Septembre 2019 - Numéro 7
Numéro ISSN : 1967 - 0818

Les Cahiers de la Fondation Pierre Vérots

POUR L'ÉTUDE ET LA PRÉSERVATION DE LA FAUNE ET DE LA FLORE DE LA DOMBES
Fondation reconnue d'utilité publique par décret du 13 juin 1984

Le mot du Président du Comité Scientifique de la Fondation Pierre Vérots

Nul ne conteste plus aujourd'hui l'évolution rapide du climat de notre planète, qui se fait à une vitesse qui n'a probablement pas eu d'équivalent au cours de l'histoire connue de la Terre, peuplée par notre espèce. Après bien des hésitations, des enquêtes et des débats, il semble maintenant acquis que l'Homme et ses activités en sont les principaux responsables.

Ce changement global est le plus souvent considéré à l'échelle planétaire. Si de nombreuses voix mondialistes s'élèvent aujourd'hui pour tirer la sonnette d'alarme, cette approche globale induit cependant une sorte d'anonymat où chacun, dans un égoïsme et un individualisme bien naturels, pense qu'il passera à travers et que ce sont les autres, ou les prochaines générations, qui en seront victimes. Bien peu d'études proposent une approche locale, la seule susceptible de sensibiliser et d'inquiéter chacun d'entre nous à titre personnel.

C'est cette analyse que présente ici le Professeur Philippe Lebreton. A partir de relevés climatiques dombistes minutieusement compulsés sur les 50 dernières années, il nous dresse un portrait saisissant de l'évolution récente de notre propre climat, celui que nous trouvons chaque matin sur le pas de notre porte.

Loin de tout dogmatisme, son approche scientifique rigoureuse jette une lumière très crue sur une question qui nous concerne tous, et bien plus encore que nous le croyons. Cette étude rétrospective du climat dombiste nous conduit à des projections bien sombres, qui vont bien au-delà de la simple inquiétude, et qui devraient nous inciter à réfléchir très concrètement, et de toute urgence, à la manière de nous y préparer, nous les Dombistes.

Philippe NORMAND,
Président du Comité Scientifique
de la Fondation Pierre Vérots

Locaux de la Fondation
et étang Praillebard vus du ciel
(avril 2019), illustrant bien
le cruel manque d'eau...
Crédit photo : P. Grandjean

Le CLIMAT de la DOMBES : ANALYSE et SYNTHÈSE CRITIQUE d'un DÉRÈGLEMENT CLIMATIQUE

Philippe Lebreton

Fondation Pierre Vérots, Domaine de Praillebard. 261 chemin de Praillebard 01390 Saint-Jean-de-Thurigneux (Dombes) Ain France

SOMMAIRE

Résumé ..... page 3

1/ Météorologie *versus* climatologie ? ..... page 4

2/ Un historique surprenant ..... page 6

3/ Données météorologiques et traitements analytiques ..... page 7

4/ Une analyse thermique et pluviométrique intégrée ..... page 9
- 4.1. Evolution des températures ..... page 9
  - 4.1.1. Evolution générale
  - 4.1.2. Evolution « en crosse de hockey »
  - 4.1.3. Evolutions mensuelles
  - 4.1.4. Evolutions saisonnières
- 4.2. Evolution des précipitations ..... page 13
  - 4.2.1. L'évolution pluviométrique
  - 4.2.2. Types pluvio-climatiques
- 4.3. Evolution des indices bioclimatiques ..... page 15
  - 4.3.1. Indice (mensuel) de De Martonne
  - 4.3.1. Indice (estival) de Emberger
- 4.4. Gaz carbonique et échauffement planétaire ..... page 17

5/ Incidences climato-économiques ..... page 20
- 5.1. Les fruits du sol ..... page 20
  - 5.1.1. La maïsiculture
  - 5.1.2. La viticulture
- 5.2. Les fruits de l'eau ..... page 22
  - 5.2.1. La pisciculture.
  - 5.2.2. L'avifaune aquatique

6/ Pourquoi ce climato-scepticisme ? ..... page 24

7/ Discussion générale et conclusions ..... page 31
- 7.1. Considérations méthodologiques ..... page 31
- 7.2. Traitement des données bioclimatiques ..... page 31
- 7.3. Considérations climatiques et bioclimatiques ..... page 33

8/ Bibliographie ..... page 36

9/ Remerciements ..... page 36

Jonchaie incendiée suite à la foudre sur l'étang Boufflers en assec (juillet 2019) : une conséquence directe du changement climatique ?

RÉSUMÉ

A partir de données de Météo France couvrant de 1964 à 2018, une étude a été conduite de l'évolution climatique du terroir particulier de la Dombes, « zone humide » et culturale intensive de quelque 1000 km² située dans l'Ain, au nord-est immédiat de Lyon. Une première approche vise à bien distinguer climatologie et météorologie puis une brève histoire est tracée de « l'échauffement climatique » dont deux personnalités symbolisent la dimension séculaire : Svante Arrhenius (prix Nobel de Chimie, en 1903) et Al Gore (prix Nobel de la Paix, en 2009). La troisième partie relève de la rubrique « matériel et méthodes », avec le choix des stations météorologiques et leur typologie climatique, les variables considérées (température, précipitations et indices bioclimatiques), les sources bibliographiques élargissant le champ biogéographique au confluent d'influences continentales, océaniques et méditerranéennes, le traitement statistique des données et des résultats.

Amorçant la quatrième partie, le premier constat est la nette rupture thermique au début de la décennie 1980 : avant 1982, les valeurs s'inscrivent pendant 18 ans sur un palier de moyenne 10°C auquel succède une ascension dont la pente (hautement significative) atteint 5°C par siècle ; l'image d'une courbe brisée en « crosse de hockey » ne peut donc être ici niée. Cet échauffement connaît une répartition saisonnière attribuant à l'été un rôle prédominant, avec + 3,1°C d'échauffement entre les années 1960 et 2010, soit le tiers du bilan annuel ; il est suivi par le printemps, avec 2,5°C et le quart du total ; le reste concerne l'automne (+ 2,3°C et le quart du total) et l'hiver (+ 1,6°C et le sixième du total) : la « belle saison » est donc la plus concernée, avec elle l'essentiel des potentialités biologiques, floraisons et reproductions animales, mais aussi des productions agricoles et piscicoles.

Les précipitations, si aléatoires soient-elles, permettent de reconnaître des rythmes saisonniers autorisant l'établissement de « types climatiques », comparés aux trois principaux climats européens : océanique, continental et méditerranéen, à l'interface desquels s'inscrit un « climat lyonnais », dont relève la situation dombiste. Celle-ci connaît quelques influences atlantiques (à l'origine de certaines pluies), à peine plus méditerranéennes (malgré l'échauffement et le vent du sud), un peu plus continentales (épisodes caniculaires, connus dans toute l'Europe). La tendance décennale est une évolution à profil parabolique avec augmentation du début des années 1960 à la fin des années 1970, un apogée dans les décennies 1980-1990, puis une diminution depuis le début du présent siècle. Au premier ordre, plus que les températures, ce sont les précipitations qui pilotent les variations des indices bioclimatiques de type P / t (Précipitations / Températures), jusqu'à l'affirmation récente d'une sécheresse croissante.

Les certitudes concernant l'évolution de la teneur atmosphérique en gaz carbonique et ses liens avec la consommation carbonée et l'échauffement climatique laissent peu de doutes sur la persistance, voire l'accélération de phénomènes observés sur le terrain depuis un tiers de siècle. On peut désormais s'attendre au franchissement de la valeur 450 ppm(v) du gaz carbonique dans une demi-génération humaine et au doublement du plancher historique de 280 ppm avant 2065. A partir des 10°C des années 1960-1970 et des 12,9° +/- 0,3°C récents, la température moyenne annuelle pourrait atteindre 13,4°C en 2030 et 14,8°C en 2060. Trois questions sont alors posées : **1**/ Pourquoi les échauffements officiellement et médiatiquement annoncés ou programmés en France (0,85°C lors de la Conférence COP 21) sont-ils si éloignés de celui de 2,3°C aujourd'hui constaté sur le terrain en Dombes (et en d'autres stations régionales et européennes) : notre région serait-elle une exception climatique ; et si oui, pourquoi ? **2**/ Comment relier échauffement (la conséquence) et croissance carbonique (la cause) ? Une réponse a été apportée il y a plus d'un siècle par Svante Arrhenius : *If the quantity of carbonic acid increases in geometric progression, the augmentation of the temperature will increase nearly in arithmetic progression*, même si le mécanisme d'une telle relation reste à préciser. En 2013, le GIEC (Groupe International des Experts du Climat) annonçait 3,8°C dans une fourchette allant de 2,6 à 5,2°C pour la fin du XXIe siècle, rejoignant dès lors les « prophéties » de Svante Arrhenius, et nos propres résultats. **3**/ La complexité des évolutions thermiques et pluviales amène à parler non plus tellement de réchauffement climatique mais de dérèglement (du système) climatique global.

Les conséquences écologiques et économiques de ces évolutions rapides, voire accélérées, peuvent engendrer ou aggraver des crises sociologiques, économiques et politiques d'une rare dimension. En Dombes sont menacées des productions terrestres (le maïs) et aquatiques (les poissons, les oiseaux d'eau). Dans un tel contexte, global et local, il est surprenant qu'une minorité de scientifiques puisse s'arc-bouter sur des arguments dont le déterminisme et la qualité relèvent plutôt d'un registre psychosociologique. Des documents de divers ordres (données de Météo France, réflexions et positions, etc.) sont fournis en encarts ou en annexes, ainsi qu'une bibliographie locale et nationale opportune.

1/ Météorologie *versus* climatologie ?

Pour tous, **la météorologie** (plus couramment, la météo...) concerne la connaissance et la prévision quotidienne ou à court terme du « temps », amalgame sémantique inconnu de nos voisins anglophones et germanophones, qui distinguent le temps « climatique » (*weather*, *Wetter*) du temps « chronologique » (*time, Zeit*). Mais l'étymologie francophone est à son tour trompeuse pour le profane, qui peut voir en toute bonne foi dans la météorologie l'étude des « météores », confondus avec les météorites auxquels ne se limitent pas les météores, qui englobent en fait tous les phénomènes, physiques et chimiques, connus par l'atmosphère de notre planète : variations thermiques, nuages et précipitations (aqueuses ou neigeuses), vents (direction, intensité, humidité), orages (éclairs, tonnerre), ainsi que leur évolution et leur prédiction à court terme. En revanche, **la climatologie** s'intéresse à l'intégration, dans l'espace et dans le temps, de ces phénomènes et de leurs effets sur l'environnement, dont tous les phénomènes de la vie, y compris les activités de l'homme, bien entendu. Et voilà pourquoi les Gaulois, anticipant peut-être le dérèglement climatique, ne craignaient qu'une chose, que « *le ciel leur tombât sur la tête* » !

En fin de compte, la **météorologie** concerne notre atmosphère ou, plus rigoureusement, cette couche inférieure nommée troposphère, qui culmine vers 12 km d'altitude, limite des vols des jets subsoniques, et contient plus 80 % de la masse gazeuse. Du sol à ce plafond, la température décroît de manière quasi linéaire, de + 15°C à - 55°C, par détente adiabatique de l'air ; plus près du sol, communément, la température décroît selon un gradient universel d'un demi-degré centigrade pour 100 mètres de dénivellation. Quant à la **climatologie**, il s'agit d'effets sur « l'environnement », ce que corrobore l'emploi de « climat » comme substitut du terme « ambiance » : familiale ou sociale, une ambiance désagréable devient un « *climat délétère* »... Une autre image, bien concrète celle-ci, pour compléter les distinctions nécessaires : lorsque nous voyons des cyprès secoués par le mistral dans la vallée du Rhône, alors s'agit-il bien d'un effet météorologique ; en revanche, lorsque nous constatons qu'après des années de croissance, ils ont acquis une forme courbée vers le sud, dite « en drapeau », alors sont-ils devenus des « indicateurs-intégrateurs » à caractère climatique (*).

Impropriété, surtout lorsque cela concerne des bulletins météo professionnels : on ne doit pas dire « les températures sont fraîches » car c'est le « fond de l'air » qui est frais (et encore...) ; elles sont basses ou élevées, dans leur contexte. De même, on ne divise pas des températures pour les comparer à d'autres (4°C n'est pas deux fois plus chaud que 2°C, sinon 4°C serait infiniment plus chaud que 0°C !). Sinon encore, comment feraient les Américains pour faire des calculs à partir de leur échelle en degrés Fahrenheit ? En revanche, on peut en conduire avec des différences de températures : un échauffement de 4°C à partir de 0°C est comparable à un échauffement entre – 2°C et + 2°C, réclamant en effet la même mobilisation de calories. Enfin, où et comment mesure-t-on la « température de l'air » : au milieu des océans, au bord de la mer ou au sommet de l'Everest ? Partout, car cela dépend du but poursuivi, des recherches les plus sophistiquées au quotidien le plus banal. On peut mesurer la température de la stratosphère entre 20 et 40 km d'altitude, au dessus de la troposphère, là où la couche d'ozone se délite ou se reconstruit, mais pas au-delà, car les aurores boréales ne s'expriment qu'à partir de 80 km d'altitude et n'influencent donc pas notre environnement, sinon esthétique et touristique. A l'opposé, c'est près du sol, à hauteur d'homme, à 1,5 mètres, que fonctionnent les capteurs des stations météorologiques, placées à l'abri du vent et de l'ensoleillement direct. Ce qui intéresse le plus notre espèce, mais aussi la majorité de la flore et de la faune terrestres et du milieu aquatique superficiel, disons l'essentiel de la biosphère.

On mesure ainsi les températures : minimum nocturne et maximum diurne, dont la demi-somme fournira la moyenne quotidienne, elle-même intégrée aux niveaux mensuel, saisonnier, annuel (de décembre à novembre

(*) N'y a-t-il pas eu confusion entre météorologie et climatologie, entre court et long terme, lorsqu'a été décidée la fermeture de l'Observatoire du Mont-Aigoual, en pleine tourmente cévenole ? Certes, des radars sophistiqués, et coûteux, peuvent permettre de gagner 10 minutes sur la prévision des crues. Mais l'amélioration de notre compréhension climatique des épisodes cévenols ne dépend-elle pas aussi de la continuité de décennies d'observations (antérieures pour certaines à l'échauffement actuel), véritable banque de données à ne pas mettre à la poubelle ?
Des rivalités de discipline, donc de « pouvoirs », semblent affecter depuis leurs débuts « météorologie » et « climatologie ». En 1979 (*Mém. Acad. Lyon*, tome 33, p. 76), Maurice Striffling écrivait : *La météorologie est le lot des physiciens, la climatologie celle des géographes*.

consécutifs, ou « année météorologique », respectant la continuité de la saison hivernale). Pour les précipitations de même, à cela près que l'on partira des valeurs quotidiennes fournies par les pluviomètres, comme la direction et la force des vents le sont par les anémomètres. A l'échelle mondiale, toutes ces valeurs peuvent être écologiquement et géographiquement distinguées, ou combinées : on peut mesurer la température des océans (en surface, ou à des profondeurs diverses, en fonction des courants), en sachant que l'eau ayant une capacité calorifique élevée, on obtient là des valeurs très « conservatrices » ; dans l'hémisphère nord (ou boréal) ou sud (austral), en notant que la proportion des masses océaniques est plus élevée au sud qu'au nord ; en faisant la moyenne des températures boréales et australes, terrestres et/ou aquatiques, jusqu'à obtenir une température moyenne du globe, qui n'a valeur que générale, voire anecdotique, car personne n'habite partout à la fois. Il convient dès lors de souligner que les valeurs d'échauffement que nous serons amené à présenter ne sauraient être généralisées (en plus ou en moins) telles quelles *urbi et orbi,* bien qu'elles concernent probablement une majorité des humains peuplant le domaine holarctique (= somme du Paléarctique et du Néarctique, soit Eurasie et Amérique du Nord). En fin de compte, les valeurs concernant notre propos et notre ambiance, seront bien les « valeurs terrestres » obtenues par les stations météorologiques (encore) à notre disposition, représentatives d'une France de faible altitude (étage collinéen des phytogéographes), voire d'une Europe de latitude moyenne (autour du 45e parallèle) au sein de l'hémisphère nord.

Etang Praillebard partiellement gelé, que nous observerons peut-être moins fréquemment à l'avenir...

2/ Un historique surprenant

Vers 1775, le Genevois Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799), bien connu pour son ascension du Mont Blanc, constate qu'un thermomètre placé dans une boîte vitrée à fond noir soumise à ensoleillement s'échauffe davantage qu'un autre laissé à l'air libre. Un demi-siècle plus tard, vers 1822, le mathématicien Jean-Baptiste Fourier (1768-1830 ; membre de l'Académie des Sciences) extrapole et interprète le phénomène en termes de l'époque : *La température est augmentée par l'interposition de l'atmosphère parce que la chaleur* (= énergie de la lumière solaire) *trouve moins d'obstacles pour pénétrer l'air, étant à l'état de lumière* (visible), *qu'elle n'en trouve pour repasser dans l'air lorsqu'elle est convertie en chaleur obscure* (= énergie des radiations infrarouges, symbolisées IR). De 1859 à 1879, les études du Britannique John Tyndall prouvent que, si les gaz di-atomiques (di-oxygène O_2, di-azote N_2, etc.) sont transparents aux lumières visible et infrarouge, les gaz tri- et poly-atomiques (gaz carbonique CO_2, vapeur d'eau H_2O, ozone O_3, ammoniac NH_3, méthane CH_4, oxydes d'azote NO_x, etc.), sont opaques au (= absorbent le) rayonnement infrarouge moyen.

Le terme « effet de serre » (par allusion aux cultures sous serres, déjà connues à Versailles sous Louis XIV...) apparaît en 1869 sous la plume du Français Augustin Mougeot ; une autre image, tout aussi pédagogique, considère l'atmosphère comme une « soupape radiative » assurant l'équilibre énergétique du système Photosphère / Géosphère (= Soleil / Terre). Compte-tenu du cocktail gazeux qu'est notre atmosphère, l'échauffement de la planète est supérieur de 30-35°C à ce qu'il serait en son absence ; c'est d'autant plus heureux que la température annuelle moyenne de la Terre étant égale à quelque 15°C, elle ne serait qu'une immense banquise si elle était privée d'atmosphère (comme la Lune), dégelée seulement pendant un bref été équatorial ! Ce qui inquiète aujourd'hui n'est donc pas tellement *l'effet de serre* que sa récente et forte dérive à la hausse ou *échauffement climatique*, résultant de l'accumulation séculaire de plusieurs GES (Gaz à Effet de Serre) de diverses origines anthropiques. Emise en 1896 par Wilhelm Wien (1864-1928) et modifiée en 1900 par Max Planck (1858-1947), la « Loi de Wien » stipule qu'il y a inverse proportionnalité entre la température d'un « radiateur » (en principe, tout corps de température supérieure au zéro absolu = - 273°C) et longueur d'onde (formulée en microns) de la radiation émise par celui-ci : $\lambda_{(\mu)} = 2900 / T_{(K)}$. Ainsi, tout radiateur (= tout corps, du sens domestique du terme à la planète elle-même) porté à 15°C (288 K) émet-il une « lumière » dans la zone des 10 microns, radiation que nous pourrions voir si nous disposions des photorécepteurs adéquats (comme les abeilles trouvent « colorées » dans l'ultraviolet proche des fleurs que la rétine de notre œil considère comme blanches...). Plus précisément, le gaz carbonique est doté de deux bandes d'absorption situées dans l'IR proche et moyen, à 4,3 et 15 microns ; la vapeur d'eau de même ou presque, avec trois bandes à 9,0 + 9,3 et 14,5 microns.

La même année 1896 est vraiment féconde pour le propos, puisque le Suédois Svante August Arrhenius déjà cité (1859-1927), après de savants calculs pour lesquels il ne disposait pourtant pas de nos ordinateurs, publie un mémoire dans le *Philosophical Magazine*, où il prévoit un échauffement pouvant atteindre 3 voire 5°C pour un doublement de la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère terrestre (280 ppmv = parties pour million en volume donc en moles), au milieu du XIXe siècle, début de l'ère industrielle. Paradoxalement aujourd'hui, Arrhenius ne s'inquiétait nullement de ses résultats prédictifs, y voyant même la possibilité pour son pays d'accéder à l'autonomie céréalière ! Deux guerres s'écoulent ensuite où la question retombe curieusement dans l'indifférence, puis dans l'oubli (suite aux hostilités ?) : de 1938 à 1961, Guy Stewart Callendar (1898-1964) publie en vain une dizaine de mémoires relatifs à l'influence de l'Homme sur l'échauffement de l'atmosphère. Ce n'est donc qu'en 1957-1958, Année géophysique internationale, que le problème revient à l'ordre du jour et que Charles Keeling (1928-2005) crée l'observatoire de l'Ile d'Hawaï (Mauna Loa) pour mesurer l'évolution des teneurs atmosphériques en CO_2, à l'instigation de Roger Randall Revelle (1909-1991), océanographe universitaire. Ce même Roger Revelle dont Albert (dit Al) Gore (né en 1948, vice-président des USA de 1993 à 2001, prix Nobel de la Paix en 2007) fut l'élève à Harvard en 1967 et produisit en 2006 le film *Une vérité qui dérange*, qui fit le tour du Monde pour vulgariser la question du « réchauffement climatique ». Généralisons d'ailleurs en remarquant qu'il paraît plus adéquat, même si l'échauffement demeure le phénomène premier, voire causal, de toute la dérive climatique actuelle, on ne saurait oublier, ni même sous-estimer les effets secondaires du bouleversement du bilan thermique de l'écosphère, comme le cycle de l'eau (sécheresse et inondations) et les phénomènes anémométriques (mouvements cycloniques, vents et ouragans). D'où le concept plus général de dérèglement climatique.

3/ Données météorologiques et traitements analytiques

Nos données météorologiques (températures et précipitations exprimées en moyennes mensuelles) proviennent de Météo France et sont relatives à la station « MAN = manuelle » de Marlieux (lieu-dit Le Clou : 46° 02' 18" de latitude Nord, 05° 02' 36" de longitude Est ; altitude 270 m), située à 15 km au NE de la Fondation Pierre Vérots (lieu-dit Praillebard : 45° 57' 16" de latitude N et 04° 55' 07" de longitude E ; altitude 295 m). Les valeurs portent sur le demi-siècle écoulé, plus précisément de 1964 à 2018 pour les températures (soit 55 années) et de 1961 à 2018 pour les précipitations (58 années). Pour des raisons de continuité écologique, l'année « climatique » a été définie comme couvrant des mois de décembre de l'année légale précédente au mois de novembre de l'année légale considérée (hiver couvrant de décembre à février /.../, automne couvrant de septembre à novembre). Les valeurs initiales et détaillées de Marlieux ne sont pas présentées ici (deux matrices Températures et Précipitations : 55 et 58 années x 12 mois, soit 1356 intersections), vu leur encombrement et conformément aux règles du contrat Météo France / Fondation Pierre Vérots. En revanche, la plupart des valeurs « dérivées » (par exemple moyennes ou rapports tirés par nous de ces données) sont explicitement fournies dans divers tableaux présentés. Selon le cas, données et tableaux ont été insérés dans le texte ou archivés à la Fondation Vérots. Nous avons également fait appel aux données de la station météorologique de Villefranche-sur-Saône (45° 59' 12" de latitude N et 04° 44' 21" de longitude E ; altitude 175 m)), située à 28 km WSW de Marlieux et à 15 km de la FPV). Ces relevés couvrent de 1959 à 2018 et nous ont été aimablement fournies par notre collègue Guy Blanchet, président de l'AMRL (Association météorologique Rhône-Loire).

Nous avons aussi disposé pour certaines approches de la synthèse globale (Piéri, 1946) de la période 1880-1940 des relevés de l'Observatoire de Saint-Genis-Laval (Rhône, proche banlieue SW de Lyon), et de ceux de la Station Météo-France de Bron (*vide infra* Encart), portant ainsi à quelque 135 années nos possibilités d'apprécier l'évolution climatique de ce « climat lyonnais » dont relève la Dombes. Pour disposer de références pour traiter de l'évolution des « types climatiques » classiquement définis par leurs précipitations saisonnières, nous avons utilisé les données trentennales de Météo France accessibles sur Internet pour la période 1981-2010 (années responsables de 80 % environ de l'échauffement actuel), avec les références géographiques suivantes : Bretagne (climat océanique : moyenne de Brest et de Rennes), Provence (climat méditerranéen : moyenne de Marignane et d'Orange), Alsace (climat continental : valeurs de Strasbourg), « Lyonnais » (Lyon-Bron, Marlieux en Dombes et Villefranche-sur-Saône). (Tab. I).

Pour traiter le corpus des données, nous avons utilisé les épreuves usuelles de la statistique : moyennes assorties de leur écarts-type ; test t de Student ; test du Chi^2 ; régressions linéaires, exponentielles et polynomiales. Pour des problèmes particuliers, il a été fait appel à des techniques plus élaborées (approche multivariée et processus hiérarchique descendant). Les risques statistiques encourus p ont été exprimés comme suit : $p \leq 0{,}001$ = 1 p. mille, ***, hautement significatif. p compris entre 0,001 et $\leq 0{,}01$ = 1 %, **, très significatif. p compris entre 0,01 et $\leq 0{,}05$ = 5 %, * significatif. Entre 5 et 10 %, tendanciel ; au delà de 10 %, non significatif, NS. Les valeurs présentées sont limitées à 2 ou 3 décimales par commodité et pour clarté de lecture, mais la plupart des calculs ont été effectués avec une décimale supplémentaire, d'où certains écarts apparents de second ordre. Note. En toute rigueur, « test » est un mot anglais (signifiant « épreuve ») qui nous est revenu, provenant du vieux français « taster ».

1981-2010	Bretagne	Provence	Alsace	Lyon-Bron	Villefranche	Dombes
- Température annuelle (°C)	11,8°C	15,0°C	11,0°C	12,5°C	11,9°C	11,6°C
- Pluviométrie annuelle (mm)	952 mm	612 mm	665 mm	832 mm	790 mm	931 mm
- Climat	*Océanique*	*Méditerranéen*	*Continental*	*« Lyonnais »*	*« Lyonnais »*	*« Lyonnais »*

Tableau I. Caractéristiques météorologiques (températures et précipitations annuelles) des trois climats intéressant la partie européenne de notre pays, ainsi que de trois stations « lyonnaises » situées à l'interface de ces climats fondamentaux.

LA STATION MÉTÉOROLOGIQUE DE BRON (RHÔNE)*, 1951-2018 :
UNE RÉFÉRENCE POUR LE CLIMAT LYONNAIS

Depuis les années 1980, la température ne cesse d'augmenter sur le globe. Notre région ne fait pas exception. La température moyenne annuelle de la période 2011-2018 y est supérieure d'environ 2°C à celle de la période 1951-1980.**

Période	Température annuelle	Nombre de jours de gel	Jours à Maximum > 30°C
1951-1980	11,3°C	59	14
1981-2010	12,5°C	50	24
2011-2018	13,5°C	34	34

Le réchauffement est plus ou moins marqué selon les mois. A Lyon, il est maximal en juillet et septembre, avec un gain de 3°C, et minimal en février (seulement 0,5°C). La température récente de Lyon est devenue nettement supérieure à celle de Montélimar durant la période 1951-1980.

Période	Montélimar	Lyon	Différence
1951-1980	12,7°C	11,3°C	1,4°C
1981-2010	13,9°C	12,5°C	1,4°C
2011-2018	14,7°C	13,5°C	1,2°C

(*) La station météorologique dite de Lyon-Bron a été implantée sur le site de l'aéroport de Lyon, situé sur la commune de Bron, à proximité immédiate de Lyon. Ultérieurement, la station météorologique restant en place, l'aéroport fut transféré plus à l'est, abusivement désigné comme Aéroport de Lyon-Satolas, récemment rebaptisé Saint-Exupéry.

(**) Texte adapté du Bulletin AMRL (*Association Météorologique Rhône-Rhône*). N°154, p. 1, avril 2019.

Avec l'aimable autorisation des deux rédacteurs, Guy Blanchet et Gérard Staron.

Le phénomène caniculaire

Traitons ici de la « canicule », connue depuis l'Antiquité, puisque les Romains corrélaient ses apparitions à la présence saisonnière de la constellation de la « petite chienne » (*canicula*), de la mi-juillet à la mi-août environ. On la caractérise par la conjonction de jours et de nuits consécutifs anormalement échauffés (p. ex. 38°C et 28°C), celles-ci ne rafraichissant plus suffisamment les premiers (*vide infra* 4.1.3. *in fine*, p. 13).

4. Une analyse thermique et pluviométrique intégrée

4.1. Analyse thermique générale

4.1.1. Evolution globale.

De 1964 à 2018, l'évolution thermique de la Dombes paraît à première vue univoque, l'alignement des 55 points annuels correspondant à une corrélation linéaire hautement significative (fig. 1 : y (températures) = 0,0589 x (années) + 9,59°C ; r = 0,856 ; ddl = 53 ; p < 0,001 = 1 p. mille ***) ; la pente correspond ainsi à un échauffement séculaire de 5,9°C.

Le même constat avait été fait pour la même station de Marlieux (Richoux & Lebreton, 2008, pp. 5-6) mais aussi pour d'autres de Rhône-Alpes, en Vanoise : en 2007 (Delorme *et al.*, 2009, p. 74) ; la pente de Marlieux (270 m) correspondait alors à un échauffement décennal de + 0,64°C, celle de Bourg-Saint-Maurice (865 m) à 0,51°C, celle d'Avrieux (1102 m) à 0,33°C seulement, mais p < 0,001, traduisant ainsi l'existence d'un effet minorant de l'altitude. A partir de cette équation globale, la

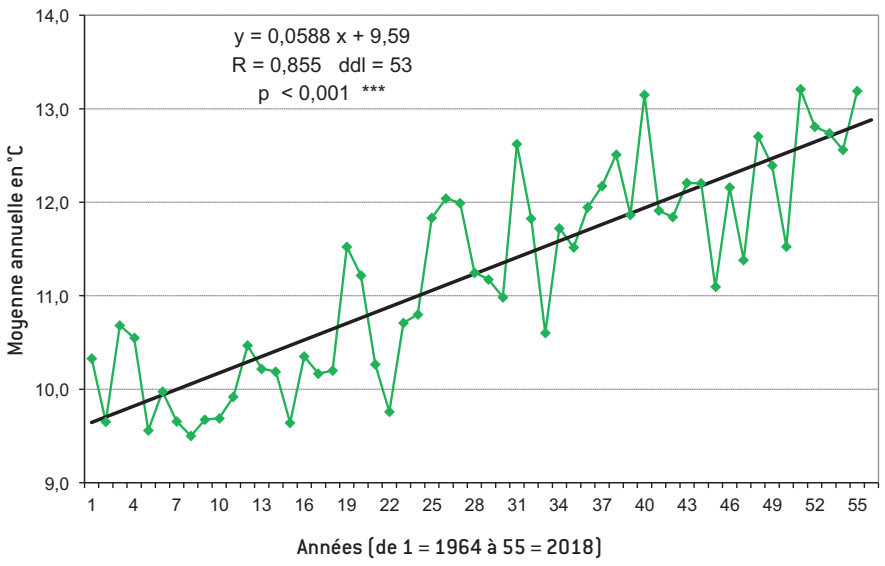


Figure 1. Evolution thermique de 1964 à 2018 en Dombes

différence entre les températures finale et initiale de Marlieux (x = 55 et 1 respectivement) s'établit à 3,7°C, valeur élevée méritant une analyse des données à d'autres niveaux chronologiques, ne serait-ce que pour éprouver le bien-fondé de l'image de la **crosse de hockey** utilisée pour décrire une discontinuité dans l'évolution thermique de notre écosphère.

Un examen plus attentif des 55 points annuels de la Dombes permet en effet de déceler une (première) transition au début de la décennie 1980, l'année 1982 franchissant pour la première fois, et largement, le seuil de 11°C (11,5°C *versus* 10,2°C en 1981) ; la moyenne annuelle ne repassera qu'une fois, et de peu, en dessous des 10°C (9,8°C en 1985), et seulement trois fois en dessous des 11°C (10,7°C en 1986, 10,8°C en 1987 et 10,6°C en 1996). Il semble donc licite d'individualiser les années 1964 à 1981 (n = 18) pour procéder à une analyse mensuelle et saisonnière particulière, préalablement à 1982-2018 (tab. IIa et IIb).

L'équation de la courbe résumant la moyenne annuelle correspond à une pente faible et à l'absence de toute signification statistique (y = 0,0041 x + 9,985°C ; r = 0,057, ddl = 18 ; p > 0,10 NS), d'où la légitimité d'un palier quasiment horizontal.

L'enseignement principal est celui d'une droite de régression hautement significative (fig. 2) sur l'ensemble de la période couvrant de 1982 à aujourd'hui, avec un échauffement de 1,80°C entre les moyennes des deux phases consécutives, et de 2,81°C (en application de la pente de l'équation de régression, égale à + 5,8°C par siècle) entre la première et la dernière année des 55 années ici prises en compte.

ANALYSE DE LA PHASE THERMIQUE 1964-1981 (n = 18 années)

Mois	(saison)	Droite de régression Equation y = ax + b	R^2	Coefficient R de régression	Risque statistique	Moy. (Ecart). p
Déc.	(H)	y = 0,0688 x + 1,34°C	0,0335	0,183	NS	1,99 (2,01)°C
Janv.	(H)	y = 0,0101 x + 1,55°C	0,0009	0,030	NS	1,79 (1,76)°C
Févr.	(H)	y = 0,0029 x + 3,73°C	0,0000	0,000	NS	3,76 (2,01)°C
Mars	(P)	y = 0,1188 x + 4,99°C	0,1313	0,362	NS	6,12 (1,75)°C
Avril	(P)	y = - 0,0829 x + 9,72°C	0,1090	0,330	NS	8,93 (1,34)°C
Mai	(P)	y = - 0,0477 x + 13,70°C	0,0761	0,276	NS	13,24 (0,92)°C
Juin	(E)	y = - 0,0013 x + 16,50°C	0,0001	0,000	NS	16,48 (1,24)°C
Juillet	(E)	y = - 0,0298 x + 18,91°C	0,0174	0,132	NS	18,63 (1,21)°C
Août	(E)	y = 0,0379 x + 17,68°C	0,0337	0,184	NS	18,04 (1,10)°C
Sept.	(A)	y = 0,0247 x + 14,81°C	0,0090	0,095	NS	15,04 (1,39)°C
Oct.	(A)	y = - 0,0423 x + 11,32°C	0,0131	0,114	NS	10,92 (1,97)°C
Nov.	(A)	y = - 0,0096 x + 5,53°C	0,0026	0,005	NS	5,44 (1,01)°C
Année		y = 0,0041 x + 9,99°C	0,0034	0,058	NS	10,02 (0,37)°C

Tableau II a. Dans les équations, le terme « a » représente la pente thermique mensuelle : en mars, la pente séculaire arrondie vaut donc + 1,2°C ; elle est même négative pour 6 des 12 mois : d'avril à juillet ; en automne, en octobre et novembre. En fait, aucune de ces valeurs n'est statistiquement significative : pour 18 années et 16 degrés de liberté, le seuil de risque 5 % est en effet égal à 0,444. Le terme « b » de l'équation correspond à la moyenne thermique annuelle de chaque mois sur la période considérée.

Tableau II b. Dans les équations, le terme « a » représente la pente thermique mensuelle et le terme « b » correspond à la moyenne thermique annuelle de chaque mois sur la période considérée.
Pour 37 années (et 35 degrés de liberté), les valeurs du risque statistique p sont atteintes pour les seuils de risque r suivantes :
1 p. mille pour r = 0,519 ;
1 p. cent pour r = 0,418 ;
5 p. cent pour r = 0,325 ;
10 p. cent pour r = 0,275.

ANALYSE DE LA PHASE THERMIQUE 1982-2018 (n = 37 années)

Mois	(saison)	Droite de régression Equation y = ax + b	R^2	Coefficient R de régression	Risque statistique p	Moy. (Ecart).
Déc.	(H)	y = 0,0116 x + 3,60°C	0,0049	0,070	NS	3,82 (1,80)°C
Janv.	(H)	y = 0,0533 x + 2,04°C	0,0547	0,030	NS	3,06 (2,47)°C
Févr.	(H)	y = 0,0324 x + 3,40°C	0,0188	0,137	NS	4,02 (2,56)°C
Mars	(P)	y = 0,0543 x + 6,66°C	0,1202	0,347	4 p.cent	7,69 (1,70)°C
Avril	(P)	y = 0,0829 x + 9,09°C	0,4311	0,657	< 1 p.mille	10,93 (1,60)°C
Mai	(P)	y = 0,0673 x + 13,92°C	0,1714	0,414	1 p.cent	15,20 (1,76)°C
Juin	(E)	y = 0,0953 x + 17,03°C	0,3688	0,607	< 1 p.mille	18,84 (1,70)°C
Juillet	(E)	y = 0,0346 x + 20,48°C	0,0522	0,228	NS	21,14 (1,64)°C
Août	(E)	y = 0,0498 x + 19,80°C	0,1240	0,352	4 p.cent	20,74 (1,53)°C
Sept.	(A)	y = 0,0311 x + 16,29°C	0,0400	0,200	NS	16,88 (1,68)°C
Oct.	(A)	y = 0,0393 x + 11,98°C	0,0598	0,245	NS	12,73 (1,74)°C
Nov.	(A)	y = 0,0635 x + 5,87°C	0,1280	0,358	3 p.cent	7,07 (1,92)°C
Année		y = 0,0510 x + 10,85°C	0,4556	0,675	< 1 p.mille	11,82 (0,82)°C

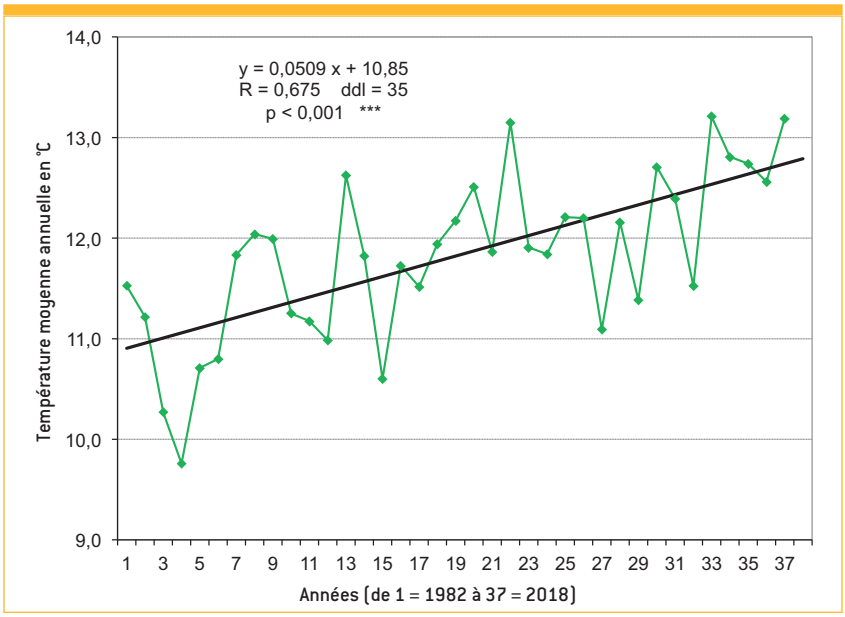


Figure 2. **Evolution thermique de 1982 à 2018 en Dombes**

Ces résultats permettent tout d'abord de constater que l'évolution thermique de la Dombes s'inscrit dans une logique thermique conforme aux constats de bien des stations météorologiques de l'est de la France (Beaujolais, Bourgogne, Tarentaise, Vaucluse, etc.), voire d'Europe moyenne. Ainsi, Richard *et al.* (2014) relèvent-ils que *la température planétaire a commencé à augmenter* (légèrement) *au début du XXe siècle (1900-1940)* et qu'*elle s'est ensuite stabilisée (1940-1975) ; puis elle a augmenté à nouveau depuis 1975*. Surtout, les mêmes auteurs précisent que, localement (Bourgogne), *le réchauffement observé est marqué par une rupture nette délimitant deux périodes bien distinctes : 1961-1987 et 1988-2011*. Sous le titre « Les étés sont plus chauds aujourd'hui à Lyon qu'à Avignon il y a 30 ans », une étude de l'INRA-CNRS de Montpellier conduite *sur 14 stations météorologiques du sud-ouest et du sud-est /.../ montre que le bassin méditerranéen et les régions périphériques se réchauffent plus vite que la moyenne mondiale* (*Le Progrès de Lyon*, 9 mars 2012). D'ailleurs, dans le Rhône, *en 30 ans, la température a augmenté de 2,4°C l'été /.../ et la gestion de l'eau est une priorité* (*Le Progrès de Lyon*, 10 mars 2012). En Région PACA, selon le GREC Sud (Groupe régional d'experts sur le climat), *la température a beaucoup plus augmenté dans les Alpes du Sud qu'à l'échelle mondiale : près de 2°C de plus depuis le début de l'ère industrielle contre + 1°C pour la température globale*. Tout récemment, *des chiffres spectaculaires et inquiétants* ont été donnés pour le Beaujolais / Val de Saône, (Blanchet, 2019) etc., etc.

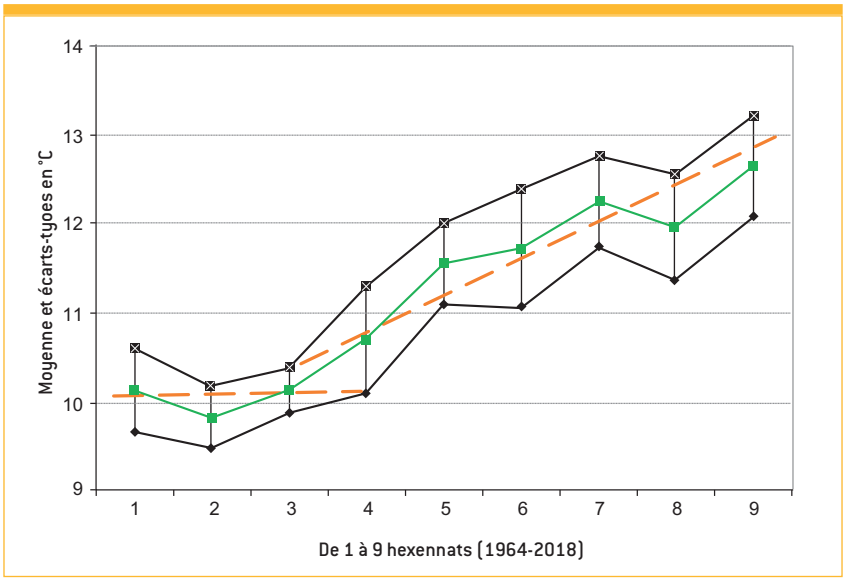
La seconde remarque est tout aussi importante, concernant l'analogie avec l'image d'une évolution thermique discontinue « en crosse de hockey » (*hockey stick*) formulée en 2000 par Jerry D. Mahlman, chef d'un laboratoire de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) pour décrire le modèle proposé en 1998 et 1999 par Michaël E. Mann (assisté de S. Bradley et M. S. Hughes), d'où le synonyme de « Courbe de Mann » donné à cette représentation. On n'entrera pas ici dans les polémiques dès lors ouvertes et entretenues entre individus ou organisations « pro-courbe de Mann » et « climato-sceptiques », nous bornant à signaler que ce modèle a été adopté dès 2001 par le GIEC et progressivement confirmé. Par ailleurs, la NOAA, dont le sérieux technique et scientifique n'est contesté par personne (sinon aux USA, dans un contexte éminemment politicien), et l'OMM (Organisation météorologique mondiale, créée en 1950 sous l'égide de l'ONU) ont fourni des données remontant à 1880 permettant un recul sur les évolutions thermiques observées au niveau global. On soulignera néanmoins à quel point ces valeurs d'échauffement diffèrent de celle de 0,85°C par siècle souvent

affichée par les médias, tout particulièrement lors de la COP 21 ; une explication réside dans le fait que la valeur de 0,85°C inclut la température des masses océaniques (71 % de la surface du globe terrestre), à haute inertie calorifique, tandis que nos résultats concernent les milieux terrestres, tels que vécus par la majorité des humains (à l'exception des ilôts de l'océan Pacifique), dont ceux situés au bord des étangs de la Dombes. Une autre pratique consiste à diluer la valeur des échauffements récents par des données plus anciennes (*vide infra* Encart, § 6). A mentionner que, si le rattachement de l'échauffement dombiste au modèle « crosse de hockey » n'est pas formulé explicitement (probablement par prudence statistique) dans la publication de mai 2008 dans les *Cahiers de la Fondation Pierre Vérots*, la courbe présentée (Richoux & Lebreton, 2008, p. 6, fig. 3) et les lignes qui la précèdent, ne laissent aucun doute sur cette analogie : *Deux périodes peuvent être distinguées, l'une couvrant de 1964 à 1981, l'autre de 1982 à 2006 ; la première correspond à une stabilité thermique (valeur annuelle moyenne 10,2 +/- 0,5°C), la seconde (11,8 +/- 0,6°C) connaît une progression de pente moyenne 0,050 +/- 0,020°C / an (r = + 0,506 ; p = 0,018)*. Une décennie plus tard, rien n'est venu démentir ces données, bien au contraire !

4.1.2. Evolution « en crosse de hockey ».

Pour éprouver le phénomène d'échauffement dans sa variabilité, un regroupement des 55 valeurs annuelles moyennes de la Dombes en « hexennats » (= phases de 6 ans, avec 7 années pour 2012-2018. Hexennat, comme dit quinquennat ou septennat) a été effectué (tab. III, dont relève la fig. 3).

Plusieurs remarques : 1/ La phase 4 (1982-1987) confirme la cassure en crosse de hockey, mais l'on remarquera que ses quatre premières années ont été très « perturbées », avec deux années très chaudes (11,53 et 11,22°C), suivies de deux années froides (10,27 et 9,76°C) d'origine hivernale : on peut parler de phase de « turbulence », voire de « rupture ». Du coup, la zone de recoupement des deux droites entre les hexennats n°3 et 4 laisse apparaître un hiatus de 0,4°C éventuellement susceptible d'être ajouté à l'échauffement total. 2/ L'hexennat n°5 (1988-93) a connu un échauffement élevé, dû aux trois premières années consécutives encadrant 12°C. 3/ Même constat pour la phase 2000-2005 (hexennat n°7) attribuable à la canicule de l'été 2003. 4/ Inversement, la phase 2006-2011 (hexennat n°8) est un peu faible, avec deux années de moyennes inférieures à 12°C, chacune avec deux mois frais : 2008 (en juillet et en août) et 2010 (en janvier et en août). 5/ Enfin, non seulement les 7 dernières années (« hexennat » n°9, contenant 2018) sont reparties à la hausse, avec deux années supérieures à 13°C, mais tous les points de la figure 3 se situent dans des fourchettes de +/- 1 écart-type σ (**). La voie semble ouverte pour une phase n°10 (2018-2023), dont la fin pourrait franchir le seuil des 13°C.



Moyenne annuelle en °C	1964-69	1970-75	1976-81	1982-87	1988-93	1994-99	2000-05	2006-11	2012-18
	10,1(0,5)	9,8(0,3)	10,1(0,3)	10,7(0,6)	11,6(0,5)	11,7(0,7)	12,2(0,5)	12,0(0,6)	12,6(0,6)
Hexennat	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tableau III et figure 3. **Evolution thermique par phases de 6 ans.** Données et résultats de Dombes fournis avec trois chiffres, pour clarté de présentation, mais calculs effectués avec une décimale supplémentaire, d'où écarts (de second ordre) apparents entre certaines données confrontées. Les valeurs hors parenthèses sont les moyennes des variables ; entre parenthèses leur écart-type σ.

(*) On doit mentionner ici que les mathématiciens « ne savent pas » rassembler sous une même équation les points d'une courbe bilinéaire anguleuse, argument qu'utilisent ceux pour qui la « courbe de Mann » est un jeu de l'esprit et ne saurait donc correspondre à une réalité, avec elle l'échauffement climatique ! En d'autres termes, ce que la science constate mais ne peut pas décrire ne saurait exister, nonobstant le jugement de nos sens et de nos appareils de mesure…

(**) Dès la mi-octobre 2018, l'année en cours ne paraissait pas à même d'inverser la tendance, comme pronostiqué par deux laboratoires français et britannique : *Avec les vagues de chaleur de cet été, 2018 sera une année particulièrement chaude. Les années suivantes le seront aussi, si l'on en croit une étude commune du LOPS* (Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale, Brest) *et de l'Université de Southampton* (Royaume-Uni), *publiée le 14 août 2018 dans* Nature Communications. *Grâce à une nouvelle méthode, elle montre qu'à l'échelle du globe la période 2018-2022 risque d'être encore plus chaude que ce que laissait présager le réchauffement climatique en cours*. (www://www2.cnrs/presse/communique/5675.HTM).

Tableau IV. Par suite de la réduction de taille des deux périodes B et C par rapport à leur groupement initial (*cf.* tab. II b), peu de mois connaissent des équations de régression (non fournies ici) significatives (un seuil de risque p = 5 % réclame une valeur du coefficient de régression r égale à 0,482 pour 16 degrés de liberté et de 0,456 pour 15 degrés de liberté). Pour **B**, il s'agit de mars (r = 0,467 ; p = 6 %) et d'août (r = 0,518 ; p = 4 %) ; l'année moyenne 1982-1999 n'est même pas assurée (r = 0 ,424). Pour **C**, aucun mois ni l'année ne sont statistiquement assurés (avril, r = 0,372 ; juillet = 0,360 ; année = 0,339). A noter toutefois qu'aucun mois ne connaît d'évolution négative (le cas de février entre A et B, avec - 0,04°C est l'exception faisant plus que confirmer la règle, et l'échauffement général entre les trois phases, soit + 2,28°C, étant rigoureusement conforme aux valeurs obtenues par d'autres méthodes. La discussion par mois, surtout regroupés en saisons, se révèlera particulièrement fructueuse, comme l'a été celle basée sur le découpage des 55 années en 9 sous-ensembles thermiques regroupant les 6 (7) années consécutives.

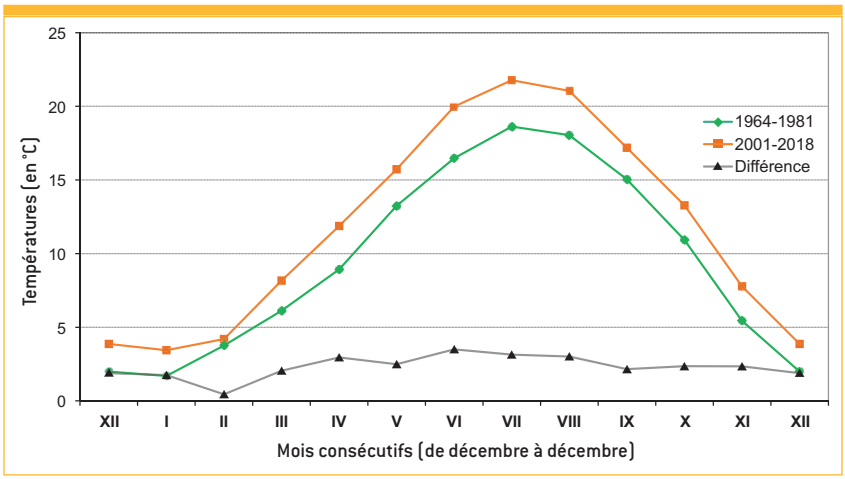
VARIABILITÉS THERMIQUES COMPARÉES DES 3 PHASES A (1964-81), **B** (1982-99) **et C** (2000-18)

	Moyenne (écart-types)			Différences entre		
	Phase A	Phase B	Phase C	B et A	C et B	C et A
Décembre	1,99 (2,01)°C	3,76 (1,31)°C	3,88 (2,20)°C	+ 1,77°C	+ 0,12°C	+ 1,89°C
Janvier	1,79 (1,76)°C	2,71 (2,69)°C	3,38 (2,26)°C	+ 0,92°C	+ 0,67°C	+ 1,59°C
Février	3,76 (2,01)°C	3,72 (2,61)°C	4,30 (2,54)°C	- 0,04°C	+ 0,58°C	+ 0,54°C
Mars	6,12 (1,75)°C	7,21 (1,87)°C	8,15 (1,42)°C	+ 1,09°C	+ 0,94°C	+ 2,03°C
Avril	8,93 (1,34)°C	9,95 (1,07)°C	11,85 (1,47)°C	+ 1,02°C	+ 1,90°C	+ 2,92°C
Mai	13,24 (0,92)°C	14,58 (1,85)°C	15,78 (1,49)°C	+ 1,34°C	+ 1,20°C	+ 2,54°C
Juin	16,48 (1,24)°C	17,68 (0,88)°C	19,94 (1,56)°C	+ 1,20°C	+ 2,26°C	+ 3,46°C
Juillet	18,63 (1,21)°C	20,84 (1,46)°C	21,41 (1,79)°C	+ 2,21°C	+ 0,57°C	+ 2,78°C
Août	18,04 (1,10)°C	20,39 (1,25)°C	21,07 (1,72)°C	+ 2,35°C	+ 0,68°C	+ 3,03°C
Septembre	15,04 (1,39)°C	16,53 (1,74)°C	17,22 (1,60)°C	+ 1,49°C	+ 0,69°C	+ 2,18°C
Octobre	0,92 (1,97)°C	12,18 (1,50)°C	13,24 (1,83)°C	+ 1,26°C	+ 1,06°C	+ 2,32°C
Novembre	5,44 (1,01)°C	6,29 (1,94)°C	7,81 (1,62)°C	+ 0,85°C	+ 1,52°C	+ 2,37°C
Année	**10 ,02** (0,37)°C	**11,32** (0,71)°C	**12,30** (0,61)°C	**+ 1,30**°C	**+ 0,98**°C	**+ 2,28**°C

Enfin, pour permettre une meilleure mise en phase avec les données pluviométriques et les coefficients pluvio-thermiques afférents, l'examen du second des deux sous-ensembles amène à son tour à sa dichotomie, dans la mesure où le seuil de 12°C se révèle à son tour discriminant : de 1982 à 1999 inclus (18 années), cette valeur n'est atteinte ou dépassée que deux fois (12,0°C en 1989 et 12,6°C en 1994), alors qu'elle est relevée 13 fois (dépassant même 13°C à trois reprises) de 2000 à 2018 (19 années) ! (Un test de Chi² : 2 / 18 *versus* 13 /19 est sans surprise très hautement significatif). Une présentation des trois tableaux correspondants est fournie (tab. IV) avec quelques commentaires appropriés pour chaque période, dites **A**, **B** et **C**.

Pour préciser la part de chaque mois dans cette évolution générale, une comparaison sera faite entre les valeurs moyennes des périodes A et C, respectivement proches du XXe siècle (plateau avant la période de transition) et du XXIe siècle (phase ascendante de la courbe en forme de crosse de hockey).

Figure 4. **Echauffements mensuels XXe / XXIe siècles**



4.1.3. Evolutions mensuelles

Les écarts-types (c'est-à-dire la variabilité intra-mensuelle) de décembre à février sont généralement élevés, avec 7 cas sur 9 supérieurs à 2°C (en moyenne 2,15°C), croissant de la phase A à la phase C. Inversement, les écarts-types d'avril à août sont généralement faibles, avec 9 cas sur 12 inférieurs à 1,5°C. Les gains mensuels entre les deuxième et troisième phases sont plus élevés, avec 8 cas sur 12 ; corrélativement, il en va de même pour la moyenne annuelle. On pourrait y voir un ralentissement de l'échauffement, que démentent pourtant les 5 dernières années (de 2014 à 2018), de moyenne record égale à 12,9 +/- 0,3°C. Sur l'ensemble des années, **juin** est le mois qui a connu la plus forte progression (+ 3,5°C), **février** la moindre (+ 0,5°C) ; tous les mois ont progressé, à l'exception de février, mais la faiblesse de l'écart : - 0,04°C, fait que ceci ne fait que confirmer la règle (*cf.* fig. 3 *supra*) !

Echauffements mensuels à l'échelle décennale. On comparera ici (fig. 4) les phases initiale 1964-1981 correspondant au plateau des trois premiers hexennats (n = 18. XXe siècle) et terminale 2001-2018 correspondant à la fin de la crosse de hockey (n = 18. XXIe siècle), écartant la phase intermédiaire 1982-2000 (n = 19) sujette à fortes perturbations. Globalement, tous les échauffements mensuels se sont révélés statistiquement significatifs entre les deux siècles, à la seule exception de février.

Les deux mois les plus remarquables sont **février** : non seulement la différence actuelle avec les deux autres mois de l'hiver dépasse 1°C mais ce mois, de plus chaud de l'hiver qu'il était, ne conserve sa place que de justesse, et **juin** : de moins chaud de l'été qu'il était (et reste), il

s'est rapproché des deux autres mois (de 0,4°C pour juillet et de 0,5°C pour août). Du coup, les étés actuels se sont « aplatis » par rapport à jadis (fig. 4, notamment la courbe inférieure). D'ailleurs, le coefficient de variation (rapport de l'écart-type à la moyenne) des valeurs d'été est passé de 6 % à 4 % d'un siècle à l'autre.

4.1.4. Evolutions saisonnières

Des valeurs qui précèdent découle immédiatement le constat suivant : des quatre saisons, l'été (juin-août) emporte l'essentiel de l'échauffement total, avec 33 % de celui-ci (moyenne de l'été : 3,09 +/- 0,34°C), suivi par le printemps avec 27 % (moyenne : 2,50 +/- 0,45°C) et l'automne avec 25 % (moyenne : 2,29 +/- 0,08°C), puis l'hiver, loin derrière avec 15 % (moyenne : 1,34 +/- 0,71°C). On peut simplifier en écrivant que l'été est responsable d'un tiers de l'échauffement, le printemps et l'automne du quart, et l'hiver du sixième. L'automne est la saison la plus stable, l'hiver la plus variable. L'été doit à juin la majorité (relative) de ses gains thermiques, si bien que cette saison est non seulement la plus chaude, mais la plus continûment modifiée. Inversement, l'hiver, qui doit la moitié de son statut thermique au mois de février, est plutôt affecté dans sa variabilité par le mois de janvier ! Au total, la saison hivernale apparaît comme la moins active pour l'échauffement, mais avec une forte variabilité : en d'autres termes, des hivers un peu plus chauds que jadis, mais fortement imprévisibles, voire capricieux.

Ce constat statistique répond à ceux qui voudraient nier l'échauffement climatique au prétexte d'épisodes aussi froids que par le passé, mais à des fréquences plus faibles dont l'amplitude reste aléatoire ! En outre, dans le même temps, l'échauffement moyen de l'été (de juin à août) : 20,9°C *versus* 17,7°C, soit + 3,2°C, non seulement est plus élevé que celui de l'hiver : 3,8°C *versus* 2,2°C, soit + 1,6°C, mais il est statistiquement très significatif ($p < 0,001$). Du coup, l'écart entre été (saison la plus chaude) et hiver (saison la plus froide) ayant doublé au fil des ans, il y a là un trait de continentalité à discuter dans nos conclusions générales (*vide infra*, 7.2.).

Comme prévu, on peut ajouter à la discussion les données de l'Observatoire de Saint-Genis-Laval (Rhône), renseignant pour 1880-1940 et couvrant ainsi en pratique avec la Dombes un échantillon de quelque 135 années, relativement homogène puisqu'elles relèvent toutes de ce « climat lyonnais » (Piéri, 1946) dont procède indéniablement le district dombiste. Considérée comme une période autonome précédant nos données modernes, la moyenne thermique 1880-1940 de Saint-Genis-Laval (10,8°C) ne se distingue pas significativement de la période dombiste antérieure à la crosse de hockey, mais diffère bien de la suite de ce tournant. Nous pouvons aussi prendre en compte l'écart thermique existant entre Eté et Hiver, considéré comme un indicateur de « continentalité ». Cette valeur (**E – H**) sépare d'ailleurs totalement la Bretagne (17,4°C - 6,5°C = 10,8°C) de toutes les autres stations, dont les valeurs homologues, tournant toutes autour de 16,5°C (à moins d'un demi-degré, Provence comprise), consolident le critère des précipitations hivernales (*vide infra* **4.3.**) où le climat océanique se définit par des valeurs des précipitations hivernales doubles de celles de toutes les autres stations. L'écart s'est accru d'un demi-degré dans les 15 dernières années du XXe siècle, puis d'un degré supplémentaire dans les 17 ou 18 premières du XXIe (tab. V).

	Année	Eté	- Hiver	Différence (E – H)
Marlieux (1964-1981) **A**	10,0°C	17,7°C	2,5°C	15,2°C
Marlieux (1982-1999) **B**	11,3°C	19,6°C	3,4°C	16,2°C
Marlieux (2000-2018) **C**	12,3°C	20,8°C	3,9°C	16,9°C
St-Genis-Laval (1880-1940)	10,8°C	19,0°C	2,7°C	16,3°C
Villefranche-sur-Saône (1981-2010)	11,85°C	20,2°C	3,7°C	16,6°C

Tableau V. Variation des écarts thermiques Eté / Hiver entre les années 1964-1981, 1982-1999 et 2000-2018

4.2. Evolution des précipitations

4.2.1. L'évolution pluviométrique est plus capricieuse (donc plus difficile à analyser) que l'échauffement, en raison du caractère foncièrement aléatoire des précipitations aux échelles inter-annuelle : années sèches et / ou humides peuvent se succéder ou alterner, et intra-annuelle : certaines années, juillet peut connaître plus de précipitations que décembre ; l'inverse une autre année, alors que les variations thermiques n'ont jamais confondu un mois d'été avec un mois d'hiver ! Contrairement au découpage a priori utilisé ci-dessus pour harmoniser données pluviométriques et thermiques, nous bénéficions ici de trois années supplémentaires très utiles pour préciser les tendances extrêmes. Sur ce long terme, des cohérences apparaissent au niveau statistique : sur l'ensemble des 58 années (fig. 5) la courbe représentative présente un profil parabolique symétrique, avec un large sommet central culminant au-delà de 950 mm et des extrémités de très peu supérieures à 800 mm. Précipitations = $- 0,221 x^2 + 13,41 x + 758$; la relation est très significative : ddl = 56, coefficient de corrélation $R = 0,349$, risque statistique $p < 0,01$ **. Moyenne et écart-type : 902 (148) mm /an, soit une amplitude de 31 % sur l'ensemble de l'échantillon ; d'une extrémité à l'autre du demi-siècle en Dombes, des valeurs inférieures à 600 mm sont néanmoins observées (avec une baisse continue du niveau des étangs à la Fondation Pierre Vérots ; résultat récents, inédits).

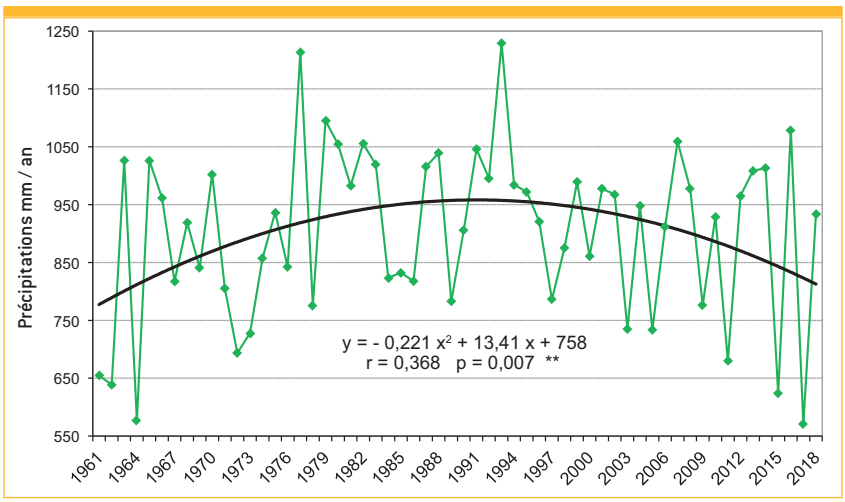


Figure 5. Evolution 1961-2018 des précipitations

Pour simplifier, on peut distinguer trois sous-ensembles : le premier (D) de 1961 à 1977 (n = 17 années : **855 +/- 166 mm**, avec trois années supérieures à 1000 mm et 5 inférieures à 750 mm) ; le deuxième (E), de 1978 à 1996 (n = 19 années. **966 +/- 119 mm**, avec huit années supérieures à 1000 mm et aucune inférieure à 750 mm) ; le troisième (F), de 1997 à 2018 (n = 22 années. **882 +/- 142 mm**, avec quatre années supérieures à 1000 mm et cinq inférieures à 750 mm. Sur l'ensemble des 58 années, valeur moyenne **902 +/- 148 mm**, avec 1229 mm comme record maximal en 1993, et 577 et 571 mm comme records minimaux en 1964 et 2017, curieusement situés aux deux extrémités de la distribution ! A souligner néanmoins que les deux parties ancienne et récente de la parabole ne sont pas de même essence : la première est ascendante, c'est-à-dire que l'apport hydrique ne cesse d'y croître, tandis que la seconde est descendante, c'est-à-dire que la sécheresse n'y fait que s'accentuer statistiquement parlant. Mais il faut aussi considérer que les précipitations ne fournissent pas le même apport selon les saisons : une petite pluie fine apporte plus aux étangs qu'un orage localisé ; ce qui tombe en hiver n'est que peu soumis à l'évaporation tandis que l'été est pénalisé thermiquement car la végétation, aquatique ou forestière, ajoute aux pertes de l'évaporation celles de la transpiration (par ailleurs indispensable à la nutrition minérale et à la photosynthèse). D'où la nécessité de tenir compte à la fois des apports hydriques **et** des températures auxquelles est soumis l'ensemble de l'écosystème, sous forme de types et / ou indices pluvio-thermiques, dits aussi bioclimatiques. Quoi qu'il en soit, les écarts interannuels sont manifestement élevés à tout moment du demi-siècle, une année sèche pouvant être précédée ou suivie d'une année humide, de manière tout à fait aléatoire, donc imprévisible. On assiste donc à un dérèglement pluviométrique aléatoire, obstacle à toute « rationalisation hydrologique » des étangs de la Dombes ! Dans l'évolution de la pluviométrie, une baisse de 140 mm est enregistrée sur la courbe entre son apogée (960 mm vers 1992) et son minimum en 2018 (820 mm), soit 140 / 960 = **16** % de déficit ; mais l'on doit noter que l'évaporation causée par l'échauffement n'est pas ici prise en considération. Car un autre paramètre est celui des vents, dont les deux orientations dominantes à Lyon sont celle du vent du Nord (la « bise », qui ne devient mistral que bien plus au sud) et celle du vent du Sud (le « vent du Midi ») ; mais si ce dernier peut amener des pluies d'origine méditerranéenne, c'est par vent d'Ouest qu'arrivent plutôt les précipitations, d'origine océanique cette fois (*).

4.2.2. Types pluvio-climatiques. Si nous affinons le propos en descendant au niveau saisonnier (tab. VI), l'automne est constamment la saison la plus humide, avec une moyenne de 263 mm sur les trois sections du demi-siècle (écart-type : 14 mm). La saison la moins arrosée est constamment l'hiver : 187 mm (écart-type : 12 mm) ; les deux autres saisons, été et printemps, atteignent chacune le quart du total annuel : 227 mm et 224 mm, l'été étant bien moins variable que le printemps (écarts-types : 5 et 27 mm) ; sur les trois périodes annuelles : 902 et 68 mm. D'où un sigle saisonnier **A(EP)H** (A = Automne, E = Eté, P = Printemps, H = Hiver) plutôt émoussé, apparenté au climat « lyonnais » **(EA)PH**, placé au carrefour des climats continental, océanique, méditerranéen.

Les quelques données (hétérogènes) de Dombes disponibles pour la première moitié du XXe siècle (6 stations *in* Lebreton *et al.*, 1991, p. 30) donnaient les moyennes saisonnières suivantes : Automne 301 mm ; 33 %. Printemps 212 mm ; 23 %. Eté 213 mm ; 24 %. Hiver 183 mm ; 20 %. En absolu, la pluviométrie (909 mm / an, minimum 744 mm à Cibeins, maximum 934 mm à Chalamont) était très proche de la moyenne du demi-siècle 1961-2018 (902 mm / an), assez nettement supérieure donc aux premières décennies 1961-1977 : 855 mm.

(*) En l'absence de données dombistes, on peut utiliser la rose des vents de la station Météo France de Lyon-Bron (1981-2006), située certes un peu au sud de la Dombes, mais à proximité du couloir rhodanien. Sur l'ensemble des relevés (chiffres arrondis à l'entier proche), le tiers des vents sont de caractère nul ou très faible. Sur le reste, les vents septentrionaux l'emportent nettement sur les vents méridionaux (43 % *versus* 30 %), avec trois directions (N et NNW et NNE pour les premiers) et trois (S, SSW et SSE) pour les seconds ; les autres directions, « transversales », sont bien plus faibles et proches, avec 14 % pour les orientales (n = 6) et 13 % pour les occidentales (n = 6). Au total, Nord et Sud étant exclus, les 8 directions occidentales (= océaniques) l'emportent assez nettement sur les 8 situations orientales (= continentales) : 39 % *versus* 28 % , d'où une dominance pluviale légitimée à double titre pour l'Ouest, dont les vents sont non seulement plus humides mais plus fréquents.

	1961-1977 D	1978-1996 E	1997-2018 F	Moyenne (écart-type)
Automne	251,6	278,5	259,7	263 (14) mm
Printemps	202,3	254,1	215,6	224 (27) mm
Eté	224,4	232,7	223,3	227 (5) mm
Hiver	177,1	200,4	183,3	187 (12) mm
Année	**855,4**	**965,7**	**881,9**	**902** (68) mm
Valeurs absolues (mm / trimestre)				
Valeurs relatives (% saisonnier)				
Automne	29,4 %	28,8 %	29,5 %	29,2 %
Printemps	23,6 %	26,3 %	24,4 %	24,8 %
Eté	26,2 %	24,1 %	25,3 %	25,2 %
Hiver	20,7 %	20,8 %	20,8 %	20,8 %
Sigle saisonnier	AEPH	APEH	A(EP)H	A(EP)H

Tableau VI. Découpage saisonnier de la pluviométrie à Marlieux (Dombes), en mm et en %.

Entre les quatre saisons, c'est le printemps qui participe le plus aux variations extrêmes : entre les première (1961-77) et deuxième (1978-1996) périodes, au siècle dernier, le gain pluviométrique atteint près de la moitié du total : 52 mm *versus* 110 mm (tab. VI derechef) tandis que l'automne y contribue pour un quart (27 mm) et l'été pour presque rien (8 mm). Dans l'assèchement du XXIe siècle (baisse de 84 mm), les responsabilités sont les mêmes : printemps 39 mm, près de la moitié ; automne 19 mm, à peine le quart, hiver pour 20 % et été pour 12 %. La Dombes actuelle a retrouvé un pluviogramme saisonnier proche des décennies 1960-1970 !

4.3. Evolution des indices bioclimatiques (annuels et saisonniers).

La vie dépend simultanément de l'eau, de la température et de la lumière, notamment pour les plantes, base énergétique de toute la biosphère via la photosynthèse ; mais comme l'échauffement ambiant dépend essentiellement de la lumière solaire, il en résulte non seulement une évaporation à partir du milieu ambiant (la surface d'un étang, par exemple) mais une transpiration de ses végétaux (en l'occurrence, les plantes aquatiques). En fin de compte, la quantité d'eau disponible pour les végétaux (et de là, pour toute la biosphère) est égale à celle fournie par les précipitations (pluies, neige et glaces fondantes), diminuée de l'évapo-transpiration, elle-même fonction positive de la température, mais de manière délicate à définir, puis à exprimer. La Dombes étant un plateau, les apports d'eau courante sont inexistants, malgré quelques sources localisées. Pour rendre compte de **l'eau disponible**, les bioclimatologues ont donc proposé divers rapports entre précipitations **P** et température moyenne **t** d'un milieu donné, et pour une période considérée, par exemple la Dombes et pour l'année.

4.3.1. Indice (annuel) de De Martonne. On doit ainsi au géographe Emmanuel De Martonne (1928) la définition très pragmatique d'un rapport pluvio-thermique (synonyme : ombro-thermique), ou **indice bioclimatique**, de type P mm / t°C ; en pratique, pour éviter la valeur critique du gel de l'eau, la température est augmentée de 10°C. L'Indice (annuel) de De Martonne P mm / (t + 10°C°) est égal en Dombes au début du présent siècle, à 900 / (10 + 12,5) = 40 (identique à celui de Lyon). A titre d'exemple, la limite du bioclimat médio-européen (annuellement humide), dont relève la Dombes, avec le bioclimat méditerranéen (annuellement sec) dont relève la Provence, a été défini (empiriquement) par un seuil égal à 20, au niveau de Montélimar. A la suite, Bagnouls et Gaussen (1953) ont porté le débat au double niveau annuel **et** mensuel, en constituant des diagrammes ombrothermiques avec les 12 mois de l'année en abscisses et, en ordonnées, à la fois la température (en °C) et la pluviométrie (en mm), avec une échelle double pour la seconde variable par rapport à la première. Une température de 10°C et une pluviométrie de 20 mm sont ainsi représentées par le même point et la courbe reliant les 12 points de l'année fournit une image immédiate du bioclimat local, totalement « humide » si la courbe pluviale se situe au dessus de la courbe thermique, totalement « sec » dans le cas contraire, avec tous les recoupements mensuels et saisonniers possibles.

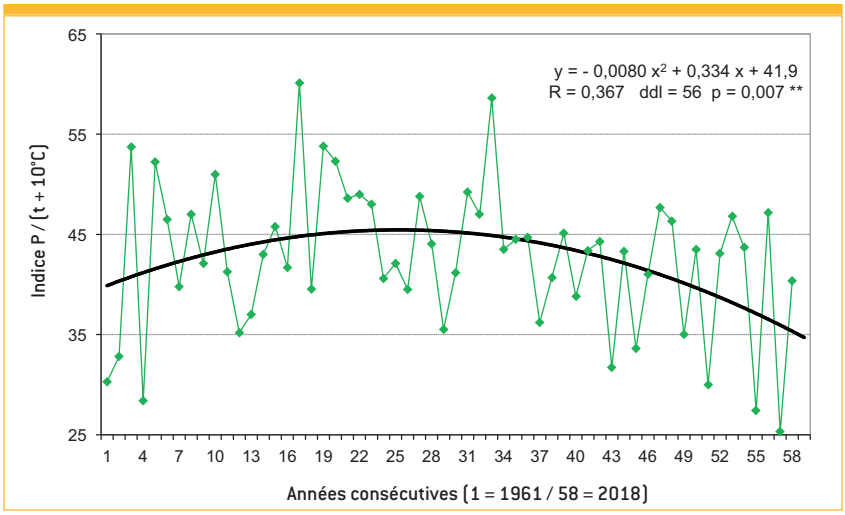
Pour définir de tels indices en l'absence de données thermiques pour les trois années 1961-1963, nous avons admis qu'il n'y avait pas de raison pour qu'elles n'aient pas été très voisines de celles des 18 années 1964-1981, en moyennes égales à 10,02°C et dotées d'un faible écart-type de 0,37°C. Pour étalonner le système, nous avons examiné les données disponibles de Villefranche-sur-Saône, dont les valeurs de 1961 (12,1°C), 1962 (10,0°C) et 1963 (9,6°C) présentent une moyenne de 10,57°C, suivies par les 18 années 1964-

Tableau VII. Valeurs de l'Indice pluviothermique annuel de De Martonne pour les trois phases reconnues à l'intérieur des 58 années 1961 à 2018.

	1961-77 (D)	1978-96 (E)	1997-2018 (F)	1961-2018
	n = 17	n = 19	n = 22	n = 58
- Pluviométrie annuelle	855 mm (166 mm)	966 mm (119 mm)	882 mm (148 mm)	902 mm (148 mm)
- Température annuelle	10,02°C (0,60°C)	11,55°C (0,83°C)	11,96°C (0,60°C)	
- Indice de De Martonne	**42,8**	**46,0**	**39,8**	**42,8**

1981 de valeur moyenne égale à 10,9°C (écart-type 0,31°C). Dans ces conditions, utiliser les valeurs 1961-1963 de Villefranche en les minorant d'un demi-degré Celsius nous est apparu comme un correctif opportun (et un risque acceptable), permettant d'élargir le champ chronologique de la réflexion (tab. VII).

Figure 6. **Evolution de l'Indice de De Martonne en Dombes**



Comme pour les précipitations, l'évolution annuelle de l'indice de De Martonne présente en Dombes un profil parabolique à large plateau central d'ordonnée égale à 45. Indice De Mart. = - 0,0080 x^2 + 0,334 x + 41,9 (fig. 6. R = 0,367, ddl = 56, risque statistique p = 0,007 **), ce qui tendrait à attribuer l'essentiel de son « pilotage » aux valeurs des précipitations. La courbe moyenne (fig. 6) débute à l'ordonnée 42, passe par un large palier à 45, couvrant de 1975 à 1996, pour s'incliner à la fin vers la valeur 35, ce qui indique que l'échauffement participe désormais à la définition de l'eau réellement disponible pour l'écosystème (*cf.* supra 4.2.1.). Un calcul analogue amène donc à estimer à **22 %** (45 – 35 = 10 / 45 = 0,22) le déficit en eau réellement disponible annuellement en Dombes (*).

Le seuil fixé par De Martonne pour qualifier un climat méditerranéen est égal à 20 (jadis au niveau de Montélimar) ; pour le moment, depuis plus de 50 ans, cette valeur n'a été approchée qu'à trois reprises : en 2011, avec 30,0 ; en 2015, avec 27,4 ; en 2017, avec 25,3. Sera-t-elle atteinte vers 2025 ?

Tout ceci ayant été dit, on est en droit de s'interroger sur l'homologation à faire des coupures de l'échantillon thermique 1961-2018 (sous-ensembles **A**, **B** et **C**) avec celles conduites sur l'échantillon pluvial (sous-ensembles **D**, **E** et **F**). **A** et **D** couvrent respectivement 1964-1981 (n = 18) et 1961-1977 (n = 17), **B** et **E** respectivement 1982-99 (n = 18) et 1978-96 (n = 19), **C** et **F** respectivement 2000-2018 (n = 19) et 1997-2018 (n = 22) (tab. VIII). Les différences sont de second ordre et autorisent le cumul des constats faits à partir de l'un ou l'autre des paramètres climatiques ou de leurs combinaisons. On peut également reprendre le découpage des années 1964-2018 en 9 hexennats successifs (*cf.* 4.1.2., tab. III) pour déterminer à une échelle plus fine les variations inter-annuelles de l'Indice de De Martonne.

Jusqu'à l'hexennat n° 5 (au tournant des années 1980-1990), les valeurs restent élevées (en moyenne 45 +/- 3), statistiquement supérieures à celles du milieu de la dernière décennie du XXe siècle et jusqu'à aujourd'hui (en moyenne 40 +/- 2) : on est droit d'y déceler une tendance de la Dombes à la « méditerranéisation ».

Tableau VIII. Données et résultats de l'Indice de De Martonne concernant la station de Marlieux. Les valeurs hors parenthèses sont les moyennes des variables ; entre parenthèses leur écart-type σ.

	1964-69	1970-75	1976-81	1982-87	1988-93	1994-99	2000-05	2006-11	2012-18
Hexennat	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T° C	10,1(0,5)	9,8(0,3)	10,1(0,3)	10,7(0,6)	11,6(0,5)	11,7(0,6)	12,2(0,5)	12,1(0,4)	12,6(0,6)
$P_{mm/an}$	857 (157)	837 (120)	994 (163)	927 (114)	999 (150)	921 (80)	871 (113)	889 (138)	877 (220)
Indice de De Martonne	42,7 (8,2)	42,2 (5,8)	49,3 (7,7)	44,7 (4,4)	46,3 (7,8)	42,5 (3,5)	39,2 (5,4)	40,6 (6,9)	39,1 (9,0)

(*) On peut néanmoins penser que, par temps couvert ou pluvieux, l'insolation, donc la température, est diminuée d'autant, du moins au niveau du sol : les indices pluvio-thermiques seraient donc doublement affectés à la hausse, et très variables d'un point à un autre, puisque l'échauffement est bien plus homogène de ce point de vue (milieux d'altitude exclus, évidemment). Dans les zones ainsi affectées par des indices pluviothermiques élevés, l'évapo-transpiration sera (favorablement) ralentie d'autant, le cycle de l'eau local de même.

4.3.2. Indice (estival) de Emberger. La question des indices pluviothermiques doit être en outre précisée à l'échelle saisonnière, de toute évidence en été, ou seulement en juillet, mois le plus chaud de l'année. Dès 1943, Emberger a abordé le sujet en choisissant la totalité de la saison d'été et en prenant en compte, non pas la température moyenne (diurne / nocturne) mais la température maximale (diurne), plus significative comme limite écologique (« biologique », pour les plantes comme pour les animaux). Cette démarche a aussi l'avantage de réduire les risques statistiques d'une courte durée mais nous avons adopté les valeurs thermiques journalières (demi-somme des mesures diurnes et nocturnes) calculées ici, et les moyennes thermiques et hydriques de l'été en utilisant comme limite critique de la sécheresse la valeur empirique **P** mm / **t** °C = 8 (tab. IXa et IXb).

Globalement, le bioclimat dombiste s'est indubitablement asséché depuis un tiers de siècle, avec seulement 1 + 2 années sèches sur 22 avant 1986, et 3 + 4 sur 32 (soit au total 14 % de fréquence dans le premier cas contre 22 % dans le second), traduisant une certaine « méditerranéisation » de l'ambiance (risque statistique inférieur à 5 % au test du Chi²). Dans le Val de Saône, où l'indice estival est passé en dessous du seuil fixé à 8, les températures sont du même ordre qu'en Dombes, et la sécheresse dépend surtout d'une moindre pluviosité (-30 % par rapport à la Dombes), sans doute par effet d'abri des monts du Beaujolais pour les précipitations dominantes en provenance de l'ouest : la sécheresse est donc réelle, avec une teinte de « méditerranéité ». L'indice de la Provence ne fait qu'approcher le seuil de sécheresse fixé à la valeur 20, et si l'indice estival - égal à 3,9 - est opérationnel (valeur du seuil égal à 8), il ne fait que confirmer le tir groupé du climat lyonnais observé à partir des seules précipitations ; en revanche, l'indice actuel de Lyon dépasse de 1,6 celui des années 1880-1940, ce qui pourrait résulter de l'important échauffement estival (supérieur à 2°C) observé depuis cette période. Quoi qu'il en soit, il convient de rappeler que si les valeurs pluviométriques apparaissent particulièrement robustes, il ne s'agit que de moyennes... en outre affectées parfois de forts écarts-types. Ce qui, sur le terrain, peut se traduire par des irrégularités à toutes échelles, d'années en années, de mois en mois, voire même très localement pour certains types de précipitations (orages « en couloir » de pluies intenses, ou de grêle). On risque d'assister à un dérèglement pluviométrique aléatoire, obstacle à toute « rationalisation hydrologique » des étangs de la Dombes !

4.4. Gaz carbonique et échauffement planétaire

Le gaz carbonique n'est pas le seul gaz à effet de serre (GES), mais il est globalement le plus actif, avec près de 70 % contre 14 % pour le méthane, et 13 % pour le protoxyde d'azote N_2O. De plus, l'évolution des autres GES se calque (au second ordre) sur la sienne puisque tous sont issus, de près ou de loin, de l'augmentation des activités et de la consommation de l'Homme industriel moderne (produit de la consommation individuelle par les effectifs de notre prolifique espèce) (*).

Tableau IXa		Température estivale moyenne (écart-type)	Précipitations estivales totales (écart-type)	Indice estival P / t moyenne (écart-type)
A	1964 - 1981	17,72 (0,73)°C	240 (65) mm	13,6 (3,9) * / **12,7** (3,8) **
B	1982 - 1999	19,64 (0,82)°C	216 (85) mm	11,5 (5,5) * / **10,2** (4,2) **
C	2000 - 2018	20,80 (1,21)°C	223 (79) mm	10,9 (4,2) * / **10,3** (4,1) **
	En 2018	22,0°C	227 mm	10,3 * / **9,9**°C **

(*) = calculé d'après la moyenne thermique des trois mois d'été.
(**) = calculé d'après la température du mois le plus chaud de l'été (juillet)

Tableau IXb. Villefranche-sur-Saône Saint-Genis-Laval (fournis pour comparaison)

Villefranche (1981-2010)	20,2°C	217mm	10,7°C * / **6,1**°C **
Villefranche. En 2018	22,5°C	137 mm	
Saint-Genis (1880-1940)	19,0°C	220 mm	11,6°C * / **5,8**°C **

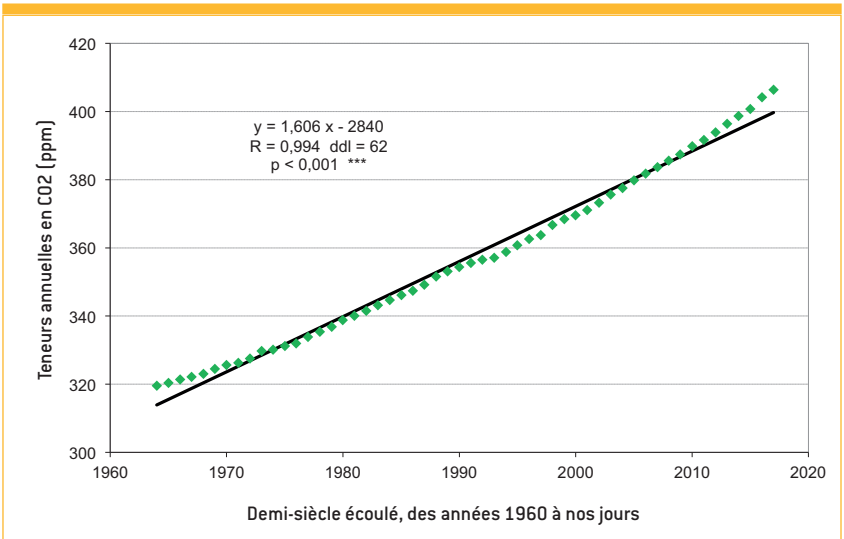
Si les moyennes trentennales sont bien « lyonnaises », l'été 2018 a été « méditerranéen » à Villefranche (indice estival égal à 6), mais pas à Marlieux (indice estival égal à 10). Une tendance à la baisse est sensible sur 55 ans.

Tableau IX. Evolution estivale (en trois périodes) des variables climatiques en Dombes.

(*) La France occupe une position démo-énergétique assez paradoxale, relevant plus (à première vue) d'un pays « en voie de développement » que d'une nation « avancée ». En effet, alors que sa population métropolitaine est demeurée longtemps stable (40 millions d'individus, de la fin du XIXe siècle au début des Trente Glorieuses, pendant 60 ans, soit deux générations), elle atteint aujourd'hui 67 millions d'habitants (une multiplication par 1,66 soit deux tiers en plus). En revanche, sa consommation énergétique s'est désormais stabilisée à tous les niveaux : **1**/ Pour la production d'énergie collective, de 2000 à 2015 au moins, en moyenne 135 +/- 3 Mtep par an. **2**/ Pour la consommation d'énergie primaire collective, de même, en moyenne 255 +/- 7 Mtep. **3**/ Pour la consommation individuelle d'électricité, de 2001 à 2014 au moins, en moyenne 7452 +/- 213 kWh. Il y a même décroissance depuis 2011, la consommation étant passée en dessous de 7000 kWh en 2014). On ne discutera pas ici des causes diverses, vertueuses ou non, de telles évolutions (voir Lebreton 2012, et sources officielles disponibles jusqu'en 2015).

En 1957-1958, l'Année géophysique internationale entraîne une même réaction chez les deux grandes puissances antagonistes du Globe, l'Union soviétique et les Etats-Unis d'Amérique. La première crée dès 1957 la station antarctique de Vostok, vouée au carottage des glaces plurimillénaires (hors échelle pour notre propos) pour permettre la constitution d'archives géochimiques ; la seconde implante en 1958 à Hawaï, dans l'hémisphère Nord, l'Observatoire de Mauna Loa de la NOAA (*National Oceanic & Atmospheric Administration*), destinée à mesurer la teneur des molécules légères présentes dans les airs et solubles dans les eaux. Forte de sa tradition d'études au voisinage des deux pôles, de Dumont d'Urville à Paul-Emile Victor, la France (par le biais du CNRS) est accueillie par les Russes à Vostok, puis les Américains sont pleinement reçus en 1989, dans une ambiance de neutralité et de pacifisme plus que remarquable après tant d'années de « Guerre froide » (sic !). Les premières mesures de la teneur atmosphérique en CO_2 sont obtenues par les Américains en 1960, avec une teneur annuelle moyenne de 315 ppm (en volumes) ; à cette époque, la pente de la croissance était de + 0,75 ppm / an ; elle atteindra 2,25 ppm en 2015, trois fois plus exactement ! La même année, le seuil symbolique des 400 ppm est atteint. A partir des échantillons de Vostok, l'analyse des glaces par chromatographie gazeuse permet de déterminer la valeur « pré-industrielle » (= milieu du XIXe siècle) de la teneur en gaz carbonique, avec une teneur de référence égale à 280 ppm (à mieux de 10 ppm près), puis le franchissement des 300 ppm s'effectue en 1910. Dès lors, tout un pan de l'histoire des interactions Homme / Nature devient accessible, notamment depuis la fin de la dernière glaciation, quelque 10 000 ans BP (*before present*), à partir de laquelle l'agriculture et son corollaire, la sédentarisation, succèdent au nomadisme de l'économie de chasse, pêche et cueillette (d'où de nouvelles « traditions »)...

Figure 7. Evolution annuelle de la teneur atmosphérique en CO2



Dans un premier temps, les teneurs globales en gaz carbonique (*in* Breteau, 2017, données NOAA) correspondant aux années de notre étude dombiste (1964-2018) peuvent traduire une croissance linéaire statistiquement satisfaisante (fig. 7). Néanmoins, trois écarts de second ordre sont décelables : le premier, au tout début de la droite de régression (1964-1973) dénote une croissance faible ; le deuxième (1991-1997) de même ; le troisième au contraire, rend compte d'une croissance accélérée (de 2000 à nos jours). Une analyse plus ciblée est donc plus utile pour relier échauffement et relâchements carbonés.

De la sorte, l'évolution de la teneur atmosphérique en CO_2 a été formalisée, à partir des données annuelles acquises de 1985 à 2017, par régression polynomiale de puissance 2 : $y = 0{,}0196\ x^2 + 1{,}223\ x + 347$ (y = teneur en ppm de CO_2 et x = année d'observation). (*cf.* fig. 7 et tab. X). Dans un second temps, la très haute sécurité statistique ($r = 0{,}999$; $p << 0{,}001$) attachée à ce résultat a permis d'extrapoler l'équation obtenue aux années suivantes, ici calculées de 5 en 5 années jusqu'en 2085 (tab. X), couvrant ainsi un siècle pour ce paramètre environnemental de première importance. Note : Etant donné la turbulence des masses aériennes et l'importance des surfaces terrestres dans l'hémisphère Nord, on peut estimer que les teneurs en CO_2 y sont quasi identiques ou, pour le moins, y évoluent parallèlement.

L'année 2015 ayant franchi le seuil des 400 ppm, 2025 connaîtrait une teneur de 427 ppm et le milieu du XXIe siècle, avec 509 ppm, dépasserait de peu le seuil symbolique des 500 ppm. Le doublement de la valeur pré-industrielle 280 x 2 = 560 ppm, se produirait vers 2065, suivi vers 2072 du franchissement des 600 ppm et, 10 ans plus tard, par la valeur 650 ppm. (**).

Nous disposons donc désormais de deux paramètres expérimentaux, l'un à valeur globale, l'augmentation de la teneur en gaz carbonique, à caractère parabolique (*cf.* tab. XI), l'autre à valeur locale, la température moyenne annuelle, à caractère linéaire : $y = 0{,}0448\ x + 11{,}20$ °C (où y = température et x = année considérée)

(**) Si la teneur en gaz carbonique est aisée à acquérir et universellement significative, on ne peut oublier qu'elle est à la fois conséquence et cause, placée entre l'amont de l'énergie carbonée consommée et l'aval de l'échauffement climatique constaté. Dans le premier cas, les valeurs mondiales sont disponibles mais de peu d'intérêt ici, car géographiquement et écologiquement très inégales (absorption décroissante du CO_2 par les océans et par les forêts), même si elles peuvent inspirer nos comportements locaux.

Années passées (valeurs expérimentales)		***Années à venir*** (valeurs extrapolées)*	
Valeurs arrondies à l'entier le plus proche, mais utilisées avec une décimale supplémentaire			
1985 : 347 ppm	2015 : 401 ppm	2020 : *414 ppm*	2055 : *529 ppm*
1986 : 348 ppm	2017 : 406 ppm	2025 : *427 ppm*	2060 : *549 ppm*
1990 : 354 ppm		2030 : *442 ppm*	2065 : *570 ppm*
1995 : 361 ppm		2035 : *457 ppm*	2070 : *593 ppm*
2000 : 370 ppm		2040 : *474 ppm*	2075 : *616 ppm*
2005 : 379 ppm		2045 : *491 ppm*	2080 : *640 ppm*
2010 : 389 ppm		2050 : *509 ppm*	2085 : *666 ppm*

Tableau X. Teneurs en gaz carbonique de l'atmosphère et extrapolations pour les années à venir.

x	y	x	y	x	y
340 /	11,15 (1986)	430 /	13,15 (2026)	520 /	15,14 (2054)
350 /	11,37 (1987)	440 /	13,37 (2030)	530 /	15,37 (2056)
360 /	11,59 (1995)	450 /	13,59 (2033)	540 /	15,59 (2058)
370 /	11,82 (2000)	460 /	13,81 (2036)	550 /	15,81 (2060)
380 /	12,04 (2005)	470 /	14,03 (2039)	560 /	16,03 (2063)
390 /	12,26 (2010)	480 /	14,26 (2042)	570 /	16,26 (2065)
400 /	12,48 (2015)	490 /	14,48 (2045)	580 /	16,48 (2067)
410 /	12,70 (2018)	500 /	14,70 (2047)	590 /	16,70 (2070)
420 /	12,93 (2022)	510 /	14,92 (2050)	600 /	16,92 (2072)

Tableau XI. Evolutions simultanées des teneurs en gaz carbonique et des températures annuelles. Les dates correspondantes (entre parenthèses) sont données à titre indicatif, à un an près.

(voir tab. XII). Comment interpréter ce résultat, a priori surprenant (un effet inférieur à la cause ?). En se référant à Svante Arrhenius (*loc. cit*., 1886, p.267, en haut) : *If the quantity of carbonic acid increases in geometric progression, the augmentation of the temperature increases nearly in arithmetic progression*, ce que nous traduirons comme suit : « Si la teneur atmosphérique en gaz carbonique augmente en progression exponentielle (ici, parabolique), alors l'augmentation de la température se fera-t-elle de manière sensiblement linéaire ».

De plus, on peut à ce propos rappeler une loi physiologique énoncée dès 1860 – donc bien avant l'article de Svante Arrhenius - selon laquelle la réponse d'un organisme récepteur à un signal n'est pas proportionnelle à la valeur de celui-ci mais à celle de son logarithme, dite encore Loi de Fechner (ou de Weber-Fechner : *la sensation varie comme le logarithme de l'excitation*), bien connue des acousticiens qui, pour cette raison, ont créé le décibel... Quant au profil de la courbe de Mann (en « crosse de hockey »), signe d'un « retard à l'allumage », il correspondrait par analogie mécanique à un processus de déformation **élastique**, de plus en plus résistante, jusqu'à la rupture, par opposition à une déformation **plastique**, linéaire et molle, répondant sans retard au stimulus.

Année	Croissance thermique linéaire (en °C)	Teneur en CO_2 parabolique (en ppm)
2017	12,5	406
2030	13,1	442
2040	13,5	474
2050	13,9	509
2060	14,5	549
2070	14,9	593

Tableau XII. Extrapolation de la régression linéaire établie de 1986 à 2017 entre température et année.

Notes :
- « plancher » 1964-1986 égal à 10,0 +/- 0,5°C.
- doublement de la teneur « historique » pré-industrielle (280 x 2 ppm) vers 2062.

En 1986, 293 ppm, x 2 = 586 ppm (2069).

(*) Rappelons que, si bien documentée soit-elle, la validité de toute extrapolation, vers le bas comme vers le haut, implique la persistance de tous les paramètres, connus ou inconnus, ayant justifié la partie initiale. Ceci en vertu du principe déterministe : *les mêmes causes et les mêmes conditions produisent les mêmes effets*, lu à l'envers. Ceci dit, même si l'automobiliste européen adoptait une conduite plus sobre, utilisant des véhicules décarbonés (à leur tour générateurs d'autres problèmes : électro-nucléaire *versus* électro-solaire), rien n'empêchera l'Inde et la Chine de poursuivre une politique de croissance fondée sur leurs stocks charbonniers.

5 / Incidences climato-économiques

C'est sans doute par antiphrase ironique que nos immédiats voisins septentrionaux, les Bourguignons, définissent leur région : *La Bourgogne n'est pas une région emblématique au regard du changement climatique : pas de station de ski dont l'activité pourrait décliner, pas de dépendance à d'autres régions en termes de ressource en eau /.../. C'est une région où les risques ne sont pas majeurs. Elle est l'archétype d'une région « normale ».* Car les atouts de la Bourgogne se situent plutôt dans son prestigieux vignoble, ou proviennent du grand gibier de ses forêts domaniales et privées. Convenons humblement que la Dombes n'a guère de souci de ce côté, faute de combattants... Rappelons aussi, s'il en était besoin, que l'originalité physiographique de notre terroir, mais aussi sa faiblesse, proviennent de sa situation de plateau et de son corollaire, l'origine pluviale quasi-totale de la ressource en eau. Quatre activités économiques plus ou moins intriquées, voire antagonistes, sont aujourd'hui soumises à ce handicap majeur : la pisciculture, la chasse, l'ornithologie (= le « tourisme de nature » en général), l'agriculture intensive (la maïsiculture en particulier), avec une difficulté analytique commune, celle de revenus financiers diversement connus, voire biaisés.

Il ne sera évidemment pas possible de détailler ici, ni même de signaler, toutes les conséquences et les répercussions de l'échauffement climatique et d'une sécheresse aggravée. Le propos est plutôt de confirmer quelques généralités précédemment exposées (Richoux & Lebreton, 2008), qui n'ont peut-être pas bénéficié de toute la diffusion et/ou de l'attention souhaitables dans l'opinion locale. Les années récentes - tout particulièrement l'été 2018 - ont sans doute surpris certains exploitants de l'agro-écosystème dombiste, qui doivent désormais admettre la nécessité d'un dialogue entre « théoriciens » et « praticiens » (*).

Pour autant, nous sommes tout à fait conscients de nos insuffisances, notamment celles relatives au ressenti quotidien de la plupart des acteurs, des agriculteurs aux chasseurs, tous soumis au dur constat d'un délabrement de ce qu'on l'appelle aujourd'hui la biodiversité, réalité de terrain dont nous sommes tous et tout à la fois les manipulateurs et les bénéficiaires, sous une forme ou sous une autre. Dialogue, doléances, recettes, correctifs, imagination doivent remplacer certitudes, intérêts sectoriels et fuite en avant. Point d'autosatisfaction et de vanité néanmoins : la Fondation Pierre Vérots, même dotée d'un Comité scientifique où figurent la plupart des disciplines, ne saurait prétendre à l'omniscience, ni couvrir tous les problèmes écologiques et économiques engendrés par l'échauffement climatique et autres paramètres de l'environnement naturel et humain. A l'heure actuelle, la Dombes ne bénéficie pas d'une structure de concertation apte à faire avancer les esprits et les comportements, une décision politique un peu abrupte ayant privé la Dombes d'une structure de type PNR : partout ailleurs en France, celle-ci a favorisé la concertation et la réflexion, et s'est traduite sur le terrain par des réalisations favorables à l'intérêt général. Pourtant, bien des voix s'élèvent en Dombes pour tirer la sonnette d'alarme : *La sécheresse de l'été 2017 fait à nouveau prendre conscience de la situation de dépendance dans laquelle se trouve la Dombes face aux aléas climatiques. /.../ On ne peut oublier les incidences que peuvent avoir les changements environnementaux sur la santé humaine. Comment un écosystème aussi fragile que celui de la Dombes peut-il s'adapter à ce contexte de réchauffement global ?* (Roussel, 2018, p. 31). Et d'ajouter : *Le changement climatique et les étangs. L'urgence d'une adaptation* (*ibid*., pp. 38-40), *La transition énergétique en Dombes : la difficile maîtrise des émissions de Gaz à Effet de Serre* (*ibid*., pp. 43-47). En guise de conclusion, *le changement climatique s'inscrit dans la perspective de l'Anthropocène* (*ibid*., pp. 47-48).

5.1. Les fruits du sol

5.1.1. La maïsiculture. Pour les biochimistes (spécialisés dans l'étude et la connaissance physiologique des plantes) et les agronomes, le maïs (*Zea mays*, issu séculairement d'un ancêtre mexicain, la téosinte) se distingue des autres céréales par une photosynthèse particulière, adaptée à l'économie de l'eau. Alors que le blé ou l'orge (plantes dites en C3) effectuent le jour la fixation du gaz carbonique **et** sa transformation en sucres et en amidon, puis « se reposent » la nuit, le maïs (et les autres plantes dites en C4) procèdent en

(*) La Fondation Vérots, si elle ne pratique pas la monoculture intensive sur ses terres, conduit sur ses 4 étangs une pisciculture extensive qui lui permet (outre les modestes revenus correspondants) de mieux comprendre les préoccupations de la profession en Dombes. Elle a en outre organisé, en 2002, un Colloque pluridisciplinaire intitulé : *Zones humides continentales : des chercheurs aux gestionnaires*, qui a eu peut-être le tort de venir trop tôt pour convaincre (il y a 15 ans...) des professions à qui l'avenir ne promettait que des lendemains sans nuages (sic !).

deux temps : le jour, leurs stomates (petits orifices foliaires fonctionnant dans un sens ou dans l'autre, entrées ou sorties) sont fermés, ce qui évite les pertes en eau mais n'empêche pas la lumière de traverser la cuticule et d'alimenter le végétal en énergie ; la nuit, les stomates s'ouvrent, ce qui n'évite certes pas la transpiration, mais elle est réduite par la fraicheur nocturne : la plante peut alors absorber le gaz carbonique pour achever la photosynthèse.

Première remarque : devant ce constat, puisque l'on parle « d'agriculture raisonnée », ne devrait-on pas adopter une « irrigation raisonnée », car l'aspersion en plein jour est pour le maïs une pratique presque inutile (d'une manière générale d'ailleurs, l'arrosage de toute plante en plein soleil n'est pas souhaitable, comme vous le dira tout bon jardinier) ? Car l'eau ne bénéficie alors à la plante qu'à partir du sol et du système racinaire, mais celui-ci ne fonctionne bien que grâce à l'évapotranspiration du feuillage : pour le maïs, hélas, les stomates sont alors fermés : la double peine, même si l'eau pompée dans le Rhône est quasiment gratuite ! Justement, diront les maïsiculteurs dombistes, l'irrigation ne se pratique pas en Dombes (sinon à ses périphéries, par exemple à proximité de la côtière méridionale) et les forages en nappe phréatique ne sont pas autorisés (en principe…), d'autant que l'eau obtenue sur le plateau à des dizaines de mètres de profondeur est bressanne et n'a pas les qualités de l'eau dombiste que peuvent souhaiter les pisciculteurs.

Seconde remarque : sorti de son contexte ancestral, le maïs (et ses diverses variétés créées par les généticiens de l'INRA) est-il bien adapté à notre contexte environnemental, auquel sont habituées nos céréales indigènes ? Peu sensible au froid, le blé tendre (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum*), dit encore blé d'automne (ou blé d'hiver), peut être semé chez nous dès octobre, où sa germination lui permet de passer l'hiver comme plantule (autant de gagné…), et de redémarrer sa croissance puis fleurir à la fin du printemps, pour être moissonné au début de l'été (juin ou juillet selon la situation géographique). A l'opposé, le maïs, frileux car provenant de pays chauds, ne saurait être semé chez nous avant la fin-avril / début-mai, pour croître en plein été sous forte chaleur, et n'être récolté qu'en automne. Son avantage physiologique s'en trouve fortement amoindri, si bien que les deux types de céréales connaissent aujourd'hui des « rendements » relativement proches. Ainsi, en 2017, année climatiquement favorable pour les céréaliers, alors que la moyenne nationale pour le maïs s'est élevée à 103 quintaux / ha (l'un des meilleurs chiffres de la décennie), les valeurs obtenues dans le nord de la France pour le blé tendre ont approché 90 quintaux par ha (en moyenne 86 +/- 3 quintaux / ha). Dans ces conditions, pourquoi miser encore à terme sur le maïs dans un contexte de sécheresse estivale risquant de s'accentuer, en oubliant le blé tendre (90 % de nos récoltes en blés) ou d'autres végétaux mieux adaptés ?

Dès 2012, le monde agricole, relayé par la presse régionale (*Le Progrès de Lyon*, 9 et 10 mars 2012), s'est inquiété de telles perspectives, de manière particulière plus que générale il est vrai : *Les modifications climatiques ont un fort impact sur la production agricole du Rhône /…/ avec des pénuries fourragères qui fragilisent les éleveurs ; en 2011, ils ont dû s'approvisionner à l'étranger (Espagne, Tchéquie) pour plus de 10 millions d'Euros, les pertes en fourrage représentant 40 à 50 % de la production moyenne annuelle*. Leur répondant, *le préfet de Région s'est attaché à appeler à une réaction collective visant à ne pas stigmatiser les agriculteurs*, tout en précisant *l'action qu'il compte poursuivre en termes d'irrigation : l'Etat n'est pas opposé aux retenues collinaires* et *il faut préférer le collectif à l'individuel autant que faire se peut, trouver des solutions qui pénalisent le moins possible les têtes de rivière et savoir se montrer économe en eau*.

5.1.2. La viticulture. La vigne n'est certes plus cultivée en Dombes, non seulement sur le plateau (où la « piquette » dont se contentait bon gré mal gré une bonne partie de toute la France septentrionale n'épargnait pas notre terroir il y a plus d'un siècle), mais sur sa côtière méridionale où quelques agriculteurs vinifiaient le Noah il y a une génération encore ; ce vin épais, d'un rouge-violacé profond, producteur de méthanol, était en principe proscrit, et même sa version « bourrue » n'était déjà plus qu'une curiosité ou une politesse de voisinage… Si les restaurants de Dombes se tournent aujourd'hui vers l'est, où les vins du Bas-Bugey se sont grandement améliorés, on prendra comme référence le Beaujolais, puisque Villefranche s'inscrit dans le contexte du climat lyonnais *sensu lato*. D'après la Chambre d'Agriculture du Rhône (2016), la date des bans techniques des vendanges en Beaujolais, entre 1970 et 2015, est devenue de plus en plus précoce au fil des ans. Les deux années les plus précoces se sont situées au XXIe siècle, avec l'été 2003, caniculaire (le 8 août) et 2015 (le 21 août) ; les deux plus tardives au XXe, en 1978 (le 3 octobre) et 1980 (le 4 octobre).

La date médiane du calendrier se situe à la mi-septembre et l'ensemble de la trajectoire est rectiligne, avec une très haute sécurité statistique ($p < 0,001$), malgré de forts écarts à la tendance ; la pente est d'un jour pour deux années, soit 18 jours d'écart sur l'ensemble de la période considérée. Aux deux extrémités du calendrier, les 9 valeurs moyennes (respectivement

centrées sur 1974 et 2011) correspondent aux jours de l'année 249 (6 septembre) et 264 (21 septembre) ; la différence (15 jours) est très significative (test de Student, p = 0,005), malgré des années 1976 et 2013 apparemment « hors profil ». La situation dans le Bordelais est du même ordre ; comme tout récemment signalé par Guy Blanchet : *L'évolution* (thermique) *constatée correspondant à une avancée de la date des vendanges est donc un marqueur efficace du réchauffement climatique, et de la réaction de la végétation* (même si d'autres phases du calendrier annuel de l'espèce peuvent aussi intervenir, en agissant sur d'autres caractères de la récolte, comme le « rendement » en hectolitres ou le degré alcoolique). Bien entendu, si la vigne n'est pas déterminante en Dombes, nombre d'autres espèces, cultivées ou sauvages, connaissent des réactions identiques ou comparables.

5.2. Les fruits de l'eau

5.2.1. La pisciculture. Il y a une, voire même deux générations humaines que le calendrier piscicole n'est plus étroitement dépendant de la demande du consommateur, les pêches de printemps ne bénéficiant plus de la tradition pascale de la « carpe à la juive », venue d'Europe centrale ; si bien que le pisciculteur doit, et peut proposer des produits dérivés consommables à longueur d'année. Dénonçons aussi l'image de marque imméritée dont la carpe ne parvient pas à se débarrasser, même à Lyon, production locale pourtant traditionnelle et « bio », désormais commercialement concurrencée par le saumon d'élevage. Ceci dit, il est évident que les pêches d'automne (les plus fréquentes et les plus rentables, car permettant l'assec pour mise en culture de céréales d'hiver, plus productives) sont de plus en plus pénalisées par la faiblesse confirmée des précipitations assurant le remplissage des étangs, et par l'échauffement pouvant conduire ceux-ci à un déséquilibre biologique par dystrophisation.

Un article de François Mallet (*Le Progrès de Lyon*, 7 septembre 2017, p. 10, sous le titre « Pisciculture : plus de 60 % de perte, une sécheresse inédite ») rend éloquemment compte de la détresse des pisciculteurs devant de tels aléas climatiques : *Des étangs vides ou presque, tel est le paysage que laisse à voir la Dombes cette année. /…/ On arrive à peine à 50 % de la pluviométrie nécessaire. /…/ Confrontés à une forte concentration, les poissons luttent en permanence contre le manque d'oxygène et leur croissance est mise à rude épreuve. /…/ Cette catastrophe vient mettre à mal une filière piscicole en renouveau depuis 2014. /…/ Cette sécheresse vient porter un coup au développement orchestré par l'APPED (Association de promotion du poisson des étangs de la Dombes). Heureusement, la filière peut compter sur le soutien financier du Département, puisque le programme d'aides 2014-2016 a été renouvelé pour la période 2017-2021.* Des micro-dispositifs flottants alimentés par panneaux solaires ont été localement installés, permettant l'oxygénation des eaux superficielles ou leur nébulisation.

LA SOLUBILITÉ DES GAZ DANS L'EAU ; LES EFFETS DE LA TEMPÉRATURE

Si l'oxygène est présent dans l'air à raison de 21 % (210 000 ppm = parties pour million en masse), il l'est bien moins dans l'eau, par exemple 10 mg / litre d'eau à 15°C (= 10 ppm, en masse également). C'est l'inverse pour le gaz carbonique, mais de manière plus complexe, car ce gaz dépend fortement de l'acidité et de la teneur en sels minéraux des eaux, plus abondants (sous forme de bicarbonates) dans les eaux alcalines (neutro-basiques, pH élevés). A 15°C et sous pression atmosphérique normale, sa solubilité est égale à 1,95 g / litre d'eau pure, soit 1950 ppm en masse, en moyenne 200 fois plus élevée que celle de l'oxygène dans ces conditions.

Tous les gaz sont plus solubles dans l'eau aux basses températures et sous des pressions atmosphériques élevées (absolues ou relatives, loi de Henry), comme chacun a pu le constater en voyant pétiller son quart Perrier dans un refuge de montagne… Pour l'oxygène, dans de l'eau pure et sous la pression atmosphérique normale (= 1013 millibar = 1013 hPa = 760 mm Hg), il s'agit de 14,4 mg / litre à 0°C et de 8,2 mg / litre seulement à 25°C. Pour le gaz carbonique, il s'agit respectivement de 3,35 et 1,42 g / litre respectivement. Dans les deux cas, la perte moyenne est de 2 % par °C (perte moyenne, car la courbe de décroissance n'est pas linéaire, mais hyperbolique). Lorsque l'eau d'un étang passe de 15 à 25 °C, elle perd près de 18 % de son oxygène (toutes choses égales par ailleurs) : l'étang « tourne » et les poissons se mettent à bailler, puis à périr…

5.2.2. L'avifaune aquatique. La chasse et l'ornithologie constituent deux corps de loisirs ayant à priori le souhait commun d'avoir le plus possible d'espèces et / ou d'individus d'oiseaux d'eau à se mettre sous la mire, ou sous la jumelle. Du coup, il est sans doute dommage que la Fédération des Chasseurs de l'Ain ait rejoint la « Bande des Neufs » pour faire capoter le projet local de Parc naturel régional. La diminution du nombre et de l'importance des jours de gel favorise la présence et la fixation de l'un des pires ennemis du pisciculteur, le cormoran. Le radoucissement hivernal ne peut que favoriser à priori la permanence ou l'apport migratoire

des oiseaux d'eau, ceux-ci pouvant être alors incités à des nidifications précoces, s'exposant au « trou noir » de printemps froids et / ou pluvieux aléatoires, catastrophiques pour les poussins soumis de plus à des désynchronisations alimentaires (éclosions d'insectes). En outre, les couvées de remplacement ou de jeunes femelles, plus tardives, moins prolifiques ou expérimentées, peuvent se voir affectées par des processus pathogènes. Néanmoins, c'est l'été qui soulève le plus d'inquiétude (le tiers de l'échauffement annuel), les eaux chaudes perdant de leur oxygène et pouvant alors engendrer pullulations planctoniques (efflorescences de cyanobactéries) et phénomènes de dystrophisation : l'ornithologue et le chasseur rejoignent le pisciculteur en redoutant l'apparition du botulisme, car les bactéries du *Clostridium botulicum* auront toujours « de l'eau à boire », donc plus de chances de se multiplier et de diffuser leurs toxines mortifères pour les vertébrés de l'écosystème étang.

Les effectifs d'oiseaux d'eau hivernant en Dombes (cinq espaces protégés, surface totale proche de 400 ha) et sur le Léman franco-suisse (la quasi-totalité du lac et de ses dépendances) dépendent non seulement de la tranquillité de sites d'accueil et de la possibilité de nourrissage, mais reflètent (à la baisse) le niveau des populations d'Europe occidentale, dont le maximum global a été atteint vers 2010, variable selon les espèces. Mais alors que les eaux lémaniques et fluviales ne se voient qu'exceptionnellement prises par le gel au point d'empêcher la présence des oiseaux plongeurs (les Fuligules et la Nette, mais aussi la Foulque et le Cormoran), il en va tout autrement pour les étangs de Dombes, que leur faible profondeur moyenne, de l'ordre d'un mètre à deux mètres, rend très sensibles à la prise des eaux par le gel. Dans ces conditions, si le Colvert est à même de maintenir ses effectifs, avec agrégation comportementale, les Canards plongeurs - au premier chef le Milouin - sont très sensibles à ce paramètre, voyant leurs effectifs décimés pendant les hivers froids ; ils gagnent alors les eaux proches et mobiles relevant du bassin rhodanien en amont de Lyon, du complexe de Miribel-Jonage aux barrages et retenues de la CNR (Compagnie nationale du Rhône) jalonnant le fleuve en direction de la frontière suisse, jusqu'à la réserve cynégétique de l'Etournel. Pour les Limicoles, deux éléments sont essentiels : la saison (au siècle dernier, il y avait une migration de printemps, de la Méditerranée vers la Scandinavie, l'inverse en automne) et la présence de vasières plus ou moins herbues. Les « étangs-baquets », prisés par des pisciculteurs en tant que réserves d'eau, n'attirent certes pas les Bécassines ; aujourd'hui, les Barges ont déserté notre voie continentale au profit des rivages atlantiques, pour des raisons extérieures à notre région, où le dérèglement climatique a peut-être sa part. Car il y a aussi des relations entre dérèglement climatique et biodiversité !

En marge des étangs, la zone d'atterrissement entre eau et terre (d'habitus surtout ligneux) peut connaître une extension de la zone à tiques (porteuses fréquentes de la bactérie *Borellia*, à l'origine de la maladie de Lyme) ; l'épizootie se voit favorisée non seulement par l'accroissement des populations de sangliers et de chevreuils (grands mammifères) et de petits rongeurs (micromammifères) porteurs, mais également par l'échauffement climatique en raison du caractère thermophile du parasite.

Mortalité estivale de carpes constatée en juillet 2019 sur un étang proche du domaine de Praillebard
Crédit photo : JP. RABATEL

6/ Pourquoi ce climato-scepticisme ?

Le caractère complexe du problème climatique réclame un minimum d'informations permettant de situer toute étude dans un contexte plus général, avec la question : Quelle est la réalité (= sur le terrain) de l'échauffement séculaire, très variable (0,8 ou 2,3°C) selon les circonstances (les réunions COP 21, COP 24, etc.) ou les interlocuteurs (les scientifiques du GIEC ou les politiciens) ? Conscients ou non, deux subterfuges sont en jeu. **1**/ Privilégier la température moyenne du Globe, où les océans et les mers (71 % des surfaces et une molécule à très haute capacité calorifique : l'eau) noient tout jugement, d'autant que 99 % des humains en sont absents. **2**/ Tracer une droite de 1850 à nos jours, en ignorant l'existence de la cassure thermique « en crosse de hockey » des années 1980. Certes, la ligne droite est le plus court chemin d'un point à un autre, mais rien ne prouve qu'elle soit la voie la plus réaliste et la moins coûteuse ; on en reparlera (avec des cyclistes...).

Ceci étant dit, dire et laisser dire qu'il conviendrait de ne pas dépasser un échauffement de 2°C vers 2050, alors qu'il est déjà franchi au bord des étangs de Dombes, et plus largement encore dans l'Arctique et la plupart des massifs montagneux (« châteaux d'eau » en péril par la fonte des glaciers), constitue un délit de « non-assistance à biosphère en danger ». Bien plus, si la minoration de la réalité est volontaire (en vertu du principe politicien : « éduquer avant d'agir », variante de « créer une commission »), elle est extrêmement dangereuse car démotivante : *pourquoi s'affoler pour moins d'un degré en plus ?* En parlant de climato-scepticisme, force est aussi de constater que la majorité de l'opinion publique française est addictée plus que jamais à la voiture, bien au-delà des contraintes de la vie courante, dont les pratiques, professionnelles ou privées, de transport dans un contexte de chômage et de civilisation des loisirs. Ulcérés par l'instauration d'une taxe supplémentaire de 3 centimes d'Euro par litre de carburant automobile, certains refusent tout aussi fermement d'abaisser de 90 à 80 km/h leur vitesse sur les routes ordinaires. Pourtant, l'adoption de cette mesure leur permettrait d'économiser au moins 0,3 litre de carburant aux 100 km, soit 45 centimes d'Euro, 15 fois l'augmentation fiscale qu'ils combattent ! Comme quoi, comme pour les températures, le « ressenti » a plus de poids que la réalité... Plus généralement, jamais la publicité et l'engouement pour les véhicules volumineux et surpuissants n'ont été aussi prégnants, avec des résultats bien tangibles (signalés par l'ADEME), bien visibles sur le parking des super-marchés !

Les raisons de ce « thermo-négationnisme » ambiant sont donc multiples, conscientes ou inconscientes. Mais elles proviennent peut-être aussi de l'incohérence des informations apportées par les milieux officiels et la plupart des médias. Un exemple symptomatique concerne la présentation publique de l'échauffement climatique, formulée par la COP 21 (Paris, décembre 2015), selon laquelle l'échauffement moyen (ou la pente séculaire ?) depuis 1885 serait de **0,85°C**. Les résolutions adoptées à l'issue de cette réunion ajoutaient que la barrière à ne pas franchir d'ici la fin du présent siècle devrait être *bien en deçà de 2°C*, en incitant à *poursuivre les efforts pour limiter la hausse de la température à 1,5°C*. Cette valeur est pourtant peu compatible avec la fourchette prévue dès 2013 par le GIEC : 2,6 à 5,2°C, en moyenne 3,8°C. Tout récemment, Patrick Brown et Ken Caldeira, chercheurs de l'Institut Carnegie de l'Université de Stanford (Californie), font plus que confirmer en annonçant + 3,2 à 5,9°C d'ici à 2100 : *Il y a 93 % de probabilité pour que le réchauffement dépasse 4°C* (Greater future global warning inferred from Earth's recent energy budget, *Nature* (2018). 552 ; pp. 45-50). La pente de + 4,5°C aujourd'hui observée en Dombes (données Météo France, rappelons-le), alors que l'échauffement depuis 1985 est déjà de + 2,3°C, montre à l'envi que notre constat n'est pas une exception climatique ! Quant à l'attitude de la COP 21, cherchons l'erreur...

Les réponses sont diverses, mais la plupart semblent peu réalistes à la réflexion, comme celle des véhicules électriques (largement subventionnés...), dont le bilan énergétique « du berceau à la tombe » n'est pas pris en considération et reste ignoré du public (comme il l'est d'ailleurs pour les projets de migration sur Mars présentés comme remède à la surpopulation terrestre). Et comme il n'y a aucun espoir de voir l'Inde et la Chine (ni les USA) cesser d'augmenter leur consommation de charbon (ou de gaz de schiste), il est encore plus illusoire de voir l'échauffement cesser bientôt. La « fée électricité » saurait-elle réconcilier les points de vue ? (*)

(*) Il n'y a pas de gisements terrestres d'électricité (la fabuleuse énergie des orages nous échappe encore), pas davantage de sources d'hydrogène (qui répond déjà à nos appétits, mais très indirectement, dans la couronne solaire, siège de la fusion nucléaire). Comme l'écrivait Louis Armand, pourtant partisan du « progrès », il y a un demi-siècle : *L'électricité est propre à utiliser, mais elle est sale à produire...* Ceci dit, si vous voulez lutter contre la canicule en mettant en route la clim de votre voiture, sachez que pour obtenir une frigorie dans votre habitacle, vous rejetterez deux calories dans l'environnement, accentuant ainsi l'échauffement ambiant ! Double peine dans votre appartement, en gaspillant une électricité qui a déjà réchauffé l'environnement lors de sa production dans les centrales thermiques...

NOTRE CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE EST-ELLE BIEN RESPONSABLE DE L'ÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE ?

Globalement la réponse est évidemment OUI ! Sinon, autant nier la réalité de l'Anthropocène, cette période géologique récente dont le caractère découle de l'action de notre fulgurante espèce, dont l'apparition il y a quelque 100 000 années a coïncidé avec un échauffement dont l'ampleur et la vitesse dépassent tout ce qui a précédé : *La dernière fois que la Terre a connu une teneur en CO_2 comparable* (à celle de l'année 2017), *c'était il y a trois à cinq millions d'années : la température était de 2 à 3°C plus élevée et le niveau de la mer était supérieur de 10 à 20 mètres par rapport au niveau actuel* a déclaré Petteri Taalas (Secrétaire Général de l'OMM), comme rappelé le 22 novembre 2018 par l'ONU dans son bulletin annuel. Mais bien des précisions doivent être apportées pour argumenter le problème et saisir le bien-fondé des mesures à prendre pour pallier cette dérive.

1/ Tout d'abord, s'agit-il d'énergies fossiles par opposition aux énergies renouvelables (ou « actuelles ») qui, de près (chauffe-eau solaire) ou de loin (énergie éolienne), relèvent toutes de l'activité du Soleil. N'oublions toutefois pas deux choses : 1/ Il existe deux sources d'énergie « préalables » : la non-consommation (les *néga*watts : la conduite automobile « apaisée ») et les économies d'énergie (l'isolation thermique). 2/ L'énergie électro-nucléaire est aussi d'origine fossile, et son utilisation, quelles qu'en puissent être les modalités (et ses déchets), ajoute donc toujours de la chaleur au bilan thermique de la biosphère.

2/ Ensuite, s'agit-il de consommation individuelle ou collective ? Si l'on interroge les statistiques de la consommation carbonée (en prenant 1880 comme date significative du démarrage de la société industrielle), on apprend qu'entre cette date et le lustre 2015 (= moyenne des cinq années 2013-2017), elle est passée de 0,32 à 9,88 Gt, soit 31 fois plus. Dans le même temps, la population mondiale a quintuplé, de 1,50 à 7,26 Md d'habitants. D'où l'on peut déduire qu'en moyenne, la consommation individuelle porte autant de responsabilité (pays « développés ») que la pullulation démographique (pays « en voie de développement »), ne constituant en fait que deux formes d'irresponsabilté et d'égoïsme individuels, approuvées ou suscitées par les doctrines économistes et / ou religieuses. Mais notre situation de nantis est très ambiguë : les quantités d'énergie carbonée officiellement consommées en France sont certes exactes ; mais elles ignorent celles utilisées par la Chine pour fabriquer les produits que nous importons de ce pays !

3/ Sur les 135 années considérées, les croissances observées dépendent-elles ou non des volontés humaines, marquées par les deux grandes Guerres mondiales encadrant le crash boursier d'octobre 1929 et la crise consécutive des années 30, ainsi que par la Crise des *subprimes* en 2008 ? Au niveau des individus (épargnants, chômeurs), le choc est quotidiennement rude mais, du point de vue de Sirius, les points quinquennaux (au nombre de 28) s'inscrivent sur une courbe exponentielle de très haute probabilité [en log (base 10) des Mégatonnes de carbone annuellement consommées, $y = 0{,}056\,x + 2{,}46$; coefficient de corrélation $R = 0{,}990$; risque statistique $P < 1$ p. mille].

4/ Mais il y a pire en un sens, car si le charbon a longtemps été le maître de l'énergie mondiale, il s'est vu relayé, puis supplanté par les hydrocarbures, eux-mêmes subdivisés en combustibles liquides ($-CH_2-$) et en gaz naturel (le méthane CH_4, « hydrure de carbone » comme on dit oxyde de carbone CO). Si un gramme de charbon (assimilé à du carbone pur, pour simplifier), fournit 7,85 kcal, un gramme d'octane en fournit 1,35 fois plus, et un gramme de méthane 1,55 fois plus ; ceci progressivement grâce à l'hydrogène contenu, autant qu'au carbone lui-même). Pour information, la biomasse sèche (assimilée à la cellulose CH_2O) fournit 3,74 kcal/g , la moitié seulement d'un gramme de charbon !

5/ Autre conséquence (perverse) des mêmes réalités : dans la mesure où de nombreux pays développés ont, comme le nôtre, abandonné le charbon au profit des hydrocarbures, non seulement l'exponentielle globale est-elle pour eux majorée, mais ils bénéficient du coup d'un avantage énergétique (*plus d'énergie avec moins de carbone*) sur ceux faisant encore (et pour longtemps) appel au charbon, comme l'Inde et, *pro parte*, la Chine. Une logique simpliste voudrait que l'on pousse le raisonnement jusqu'au bout, en faisant appel à l'hydrogène lui-même ; le problème est qu'il n'y a nulle part de sources d'hydrogène disponibles dans la nature (comme pour l'électricité d'ailleurs), et que le produire en cassant la molécule d'eau puis à l'utiliser en redonnant une molécule d'eau ne serait qu'une version (thermodynamiquement vicieuse) du mouvement perpétuel... Rappelons que les bases thermodynamiques de ces réflexions, connues sous le nom de Second principe, ou principe de l'Entropie, sont connues depuis 1865, juste avant que la météorologie ait conquis ses premiers galons de science exacte...

Le *Global Carbon Budget* du *Tyndall Center for Climate Change Research* (USA) fournit, année après année depuis 1850, l'estimation des quantités de Carbone fossile (charbon, hydrocarbures, ciments) rejetées dans l'atmosphère et exprimées en Gt (milliard de tonnes d'élément). Nous avons utilisé ces données depuis 1880 seulement (date correspondant à l'ouverture systématique de stations météorologiques dans le Monde), en les divisant en lustres (ou quinquennats) consécutifs, et en regroupant les 2 + 2 valeurs encadrant l'année choisie (pour 1880, de 1878 à 1882 ; pour 1885, de 1883 à 1887 ; etc.). Les valeurs obtenues sont données à la suite : **1880** (0,32 Gt). **1885** (0,35 Gt). **1890** (0,41 Gt). **1895** (0,59 Gt). **1900** (0,68). **1905** (0,75 Gt). **1910** (0,82Gt). **1915** (0,90 Gt). **1920** (0,90). **1925** (1,04). **1930** (1,09). **1935** (1,04). **1940** (1,14). **1945** (1,34). **1950** (1,52). **1955** (2,00). **1960** (2,58). **1965** (3,12). **1970** (4,00). **1975** (4,80). **1980** (5,23). **1985** (5,62). **1990** (6,14). **1995** (6,57). **2000** (6,81). **2005** (8,06). **2010** (9,15). **2015** (9,88 Gt / an).

La crédibilité des données météorologiques

Depuis 1880, des stations météorologiques fiables ont été progressivement installées partout sur la planète, permettant de calculer des valeurs globales et représentatives, comme celles de l'échantillonnage du DWD (le Service Météo Allemand), riche de plus de 600 stations de référence. Ainsi, en janvier 2019, *sur 615 stations réparties dans l'ensemble du Monde, 497 (80,9 %) ont eu une moyenne excédentaire, 105 (17,0 %) une moyenne déficitaire et 13 une moyenne conforme* (*Bulletin AMRL* N° 153, mars 2019). Chaque station peut passer chaque mois d'une catégorie à une autre, dans la mesure où les effets thermiques peuvent eux-mêmes se déplacer rapidement d'un point géographique à un autre.

Les archives des mêmes stations ont également servi à dresser une évolution globale du climat, étant entendu qu'aux données terrestres s'ajoutent des données maritimes, comme en témoigne l'intitulé du principal organisme utilisateur, la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), et celle de son diagramme lissé publié en 2015 : *Jan-Dec Global mean Temperature over Land & Ocean* (ce qui ne peut donc être comparé qu'indirectement aux données terrestres de Météo France, en raison de l'inertie calorifique déjà signalée des masses aquatiques). Par rapport à l'année 1950 prise comme référence zéro, quatre phases essentielles se dégagent sur les 135 années disponibles : la première couvre de 1880 (- 0,1°C) à 1942 (+ 0,1°C) après être passée par un sommet négatif en 1908 (- 0,38°C) ; l'amplitude du rectangle obtenu est légèrement inférieure à 0,5°C. La seconde phase couvre de 1943 à 1972 avec une faible fourchette (+/- 0,03°C). La troisième est linéairement croissante, de 1973 à 2002, passant de 0,0 à 0,6°C. La dernière, de 2003 à 2014, est apparemment stable autour de 0,6°C. Au total, entre 1880 et 2014, l'amplitude thermique maximale serait légèrement inférieure à 1°C, et l'échauffement extrême égal à + 0,7°C, valeurs encadrant le chiffre global officiel de la COP 21, soit + 0,85°C (le tiers des valeurs terrestres de l'étage planitiaire-collinéen de la France moyenne). En d'autres termes, les variations thermiques notées pendant le siècle 1880-1980 ne sont pas comparables (ni en ampleur, ni en durée) à celles connues sur le terrain depuis 30 ans maintenant.

1/ A mieux réfléchir, on comprend le négationnisme des climato-sceptiques envers la « courbe de Mann », qui met en relief depuis 1985 la pente de l'échauffement : n'est-il pas en effet bien commode de « diluer » cet échauffement en le répercutant sur 130 ans (1885-2015) plutôt que sur 30 ? Une analogie cycliste pour bien comprendre le tour de passe-passe : pour rassurer les coureurs, l'organisateur d'une course de 250 km partant de 200 mètres d'altitude pour arriver, après 230 km de plat, au pied d'une montée de 20 km se terminant à 2200 mètres, n'a-t-il pas intérêt à calculer la pente sur l'ensemble du parcours : 2000 m / 250 km = **0,8** % et non pas sur les 20 derniers km : 2000 m / 20 km = **10** % ? En gros, ce pourrait être le cas d'une étape du Tour de France allant de Lyon à l'Alpe d'Huez, mais où les choses sérieuses ne débutent vraiment qu'à partir de Bourg-d'Oisans, dans la vallée de la Romanche.

2/ Pour exprimer les échauffements, on a pour habitude de comparer les températures observées à la moyenne des valeurs obtenues pendant les 30 années précédentes dans les mêmes stations. Cette démarche est statistiquement louable, dans la mesure où toutes les disciplines « molles » (celles relevant de la démographie, de la biologie, de l'écologie, en un mot de la vie) ont pour règle de constituer un tel étalon pour juger de toute évolution, dans un sens ou dans l'autre. Ceci dit, dans l'hypothèse (vérifiée en Dombes) d'une évolution thermique en forme de crosse de hockey, dite courbe de Mann, la référence était parfaitement stable de 1964 à 1986 autour d'une moyenne égale à 10°C + / - 0,4°C, confirmée par les valeurs antérieures de Lyon ou de Villefranche. A partir de la cassure de 1985, d'année en année, la référence est restée stable pendant 30 ans ; mais, à partir de 2015 (date déjà dépassée), elle intègre progressivement les échauffements des années successives, si bien qu'en 2045, dans l'hypothèse (optimiste ?) d'un échauffement constant, celui-ci aurait pour référence la moyenne des trente années écoulées, soit celle de 2030, valeur égale à la moitié de l'échauffement réel constaté sur le terrain. Pour mieux saisir l'étrangeté du processus, qui oserait prendre comme référence la moyenne évolutive des teneurs en gaz carbonique pendant les 30 années écoulées pour servir à juger des valeurs actuellement mesurées dans l'atmosphère ? De manière réaliste, les météorologues se basent donc sur des durées trentennales changeant de décennie en décennie, celle en cours étant 1981-2010, comme déjà vu ; en attendant 2021 (pour entamer 1991-2021), nous

ANNEXE CRITIQUE

utilisons ainsi aujourd'hui des données déjà en partie « échauffées », ce qui ne peut que minimiser certains de nos constats, donc de nos conclusions.

3/ Que valent, aux plus hauts niveaux, les déclarations de certains scientifiques « thermo-négationnistes » : ***l'échauffement s'est interrompu***, ou stabilisé, ***depuis une quinzaine d'années*** **?** Répondant à Yves Sciania dans le numéro de juin 2015 de la revue *La Recherche*, « madame Catherine Bréchignac, secrétaire perpétuelle de l'Académie des Sciences, a déclaré que *les températures globales n'ont pas bougé depuis 17 ans*, ajoutant (de manière quelque peu absconse) que *la température moyenne du globe n'a pas de réalité thermodynamique* ». Mais le même article ajoute que « le GIEC (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat) a confirmé en 2014 que *l'influence de l'homme sur le système climatique est clairement établie* ». En janvier 2018, un communiqué de l'ONU a révélé que *17 des 18 années les plus chaudes* (de l'histoire de la météorologie) *appartiennent au XXIe siècle* et que *le rythme du réchauffement constaté les trois dernières années est exceptionnel* ». En Dombes, sur les 18 années du XXIe siècle, 12 ont connu une température supérieure à 12°C (13 en y ajoutant l'année 2000…) ; dit autrement : sur les 14 années les plus chaudes de nos annales, 12 se situent au XXIe et 2 seulement au XXe (dont 2000, l'autre étant 1994). Pour expliquer de telles différences d'opinion entre institutions scientifiques, il n'est pas exclu qu'aient pu être confondues la « fonction thermique » (= évolution temporelle de la température) avec sa vitesse (sa dérivée première), au vu de certaines fluctuations inter-annuelles inhérentes à tout phénomène naturel. On doit aussi à la vérité sociétale de signaler l'existence, au sein de l'Institut de France (réunion des quatre Académies) de la « Fondation d'avenir », créée *le 8 juillet 2010 par Claude Allègre* (membre de l'Académie des Sciences, que son état de santé empêche désormais de participer aux séances), placée *sous l'égide de l'Institut de France* (signalé par le climatologue Pierre Pagney, 2013, p.1). Claude Allègre reste néanmoins « connecté », et même « augmenté », par son ancien bras droit à l'Institut de Physique du Globe, Vincent Courtillot, si bien que ne peut être totalement écartée l'hypothèse selon laquelle madame la Secrétaire perpétuelle de l'Académie des Sciences (de 2011 à 2018, précédemment directrice générale du CNRS, de 2006 à 2010, spécialiste de haut niveau en *physique atomique*) ait pu être influencée « à l'insu de son plein gré » par ce collègue, climato-sceptique aussi turbulent que contesté.

4/ On parle beaucoup du gaz carbonique à propos de l'échauffement climatique, mais pourquoi pas de la vapeur d'eau, **qui absorbe aussi dans l'infra-rouge** ? Affirmatif : les deux molécules sont en effet tri-atomiques, raison nécessaire et suffisante pour que la vapeur d'eau soit bel et bien un GES (Gaz à Effet de Serre) et participe comme telle à l'équilibre thermique de la Terre ! Mais il y a tout de même une sacrée différence : alors que l'atmosphère est un réceptacle quasi illimité pour le CO_2, avec une teneur très faible, et dont le point d'ébullition est égal à – 57°C (mais dans des conditions naturelles inconnues sur Terre), il en va tout autrement pour H_2O , dont la teneur est bien plus élevée et qui se condense à 0°C : il y a chaque jour des nuages d'eau (c'est même un pléonasme…) quelque part sur notre globe, alors que personne n'a jamais vu de nuage de gaz carbonique flotter au dessus de nos têtes, même aux pôles… Car s'il y a un cycle **physique** de l'eau, il n'en est point pour le gaz carbonique. En d'autres termes, le gaz carbonique n'est jamais saturant, alors que l'eau de la planète l'est potentiellement en permanence sous forme gazeuse : tous deux participent certes à la « thermostatisation » de l'atmosphère mais, contrairement au premier, la seconde n'intervient pas globalement dans l'échauffement de celle-ci. Notons aussi que le méthane CH_4 est aussi un GES, plus puissant d'ailleurs que le CO_2 (à tel titre que des fuites de 3-4 % sur sa filière, du puits à la cuisinière, sont aussi nocives que sa pleine combustion). Son niveau d'utilisation énergétique se calque sur celui des autres fossiles carbonés, pour un total de responsabilités voisin de 80 %, au second ordre près. Le méthane est aussi largement présent dans les « gaz d'échappement » des ruminants (les animaux monogastriques échappent à la critique, dont le porc et la volaille), d'où une mise en cause de l'élevage bovin et de la surconsommation des produits laitiers et de la viande bovine.

5/ D'autres phénomènes ont été invoqués, comme la variation de **la radiation solaire** (fréquence moyenne de 11 ans) qui n'atteint pas 1 % de l'énergie solaire irradiant notre planète. Jean Jouzel précise que *Le solaire n'influe que pour 0,1°C sur le réchauffement climatique* (CASDEN. *Liaison notre banque*. N°98, nov. 2013, p. 9). Ou bien encore **les cycles de Milankovic** résultant des « battements » entre trois variations périodiques de l'orbite de la Terre (variation de l'excentricité, de l'ordre de 100 000 ans ; variation de l'inclinaison, de l'ordre de 40 000 ans ; variation de la précession des équinoxes, de l'ordre de 26 000 ans), ce qui conduit à des périodes récentes de l'ordre de 100 000 ans. Mais ces valeurs sont sans commune mesure avec l'ampleur et la rapidité de l'échauffement climatique, de l'ordre de 2°C et du demi-siècle : force est donc de constater que la seule explication plausible réside dans l'augmentation des rejets de gaz à effet de serre, au premier chef le gaz carbonique résultant de la consommation galopante de combustibles fossiles, depuis les sociétés agro-pastorales puis artisanales, jusqu'aux sociétés industrielles puis numériques actuelles. Quant à *El niño*, ce courant marin de la côte sud du Pacifique, qui connaît d'excellentes et de médiocres années de pêche, il pourrait être un phénomène accompagnateur plutôt qu'une cause directe de l'échauffement climatique.

Dans ces conditions, la fable d'un échauffement de 0,85°C fait encourir le risque d'une démotivation du consommateur carboné : *Pourquoi s'inquiéter d'un phénomène aussi ténu, plutôt bienvenu en certaines saisons ?* Moins d'un degré d'échauffement est après tout bien appréciable en hiver (d'autant que l'échauffement diminue la note de chauffage, avec 7 % d'économie par °C). *Pourquoi faire le moindre effort pour économiser l'énergie ?* Augmenter le prix du carburant à la pompe, limiter à 80 km / h la vitesse sur les routes, pourquoi nous culpabiliser, nous priver de liberté, nous utiliser comme « vaches à lait du fisc » ? Tous arguments avancés par un bon peuple répétant implicitement, comme (attribué à) Madame la marquise de Pompadour en 1757 : *Après nous, le déluge* ! Et tout cela fait le bonheur des climato-sceptiques.

REVUE DE PRESSE

Sur les dizaines de milliers d'articles parus depuis une génération humaine à propos du réchauffement climatique, toute sélection ne peut d'être qu'aléatoire, même en se restreignant à la langue française. On utilisera donc indifféremment la presse « médiatique » (= le journalisme traditionnel), la presse scientifique et la presse associative, touchant de plus près l'opinion publique : le tout par ordre chronologique.

1/ En septembre **1974**, sous la signature pseudonyme de Professeur Mollo-Mollo, paraissait chez Vivre Stock 2, un livre *L'énergie c'est vous…* où le problème de l'échauffement climatique était déjà abordé (pages 75-77) avec cette phrase : *La chaleur représentée par la réactualisation de l'énergie solaire fossilisée sous forme de charbon et d'hydrocarbures pourrait être responsable, en l'an 2000, d'une élévation de température de 1 ou 2°C*. Avec aussi, bien entendu, les termes de *effet de serre*, *bilan thermique de la planète* et la valeur de *près de 400 ppm de CO_2 à la fin du siècle.*

2/ En décembre **1981**, Pierre Rognon (directeur au CNRS de l'ERA « Paléoclimats et Paléoenvironnements des régions arides »), publiait dans la revue *La Recherche* (vol. 12, n° 128, déc. 1981, pp.1354-1364) un article débutant comme suit : *La sécheresse qui a sévi en Europe nord-occidentale en 1975 et 1976 et celle, beaucoup plus longue et plus intense, qu'a subie le Sahel de 1968 à 1973, ont rappelé l'existence des véritables crises climatiques.* Tout en admettant que rien ou presque sur le terrain (sinon dans certains esprits) ne permettait alors de déceler un rôle notable du paramètre thermique, il est frappant de relever ce qui suit (p.1358) : *Vers les années 1970 /…/ il est apparu très nettement que les températures du globe avaient augmenté presque partout /…/ depuis le début du siècle jusqu'en 1940 et qu'elles diminuaient depuis* (souligné par nous) ! Les bioclimatologues et les agronomes ne parlaient-ils pas depuis les années 1920-1930 et jusqu'aux années 1950 (*cf.* Bibliographie) d'indices pluvio-thermiques et d'évapotranspiration ? Débutant en 1957, les enregistrements de la teneur atmosphérique en gaz carbonique ne pouvaient-ils pas attirer l'attention sur le concept séculaire d'effet de serre ?

3/ En avril **1990**, peu après la cassure alors à peine perceptible de la courbe de Mann, Guy Blanchet se livre dans la revue RANA (*Rhône-Alpes Nature*, publication trimestrielle N°23, p. 8, de la FRAPNA), sous le titre *Le ciel va-t-il nous tomber sur la tête ?*, à quelques réflexions que rien ne viendra plus tard démentir : *L'examen des séries de Bron (depuis 1921) et de Saint-Genis Laval (depuis 1881) indique que nous avons connu le mois de février le plus chaud depuis au moins 110 ans ! Peut-on pour autant parler de réchauffement de la planète ? Ce réchauffement s'explique en grande partie par l'accroissement de la concentration dans l'atmosphère de gaz à « effet de serre », comme le dioxyde de carbone et le méthane. /…/ On ne voit pas comment on pourra éviter une augmentation de la teneur en CO_2 avec une population mondiale croissante et des besoins en énergie accrus… On parle de 1°C à 4°C comme moyenne mondiale vers le milieu du 21e siècle. /…/ Les conséquences d'un tel phénomène seraient considérables : cyclones tropicaux plus intenses et sévissant dans des régions jusqu'alors épargnées. /…/ Quant aux incidences économiques, sociales et politiques, on les devine considérables*.

4/ Au tout début de **2007**, sous le titre « *Les climatologues enfoncent le clou* » et le sous-titre « *Le GIEC se réunit cette semaine à Paris pour publier un rapport aux conclusions alarmantes* », le quotidien national *Libération* du 29 janvier (pp. 4-7), fourmille d'informations de tous ordres, comme ce titre d'un encart sous la plume de Sylvestre Huet, journaliste scientifique : *Des experts à deux casquettes. Depuis 1990, le GIEC associe rigueur scientifique et consensus diplomatique*, suivi du développement : *La question se trouve au cœur d'une réunion singulière à Paris, toute cette semaine. Singulière, puisqu'elle réunit certes les scientifiques dont le diagnostic est le métier mais dans le cadre de délégation gouvernementales. Conséquence du statut hybride, et remarquable, du GIEC, créé en 1988 par l'ONU et l'OMM* (Organisation Météorologique Mondiale), (qui a joué) un « *rôle décisif dans la marche en avant dans la diplomatie du climat* », soutient le climatologue Jean Jouzel, futur co-prix Nobel de la Paix décerné dix mois plus tard (le 12 octobre 2007 à Oslo).

Dans ce contexte de mélange des « pouvoirs » (connaissance scientifique *versus* leadership politicien), à une question éventuellement sournoise du journaliste (p. 7) : *La relecture du résumé technique pour décideurs par des représentants des gouvernements est critiquée comme une ingérence politique. Qu'en est-il ?* Jean Jouzel répond : *Si le représentant d'un gouvernement propose une modification de texte, il doit apporter des arguments scientifiques à l'appui de chaque demande. Si quelqu'un veut dire que l'été 2003 n'a pas été (en Europe) plus chaud que l'été moyen des trente dernières années, il doit apporter des mesures contredisant celles des organismes météo. Je peux témoigner que les arguments échangés sont scientifiques et non politiques. /.../ Je vois un intérêt à l'approbation du résumé par les représentants des gouvernements, car cela donne un poids politique indéniable à ce texte, au détriment des pouvoirs politiques qui souhaiteraient ne pas en tenir compte.*
Note. Six ans plus tard, Jean Jouzel allait nuancer son optimisme : à l'interrogation d'un journaliste financier (*Liaisons notre banque CASDEN*, N°98, nov. **2013**, p. 9) s'appuyant sur le 5e rapport du GIEC : *Face aux dangers du réchauffement, vous constatez que les pompiers tardent à venir. Où se situent les responsabilités de chacun ?,* le vice-président du Groupe 1 du GIEC répond : *La communauté scientifique a fait sa part du travail. /.../ Les décideurs politiques nous ont écoutés* (les ont-ils bien entendus ?). *Mais nous sommes encore loin du compte sur la mise en œuvre. /.../ Le débat sur l'énergie nucléaire est important mais le nucléaire c'est moins de 5 % de l'énergie mondiale. Les énergies renouvelables sont celles du futur*.

5/ En été **2008**, « *Coup de chaud sur la Vanoise* », tel est le titre de la rubrique climatique qui paraît dans les pages 2-3 du N°9 du *Journal d'information de l'espace Parc de la Vanoise* (Savoie), avec le sous-titre inquiet : *La marmotte continuera-t-elle à hiberner ? Voilà une des mille questions posées par le changement climatique qui se fait sentir en Vanoise*, sous la plume du journaliste spécialisé Philippe Vouillon ; celui-ci interroge le « Groupe Climat » du Comité scientifique du Parc national de la Vanoise créé l'année précédente, avec - sports de neige oblige - une magnifique courbe en forme de hockey (sur glace) traduisant l'échauffement ressenti depuis 1947 à la station Météo France de Bourg-Saint-Maurice : 9,0°C en moyenne de 1947 à 1980, puis montée régulière jusqu'à 11,0°C depuis ! Ce qui n'empêche pas le délégué départemental de Météo France en Savoie, non pas de nier les faits, mais de les tempérer (sic !) : *En prenant en compte une augmentation des températures de 1,8°C - la fourchette basse des estimations du GIEC - le « Centre d'étude de la neige » montre que dans les Alpes du Nord, l'enneigement moyen annuel passera de 170 à 130 jours à 1500 mètres d'altitude, soit un mois en moins.* Répondant ensuite à l'interrogation journalistique : *Des phénomènes extrêmes sont-ils à craindre ?* le responsable déclare en effet : *La réponse à cette question doit être prudente. Pour l'instant, aucun signe ne l'atteste, ni pour les tempêtes, ni pour les pluies. Ce qui est certain, c'est la convergence* (sic !) *de tous les modèles climatiques vers une augmentation des températures entre 1,8°C et 6°C* (re-sic !). *La marge d'incertitude reste importante et les climatologues tentent de modéliser les changements en cours* (en d'autre termes, on créée une commission qui...). *Il faut espérer* (qui a écrit : il est permis d'attendre, il est doux d'espérer...) *que les évolutions ne se poursuivent pas sur les tendances en cours*.

Dans ce contexte où le tourisme (d'hiver plus que d'été) est la principale valeur économique, le monde agricole s'interroge avec Patrick Jacquin (président de la Chambre d'agriculture de Savoie) : *Si les successions d'années chaudes et sèches sont encore dans les esprits, les agriculteurs prennent aujourd'hui conscience que ces séquences s'inscrivent dans une tendance au réchauffement. Conséquences les plus visibles pour l'agriculture, le décalage des travaux agricoles, les montées en alpages qui se font plus tôt. La raréfaction de la ressource en eau s'avère plus dommageable : le débit des sources faiblit, certaines se tarissent durant l'été, ce qui gêne aussi bien l'abreuvement des animaux que les activités humaines. Face à ces constats, les professionnels de la Chambre d'agriculture et des structures agricoles ont engagé deux axes de réflexion : comment s'adapter à ces modifications du climat ; comment participer à l'effort collectif des gaz à effet de serre afin de tenter de limiter ce réchauffement ? Plusieurs orientations émergent : une utilisation accrue des énergies renouvelables dans les exploitations (séchage solaire du foin, utilisation de bois énergie...), une réduction des utilisations de carburant* (*techniques culturales simplifiées, réglage des moteurs des tracteurs*), *la recherche de nouvelles variétés prairiales* (*sainfoin, luzerne*), *des projets liés à la ressource en eau* (*relance des réseaux d'irrigation, stockage de l'eau hivernale, irrigation économe*). *Ces efforts ne seront productifs que s'ils sont appuyés par ceux des consommateurs. Ceux-ci jouent un rôle important en faisant le choix de produits locaux, de saison, dont la provenance et les conditions de fabrication sont claires, labellisés AOC, IPG, agriculture biologique.*

6/ A la fin de **2015**, dans le n° 299, nov./déc., pp. 4-7 de *Valeurs mutualistes MGEN* (Mutuelle Générale de l'Education nationale), une entrevue de la journaliste Katia

Vilarasau avec Nicolas Hulot prélude à l'ouverture à Paris de la COP 21. A la question *Qu'attendre de la COP 21*, « l'Envoyé spécial pour la protection de la planète » nommé en 2012 par le président François Hollande répond : *Il faut que soient prises des décisions politiques à la fois courageuses et ambitieuses. /.../ Donnera-t-on enfin un prix au carbone ? Mettra-t-on en place une taxe sur les transactions financières ? Arrêtera-t-on les subventions aux énergies fossiles pour les basculer vers les renouvelables ?* Question : *La diminution de l'émission des GES est-il le seul moyen d'action ?* Réponse : *Les moyens de l'atteindre sont divers ; adopter une nouvelle fiscalité écologique, miser sur la réduction de la consommation énergétique et son efficacité, favoriser les transports doux ou encore la sobriété dans nos habitudes de consommation*. Dernière question : *Qu'en est-il du rôle des acteurs du monde éducatif ?* Réponse : *Au-delà des programmes scolaires, il est essentiel que les enseignants mais aussi les autres acteurs éducatifs, à l'école et hors l'école, fassent de l'enjeu climatique la source d'activités pédagogiques où les jeunes vont apprendre et mettre en œuvre par eux-mêmes les notions de solidarité, de collectif, de coopératif*.

7/ En décembre **2017**, à l'occasion du « *One Planet Summit* » tenu à Paris à l'initiative de la France, en partenariat avec l'ONU et la Banque mondiale (*Le Progrès de Lyon*, 12 décembre 2017, pp. 2-3), la journaliste Elodie Bécu s'interroge : *Climat, un sommet de plus, mais pourquoi faire ?* Et d'ajouter : *Il est des anniversaires plus joyeux que d'autres /.../ Après l'engagement historique* (de la COP 21) *de limiter le réchauffement sous la barre des 2°C d'ici la fin du siècle, le ciel s'est assombri. Le retrait du gouvernement fédéral américain de l'accord de Paris, après l'élection de Donald Trump, plombe l'horizon diplomatique. Les émissions de GES repartent à la hausse et les prévisions scientifiques sont pessimistes sur la hausse des températures mondiales.* Président répondant à un autre, Emmanuel Macron vient-il vraiment au secours de la « maison qui brûle » (*Notre maison brûle mais nous regardons ailleurs*. Jacques Chirac, le 2 septembre 2002 lors du 4e « Sommet de la Terre », à Johannesbourg) ? *Je peux vous l'assurer : la France n'abandonnera pas le combat. Je vous appelle à rester confiants. Nous réussirons, car nous sommes pleinement engagés. Car où que nous habitions, qui que nous soyons, nous partageons tous la même responsabilité : rendre sa grandeur à notre planète*.

Plutôt que de chiffrer à 90 000 milliards de dollars le montant des besoins mondiaux en infrastructures durables (en France, des « EPR durables » à 10 milliards d'Euros la pièce ?), ne serait-il pas préférable d'envisager, au moins dans les pays développés, des mesures d'économie, collectives et individuelles, car toute action, même politiquement (et financièrement ?) vertueuse est forcément consommatrice d'énergie et de matières premières. Des groupes français comme Air-Liquide, Bouygues, LVMH, PSA ou Renault veulent ainsi rejoindre Solvay, Schneider Electric, Total, Sanofi ou l'Oréal pour investir des dizaines de milliards d'Euros pour contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique : *Make our planet great again !*

8/ En décembre **2018**, faisant suite à l'apparent succès de consensus politique d'un Premier ministre français en décembre 2015, à l'issue d'un débat scientifiquement biaisé (*L'échauffement séculaire de la planète est égal à 0,85°C*) et faussement consensuel, la COP 21 de Paris apparaît 7 ans plus tard comme la « mère de tous les désaveux politiques et d'échecs factuels en matière de gestion mondiale du climat », comme constaté lors de la débandade de la COP 24, tenue en Pologne à Katovice du 3 au 14 décembre 2018 : *La COP 24 tourne à vide en Pologne* (*Libération*, le 13 décembre 2018). *COP 24 en Pologne : un accord a minima sur le climat* (*La Croix / AFP* du 16 décembre 2018). *C'est un succès en demi-teinte pour cette 24e Conférence climat de l'ONU /.../. Alors que les catastrophes qui se déchaînent à travers le monde montrent l'urgence de prendre des mesures pour limiter les émissions de GES, nombre de délégations, en particulier les vulnérables Etats insulaires, espéraient que les pays promettent de relever d'ici à 2020 leurs engagements de réduction des GES. Las, dans un contexte géopolitique peu propice, les Etats se sont limités à boucler les règles qui permettront d'appliquer l'accord de Paris signé en 2015*. Le président français Emmanuel Macron se dit pourtant satisfait : *La communauté internationale reste engagée dans la lutte contre le changement climatique. Bravo à l'ONU, aux scientifiques, aux ONG et à tous les négociateurs.* Pourtant, il y a quelques semaines, les scientifiques du GIEC tiraient la sonnette d'alarme : *Dans un monde à + 2°C, objectif minimal du pacte climatique de 2015, les impacts seraient bien plus importants que dans un monde à + 1,5°C /.../. Mais pour rester à + 1,5°C, il faudrait réduite les émissions de CO2 de près de 50 % par rapport à 2010, alors que les engagements actuels des Etats annoncent un monde à + 3°C avec son lot de tempêtes, sécheresses, inondations.* Mais *Donald Trump refuse toujours de reconnaître que le changement climatique est causé par l'homme* (*Sciences et Avenir*, le 11 décembre 2018).

Pendant ce temps-là, le président des Iles Maldives et celui de Coopépoisson de Dombes s'effraient, le premier de la montée de l'eau sur ses plages, le second de la baisse du niveau de ses étangs.

7/ Discussion générale et conclusions

En l'état actuel de nos réflexions, l'analyse bioclimatique de la Dombes s'est révélée très complexe, prenant en considération, tour à tour ou simultanément, les échelles de temps décennale à mensuelle, les températures et les précipitations en tant que valeurs moyennes et statistiques, considérées telles quelles ou combinées, afin d'éprouver leur utilité pour le fonctionnement de l'hydrosystème, sous-ensemble déterminant de l'écosystème local.

7.1. Considérations méthodologiques

En ce qui concerne l'échantillonnage, dans quelle mesure une seule station (Marlieux 1964-2018) peut-elle prétendre représenter toute une région, plus encore être comparée, ou extrapolée, au moins du point de vue thermique, à des situations de niveau national voire international ? Au niveau régional, aucune crainte, comme prouvé par Lyon et Villefranche mais aussi Bourgogne ou Vanoise ; en outre les données (1981-2010) de Bretagne, d'Alsace ou de Provence ne viennent en rien contredire les tendances et les évolutions observées au bord de nos étangs. Pour les précipitations, le constat est moins satisfaisant, la station de Marlieux connaissant des valeurs significativement plus faibles que celles de la Dombes orientale, un peu plus élevées et proches des monts du Bugey. Mais il peut en être de même à quelques km à l'échelle d'une même commune, ce qui est le plus important étant le respect des rythmes pluviométriques et des valeurs annuelles, dont les ordres de grandeurs sont mieux respectés. Paradoxalement, à une tout autre échelle spatiale, le brassage atmosphérique (du moins dans l'hémisphère Nord) est tel que les valeurs mondiales de la teneur en CO_2 peuvent parfaitement être utilisées pour des réflexions locales d'ordre causal ou relationnel.

Enfin, si nous disposons (en Dombes) de quelques valeurs thermiques minimales (nocturnes) et maximales (diurnes), nous n'avons utilisé ici que leurs moyennes. Or Vincent Courtillot a constaté que les courbes tracées avec les valeurs minimales donnent une image bien plus rassurante du « réchauffement climatique ». Symétriquement, on peut en déduire que les valeurs maximales doivent fournir une réalité plus inquiétante pour les « gestionnaires » : les pisciculteurs (l'hypoxie estivale), les maïsiculteurs (en cas de sécheresse), les ornithologues et les chasseurs (le botulisme), d'autant que l'été est responsable de la moitié de l'échauffement annuel ; si le printemps est parfois capricieux (crucial pour la nidification des oiseaux), l'hiver (un sixième de l'échauffement) pose moins de problèmes. Même si la prise des étangs par le gel peut poser problème aux oiseaux migrateurs, donc « un manque à tirer » pour les chasseurs, il s'agit d'un bienfait pour ceux qui redoutent les cormorans (pendant que poissons et grenouilles sont à l'abri sous la glace).

7.2. Traitement des données climatiques

7.2.1. Données thermiques. (tab. XIII).

L'Indice (thermique) estival de Giacobbe (modifié Emberger) a un double intérêt. D'une part il peut traduire un caractère méditerranéen (*cf.* Provence / indice = 3,9 *vs* 10,4 +/- 0,8), ce à quoi suffisent les simples valeurs thermiques (23,5°C *vs* 19,6 +/- 1,4°C) ; d'autre part - et plus fructueusement - il rapproche les trois stations « lyonnaises » de la situation continentale de l'Alsace, à l'opposé de la Bretagne : 10,6 +/- 0,7°C *vs*

1981-2010	Bretagne	Provence	Alsace	Lyon-Bron	Villefranche	Dombes
- Température estivale (°C)	17,4°C	23,5°C	19,3°C	21,0°C	20,2°C	19,9°C
- P / t estival (mm / °C)	9,4	3,9	10,7	9,6	10,8	11,3
- Température hivernale (°C)	6,5°C	7,1°C	3,0°C	4,2°C	3,7°C	3,4°C
- Différence (°C) (Eté – Hiver)	10,9°C	16,4°C	16,3°C	16,8°C	16,5°C	16,5°C
- Pluviométrie estivale (mm)	164 mm	91 mm	206 mm	201 mm	217 mm	225 mm
- Pluviométrie hivernale (mm)	296 mm	36 mm	117 mm	147 mm	136 mm	184 mm
- Indice annuel De Martonne P / (t°C + 10)	48	25	32	41	36	43
- Profil pluvial trimestriel %			(*)			
H / P /E / A	27/25/19/29	22/25/15/38	18/26/31/26	18/26/24/32	17/26/27/30	20/26/24/30 %
- Sigle pluvial annuel	AHPE	APHE	E(AP)H	APEH	AEPH	APEH
- Climat	*Océanique*	*Méditerranéen*	*Continental*	*« Lyonnais »*	*« Lyonnais »*	*« Lyonnais »*

Tableau XIII. Principales caractéristiques climatiques de stations météorologiques françaises qualifiant les trois climats de la partie européenne de notre pays. Les sigles climatiques sont exprimés par les initiales consécutives des saisons, de la plus à la moins pluvieuses, par exemple **APHE** (de l'Automne, pluvieux, à l'Eté, sec), pour le bioclimat méditerranéen. Compte-tenu de la variabilité interannuelle, les saisons sont placées entre parenthèses lorsque les différences ne dépassent pas 1 %, comme en Alsace.

(*) Pour Saint-Genis-Laval (au sud immédiat de Lyon), pour la période 1880-1940, le sigle pluvial annuel est **(AE)PH** (31/30/23/16 %) (Piéry, 1946).

9,4°C, la Dombes singulièrement. Amplitude thermique E – H. Cet indicateur n'apporte que peu d'information puisqu'il distingue seulement la Bretagne des autres situations, fonction redondante avec la pluviométrie hivernale (*vide infra* 7.2.2.).

7.2.2. Données pluviométriques.

Basée sur les seuls résultats pluviométriques saisonniers, une analyse par hiérarchie descendante nous permet de comparer les stations du « climat lyonnais » à d'autres représentant les trois climats d'Europe occidentale et centrale : **océanique**, **méditerranéen** et **continental** (dont les sous-climats d'altitude). Les moyennes pluviométriques trimestrielles fournissent d'excellents critères (tab. XIV et fig. 8).

Une première dichotomie (*cf.* fig. 8 ci-contre) s'impose pour le climat océanique de la Bretagne, avec un maximum hivernal des précipitations : 296 mm *versus* 144 +/- 25 mm, soit du double au simple pour les 5 autres stations. La deuxième coupure se fait avec le minimum estival du climat méditerranéen de la Provence : 91 mm *versus* 212 +/- 11 mm, soit du simple à plus du double par rapport aux 4 autres stations, aux étés identiquement pluvieux. Reste le climat continental, avec le minimum automnal de Strasbourg : 172 mm *versus* 261 +/- 25 mm pour les 3 stations « lyonnaises » ; la différence (1,5 fois plus) est significative. Dans le « complexe climatique lyonnais », aucune saison ne sépare vraiment les trois stations. Quant au printemps, il donne apparemment une touche continentale aux trois stations du climat lyonnais, avec une pluviosité commune élevée : 220 +/- 16 mm *versus* 150 et 171 mm pour Bretagne et Provence (ce que confirme une pluviosité annuelle forte : 871 +/-82 mm *versus* 612 et 666 mm). Pour autant les deux climats océanique et méditerranéen n'ont que peu en commun à une échelle biogéographique et écologique.

Une autre approche de la même matrice de données consiste en une analyse multivariée (Analyse en Composantes Principales) juxtaposant sur une même image les points « pluviométries trimestrielles » et les points « stations et climats pluviométriques ». Sur le plan F_1-F_2 (graphe non représenté, valeurs positives des axes vers la droite pour F_1, vers le haut pour F_2), le premier axe (la moitié de l'information) oppose la Provence (abscisse - 0,48) à la Bretagne (+ 0,39) ; les autres stations se voient projetées plus à gauche que la Provence, à proximité de l'Alsace (- 0,77) et des trois stations « lyonnaises », très groupées (- 0,95 / - 0,96). L'hiver (fortement) pluvieux (+ 1,62) se détache des trois autres saisons, négatives, printemps et été (- 0,21 et – 0,29), puis automne (- 1,12). Le second axe (le tiers de l'information) oppose l'humidité estivale (ordonnée + 1,52) à la sécheresse de l'automne (- 1,12) ; Alsace (+ 0,63) et Bretagne sont aux antipodes. Si Lyon et la Dombes restent solidaires (- 0,30 et - 0,28), Villefranche (+ 0,14) se « continentalise » quelque peu, ce qu'indiquent les sigles respectifs. On constate ainsi la proximité de la forte pluviométrie hivernale et du

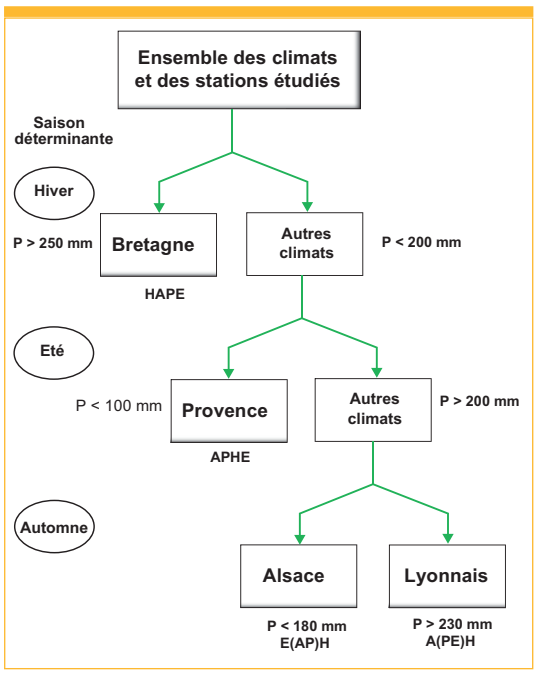


Figure 8. **Analyse hiérarchique descendante des climats de l'Hexagone à partir des pluviométries saisonnières de 6 stations météorologiques.**

Tableau XIV. Valeurs des précipitations (mensuelles ou annuelles) exprimées en mm. Le maximum trimestriel de chaque climat est exprimé **en gras**, le minimum *en italiques*. Les sigles pluviométriques des six climats sont donc respectivement : APE*H*, APE*H*, AEP*H* et HAP*E*, APH*E*, E(AP)*H*.

La moyenne et l'écart-type arrondis de la pluviométrie annuelle des six climats sont 800 et 140 mm (écart-réduit : 18 %). Les altitudes moyennes des stations sont comprises entre 50 et 280 m, toutes appartiennent donc au sous-étage planitiaire.

	Marlieux	Lyon	Villefranche	Océanique	Méditerranéen	Continental
Hiver	*184*	*147*	*136*	**296**	136	*117*
Printemps	241	216	203	218	150	171
Eté	225	201	217	*164*	*91*	**206**
Automne	**281**	**268**	**233**	274	**235**	172
Année	931	832	789	952	612	666

(*) Avec des valeurs de précipitations hivernales égales à 117 mm, les relevés de Saint-Genis-Laval (de 1880 à 1940, rappelons-le) obéissent à la coupure avec la Bretagne (296 mm) ; de même pour les précipitations estivales, 220 mm contre 91 pour la Provence ; de même pour les valeurs d'automne, 227 mm contre 172 pour Strasbourg. De plus, dans la mesure où les valeurs de Saint-Genis-Laval sont centrées sur 1910, date à laquelle la teneur atmosphérique (mondiale) en gaz carbonique était égale à 300 ppm, elles peuvent être raisonnablement considérées comme une référence pour juger de l'échauffement climatique de notre région en général, et de la Dombes en particulier.

climat océanique, comme celle de la pluviométrie d'automne avec le climat méditerranéen. Une inversion de signe de l'axe F_1 permet de fournir une image assez conforme à la géographie de l'Europe occidentale.

Ceci ayant été dit, il serait imprudent d'écarter toute influence océanique, comme le ressentent d'ailleurs la plupart des Rhodaniens qui voient l'origine de leurs pluies dans les vents d'ouest (moins fréquents que la « bise » (= vent du nord) et que le « vent du midi » (= vent du sud). Certes, il existe dans notre région des pluies du sud (et même des pluies de sable provenant du Sahara), formes atténuées des « entrées maritimes » des Cévennes ou du Languedoc. Mais un phénomène plus subtil intervient, venant à la fois compliquer et expliquer certains constats pluviométriques : il s'agit des **climats d'abri**, car si la rencontre des vents avec des versants montagneux est générateur de précipitations, leur poursuite au-delà des sommets assèche d'autant les situations de piémont (tout en s'accompagnant d'une compression adiabatique générant un vent chaud, dénommé foehn dans les massifs alpestres).

En Dombes même, on relève une augmentation des précipitations, non seulement d'ouest en est (*cf.* Cibeins, 744 mm / an *versus* Chalamont, 934 mm / an, déjà cités), mais aussi Villefranche-sur-Saône et Lyon-Bron (789 et 832 mm / an *versus*. 900-935 mm) par rapport à Marlieux, situé plus à l'est à 24 km de la Saône, à l'intérieur des terres. D'autres cas sont connus dans la Région Auvergne-Rhône-Alpes, comme les très faibles pluviosités de Montbrison (département de la Loire), située au pied oriental des monts du Forez, et de Vienne (département de l'Isère), située de même par rapport au massif du Pilat. Dans le premier cas, la pluviosité annuelle est de l'ordre de 650 mm, dans le second de 630 mm ; les dénivellations sont de 1250 et de 1240 m respectivement par rapport au sommet du massif occidental (Pierre-sur-Haute, monts du Forez, 1634 m, et Crêt-de-la-Perdrix, 1431 m). Ce phénomène « dé-continentalise » donc abusivement les situations concernées (dé-continentalise car le climat continental est caractérisé en principe par un maximum pluvial estival), conformément au principe bien connu, *tout ce qui est tombé n'est plus à tomber*... Villefranche constitue une forme atténuée de ces phénomènes : 789 mm / an de précipitations et 810 m de dénivellation (entre Villefranche-sur-Saône et le mont Saint-Rigaud, point culminant du Haut-Beaujolais). Plus au nord encore, Strasbourg n'échappe pas à la règle, avec 666 mm / an de précipitations et 1270 m de dénivellation par rapport au Grand Ballon d'Alsace.

7.3. Considérations climatiques et bioclimatiques

A l'issue de ces constats apparaissent comme les plus lisibles pour l'écologue, et les plus utiles pour le praticien : **1** / Un découpage du demi-siècle considéré en trois périodes. **2** / Un découpage des années en quatre saisons. **3** / Une prise en compte des variables « Températures » ou « Précipitations », avec une typologie pluviométrique à caractère géographique. **4** / Une prise en compte intégrative des deux facteurs « Températures » et « Précipitations » sous forme de rapports P / t (annuels ou estivaux) rendant compte de l'eau réellement disponible pour l'écosystème, non seulement végétal (notion de productivité) mais animal (notion de biodiversité).

De toute évidence, la période de l'été doit être prioritairement prise en considération, le paramètre le plus important - la température - subissant les plus fortes variations de l'année, lorsque l'écosystème aquatique et terrestre de la Dombes des étangs connaît son maximum d'activité biologique. Ceci d'autant plus que l'échauffement observé, désormais supérieur à 2,3°C, figure parmi les plus élevés qui aient été relevés aux latitudes moyennes de l'hémisphère Nord. Au vu de telles valeurs thermiques, il est très probable que les épisodes caniculaires vont s'amplifier, en fréquence comme en amplitude, à court et moyen terme.

La seconde période à examiner ici est celle de l'hiver, non pas tellement pour le facteur thermique (car l'échauffement n'atteint que la moitié de celui de l'été), mais pour les précipitations, les plus faibles de l'année, phénomène accentué en outre par une récente tendance à la baisse, confirmée au niveau annuel par la dérive à la baisse de l'indice bioclimatique de De Martonne. De plus, cette saison froide connaît une forte variabilité thermique, une année chaude pouvant succéder à une année froide, et un mois de janvier froid pouvant être suivi d'un mois de février très chaud, comme en 2017 (voire d'un mois de mars pluvieux et très frais, comme en 2018). En d'autres termes, si les étés sont plus réchauffés que les hivers, ils le sont de manière plus régulière, alors que les hivers, bien que peu réchauffés, restent plus dispersés, voire erratiques, dans leurs manifestations.

Répétons que le système climatique dombiste se rattache de toute évidence au « climat lyonnais », sans simplifier pour autant son analyse, puisque ce dernier n'est lui-même, géographiquement parlant, qu'un climat « de transition » entre les trois climats marquant l'Europe occidentale et centrale : le **climat atlantique** (du Portugal à la Norvège), version d'un climat océanique adouci par le Gulf Stream ; **le climat continental**

(de l'Alsace à l'Oural), englobant pour raisons thermiques l'essentiel du massif alpestre ; **le climat méditerranéen** (de Gibraltar au Bosphore), avec un hinterland couvrant de l'Espagne à la Turquie. Alors que les climats océanique et méditerranéen ont en commun d'avoir l'été comme saison sèche, il s'agit de l'hiver pour le climat continental et la Dombes ; alors que Marlieux est humide en automne, comme en Méditerranée, c'est l'hiver sous climat atlantique et l'été pour le climat continental. Au bilan hydrique bioclimatique, on peut ajouter les pertes par percolation des sols ; il existe ainsi des steppes (formations végétales de graminées, privées d'arbres, gros consommateurs d'eau) de nature climatique, dues à la conjonction de températures élevées et de précipitations faibles (comme en Haute-Maurienne), et des steppes de nature édaphique, comme la steppe de Loyettes, dans l'Ain (où régnaient jadis des orchidées et les « plumets » *Stipa pennata*, aujourd'hui chassés par le maïs irrigué par pompage des eaux du Rhône) ; la pluviométrie y est voisine de celle de la Dombes, mais le sol caillouteux alluvionnaire n'a pas l'imperméabilité de l'argile du plateau voisin…

En fin de compte, le sigle saisonnier **A(PE)H** attribuable à la Dombes récente, qui donne signification à l'hiver et à l'automne, confirme son caractère de **climat continental atténué** et dénote l'acquisition de **traits sub-méditerranéens**, dont l'importance liée à l'échauffement anthropogénique n'a apparemment aucune raison de s'atténuer, encore moins de s'inverser. Ceci étant dit, reste à envisager l'évolution des caractères actuels, où l'augmentation de l'amplitude thermique entre étés et hivers est également un caractère continental, plus marqué à l'est de notre continent (comme l'ont appris à leurs dépens deux « grandes armées » des XIXe et XXe siècles), moins à l'ouest, notamment sous nos longitudes, où l'influence océanique se fait encore sentir. En revanche, on peut parler de « méditerranéisation » en relevant, non seulement un échauffement maximal en été, mais une augmentation de l'indice pluviothermique estival (modifié) de Giaccobbe / Emberger.

Le pronostic est désormais engageable : avec une pente décennale de 0,46°C d'échauffement (près de 100 mètres de progression altitudinale, ou de 100 km en glissement latitudinal), notre terroir est voué à une température de 13,8°C en 2050, et de 16°C à la fin du présent siècle. L'indice estival de De Martonne projette la Camargue à la place de la Mitidja, laissant (au mieux) place à la Dombes. Encore ne s'agit-il de pronostics dressés dans un esprit optimiste : le léger ralentissement des années 2008 et 2010 (11,1°C et 11,4°C) ne reflète peut-être que quelques caprices de El Niño, remis dans le droit chemin par le tir groupé des 5 dernières années : 12,9 +/- 0,3°C, qui peut tout aussi bien s'accélérer que ralentir. En fin de compte, nos valeurs ne se démarquent en rien des pronostics les plus anciens (Svante Arrhenius, 1886) comme les plus récents (GIEC : de 4,5°C à 6°C. *Le Monde*, 11 février 2012, p. 6). Mais chacun sait qu'il est bien difficile de prévoir (surtout l'avenir…).

En intégrant les paramètres de l'environnement dans l'analyse, un schéma intitulé *L'écosystème des étangs de la Dombes* (fig. 9) situe leurs rôles complexes (température et précipitations, mais aussi les

Le climat lyonnais a-t-il changé depuis un quart de siècle ?

Dans un texte synthétique très documenté paru en 1993, le météorologue et climatologue Guy Blanchet a décrit le « climat lyonnais » considéré dans une très large acception, puisque couvrant divers « pays » comme les monts du Beaujolais et du Lyonnais, le Mont Pilat, le Haut-Vivarais et le nord du Velay, la moyenne Vallée du Rhône et le Bas-Dauphiné. Bien entendu, le Val de Saône est pris en compte, tout comme la Dombes, y compris la Bresse méridionale. En ce qui concerne les documents utilisés, un appel très large a été fait à la station de la Météorologie nationale de Bron (aéroport de Lyon passé au second rang depuis la création plus à l'est de Satolas / Saint-Exupéry), avec l'intérêt de relevés depuis 1921 ; certaines données proviennent de l'Observatoire de Saint-Genis-Laval (créé en 1881) ; enfin le travail synthétique de Marius Piéry, *Climat de Lyon et de la région lyonnaise* (1946), a été pris en considération (comme par nous même, à diverses occasions).

Dans son travail, Guy Blanchet n'a pu évidemment prendre en compte que les 5 premières années de l'échauffement climatique (jusqu'en 1990 inclus), dont le tournant - assez chaotique - se situe au milieu des années 1980 ; ceci ne l'empêche pas de relever que *à Bron, sur les dix années les plus chaudes depuis 1921, cinq se situent au cours de la décennie 1981-1990*. On peut ainsi comprendre que, si dans son résumé il définit à juste titre *la région lyonnaise comme un véritable carrefour*, il précise que *la plupart des masses d'air* (humide) *sont d'origine océanique, ce qui se traduit par une modération générale du climat*. Ce que nous avons observé depuis, d'une part pour l'écart thermique entre été et hiver (trait continental), d'autre part pour l'indice P / t estival de Giacobbe (trait méditerranéen), nous conduit 25 ans après à prendre davantage en compte ces deux dernières influences.

rapports P / t ; quart supérieur droit) dans le fonctionnement de l'hydro-écosystème des étangs. A l'échelle biogéographique, si la sensibilité thermique de l'Europe moyenne continentale (dont la plupart des surfaces, hors littoraux et montagnes, rassemble la majorité des populations et des activités humaines) ne peut être directement comparée, ni à celle très tamponnée des masses océaniques, ni à celle très amplifiée des hautes latitudes, il est tout autant hors de question de la considérer comme marginale, et de lui préférer des contextes moins « catastrophiques » (*vide supra*, **6**. Pourquoi ce climato-scepticisme ?).

Dans ce débat, la Dombes et le climat lyonnais n'ont donc aucune raison (scientifique ou autre) d'être marginalisés, voire exclus du débat politique (au meilleur sens du terme) de l'échauffement et du dérèglement climatiques ; bien au contraire, ce terroir est pleinement représentatif d'une « France moyenne » suffisamment diversifiée pour servir de témoin, voire de laboratoire, pour toutes les réflexions et expérimentations souhaitables pour mieux affronter l'avenir. Car il ne s'agit plus seulement de réchauffement climatique mais d'**un dérèglement** (du système) **climatique global**.

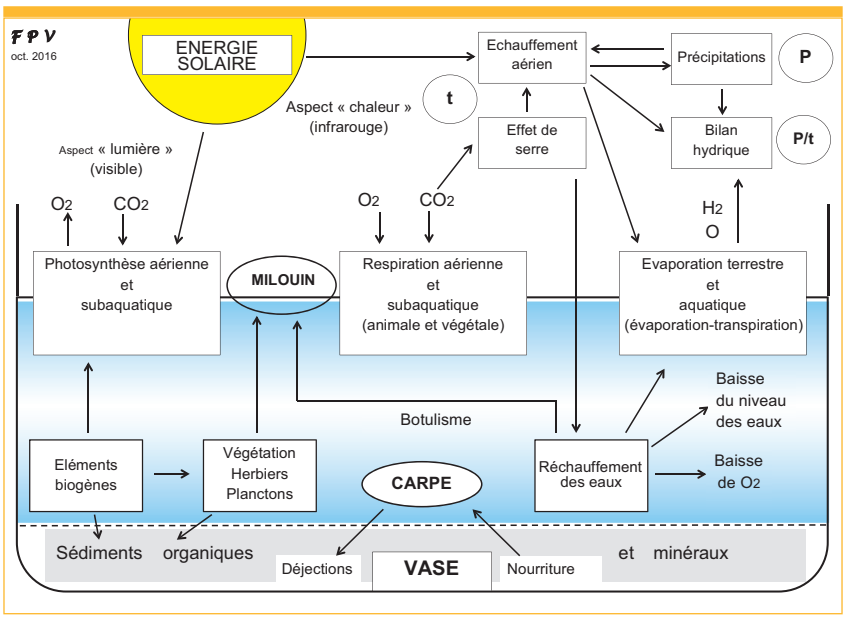


Figure 9. Schéma représentant l'écosystème des étangs de la Dombes

Demandez les dernières nouvelles...
Le Progrès de Lyon. N° 2947. Vendredi 23 janvier 2019, page 9

Le Secrétaire général de l'ONU a rappelé hier l'importance d'agir

LE CLIMAT N'A PLUS LE TEMPS

Un nouveau cri d'alarme a été lancé, alors que le réchauffement s'accélère et menace de plus en plus la planète. En marge du forum économique de Davos, Antonio Guterrez a une nouvelle fois tiré la sonnette d'alarme pour réveiller les consciences : *Le changement climatique court plus vite que nous, nous sommes en train de perdre la course et cela pourrait être une tragédie pour la planète*. *L'évolution est pire que prévu* a insisté le dirigeant onusien, n'hésitant pas à parler du réchauffement climatique comme du *problème le plus important auquel l'humanité est confrontée*. D'ici à 2100, *410 millions de personnes seront frappées par la sécheresse, entraînant des flux incontrôlables de réfugiés climatiques*, prévient l'organisation mondiale de protection de la nature WWF. *Sous l'influence de la fonte des glaces* (glaciers continentaux et calottes polaires), *le niveau de la mer va grimper de 56 cm, faisant disparaître sous les eaux des villes comme New York, Tokyo ou Amsterdam*. Le rapport prévoit également la fin des récifs coralliens, à laquelle s'ajoutera une augmentation massive des risques de catastrophes naturelles (vagues de chaleur, feux de forêts, précipitations). Et la situation est encore pire que prévu : *Nous nous dirigeons vers un réchauffement de 4°C pendant ce siècle* a surenchéri John Kerry, ancien secrétaire d'Etat américain. Un rapport du Pentagone indique que deux tiers des bases américaines sont sur des sites menacés par les effets du changement climatique.

L'espoir reste (néanmoins) **présent**. Reste que la société civile semble avoir pris la mesure de cette situation alarmante. Et elle s'engage, à l'image de la « grève de l'école pour le climat » suivie actuellement par des milliers de lycéens en Allemagne, Suisse et Belgique. En descendant dans la rue, ils répondent à l'appel lancé par une Suédoise de 16 ans, Greta Thunberg, devenue le nouveau visage de cette croisade contre le réchauffement climatique. En France, les initiatives se multiplient également. Ce week-end, de nombreuses « marches pour les climats » seront organisées à travers l'ensemble du pays. La dernière, datant du 8 décembre (2018), avait rassemblé 130 000 personnes. Une mobilisation qui ne faiblit pas et montre que l'espoir est toujours là.

8. BIBLIOGRAPHIE

- **Arrhenius** S., 1886. On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *Philosoph. Mag. & Journ. Sci.*, Vol. 5, n° 41, pp. 237-276.
- **Bagnouls** F. & Gaussen H., 1953. Saison sèche et indice xérothermique. *Docum. carte produc. végét.*, article 8, Toulouse, 47 p.
- **Blanchet** G., 1993. Le climat de Lyon et de sa région. *Bull. mens. Soc Linn. Lyon*, 62, pp. 217-264.
- **Blanchet** G. & Richoux Ph., 1999. Quelques aspects du climat de la région Rhône-Alpes. *Bull. mens. Soc Linn. Lyon*, 68, pp. 305-320.
- **Blanchet** G., 2019. Des chiffres spectaculaires et inquiétants en Beaujolais. *Patriote Beaujolais*, N°1230, 21 mars, p. 5.
- **Bréchignac** C., 2015 (Mme Catherine Bréchignac, secrétaire perpétuelle de l'Académie des Sciences de Paris, répondant à M. Yves Sciama, journaliste). Les climatosceptiques à l'assaut de l'Académie des Sciences. *La Recherche*, N° 500, juin 2015, pp. 8-11).
- **Breteau** P., 2017. Concentration du CO_2 dans l'atmosphère (courbe et valeurs annuelles en ppm, de 1850 au moins à 2017. Origine NOAA, National Oceanic & Atmospheric Administration, USA). *Le Monde*. 9 nov. 2017.
- **Chambre Agriculture Rhône**, 2016. Dates des bans (techniques) des vendanges en Beaujolais. *Agricultures et Territoires. Chambre d'Agriculture du Rhône*. Graphique des années 1970-2015, transmis par notre collègue Guy Blanchet (Villefranche-sur-Saône), président de l'AMRL.
- **Delorme** M., Lebreton Ph., Reynaud L. & Allainé D., 2009. Analyse et réflexions préliminaires sur l'évolution climatique en Vanoise. *Trav. Sci. Parc national Vanoise*, tome XXIV, pp. 69-104.
- **Emberger** L., 1943. Les limites de l'aire de végétation méditerranéenne en France. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 78, pp. 159-180. (Extrait *in* Travaux de Botanique et d'Ecologie, *Jubilé scient*., 1971, pp. 158-174, Masson Edit.).
- **Fondation Pierre Vérots**, 2002. Actes du Colloque : *Zones humides continentales : des chercheurs aux gestionnaires*. 27-29 juin 2002. Livret (30 p.) + Compte-rendus (238 p.).
- **Gaussen** H., 1953. Sur le quotient pluviothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 234, pp. 2508-2510.
- **Grinevald** J., 1990. L'effet de serre de la biosphère : de la révolution thermo-industrielle à l'écologie globale. *SEBES* (Stratégies énergétiques, Biosphère et Société, Genève), pp. 9-34.
- **Lebreton** Ph. (*alias* Professeur Mollo-Mollo), 1974. L'énergie, c'est vous... *Stock Edit*. Paris, 256 p. (pp. 75-77).
- **Lebreton** Ph., 2012. Le futur a-t-il un avenir ? *Sang de la Terre Edit.*, Paris, 378 p. (pp. 220-226).
- **Lebreton** Ph., Bernard A. & Dupupet M., 1991. Guide du Naturaliste en Dombes. *Delachaux et Niestlé Edit.*, 432 p.
- **Martonne (De)** E., 1926. L'indice d'aridité. *Bull. Assoc. Géogr. Fr.,* 9, pp. 3-5.
- **Pagney** P., 2013. « Mon testament de Climatologie. La climatologie française, la modélisation des climats et le réchauffement climatique : la climatologie en question. *Bonnes feuilles du livre d'hommage au professeur Jaime Capel Molina. Publié par l'université de Murcie, Espagne. Revue EchoGéo* (Paris). 22 p. dactyl. photocop.
- **Piéry** M., 1946. Climat de Lyon et de la région lyonnaise. *Editions Cartier* (Lyon), 389 p.
- **Richard** Y. *et al.* (8 auteurs, 3 organismes), 2014. Evolution des températures observées en Bourgogne. *Rev. Sci. Bourgogne-Nature*, vol. 10, pp. 110-117.
- **Richoux** Ph. & Lebreton Ph., 2008. L'évolution climatique et son impact en Dombes. *Cah. sci. FPV* (Fondation Pierre Vérots), N°1, 12 p.
- **Roussel** I., 2018. La Dombes et le changement climatique. *Dombes* (Rev. Acad. Dombes), N° 40, pp. 31-48.

9. REMERCIEMENTS

Philippe Lebreton. Professeur honoraire de Physiologie végétale et de Bioclimatologie à l'Université Claude Bernard Lyon 1. Ingénieur-Docteur, certifié de Thermodynamique et Mécanique physique. Ancien responsable du module Ecologie au Master de Gestion de l'Environnement, Département de Génie énergétique de l'INSA Lyon-Villeurbanne.

- A monsieur **Jean ANDRIOT**, président d'Honneur de la Fondation Pierre Vérots (Ingénieur du corps des Mines), pour de fructueuses conversations sur les formes et les statistiques de l'énergie.
- A monsieur le professeur **Guy BLANCHET** (Docteur en géographie. Directeur honoraire du Centre de Climatologie de l'Université Claude Bernard Lyon1. Co-fondateur de l'AMRL (Association météorologique Rhône Loire, créée en 2005). Au niveau national, membre de l'Association Météo et Climat (ex-Société Météorologique de France). Membre (de la Commission Hydrologie) du Conseil Supérieur de la Météorologie. Au niveau international, membre de la Société Météorologique Italienne (chroniqueur). Membre de l'Association Internationale de Climatologie), pour la fourniture de nombreux documents, dont les relevés de la station météorologique de Villefranche-sur-Saône.
- A monsieur **Paul KOLODZIENSKI**, pour son ample et patient travail bénévole comme « Argus de la Presse environnementale » des départements du Rhône et de la Haute-Savoie.
- A madame la professeure **Isabelle ROUSSEL** professeure émérite à l'Université des Sciences et Techniques de Lille (dont le directeur de thèse fut le professeur PAGNEY) et directrice de la revue *Pollution atmosphérique*, vice-présidente du Bureau national de l'Association pour la prévention de la pollution, pour nos réflexions communes sur les liens entre pollution atmosphérique et réchauffement climatique.
- A mes collègues du Comité scientifique de la Fondation Pierre Vérots, dont leur président le professeur **Philippe NORMAND**, et le professeur **Michel BOULÉTREAU**, pour la lecture critique de ce manuscrit. A monsieur **Timothée BEROUD** (régisseur du domaine de la FPV), pour l'abondance et la qualité des informations apportées sur le sujet.

Fondation Pierre Vérots
261 chemin de Praillebard
01390 Saint-Jean-de-Thurigneux

04 74 00 89 33 ou 09 64 24 43 84
http://www.fondation-pierre-verots.com/
contact@fondation-pierre-verots.fr

Responsable de la publication : Philippe Normand