Ornain: 88, 91  
orographie: 47  
Ortega y Gasset: 57  
ozone: 13, 14

## P

Pacifique Nord: 28  
Pacifique Sud: 45  
Pagney: 9, 51, 59  
paléoclimats: 12  
Panecières: 85, 87  
Papouasie Nouvelle Guinée: 60  
parallèle: 71, 81, 82  
paramètre: 16, 38, 80, 81, 82  
Paris: 2, 12, 13, 28, 30, 44, 52, 76, 77, 78, 85, 86  
particules volcaniques: 42  
Paul Boi: 81  
Paul Eluard: 32  
pensée dominante: 21  
période glaciaire: 30  
perré: 86, 87, 90  
petit âge glaciaire: 31, 35, 46  
Petit-Renaud: 49, 57  
Petit Robert: 25

## *Index*

phénomène: 13, 30, 31, 33, 35, 37, 38, 42, 43, 44, 45, 46, 64, 65, 87  
Phil Jones: 9, 53, 54, 67  
photosynthèse: 29, 39, 43, 44  
Pierre Balland: 79, 86  
Pierre Frédéric Ténière Buchot: 81  
Pierre Guillot: 47, 68  
Pierre Pagney: 9, 51, 59  
pluies quotidiennes: 49, 68  
pollution: 75, 76, 78  
pont d'Austerlitz: 78  
population: 11, 12, 43, 59  
Porcheville: 30  
précaution: 18, 35  
précession des équinoxes: 46  
précipitations: 9, 10, 18, 22, 23, 25, 38, 40, 42, 45, 47, 49, 50, 52, 54, 55, 56,  
57, 58, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 72, 78, 93  
précipitations extrêmes: 22, 23  
prédétermination: 24  
prélèvement: 79, 80, 91  
pression barométrique: 45  
prévision déterministe: 88  
prévision météorologique: 24, 34, 88  
prévision probabiliste: 88  
Prix Henri Milon d'hydrologie: 24  
probabilités: 25, 51  
protocole: 27  
Pyrénées orientales: 68, 69

## **Q**

quarantièmes rugissants: 54

## **R**

Raymond Arléry: 51  
rayonnement infrarouge: 14, 16, 22  
rayonnement solaire: 16, 22, 31, 32, 37, 39, 40, 45, 55  
réchauffement: 9, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 23, 25, 27, 28, 29, 31, 32, 34,  
35, 36, 43, 44, 48, 53  
redevances: 75, 91  
refroidissement: 16, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 88  
réfutation: 9, 29  
Régis Lesguillier: 81  
Reims: 89  
rejets d'eau de refroidissement: 30  
rejets d'eau usée: 29, 30

relevés limnimétriques: 66  
relief: 18, 40, 63, 66, 71  
Rémi Pochat: 78  
René Brémond: 79  
réseau pluviométrique complémentaire: 64, 65, 85  
réservoir hydrique: 10, 54, 55, 56, 57, 58, 64  
réservoir hydrique troposphérique: 56  
Résistance: 90  
ressource: 2, 19, 75, 76  
ressource en eau: 19  
rétroaction: 16, 17, 43  
révolution: 55  
Rhin: 65, 82, 91  
Rhin Meuse: 65, 82  
Rhône Méditerranée Corse: 65  
Richard Stock: 82  
rigole: 89, 91  
Rio: 14  
risques: 19, 27, 33, 43  
Robert Kandel: 15, 17, 20, 22  
Roger Lambert: 87  
rotation de la Terre: 31, 39, 46, 58  
rotations de la Lune: 55

## S

Sahara: 53, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66  
Sahel: 52, 53, 58, 59  
Saint-Maur: 85, 87  
Saint-Maurice: 85, 86  
Saint-Quentin: 89, 91  
Saint Quentin en Yvelines: 30  
saisons: 19, 42, 55  
Sand Island: 28  
Saulx: 88  
scénarios: 21, 67  
science: 21, 24, 71, 72  
science du climat: 71  
sciences de l'imprécis: 9, 24, 71, 72  
sciences exactes: 24  
sciences humaines: 24  
sciences hydrologiques: 56  
sécheresse: 12, 19, 26, 43, 59, 60, 75, 76, 78, 88, 91  
Sedan: 85  
Seine: 2, 9, 11, 30, 47, 49, 50, 51, 64, 65, 66, 75, 76, 78, 79, 81, 82, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 94

## *Index*

Seine Normandie: 9, 11, 47, 49, 50, 51, 64, 65, 66, 76, 79, 81, 82, 85, 89, 90, 94  
sémantique: 23  
semi-aride: 53  
Shackleton: 12  
Shadoks: 85, 86, 87, 88  
Shlikomanov: 57, 67  
Société Hydrotechnique de France: 24  
Sorbonne: 50  
stations de mesure: 30, 31  
subaride: 61, 62

## **T**

taïga: 54  
Tambora: 42  
tarissement: 87  
taux d'humidité: 60  
taxation: 35  
taxes: 20  
tectonique des plaques: 47  
température: 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 26, 27, 28, 29, 30, 33, 34, 36, 44, 45, 55, 62, 71  
température de l'air: 27, 62  
température moyenne globale: 15, 26, 27  
tendance: 21, 23, 27, 28, 29, 33, 38, 51, 61, 65  
Terre: 26, 31, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 46, 48, 52, 55, 56, 58, 95  
terres émergées: 22, 23, 34, 38, 40, 42, 45, 47, 51, 53, 54, 56, 58, 59, 61, 64, 66, 67, 71, 93  
Théodore Monod: 9, 10, 53, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66  
théorème: 25  
thermocline: 45  
Tiers-Monde: 17  
TOAE: 52, 95  
Toshio Yamagata: 45  
totaux annuels de précipitations: 10, 49, 50, 65, 67, 93  
tundra: 54  
tracé: 49, 64, 65, 66, 68  
transferts d'eau: 89, 90, 91  
transpiration: 56  
traversée de la pluie: 2, 9, 11, 31, 49, 57, 75, 77  
Troll: 62, 66  
troposphérique: 14, 56, 63, 94  
trou d'ozone: 13  
tsunamis: 42

## **U**

université d'East Anglia: 9, 93  
urbanisation: 13, 31, 33, 44  
usine d'eau potable: 86, 87

## V

Vailly sur Aisne: 90  
valeur cardinale: 53  
Van Allen: 46  
vapeur d'eau: 16, 17, 22, 24, 63  
Varennes en Argonne: 88  
Véronique Jovy: 79  
Villach: 13  
Ville de Paris: 85  
Villers en Argonne: 88  
Villers-le-sec: 88  
Vincent Blanc: 82  
Vincent Courtillot: 46

## W

Wegener: 47  
westerlies: 58  
Wust: 57, 67

## Y

Yevjevich: 25, 56  
Yonne: 85, 88  
Yukon: 53, 54  
Yves Lenoir: 18

## Z

ZCIT: 54, 55, 63, 95  
zonale: 53, 58, 59, 64  
zonalité: 61, 66  
zone équatoriale: 58, 66  
zone intertropicale: 40, 57, 61, 64

## REMERCIEMENTS

Tout au long, j'ai beaucoup apprécié le soutien chaleureux et les conseils de mes amis Armand Hage, Denis Lamarre, Pierre Frédéric Ténière Buchot et Yves Monnier.

Les mots cordiaux de Claude Cosandey, Joël Danloux, Michel Desbordes et Bruno Tassin m'ont beaucoup aidé.

Je les remercie tous affectueusement.

La présence constante de mon épouse Andrée m'a permis d'arriver au terme de ce livre.



# TABLE DES MATIERES

## Le climat en suivant la pluie

<b>Introduction générale .....</b>	<b>9</b>
<b>Première partie : L'appréhension du climat global sous l'angle du changement .....</b>	<b>11</b>
<b>A. Le changement climatique global tel qu'il est perçu en l'an 2000....</b>	<b>11</b>
1. Fluctuations et variations climatiques .....	11
2. Qu'est-ce que le changement climatique global ? .....	13
3. En l'an 2000, où en est la connaissance scientifique sur le changement climatique global ?.....	15
<b>B. 15 ans après, voici mes commentaires sur ce qui précède .....</b>	<b>20</b>
<b>C. Où en est-on en 2015, année de la COP 21 ? .....</b>	<b>22</b>
<b>D. L'établissement des faits.....</b>	<b>25</b>
1. Le réchauffement est-il réel ? .....	25
2. La concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère a-t-elle augmenté durant la dernière période ? .....	28
<b>E. Conjecture et réfutations.....</b>	<b>29</b>
1. La conjecture .....	29
2. Quelques éléments de la réfutation.....	29
<b>F. Récapitulons .....</b>	<b>33</b>
<b>Deuxième partie : A la recherche des causes du climat .....</b>	<b>37</b>
<b>A. Les causes permanentes au cours des temps géologiques.....</b>	<b>39</b>
1. Les deux principaux facteurs déterministes du climat.....	39
2. Les causes cycliques dont les effets s'observent en chaque point du globe.....	39
3. Les causes cycliques en va et vient d'un hémisphère à l'autre.....	40
4. Les causes des variations aléatoires .....	41
5. Les causes bifurcantes .....	41
5 - 1. Celles provenant du centre de la Terre .....	41
5 - 2. Les causes bifurcantes provenant de l'Espace .....	42
6. Les causes tendancielles .....	43
6 - 1. Celles liées à l'apparition de la vie sur la Terre .....	43
6 - 2. Celles liées au développement du monde intelligent .....	43
7. Les mécanismes de télé connexion entre les masses marines (et leurs courants) et les terres émergées soumises aux mouvements de l'atmosphère.....	45

8. Autres causes possibles .....	46
8 - 1. Les courants jets .....	46
8 - 2. Le forçage radiatif .....	46
8 - 3. Le magnétisme .....	46
8 - 4. Les cycles orbitaux de la Terre identifiés par Milutin Milankovitch.....	46
9. Pour mémoire, les bruits affectant les observations, notamment les protocoles de mesure.....	47
<b>B. Les changements au cours des ères géologiques .....</b>	<b>47</b>
<b>C. Conclusion provisoire .....</b>	<b>48</b>
<b>Troisième partie : Les précipitations sur le globe .....</b>	<b>49</b>
<b>A. Les totaux annuels de précipitations.....</b>	<b>50</b>
a . La découverte du c.v. constant sur une zone (c.v. est le coef- ficient de variation des totaux annuels de précipitations à une station donnée) .....	50
b . A la recherche d'autres c.v. trouvés ailleurs sur le globe .....	51
c . Enfin une carte des c.v. sur le globe .....	52
<b>B. Le réservoir hydrique de l'atmosphère .....</b>	<b>54</b>
a . Partons d'hypothèses solides .....	54
b . Les conséquences envisageables .....	55
c . Justification de l'approche par les précipitations.....	56
d . L'évaluation du réservoir hydrique global atmosphérique.....	57
<b>C. Remarques complémentaires sur les c.v. du globe.....</b>	<b>58</b>
<b>D. Le cas des déserts .....</b>	<b>59</b>
<b>E. Le recours aux isohyètes au-delà des déserts .....</b>	<b>64</b>
<b>F. L'utilité du gradex .....</b>	<b>67</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>71</b>
<b>Miscellanées d'antan .....</b>	<b>73</b>
La question des pas de temps .....	75
La naissance d'un « monstre » : le SANDRE .....	79
L'opération « Shadoks » .....	85
Marcel Pierre.....	89
<b>Sigles .....</b>	<b>93</b>
Index .....	97
<b>Remerciements .....</b>	<b>111</b>



## Guy Bédriot

L'auteur, né en 1939, a obtenu son doctorat de géomorphologie dynamique à Besançon en 1966 sur l'érosion des sols due au ruissellement en Tunisie.

Recruté pour faire l'étude climatologique du bassin Seine Normandie, il intégra l'agence financière, délaissant le CNRS. Il installa le réseau pluviométrique complémentaire, puis entreprit les études hydrologiques au droit de sites potentiels de barrages réservoirs dont il proposa la programmation en amont de Paris. En parallèle, la SHF lui confia l'animation de sa section pluviométrie. Il organisa plusieurs colloques et fit le bilan des actions de lutte contre la sécheresse de 1976 en France. La précision des mesures, tant hydrométriques que pluviométriques, fut toujours une de ses préoccupations. En 1986, il changea de métier et fut chargé de la réorganisation des banques de données de la qualité des eaux de Seine Normandie puis de l'ensemble des agences de l'eau. Il conçut le secrétariat d'administration nationale des données relatives à l'eau (SANDRE) et pilota le projet de réseau national de banques de données sur l'eau (RNDE).

Après avoir dressé en 2000 un état succinct des connaissances relatives au changement climatique global, l'auteur tente un examen critique de ce premier rapport à l'aide d'éléments de réfutation de la conjecture avancée par le GIEC sur le lien entre dioxyde de carbone et réchauffement climatique.

La deuxième partie est consacrée à l'identification des causes du climat avec un début de classification. Puis la pluviométrie sur le globe est évoquée à partir du réservoir hydrique de l'atmosphère et des mécanismes de télé connexion entre océans et terres émergées.

La conclusion générale est que les sciences du climat sont en train de naître.

Suivent enfin quatre récits de souvenirs professionnels où l'on ressent la nécessité de parvenir à une prévision climatique de la pluie sur la plus longue durée possible.

ISBN 979-10-91089-32-6



9 791091 089326

  
EDITIONS  
JOHANET

<http://www.editions-johanet.com>