

**LES CONTRAINTES ET OPPORTUNITÉS
DU CHANGEMENT CLIMATIQUE :**
**Comment gérer la question des canicules
de manière durable en associant ville et campagne ?**

Jean-François BERTHOUMIEU, Patrick DEBERT, Elodie PATELLI : ACMG
Camille JONCHÈRES : Université Bordeaux II. France.
Helena MOREIRA, Ronaldo GABRIEL, Edna CABECINHA, Ana ALENCOÃO :
University of Trás-os-Montes and Alto Douro, Vila Real, Portugal.

INTRODUCTION

L'ACMG¹ a été créée en 1959 par des arboriculteurs de Moyenne-Garonne pour lutter contre les fléaux atmosphériques, dont le gel, la grêle, la sécheresse... Ayant enregistré la mémoire du climat avec son propre réseau d'observateurs, il a été facile de constater la véracité du réchauffement climatique dont les conséquences sur l'agriculture se confirment avec moins de gelées au printemps, une période favorable aux cultures qui débute plus tôt et se termine plus tard, davantage de besoins en eau pour les plantes et plus de journées de canicule en été.

En 2007, l'ACMG a décidé de se tourner vers la Ville pour tenter de faire le lien entre le monde agricole et le monde citoyen autour de la question du changement climatique et des modes d'adaptation. Elle s'est naturellement rapprochée des collectivités de Lot-et-Garonne et de Gironde (Conseils Généraux, Mairies, Agglomérations), mais aussi vers les Associations, services de l'État, Coopératives, Chambres Consulaires, et le Conseil Régional d'Aquitaine, afin d'y partager ses analyses et de réfléchir aux modes d'adaptation les plus durables et, en même temps, économes en énergie fossile responsable de ce changement.

De 2009 à 2011, le programme TELERIEG (www.telerieg.net), sélectionné par INTERREG SUDOE, a permis à l'ACMG d'acquérir l'expertise du traitement d'images satellites thermiques ce qui nous a renseignés sur l'importance relative des variations microclimatiques spatiales induites par les activités humaines.

¹ Association climatologique de la Moyenne-Garonne et du Sud-Ouest; Aéroport d'Agen 47520 Le Passage - France

Depuis 2012 nous participons à un autre consortium sélectionné par les projets européens Interreg Sudoe et dénommé ADAPTACLIMA II (www.adaptaclima.eu) et dans lequel nous travaillons la question des îlots de chaleur et de fraîcheur urbains avec les moyens d'atténuer passivement et activement ces ICU (Îlots de Chaleur Urbains) si possible de manière durable, c'est-à-dire en utilisant un minimum d'énergie fossile.

Cet article tente de résumer et de présenter notre démarche avec nos premiers résultats. Il se décompose en cinq chapitres écrits par quatre intervenants ce qui illustre la diversité des sciences et connaissances mises en œuvre dans ce travail complexe.

- Le premier chapitre est écrit par Jean-François BERTHOUMIEU, directeur de l'ACMG. Il est mécanicien des fluides et préconise depuis une dizaine d'années de mieux gérer l'eau de pluie, ressource durable, pour s'adapter au réchauffement climatique aussi bien à la ville qu'à la campagne. Il propose une prospective d'évènements climatiques de canicule vis-à-vis desquels il est urgent de s'adapter. Patrick Debert a apporté son concours pour les analyses.
- Le second chapitre est également écrit par Jean-François BERTHOUMIEU en collaboration avec Élodie PATELLI, spécialiste de télédétection et qui travaille dans la société commerciale Agralis, filiale de l'ACMG. À partir d'images thermiques prises par le satellite Landsat les cartes de température des agglomérations d'Agen et de Bordeaux mettent en évidence des zones de température très différentes. Ce travail nous éclaire sur l'impact de notre urbanisation vis-à-vis de notre confort estival et nous guide vers les aménagements qu'il faut envisager pour le réduire, voire l'inverser.
- Le troisième chapitre est écrit par Ronaldo GABRIEL, professeur à l'université de Vila Réal au Portugal et ses collègues partenaires du projet Adaptaclima. Son travail démontre que lorsque l'on se déplace à pied ou à vélo dans un environnement vert nous subissons moins de stress, ce qui aboutit à moins de soucis de santé et une meilleure activité au travail et en dehors. Cet argument nous semble compléter idéalement celui que nous proposons à savoir utiliser une végétation irriguée pour réduire les îlots de chaleur.
- Le quatrième chapitre décrit un travail sociologique avec une enquête que Camille JONCHÈRES a menée entre juillet et septembre 2014 sur Agen et Bordeaux et dont le but est de trouver les mots qui porteront le mieux pour vous convaincre d'agir aussi bien au niveau individuel dans votre habitat, vos habitudes que de manières collectives.

Le but avoué de cet article est de faire prendre conscience aux citoyens qu'ils doivent s'associer aux agriculteurs pour mieux stocker de l'eau en

hiver pour l'utiliser ensemble en été durant les périodes de canicules afin de faire baisser les températures de plusieurs degrés et ainsi réduire notre consommation d'énergie de rafraîchissement qui sinon devrait s'accroître au cours des années à venir. C'est ce que Jean-François Berthoumieu tente d'exprimer dans le dernier chapitre de conclusion et de prospectives.

Nous espérons que ces regards croisés provenant de personnes de cursus différents seront suffisamment pertinents pour vous pousser à devenir vous même acteur de ce processus pour une prise de conscience individuelle afin d'agir au plus vite pour réduire l'impact négatif des changements climatiques en cours et pourquoi pas développer de nouvelles stratégies pour en réduire les causes.

I – Le CLIMAT DU SUD-OUEST DE LA FRANCE ET SES PERSPECTIVES

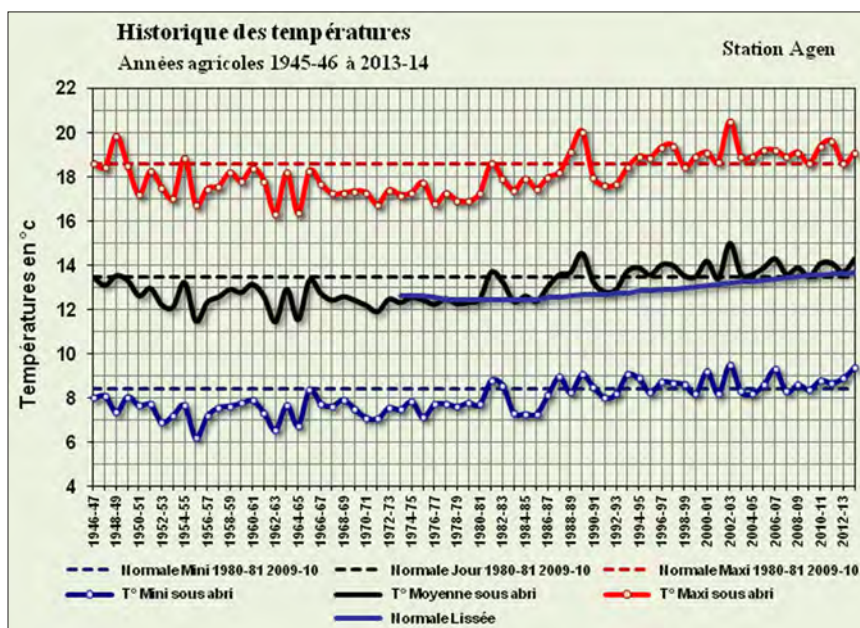
Agen est bien représentatif du climat du Sud-Ouest de la France, au centre de la Moyenne-Garonne, ce secteur est soumis à la fois :

- à l'influence océanique qui amène de la douceur et apporte des pluies sous forme de fronts à l'automne et en hiver et d'orages au printemps et en été. Cependant Agen est trop éloigné de l'Océan pour être soumis aux entrées maritimes comme le sont plus facilement Dax ou Bordeaux ;
- à l'influence méditerranéenne avec le vent d'Autan, ce flux de Sud qui remonte d'Afrique du Nord au travers de l'Espagne et qui s'assèche au passage des Pyrénées et de la Montagne Noire. Les canicules se produisent dans ces conditions ;
- à une influence continentale lorsque des hautes pressions s'installent et poussent un air froid et sec au travers de l'Europe depuis la Finlande jusqu'aux Pyrénées ; c'est alors synonyme de vague de froid en hiver ou de sécheresse en été.

Au niveau des pluies Agen est représentatif d'une moyenne du Sud-Ouest sachant que la côte Atlantique et le Béarn reçoivent en principe toujours davantage de pluies et le midi Toulousain un peu moins.

Les relevés de température sous abri effectués à Agen sur l'aérodrome par Météo France et par l'ACMG permettent de vérifier que notre climat est variable d'une année à l'autre avec, depuis le milieu des années 1980, une tendance confirmée au réchauffement. On confirme que ce qui est observé sur Agen l'est également dans une station en plein champ comme celle de Beaugas près de Cancon où cette tendance ne peut être expliquée par l'urbanisation qui s'est développée autour de la station de mesure.

Le graphique suivant nous présente presque 70 années d'observations sur le même site proche de l'aéroport d'Agen et rend compte de plusieurs faits :



Graphique 1 : Historique des températures moyennes annuelles agricoles (d'octobre année X à septembre année X+1) sous abri à Agen (minimales, maximales et moyennes) de 1946 à 2014. Sources ACMG et Météo-France.

- De 1962 à 1981 les températures maximales moyennes annuelles agricoles, c'est-à-dire d'octobre au moment des semis de blé, à septembre de l'année suivante pour les vendanges, sont plutôt basses et situées vers 17 °C. Durant cette période les minimales oscillent entre 6.5 et 8 °C.
- Entre 1982 et 1990 les températures moyennes progressent pour atteindre pour les minimales et les maximales, respectivement 9 et 20 °C. On relève cependant une baisse pour les minimales dues aux descentes froides de Nord-Est de janvier 1985 et 1987.
- De 1991 à 1993 on assiste à une baisse sensible des maximales alors que les minimales restent voisines ou supérieures à 8 °C. On verra que ce refroidissement est généralisé sur le globe et qu'il est provoqué par l'éruption du volcan Pinatubo dans les Philippines.
- Depuis 1994 les maximales sont plus stables autour de 19 °C ce qui rend compte d'une progression moyenne de 2 °C par rapport aux années 70 que l'on retrouve également pour les minimales.
- L'année 2003 représente le record de ces 68 années de relevés, juste devant 1990 et 1949 où cette année-là la moitié de la forêt des Landes avait brûlé.

Cette présentation des températures moyennes annuelles écrase, bien sûr, des anomalies avec des extrêmes qui, quand ils se produisent, nous font douter de la tendance générale au réchauffement comme nous le constatons sur ce graphique. Par exemple, le fait que les températures ne suivent pas une courbe régulière comme celle proposée par le GIEC n'est pas la preuve qu'ils se trompent. C'est juste le résultat de la complexité de notre climat où en plus des gaz à effet de serre produits par nos activités, principalement par l'utilisation d'énergies fossiles, des phénomènes naturels comme l'activité volcanique², l'impact de météorites, les courants marins, la fonte des banquises ou la hausse de l'altitude moyenne de l'enneigement provoquent des perturbations globales suffisantes pour atténuer ou accélérer le processus de réchauffement par effet de serre.

Pour terminer sur les températures, il faut signaler le travail sur la climatologie des océans qui a débuté dans les années 70 par l'immersion de bouées qui relèvent les températures à différentes profondeurs en complément du suivi des températures par bateaux et par les observations satellite de la température de surface. Aujourd'hui, il existe un recul suffisant pour comprendre comment les océans constituent la principale inertie thermique de notre planète alors que l'atmosphère ne peut guère stocker d'énergie.

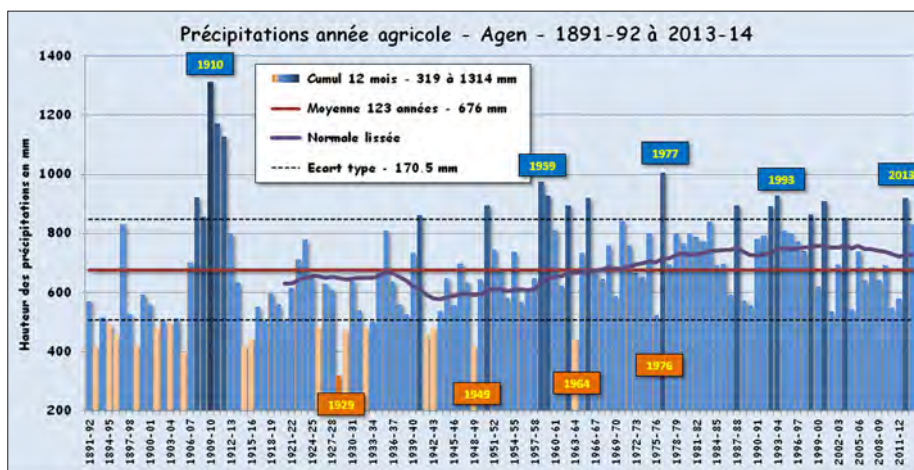
Une publication récente dans *Science*³ affirme que les océans se réchauffent en emmagasinant une grande proportion de l'énergie que les gaz à effet de serre piègent dans l'atmosphère. D'autres complètent ce travail en expliquant que cette énergie poussée vers les pôles favorise, par l'évaporation d'une partie de l'eau douce, la salinisation de l'eau de mer qui par convection s'enfonce en profondeur emportant de l'énergie des couches superficielles de l'océan et ainsi faisant disparaître de la surface de la Terre une partie du stock de chaleur. Cela sera vérifié au cours des prochaines décennies grâce à l'immersion de nombreuses bouées de mesure capables de suivre les courants marins jusqu'au fond des océans. Ce travail permettra de préciser l'impact des cycles marins associés à l'alternance de courants qui circulent autour de la terre et qui renferment une mémoire thermique de plusieurs siècles comme, par exemple, la période plus douce

2 En 1815 le Tambora explose en Indonésie projetant des millions de tonnes de poussières en haute atmosphère ce qui entraîne l'année suivante les pires récoltes de l'époque. Ce fut dans de nombreux pays d'Europe l'année de la pauvreté, l'année sans été. Voir *Science* 14/04/2013, <http://membercentral.aaas.org/blogs/scientia/year-without-summer> et cela a eu des conséquences sociales exceptionnelles (typhus en Europe, choléra en Inde, migration vers le centre des USA, famines en Irlande) et durant cet été pluvieux en Suisse Mary Shelley a commencé à écrire son roman le plus connu : *Frankenstein*.

3 <http://news.sciencemag.org/climate/2014/08/earths-missing-heat-may-be-hiding-deep-atlanticpubkié> par Xianyao Chen et Ka-kit Tung., *Science* du 20 août 2014.

que l'Europe a vécue dans la première moitié du XII^e siècle et qui avait favorisé à l'époque sa croissance.

Le deuxième paramètre climatique qui rend compte de la variabilité du climat est le relevé de précipitation. Nous disposons sur Agen d'observations de pluie depuis 1891 ce qui permet de constater au travers du cumul de pluie de l'année agricole (octobre à septembre de l'année suivante) que sur Agen les pluies de ces 60 dernières années ont plutôt progressé par rapport à celles de la première moitié du siècle dernier.



Graphique 2 : Historique des précipitations annuelles agricoles (d'octobre année X à septembre année X+1) à Agen de 1891 à 2014. Sources ACMG et archives départementales.

On repère vite que les cumuls de pluie sont extrêmement variables d'une année à la suivante même s'il apparaît certaines continuités ou tendances qui ne dépassent pas 4 ou 5 années. Il n'existe pas de cycles réguliers, mais juste des alternances entre des périodes moins pluvieuses et d'autres qui le sont davantage avec de temps en temps des événements qui s'éloignent largement de la moyenne. On repère facilement les années très pluvieuses, comme 1977 qui avait vu entre autres le Gers déborder à Auch, ou les plus récentes de 2013 et 2014 qui ont fait mentir ceux qui affirmaient que les pluies allaient diminuer à cause du changement climatique.

À l'inverse on remarque que des sécheresses sévères comme 1929, 1949, 1964 ou 1976 n'ont plus cours durant ces 25 dernières années où la température a progressé ; l'enveloppe des cumuls faibles semble être remontée comme le confirme la courbe de la normale lissée (moyenne des 30 dernières années).

Imaginer le futur de nos pluies c'est examiner le passé et croire que ce qui a eu lieu peut se reproduire même si le scénario est différent.

Il faut donc comprendre ce qu'il s'est passé entre 1891 et 1920 où on observe deux particularités. La première est que les pluies sont souvent plus faibles qu'aujourd'hui avec un nombre d'années élevé de cumuls inférieurs à 500 mm, particularité que l'on ne retrouve plus depuis 1950. Une explication peut être que le mode de relevé des pluies éliminait les pluies faibles alors qu'aujourd'hui on note tout ce qui est supérieur à 0,5 mm, mais cela ne peut pas expliquer la différence de quasiment 200 mm avec aujourd'hui. On doit donc imaginer que nos prédécesseurs ont su vivre en Moyenne-Garonne avec seulement 400 à 500 mm soit comme en 1949, 1964 et 1976 qui ont été des années dites de sécheresse sévère avec des conséquences économiques et sociologiques très importantes. On se souvient de l'impôt sécheresse de 1976 qui avait creusé le fossé entre le monde paysan devenu minoritaire et les citadins.

Mais le plus frappant est cette augmentation des pluies entre 1908 et 1913 qui atteignent le record de 1314 mm en 1910, ce qui n'a jamais été observé depuis. Or justement le 30 juin 1908 une météorite de plusieurs tonnes a explosé au-dessus de la rivière Toungouska⁴ située en Sibérie, ce qui a libéré des milliards de milliards d'infimes particules minérales et de gaz de sulfates qui ont, comme le font les cendres des volcans, provoqué un refroidissement des hautes couches de l'atmosphère et favorisé, grâce aux noyaux de congélation et de condensation propulsés dans l'atmosphère, les conditions favorables à la formation de précipitations. La résilience de ce phénomène serait donc de 5 années.

Cela nous rappelle qu'un météore de moindre taille a explosé en février 2013 au-dessus de la Russie à Tcheliabinsk qui pourrait être à l'origine de l'accroissement des pluies actuelles. À l'époque, en 1910 cela avait fortement réduit les productions agricoles et provoqué de nombreuses inondations, dont celle du métro parisien.

Nous devons donc questionner les fortes précipitations observées depuis 1950 suivant l'hypothèse que tout ce qui apporte des poussières en grandes quantités dans l'atmosphère au niveau global provoque momentanément une diminution des températures moyennes et une augmentation des précipitations en Europe de l'Ouest avec une résilience de quelques années, le temps que ces minuscules particules soient lessivées par les pluies.

On doit alors considérer l'impact des explosions volcaniques récentes comme celles du mont Saint Helens en 1980 et surtout celle du Pinatubo en 1991 qui expliquerait les hautes valeurs de pluies de 1991 à 1995, une période où la Moyenne-Garonne avait été touchée par de nombreux orages grêligènes et où sur le graphique 1 on constate simultanément une baisse de plus de 2 degrés pour les maximales.

4 http://fr.wikipedia.org/wiki/Événement_de_la_Toungouska

Les nombreuses explosions nucléaires de la fin des années 50 sont-elles à l'origine des plus fortes pluies reçues entre 1959 et 1961 ? Nous faisons l'hypothèse que, lorsqu'une tendance à de fortes pluies persiste plus de 2 ans, la cause en est la modification des caractéristiques microphysiques de l'atmosphère à très grande échelle. Quand la variation est de plus courte durée, on imagine que la cause est davantage liée à la circulation atmosphérique globale et au positionnement persistant des champs de pressions. Des pluies abondantes sont, pour notre région du Sud-Ouest de la France, généralement associées à une dépression au large des Iles Britanniques alors que les périodes de sécheresse sévères sont associées à l'étalement de l'anticyclone des Açores jusqu'au centre de l'Europe.

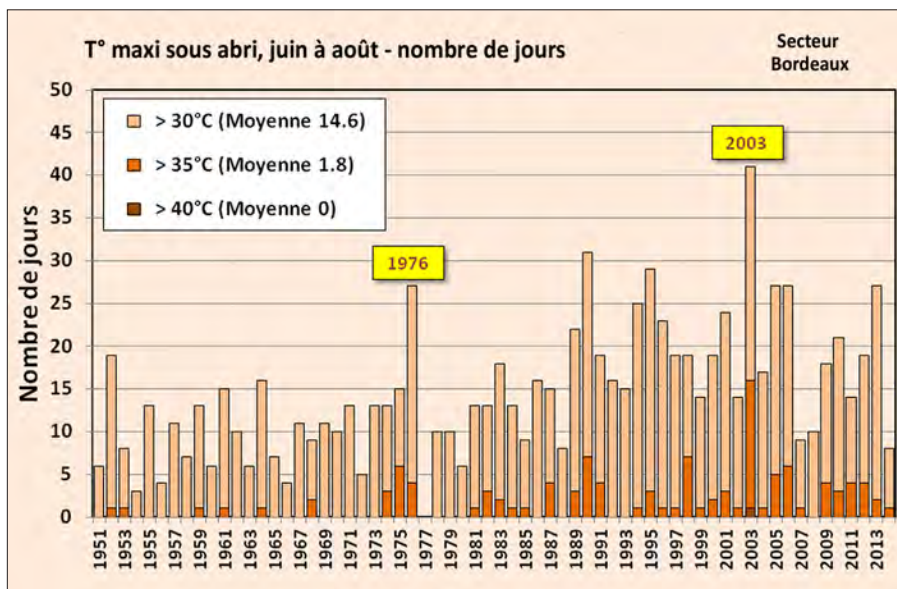
À partir de cette analyse des variations observées du climat sur Agen nous allons proposer une perspective d'évolution qui cherche à anticiper sans les connaître à l'avance les conséquences de nos non-actions (pas de réduction significative du taux de gaz à effet de serre dans l'atmosphère) et des événements naturels tels que des éruptions volcaniques ou la chute de météores.

Pour cela nous allons maintenant nous intéresser aux conditions de canicules estivales qui sont une des conséquences du réchauffement climatique observé.

Le graphique 3 présente ci-après pour Bordeaux, pour la période 1951/2014, le cumul de journées de juin à août ayant eu des maximales sous abri supérieures ou égales à 30, 35 et 40 °C. On a pris Bordeaux dans un premier temps afin de prouver que même une métropole située dans le nord de l'Aquitaine pas trop éloignée de l'Océan et sa brise de mer supporte comme le centre du Sud-Ouest un nombre élevé de jours de canicules.

Plus loin nous prendrons pour Agen une période plus longue de mai à septembre où s'observent des maximales supérieures ou égales à 30 °C, mais dans un premier temps on veut s'intéresser aux mois de juin à août qui sont ceux où des maximales de plus de 35 et de 40 °C ont le plus de probabilité de se produire.

On retrouve ce que nous avons observé sur le *graphique 1* des températures moyennes, à savoir une augmentation moyenne des occurrences de ces dépassements de seuils au cours des trente dernières années. On constate que 1976 avait été exceptionnel pour l'époque avec presque trois fois plus de journées à plus de 30 °C que la moyenne des 25 années précédentes. Or depuis 1990 cette situation s'observe régulièrement sans que l'on réagisse socialement comme en 1976, car depuis des stockages en lacs collinaires où des barrages ont été créés pour que l'agriculture puisse moins subir de conséquences comme cela avait été le cas en 1976, 1964 et 1949.



Graphique 3 : Historique des cumuls de journées sur Bordeaux de 1951 à 2014 ayant mesuré au moins 30, 35 et 40 °C entre juin et août. Sources Météo France.

En 2003 nous avons à nouveau une situation exceptionnelle par rapport aux années précédentes, le seuil de 40 °C étant même dépassé le lundi 4 août avec 40,7 °C. Sur le centre du Bassin du Sud-Ouest entre Agen, Mont-de-Marsan, Auch et Toulouse, 4 journées à plus de 40 °C sont mesurées les 4 et 5 puis à nouveau les 12 et 13 août.

Suivant l’analogie du décalage entre 1976 qui annonçait ce qu’il se passe depuis 1990, on imagine que 14 années après 2003, nous subirons plus régulièrement des canicules qui produiront un nombre de journées de fortes et très fortes chaleurs plus fréquemment avec les conséquences que l’on connaît sur les personnes âgées ou fragiles.

Perspective climatique : l'exemple d'Agen

Nous avons cherché à imaginer quel serait notre climat pour les 15 prochaines années en appliquant les principes que l’on vient de présenter à savoir, une poursuite de l’augmentation moyenne des températures à cause de notre production de gaz à effet de serre, une réduction des précipitations du fait du lessivage des poussières des derniers météores et volcans avec une alternance entre des sécheresses moins sévères qu’en 1976 et des périodes plus pluvieuses dues à d’autres éruptions volcaniques ou des météores.

Afin de respecter le fait que des fortes températures se produisent aujourd’hui de mai à septembre, nous avons refait le graphique 3 pour

Agen pour ces cinq mois et nous l'avons prolongé en extrapolant suivant la tendance à l'augmentation constatée ces 25 dernières années ; voir *Graphique 4*. Nous avons rajouté en plus en dessous les cumuls de pluie de janvier à septembre afin de vérifier que les années les plus humides sont généralement les années où les cumuls de journées à plus de 30 et 35 °C sont les plus bas et inversement qu'une situation de sécheresse favorise de très fortes chaleurs ; la raison est que lorsqu'il n'y a pas d'eau disponible dans les sols, le pouvoir d'évapotranspiration des plantes est réduit ce qui n'atténue pas le réchauffement diurne comme on le verra un peu plus loin.

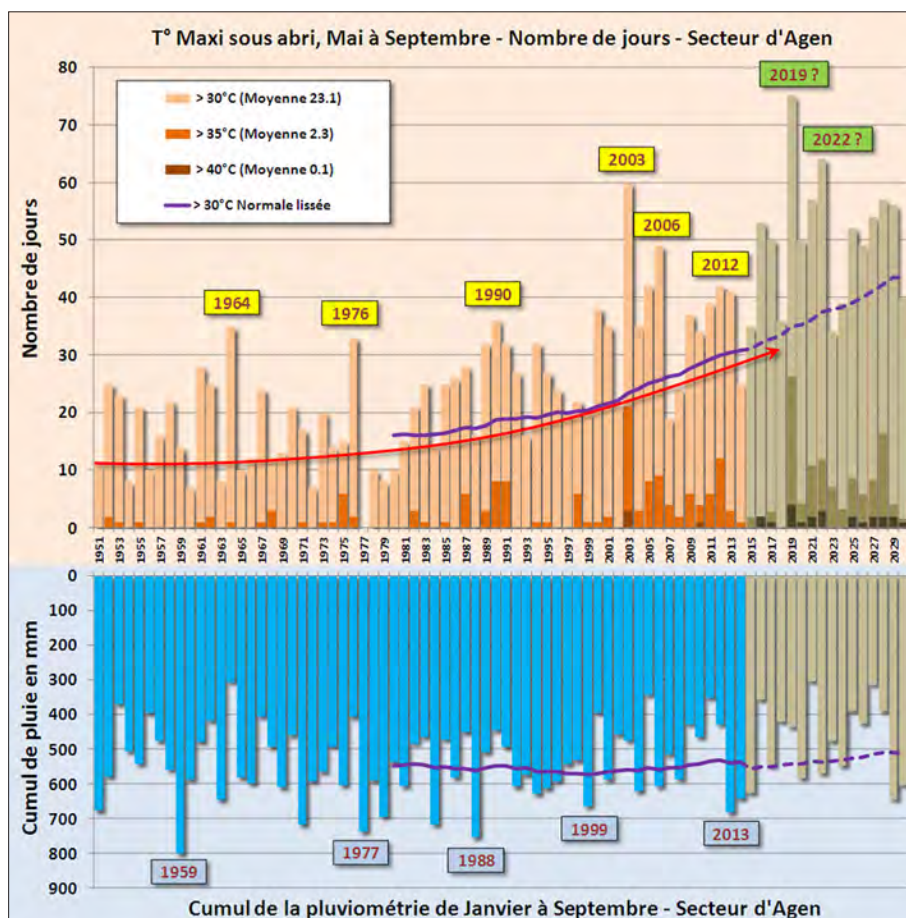
On retrouve sur Agen de manière renforcée les tendances de Bordeaux avec en plus l'année 1964, année de sécheresse sévère avec à peine un peu plus de 300 mm entre janvier et septembre, qui vient anticiper 1976 (400 mm dont seulement 250 mm entre janvier et juillet) parmi les années les plus caniculaires des 30 premières années de cette période.

Depuis le réchauffement des années 80 on ne retrouve pas de manière aussi évidente ce lien entre sécheresse et canicule ce qui peut dépendre de la période des pluies. Par contre on vérifie que les années très pluvieuses comme 1999, 2013 et 2014 ont moins de jours de très fortes chaleurs.

On a colorié différemment la partie passée de la partie « future » de manière à se rendre compte de la trajectoire vers laquelle nous amène la poursuite de notre manière de vivre qui ne se soucie pas suffisamment du rejet dans l'atmosphère de gaz à effet de serre, la plupart stockés depuis des millions d'années dans les sédiments du fond des océans (pétrole, gaz, charbon).

On prend le pari d'un futur proche plus chaud avec régulièrement entre 10 et 15 journées avec des maximales supérieures à 35 °C et où les minimales restent supérieures à 20 °C ce qui rend difficile le repos nocturne dans des chambres mal isolées et peu ventilées. Malheureusement nous ne croyons pas qu'il existe beaucoup de logements capables de maintenir des conditions de confort suffisantes en l'état et nous imaginons que ceux qui en auront les moyens choisiront de s'équiper de climatiseurs avec des pompes à chaleur, dont les échangeurs seront installés sur les façades vers les lieux publics ainsi réchauffés, et qui, en utilisant de l'énergie fossile ou nucléaire, accéléreront le réchauffement.

Mais restons optimistes et mettons vite en œuvre des stratégies d'adaptation qui ouvrent d'ailleurs un vaste champ de développement économique et d'expériences sociales pour ceux qui oseront s'y engager. Nous voulons parler de la bio climatisation ou plus simplement de l'utilisation de l'eau et des végétaux pour atténuer l'impact des canicules.



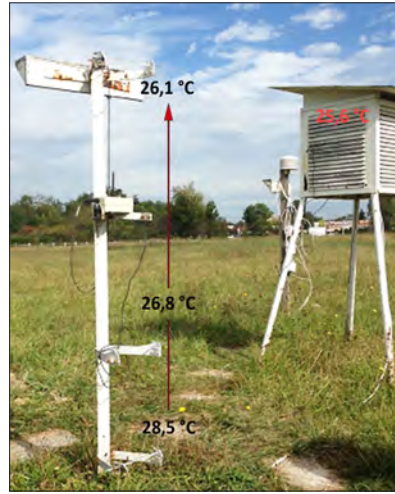
Graphique 4 : En haut : Historique des cumuls de journées sur Agen de 1951 à 2014 ayant mesuré au moins 30, 35 et 40 °C entre mai et septembre. En bas : historique du cumul des précipitations de janvier à septembre sur Agen de 1951 à 2014. Sources Météo France et ACMG.

II – LES ÎLOTS DE CHALEUR ET DE FRAÎCHEUR D’AGEN ET DE BORDEAUX

Dans le cadre du projet ADAPTACLIMA II (voir <http://www.adaptaclima.eu/fr>), l’ACMG a été chargée d’étudier les îlots de chaleur et de fraîcheur urbains afin de rendre compte des similitudes constatées aussi bien à la ville qu’à la campagne et concernant les variations spatiales de température.

Au niveau climatologique nous savons qu’il est indispensable de mesurer les températures sous abri afin d’atténuer l’effet local, cependant cela cache justement des variations dont l’origine est à trouver dans le type de matériaux qui reçoivent l’énergie solaire et émettent par rayonnement infrarouge vers l’espace.

La photo ci-contre permet d'illustrer les différences de température mesurées à un instant donné à différentes hauteurs le 8 octobre dernier près de nos locaux à 13 h 50 locale. On vérifie que c'est le sol enherbé chauffé par le soleil qui est le plus chaud et le thermomètre situé dans l'abri qui est le moins élevé avec un gradient vertical qui dépend de la vitesse du vent. On confirme que la nuit ce gradient est inversé avec des minimales les plus basses au ras du sol qui perd de l'énergie par rayonnement, l'air venant se refroidir à son contact.



Afin d'observer les gradients horizontaux de température d'une manière homogène et instantanée, nous avons choisi d'utiliser les images thermiques obtenues par le satellite Landsat⁵ qui nous propose après traitement d'observer des gradients de température avec une résolution de 100 m redécoupées en pixels de 30 m. Deux satellites Landsat sont actuellement en fonctionnement autour de la terre et passent régulièrement vers 12 h 20 locale, un compromis pour être proche du maximum solaire sans être trop gêné par les formations de nuages. Ce satellite mesure donc la température des surfaces qui rayonnent leur énergie vers l'espace. À titre d'exemple, page ci-contre, la carte thermique centrée sur Agen et le Passage du 20 juin 2014 obtenue par Landsat 8 et traitée sur le logiciel spécialisé ENVI par Élodie Patelli d'Agralis.

Cette image thermique est superposée à une image couleur visible ce qui facilite la reconnaissance des lieux. Les couleurs vont du bleu au rouge foncé et sont représentatives de températures variant de 22 à 27 °C pour le bleu foncé à plus de 45 °C pour le rouge foncé, en passant par le vert pour 35 °C et 39 °C pour le jaune. À 12 h 30 ce 20/06/2014 la température sur l'aéroport d'Agen atteint 28,2 °C sous abri ce qui est supérieur aux couleurs marrons représentatives d'une température de surface de quelques 40 °C de la zone au même moment. Mais on sait que pour mesurer 28,2 °C sous abri il faut qu'il fasse au moins 29,5 °C à 1,50 m à l'air libre et 32 à 34 °C à 10 cm au-dessus d'un sol engazonné alors qu'à proximité sur une zone minérale ou goudronnée il fera déjà plus de 40 °C comme le confirme cette image.

On va essayer de décrire cette image en commençant par reconnaître les

5 USA - http://fr.wikipedia.org/wiki/Programme_Landsat

secteurs importants que le contour des communes avec l'axe de circulation de la Garonne nous aide à retrouver ; le nord étant en haut comme on peut le vérifier sur une image à plus grande échelle en suivant. Commençons par les zones les plus fraîches

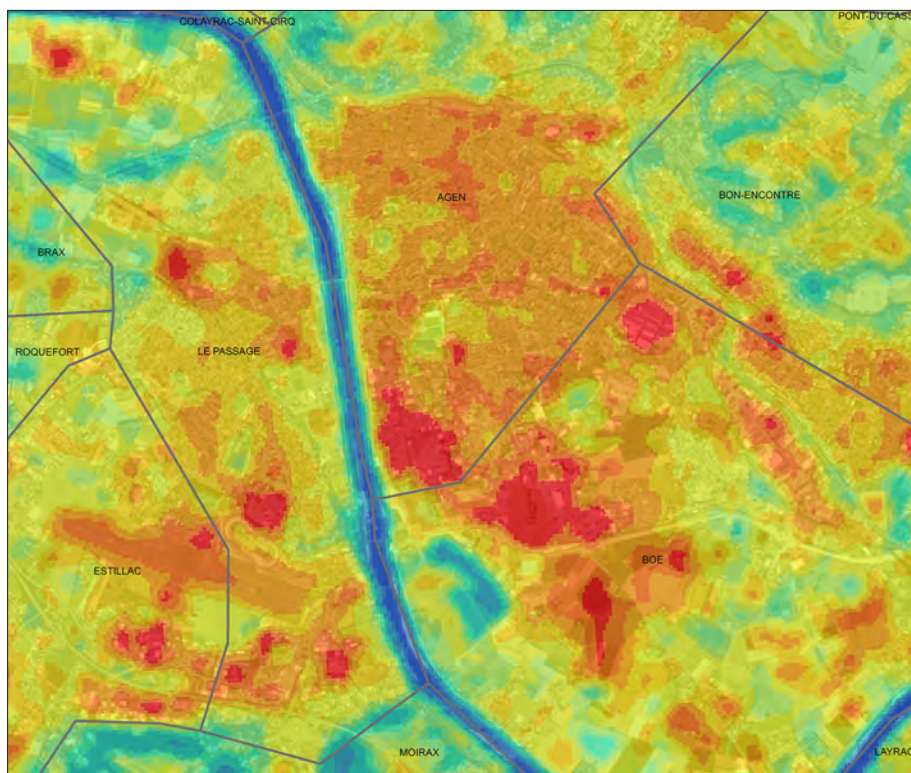


Image thermique 1 : Centre de l'agglomération d'Agen visualisé en infrarouge thermique par le satellite Landsat 8 le 20 juin 2014 à 12 h 30 locale. Les températures de surface varient de 21 °C pour le bleu très sombre à 48 °C pour le rouge foncé. Le pixel de 100 m a été découpé en 30 m et on observe en transparence les contours d'une image visible qui permet de reconnaître des détails de route et d'ouvrages. Source Landsat.

- Le fleuve Garonne avec ses berges, le lac de Passeligne et le canal latéral sont facilement identifiables pour ceux qui connaissent le secteur ou ceux qui recherchent sur le web.
- Les zones boisées ou encore à l'ombre des vallons des coteaux de Bon Encontre, Nord Agen vers l'Hermitage ou de Moirax au Sud sont bien visibles en bleu sombre ou clair.
- Les champs de cultures estivales comme le maïs sur Brax, Estillac, Le Passage et Boé apparaissent en bleu vert, car à cette date elles ne couvrent pas encore complètement les sols et les parcelles de céréales ne sont pas encore récoltées.

- Dans une moindre mesure on reconnaît les zones arborées ou les parcs de centre-ville que l'on visualise en vert clair ou vert jaune comme le parc de la préfecture, le parc de Jayan, les stades autour du SUA, le Gravier avec les nombreux platanes qui longent le Cours Gambetta le long de la rive droite de la Garonne.

Examinons maintenant les zones les plus chaudes que l'on dénomme îlots de chaleur; ils sont signalés par des températures de surface supérieures à 40 °C en jaune sombre, marron et rouge pour les plus élevées. On reconnaît de la gauche vers la droite :

- L'Agropole, l'aéroport et le site de production de médicaments sur Estillac et Le Passage. Ce sont des zones de parking ou des toitures en terrasses non végétalisées et bien sûr la piste d'envol avec les prairies qui viennent d'être coupées. On reconnaît juste à côté de l'aéroport la piste de l'hippodrome plus chaude que la zone centrale enherbée.
- Les deux supermarchés de la Commune du Passage sont bien visibles en rouge au milieu de quartiers plus ou moins chauds en fonction de la densité de végétation.
- Rive droite ce sont surtout les nouvelles zones commerciales d'Agen Sud et de Green Center où les arbres sont encore trop jeunes pour jouer leur rôle, une zone de serres sur Boé, le Marché d'Intérêt National (MIN) de forme quasi circulaire au nord de Boé, les parkings de l'université à Agen, la zone industrielle de Boé-Bon Rencontre
- Dans une moindre mesure plusieurs quartiers du centre-ville et des quartiers entre la Gare et la route de Cahors dont un super marché.

Cette image a été prise le 20 juin 2014 durant une petite vague chaude de Sud où les maximales sont montées jusqu'à 32 °C, mais avec des sols encore bien pourvus en eau à la suite des pluies importantes des mois précédents. Nous avons comparé cette information thermique spatiale à celle mesurée par des mini capteurs de mesure (type Gemini TinyTag) que nous avons installés afin de vérifier la réalité des écarts d'un lieu à un autre.

Ce jour-là, à 12 h 20 au moment du passage du satellite une trentaine de capteurs étaient disposés sur différents sites de l'Agglo d'Agen et également à Bordeaux afin de vérifier vers 1,50 m de hauteur, là où nous circulons et à partir de quoi nous exprimons notre sensation de confort thermique, les variations spatiales de température de secteurs représentatifs de ces zones chaudes, intermédiaires et fraîches. On relevait par exemple entre 12 h 20 et 12 h 40 un minimum de 27,5 °C à Trotte Lapin près de Moirax (zone verte non visible sur le zoom présenté ici), 28,5 °C dans le parc de Passeligne, 29,5 °C dans le parc de la préfecture

(couleur jaune vert), 30,5 °C dans une vigne proche de Sainte-Colomben-Bruilhois (couleur jaune), 33,9 °C dans le Centre Technique de Layrac (zone orangée) et 34,7 °C sous un abri installé sur une terrasse du MIN dans le nord de la commune de Boé (cercle rouge).

Ces mesures ponctuelles confirment les écarts des observations du satellite Landsat tout en atténuant les écarts ce qui est normal puisque l'on a vu qu'il existe une différence importante entre la température de surface et la température à 1,50 m à l'air libre et encore davantage avec la mesure sous abri. Sur l'image thermique, l'écart maximal entre les zones chaudes et les plus fraîches atteint localement 15 °C alors que les relevés vers 12 h 30 indiquent 7,2 °C. Ce même jour l'écart des maxima relevés passe de 30 °C, sous des peupliers proches de champs de maïs irrigués et de gravières de la commune de Layrac (route de Sauveterre-Saint-Denis) à 40.3 °C dans la cour du centre technique de Layrac.

La suite des relevés a confirmé cette tendance même si on aurait préféré pour cette expérience avoir un été plus chaud et plus sec que celui vécu en 2014. Le 17 juillet est la journée la plus chaude et le maximum de température s'est produit entre 15 h 10 et 16 h 10 avec une température la plus basse de 32,1 °C mesurée avec notre mini réseau de capteurs dans le Centre Technique de Pont du Casse, suivi du parc de Passeligne (32,7 °C), 34.1 °C dans une vigne proche de Sainte-Colombe et à Sainte-Radegonde, 35.1 °C près de Moirax, d'Aubiac et de Cuq, 35,7 °C dans un maïs de la plaine de Boé, 40,4 °C dans le Centre Technique de Layrac et le maximum de 40.8 °C au MIN de Boé. Le même jour la station météorologique d'Agen enregistre 34,6 °C sur l'aérodrome d'Agen.

Donc déjà il se confirme qu'il existe à quelques kilomètres de distance des conditions de température variables et qui atteignent vers 1,50 m à l'air libre des différences de 7 à 8 °C suivant principalement la présence ou non d'une végétation active capable de procurer de l'ombre et de rafraîchir l'atmosphère par évapotranspiration comme on va le comprendre un peu plus loin.

N'ayant pas eu, et c'est tant mieux, de véritable canicule durant les deux étés de 2013 et 2014, nous avons recherché des images qui illustrent une période de canicule avec des sols beaucoup plus secs et une végétation naturelle en stress hydrique. Nous avons sélectionné celle du samedi 9 août 2003 au milieu de la canicule qui s'est installée depuis une dizaine de jours ; ce jour-là le maximum va atteindre sur l'aérodrome d'Agen 38 °C vers 18 h locale et il fait entre 32 et 33,3 °C lorsque le satellite passe. Voir Image thermique 2 du 9 août 2003.

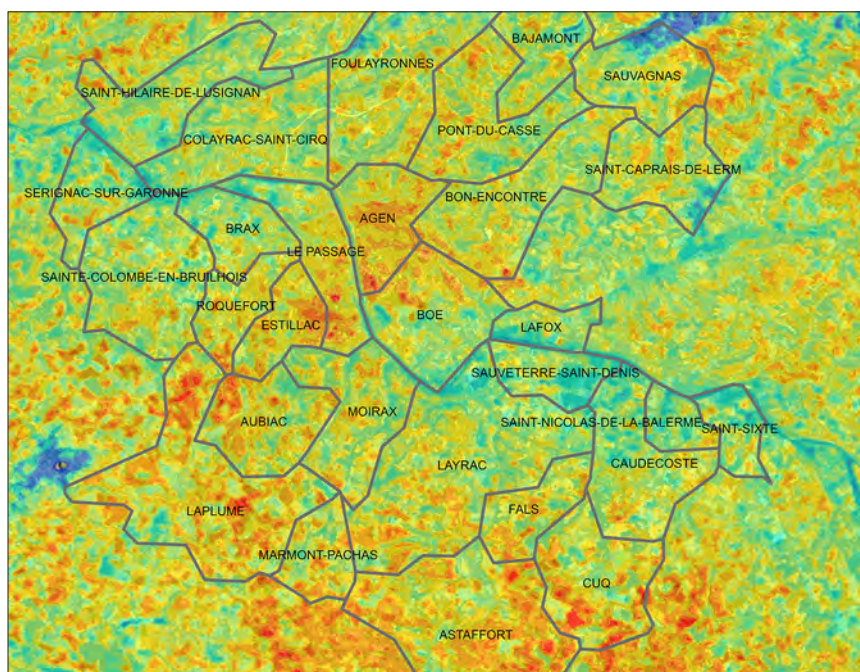


Image thermique 2 : Agglomération d'Agén visualisée en infrarouge thermique par le satellite Landsat 5 le 9 août 2003 à 12 h 30 locale. En dehors des quelques nuages en bleu sombre à moins de 25 °C, les températures de surface varient de 27 °C pour le bleu vert à 48 °C pour le rouge foncé. Source Landsat.

À part quelques nuages sur la partie nord de la photo (bandes inclinées bleu/vert) et à l'ouest de Laplume sur la gauche, tout le reste de l'image est en ciel clair ce qui permet de vérifier des variations de température supérieures à 20 °C au ras du sol entre les parties vertes le long de la vallée de la Garonne (27 °C) et les zones rouges dans le Sud (50 °C). Ces zones très chaudes du Sud sont des chaumes très secs sans végétation active qui contribuent à réchauffer l'air qui circule au-dessus.

En ces lieux près de 80 % de l'énergie solaire reçue se transforme en chaleur sensible, chauffant en premier le sol où s'emmagasine par conduction de l'énergie qui remontera en surface en première partie de nuit, en second le sol réchauffe par conduction l'air à son contact. Cet air réchauffé voit sa densité diminuer et donc devenant plus léger que l'air



situé juste au-dessus de lui, il monte par convection pour être remplacé par d'autre air qui se réchauffe à son tour et ainsi de suite. Les 25 à 20 autres % de l'énergie solaire reçue sont réfléchis (albédo) ou servent à évaporer les résidus d'eau du sol. On comprend pourquoi les Méditerranéens enduisent au printemps leurs murs de blanc de chaux, cela afin de réfléchir le plus possible d'énergie du soleil et pourquoi des villes au Canada imposent un coefficient de réflexion élevé pour les couvertures des immeubles et des logements en construction⁶.

On retrouve sur l'image thermique des conditions équivalentes ou pires en ville, sur Agen, Le Passage, Boé, ... dans les secteurs minéralisés, les parkings non ombrés, les toitures en terrasses avec gravier ou de bacs d'acier isolés. En 2013 il a été mesuré le 4 septembre sur Bordeaux dans le chantier du futur grand stade, une température maximale de 45 °C alors qu'au même moment dans le parc du Jardin public il ne faisait que 32 °C soit 13 °C d'écart. Quel aurait pu être l'écart si nous avions été dans la situation d'août 2003 ?

Revenons à 2003 et l'image de l'Agglo d'Agen et examinons où se situent les zones fraîches en vert sur l'image thermique. Elles dessinent parfaitement l'empreinte des vallées et des vallons des coteaux qui bordent le fleuve Garonne. Ces surfaces vertes correspondent aux parcelles ayant une activité de végétation : bois, vergers, haies, parcelles agricoles irriguées (prairies, maïs, tournesol...) et aux gravières, réservoirs et fleuve Garonne. Dans ces zones la présence d'eau, ou mieux d'eau et de végétation, explique cette relative fraîcheur puisqu'il y est mesuré « seulement » 27 à 34 °C au ras du sol ou sur la canopée contre 45 à 50 °C dans les zones sèches minéralisées.

On sait que lorsque de l'eau s'évapore, le changement de phase de l'état liquide à l'état vapeur est très gourmand en énergie que l'eau va prendre au support sur lequel elle se trouve : le sol, une feuille de végétal, à la surface d'un lac et dans une moindre mesure à l'air qui l'entoure. Lorsque l'eau s'évapore directement dans l'air comme le fait une gouttelette à la sortie d'un diffuseur de brumisateur, chaque gramme d'eau prélève 800 calories environ pour changer de phase. Si on arrive à évaporer de manière homogène de l'eau dans un local de 1000 m³ bien isolé, on fait baisser sa température de 2 °C.

C'est à peu près ce qui se passe sur les zones vertes et bleues de cette image du 9 août 2003. Dans l'air surchauffé de Sud, de l'eau s'évapore là où elle est facilement disponible ce qui fait baisser localement la température

6 Voir par exemple http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ARROND_RPP_FR/MEDIA/DOCUMENTS/TOITS_BLANCS.PDF

de surface de ces végétaux de plus de 15 °C. En ces lieux l'énergie du soleil sert à rafraîchir l'air sec en évaporant de l'eau, soit directement avec les asperseurs, des "irrigants" et avec moins d'efficacité depuis la surface de rares sols humides ou des lacs, des gravières, des rivières et du fleuve, soit indirectement par l'évapotranspiration des plantes. Cette dernière solution au travers d'un arbre ou d'un végétal assez haut est la plus durable puisque c'est l'énergie solaire qui par le biais de la photosynthèse active la pompe de la plante pour prélever de l'eau dans le sol par l'intermédiaire des racines et l'emmener à s'évaporer dans les stomates des feuilles pour les refroidir et ainsi rafraîchir l'air qui circule à son contact.

Les Anglo-saxons appellent cela le free-cooling, (<http://goo.gl/QnmYil>). Comme cet air refroidi devient plus dense que l'air avoisinant, il va chuter par convection vers le sol et c'est pourquoi les arbres sont si utiles pour les humains dans la mesure où en plus de l'ombre, ils rafraîchissent l'air qui descend à leur pied, bien sûr à condition que ces arbres aient de l'eau et de l'air en bonne proportion et à disposition au niveau des racines ce qui n'est pas toujours le cas quand les arbres sont entourés de béton ou d'asphalte⁷.

Le gaz d'un gazon est plus discutable, car s'il y a bien évapotranspiration, l'air frais qui se forme au ras du gazon devenant plus dense, plus lourd, ne peut que glisser encore plus bas, mais ne remonte pas, sauf en cas de vent fort, de turbulence, vers nos visages pour améliorer notre confort. C'est la raison pour laquelle les essais de mouillage des rues ne donnent pas de résultats probants, car seuls les rats d'égouts en profitent ! Par contre une terrasse végétalisée irriguée légèrement inclinée permet de faire glisser de l'air plus frais du côté de la pente si aucune barrière ne vient barrer cet écoulement par gravité comme le ferait une lave ou une boue très épaisse.

Nous avons examiné d'autres images et nous avons pu comparer l'empreinte thermique entre les années 1987 et 2014. Sur Agen nous avons observé l'empreinte thermique importante des zones d'activité d'Agén et de Boé au centre de l'image qui entourent le lac de Passeligne resté bleu. L'Agropole s'est agrandie comme UPSA. Les villes d'Estillac, Brax, Colayrac-Saint-Cirq se sont étendues.

Nous avons effectué ce même travail pour la Communauté d'agglomération de Bordeaux en choisissant des images à des dates semblables de manière à pouvoir aussi comparer l'évolution du couvert des sols et ses caractéristiques. La première image a été prise par Landsat 5 le 20 août 1987 vers 13 h alors qu'il faisait 31 °C sous abri (Image 3).

Dans cette image on observe que le quartier de la Gare au sud de la Commune de Bordeaux, comme la zone industrielle de Blanquefort au

7 MUSY, Marjorie, *Une ville verte. Le Rôle du végétal en ville*. Coord. Éditions Quae. 2014.

Image 3 : Communauté urbaine de Bordeaux. Landsat 5 du 20 août 1987 vers 13 h ; 31 °C

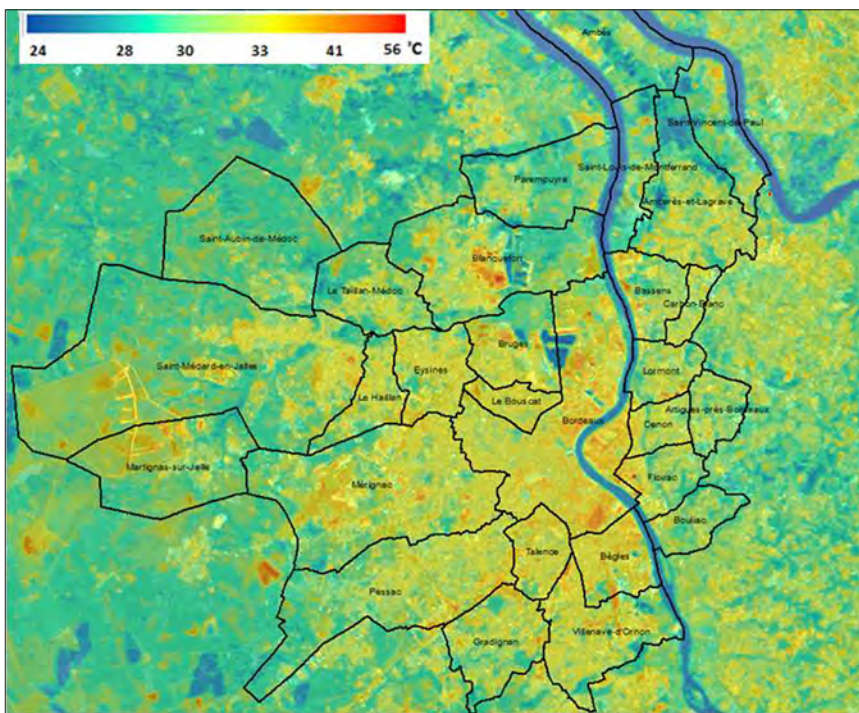
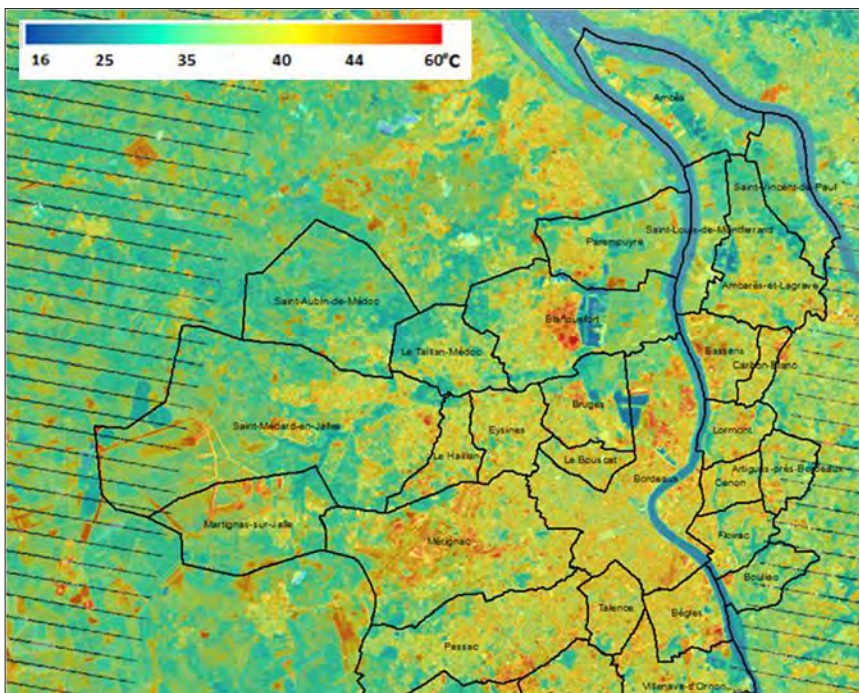


Image 4 : Communauté Urbaine de Bordeaux. Landsat 7 du 4 septembre 2013 13 h ; 31 °C



Nord et l'aéroport de Mérignac sont les secteurs les plus chauds. Bordeaux-Lac, Bacalan, le jardin public et les parkings arborés des Quinconces sont bien des îlots de fraîcheurs au centre d'une ville en extension où le mitage des zones construites en jaune apparaît.

L'image que nous présentons en comparaison a été prise par Landsat 7 le 4 septembre 2013 toujours vers 12 h 30 (Image 4). Il faisait à ce moment-là 29 °C sous abri sur Bordeaux.

Six zones de chaleur viennent se superposer ou étendent celles qui existaient en 1987. Dans une rapide comparaison, c'est la commune de Mérignac qui s'est la plus « réchauffée » en créant des espaces d'activité commerciale et de services entre l'aéroport et la ville. La zone industrielle de Blanquefort s'étend davantage vers le Nord et la commune de Parempuyre. Sur la rive droite, les communes de Bassens et Carbon-Blanc possèdent aujourd'hui des zones plus chaudes alors que les aménagements autour du Parc des Angéliques semblent réduire la température moyenne.

Ce type de comparaison permet de constater l'impact insoupçonné des aménagements et développements industriels, commerciaux et urbains. Cette vision devrait aider à imaginer donc quel sera l'impact thermique local sur les personnes qui seront amenées à y vivre ou y travailler ainsi que sur les populations voisines, situées au vent de la zone source de chaleur estivale.

Si ce type de démonstration avec la confirmation par des mesures précises sur des sites de références permet de prouver l'impact négatif d'une minéralisation d'un site sur le confort thermique du lieu, il reste beaucoup de chemin à parcourir pour convaincre les habitants de choisir un mode plus durable d'adaptation à des situations de canicule comme celle de 2003 que nous devrions revivre plus souvent à l'avenir. Dans cet objectif nous avons fait appel à deux autres domaines scientifiques qui partagent notre souci de s'adapter au changement climatique d'une manière la moins gourmande possible en énergie fossile et la plus respectueuse possible de l'environnement et de la santé des populations.

Le premier domaine scientifique est celui de la biomécanique et la science des sports avec le professeur Ronaldo Gabriel et son équipe qui vont tenter de nous expliquer comment vivre au milieu d'espaces « verts ou reverdis » contribue à améliorer notre santé physique et mentale ce qui socialement permet de réduire les coûts de maladies et améliorer nos rapports sociaux. C'est l'objet du prochain chapitre.

Le second domaine auquel ce projet Adaptaclima a fait appel et celui des Sciences Sociales. Nous avons proposé à Camille Jonchères, dans le cadre de son Master II de l'université de Bordeaux, de nous aider à trouver

les mots et la démarche la plus opérante afin de convaincre le plus de personnes possibles sur le bienfait de vivre dans du « vert » irrigué avant qu'ils ne décident, à la suite de la prochaine vague de chaleur, d'investir dans une climatisation active utilisant de l'énergie fossile, donc renforçant les gaz à effet de serre, et réchauffant l'espace public en rafraîchissant l'espace privé. Le chapitre suivant rend compte d'un premier travail d'enquête effectué durant l'été 2014 qui, on le rappelle, a été un des plus « pourri » de ces dernières années ce qui ne nous a pas forcément aidé à sensibiliser les habitants de l'agglomération d'Agen et de la ville de Bordeaux. Ce travail est présenté dans le chapitre suivant celui de Ronaldo Gabriel et de son équipe⁸.

III – COMMENT VIVRE ET TRAVAILLER AU MILIEU D'UNE URBANISATION VERTE PERMET DE RÉDUIRE NOS PROBLÈMES DE SANTÉ

L'influence humaine est la cause dominante du réchauffement global observé depuis les années 50, avec la réduction de la quantité de neige et de glace, l'augmentation du niveau de la mer et l'augmentation des gaz à effet de serre (IPCC, 2013). Les concentrations dans l'atmosphère de gaz carbonique, de méthane et d'oxydes nitreux augmentent de manière conséquente et les océans absorbent environ 30 % du CO₂ anthropogénique ce qui provoque son acidification (IPCC, 2013). Des données de l'Union Européenne (EC, 2010) révèlent que le trafic urbain produit environ 40 % des émissions de CO₂ et que 70 % des autres polluants sont engendrés par le transport routier. La poursuite des émissions de ces gaz à effet de serre va engendrer un réchauffement global plus important et des modifications de certaines composantes du système climatique global, imposant des réductions soutenues de ces émissions.

Réduire l'utilisation de véhicules à moteur thermique, au travers de l'augmentation de la marche à pied et de l'usage du vélo, contribue non seulement à la réduction du CO₂ et d'autres gaz à effet de serre, mais également à la diminution des accidents de la route tout en favorisant une croissance économique et en améliorant la santé publique (Charlesworth et al., 2011). La marche à pied et le déplacement en vélo peuvent être

8 **Helena Moreira¹, Ronaldo Gabriel², Edna Cabecinha³, Ana Alencão⁴**

¹ Université de Trás-os-Montes et Alto Douro, Département des Sciences du Sport, Centre de Recherche en Sport, de la Santé et du Développement Humain (CIDESD), Vila Real, Portugal.

² Université de Trás-os-Montes et Alto Douro, Département des Sciences du Sport, Centre pour la Recherche et la Technologie des Sciences Agro-Environnementales et Biologiques (CITAB), Vila Real, Portugal.

³ Université de Trás-os-Montes et Alto Douro, Département de Biologie et Environnement, Centre pour la Recherche et la Technologie des Sciences Agro-environnementales et Biologiques (CITAB), Vila Real, Portugal.

⁴ Université de Trás-os-Montes et Alto Douro, Département de Géologie, Centre de Géophysique de l'Université de Coimbra, Vila Real, Portugal.

facilement intégrés dans la vie quotidienne des populations et seraient même une option plus efficace pour tous ceux qui ne pratiquent pas de sport à cause de problèmes physiques ou pour des raisons économiques, sociales ou culturelles (WHO, 2014). Le **transport actif** apporte une plus grande régularité d'activité physique ce qui accroît une meilleure forme physique, mais surtout améliore plusieurs indicateurs de santé. Le transport actif non seulement contribue à une meilleure conscience vis-à-vis de l'environnement, mais aussi à la cohésion d'une communauté et à la réduction des crimes (NPHP & SIGPAH, 2001). Les bénéfices associés à la pratique régulière d'une activité physique sont bien décrits dans la littérature scientifique (HHS, 2008) et ils sont résumés dans le tableau 1.

Type de population	Évidence scientifique		
	Forte	Modérée à forte	Modérée
Enfants et adolescents	Amélioration de la forme cardiorespiratoire et musculaire et de la masse osseuse. Favorable à la constitution corporelle.		Réduction des symptômes de dépression
Adultes et séniors	Amélioration de la forme cardiorespiratoire et musculaire. Diminue les risques : de décès précoce, d'attaque d'apoplexie, de taux de cholestérol sanguin, de diabète de type 2, des syndromes métaboliques, des cancers du côlon et du sein, de prise de poids, de chutes, de dépression.	Réduction de l'obésité abdominale. Meilleure santé fonctionnelle.	Augmentation de la densité osseuse. Maintien du poids après une cure. Moindres risques de fracture de la hanche.

Tableau 1 : Bénéfices obtenus par une activité physique régulière à différents âges (d'après HHS, 2008).

Différents facteurs sociaux et d'engagement peuvent positivement influencer les transports actifs, incluant des attitudes positives des communautés comme :

- l'adoption d'un plan urbain favorisant le transport actif entre les zones de logement, de services, de travail et de loisirs avec la création de circuits pédestres et cyclables ;
- la mise à disposition de moyens pour développer et entretenir le transport actif de manière sécurisée avec des lieux d'informations sur ce type de déplacement actif ;
- l'organisation de campagnes promotionnelles pour ce type de transport.

Il est évident qu'une plus grande fréquentation du vélo en ville exige la présence d'infrastructures adéquates (pistes cyclables, parkings à vélo sécurisés, signalement approprié, solutions de location de vélos, etc.) et

la mise en œuvre de politiques et de programmes pour en promouvoir leur usage (Pucher et al., 2010). Adopter des mesures qui réduisent la facilité d'usage de la voiture en ville (zones à circulation limitée, places de parking limitées, rues à accès réduit et/ou à vitesse limitée, etc.) devrait encourager les modes de déplacement actif en vélo ou à pied (Pucher et al., 2010). En parallèle, des interventions appropriées qui traitent des besoins des marcheurs (marcher en groupe, utiliser un podomètre, mieux utiliser les moyens de télécommunications, conseiller davantage d'activités physiques, etc.) et particulièrement adressées aux sédentaires doivent encourager les personnes à marcher davantage et à pratiquer entre 30 et 60 minutes de marche par semaine (Ogilvie et al. 2007).

Une étude réalisée par Rabl & Nazelle (2012) a analysé l'impact sur la santé de la substitution du déplacement en voiture par la marche et le vélo pour aller au travail (5 km entre le lieu d'habitation et le lieu de travail pour le cycliste et 2,5 km pour le marcheur). Ils proposent des estimés d'impacts en termes monétaires et ils ont spécifiquement examiné quatre paramètres : (a) les bénéfices associés à la pratique d'une activité physique, (b) la modification de l'impact de la pollution de l'air sur les individus qui ont changé de mode de transport, (c) les bénéfices pour la population en général du fait de la réduction de la pollution, et (d) l'impact sur les risques d'accidents. Leurs résultats sont illustrés dans le tableau 2. Ils indiquent que les bénéfices les plus importants découlant de la substitution du déplacement en voiture par le transport actif (marche et vélo), sont en premier lieu ceux obtenus pour la santé même des individus actifs et en second ceux pour l'amélioration de la qualité de l'air qui touchent tout le monde.



	Transport actif (marche ou vélo) plutôt que la voiture pour se rendre au travail	Bénéfices associés à cette activité physique	Modification des impacts de pollution pour ceux qui choisissent le transport actif	Bénéfices de santé pour les habitants moins pollués par les voitures	Bénéfices de santé pour les habitants du fait d'accidents
	5 jours/semaine 46 semaines/an distance aller 5 km → 2300 km	1310 €/an et par individu actif	(-) 19 €/par an et par indi- vidu actif	33 €/par an et par habitant de la zone	(-) 53 €/par an et par habitant de la zone
	5 jours/semaine 46 semaines/an distance aller 2,5 km → 1150 km	1192 €/an et par individu actif	(-) 15 €/an et par individu actif	16,5 €/an et par habitant de la zone	Non évalué

Tableau 2 : Impacts financiers consécutifs au remplacement de la voiture par la marche ou le vélo pour aller à son travail (Rabl & Nazelle, 2012).

Plusieurs facteurs statistiques sont à considérer, comme le gain de

santé obtenu (avec l'allongement de la durée de vie) du fait d'une augmentation de l'activité physique d'une personne qui opte pour le vélo à la place de la voiture ce qui est estimé à 1310 € par an et par individu. Vis-à-vis de l'impact de la réduction de la pollution en général par moins de voitures, le gain sur la réduction des coûts de santé est estimé à 33 € par an et par personne habitant dans la zone où des personnes décident de changer leur mode de transport en abandonnant la voiture. Cependant le choix de prendre son vélo plutôt que sa voiture expose chaque cycliste à plus de pollution et présente un impact négatif estimé à 19 € par an. De même la moindre protection d'un cycliste dans un espace urbanisé non adapté accroît le nombre d'accidents graves ce qui correspond à un coût supplémentaire de 53 € par an et par individu. Finalement ces auteurs (Rabl & Nazelle, 2012) estiment à 1192 € par an et par individu les bénéfices (réduction des coûts pour les dépenses de santé) de la marche et de la pratique régulière d'exercices alors que l'augmentation des dépenses liées à plus d'expositions des marcheurs et cyclistes à la pollution urbaine ne représente que 15 € par an.

La pratique d'activités physiques dans des espaces verts (espaces verts non exploités avec de la végétation naturelle) **et dans un environnement contenant des quantités visibles d'eau**, aide à récupérer d'un stress et améliore notre concentration (Grahn & Stigsdotter, 2003), réduit les émotions négatives (tension, confusion) et la sensation de fatigue, ce qui permet d'accroître le niveau et l'intensité des activités physiques (Gladwell et al., 2013).

Basé sur l'analyse de plusieurs études, Keniger et al. (2013) relève plusieurs bénéfices en lien avec l'interaction de l'homme et de la nature qu'il nous livre en fonction de différents domaines, dont le bien-être psychologique, la cognition (*processus intelligents*), et la dominance sociale (*hiérarchie sociale*). Ces bénéfices sont décrits dans le Tableau 3 et leur prise en considération apparaît comme très importante pour améliorer le bien-être social et pour protéger, voire améliorer, la biodiversité dans les zones urbaines. Ces niveaux de biodiversité (ex. variétés de plantes et d'espèces d'oiseaux) améliorent les bénéfices psychologiques résultant de la pratique d'exercices physiques en ces lieux (Fuller et al., 2007) et ont d'importantes implications dans la protection des lieux, provoquant une utilisation appropriée des ressources disponibles et la préservation des espèces et de leurs habitats naturels. Les utilisateurs de ces espaces attachent beaucoup de valeur à la sécurisation des lieux et à l'opportunité de plus de lien social (Leslie et al., 2010), mais d'autres facteurs comme la sécurité vis-à-vis de crimes, des accidents de la route, l'esthétique du lieu et la facilité d'accès sont également tout aussi importants (Gladwell et al., 2013).

DOMAINES	BÉNÉFICES	DOMAINES	BÉNÉFICES
Bien-être physiologique	Amélioration de l'estime de soi, Bonne humeur et attitude positive, Moins d'accès de colère, Moins de frustration et d'anxiété.	Physiologique	Réduction du stress, Pression artérielle diminuée, Niveau de cortisol baissé, Moins de maux de tête, Moins de maladies cardiovasculaires, Moins de maladies respiratoires, Moins de longues maladies.
Cognitif (processus intelligent)	Diminution de la fatigue mentale Amélioration des performances intellectuelles et de productivité Meilleure capacité à effectuer des tâches difficiles Facilité d'acquisition et d'apprentissage	Social	Interactions sociales facilitées Taux de criminalité réduit Violence diminuée Meilleure cohésion sociale Support social
Spirituel	Plus d'inspiration Bien-être spirituel amélioré		

Tableau 3 : Bénéfices d'une interaction avec la nature (à partir de Kenniger et al., 2003).

Basé sur les infrastructures vertes et le transport actif, la capitalisation du savoir du projet ADAPTACLIMA II, conduit par le groupe de recherche de l'Université de Trás-os-Montes et Alto Douro (Vila Real – Portugal), est dirigée vers le développement et la mise en œuvre de processus de réduction et d'adaptation aux changements climatiques qui ont simultanément des effets bénéfiques sur la santé humaine. Plus spécifiquement, l'équipe capitalise sur la connaissance actuelle des bénéfices d'interactions avec un environnement naturel. Elle a développé une méthodologie pour analyser la compatibilité de sentiers de marche avec le bien-être des individus et l'amélioration de certaines maladies non transmissibles comme l'obésité, le diabète, les maladies du cœur et la dépression. La mise en œuvre de cette méthodologie permet aux décideurs d'obtenir les informations nécessaires et suffisantes pour prendre des décisions effectives et durables en liaison avec la promotion de la santé publique, aussi bien qu'avec la réduction de l'impact du changement climatique, avec une appréciation claire des services des écosystèmes urbains.

IV – COMMENT LES SCIENCES SOCIALES NOUS AIDENT À TROUVER LES MOTS JUSTES ET LA DÉMARCHE POUR CONVAINCRE DES HABITANTS POUR CHOISIR UN MODE D'ADAPTATION AUX CANICULES PLUS DURABLE

Helena Moreira avec Ronaldo Gabriel et son équipe nous ont démontré que notre activité quotidienne de marche ou de déplacement en

vélo dans un lieu naturel a un impact sur la santé de chacun, et plus avant, il est démontré que nos activités, notre mode de vie, notre urbanisme, le mode de gestion de nos champs, de nos bois, ont un impact direct sur notre confort thermique estival et sur notre environnement de vie au sens large. C'est cette interrelation que la sociologie se propose d'étudier : « la sociologie de l'environnement est l'étude de l'effet de l'environnement sur la société ou, dit autrement encore, l'étude des conséquences sociales des phénomènes naturels ».⁹

La démarche de l'A.C.M.G. s'inscrit dans la conquête d'un développement durable de la société. Notre étude a permis de mettre en évidence que l'avènement de cette société est soumis à la balance entre au moins six freins et leviers. De plus, l'adaptation au changement climatique est certes un ensemble de changements dans les habitudes de chacun, mais est surtout producteur et produit d'un changement social¹⁰. C'est pourquoi l'adaptation durable au changement climatique nécessite une réflexion complexe, transversale, interdisciplinaire et structurelle.

Les six freins au changement social pour une société durable, que nous avons mis en avant sont :

- Pour commencer, les manifestations climatiques du changement sont géographiquement hétérogènes et conjoncturelles. Le levier correspondant serait une gestion des risques climatiques par l'État Providence, à l'instar du risque de maladie ou de vieillesse¹¹.
- D'autre part, l'expérience et l'impact du changement climatique varient au niveau de l'individu, d'une profession à l'autre : un agriculteur sera plus concerné dans un premier temps qu'un citoyen. Œuvrer pour une reconnaissance de l'interdépendance des milieux et des professions pourrait lever ce frein.
- Du point de vue de l'implication et la mobilisation de l'individu, le frein principal serait le décalage entre une conscience des « coûts » et une perception floue et incertaine du « bénéfice » retiré de cette mobilisation. Faire référence au mécanisme du vote¹², comme l'illustre le slogan « Manger Bio, c'est voter tous les jours ! »¹³, pourrait inciter à la mobilisation individuelle.
- La difficile mobilisation face à la problématique environnementale est

9 CATTON & DUNLAP, 1978.

10 TOURAINE, Alain. *Production de la société*. Paris, Éditions du Seuil, 1973, 543 p

11 LAURENT Éloi. *Le bel avenir de l'État providence*. Date de parution : 14-05-2014

12 BOUDON, Raymond. Le « paradoxe du vote » et la théorie de la rationalité. *Revue française de sociologie*, n° 38-2, L'économie du politique, 1997. p217/227.

13 ROSNAY 1981, cité par ASPE Chantal et JACQUÉ Marie. *Environnement et société : Une analyse sociologique de la question environnementale*. Editions Quae. Paris : Maison des sciences de l'homme, 2012. p30

provoquée par l'incertitude qui émane d'une appropriation malaisée des mécanismes et facteurs responsables du changement climatique, du fait de leur variété et de leurs imbrications. Promouvoir une pensée systémique, comme c'est le cas dans les médecines parallèles, tel que l'acupuncture pourrait être un levier au sentiment d'impuissance¹⁴.

- L'avant-dernier frein serait la concurrence des dimensions: le plein emploi est plus important que le développement durable. La communication et l'interdisciplinarité seraient alors les leviers.
- Enfin, les facteurs responsables du changement climatique sont multiples et parfois controversés par une infime partie de la communauté scientifique ce dont profitent quelques médias et des lobbyistes de certaines entreprises, ce qui freine l'action politique ou individuelle. Mener des expérimentations scientifiques rigoureuses permettant de faire consensus, permet de lever ce frein.

Maintenant que nous avons replacé cette étude dans son contexte général, nous allons à présent nous pencher sur l'étude que nous avons menée et qui s'adosse à une enquête qui s'est déroulée de juillet à septembre 2014 sur l'Agglo d'Agen et la Ville de Bordeaux.

L'objectif de cette enquête sociologique est d'amener les Agenais et les Bordelais à s'interroger sur l'appréciation de leur environnement, sur les moyens qu'ils mettent en œuvre pour garantir leur confort thermique en période de canicule et d'entamer une sensibilisation à la bio-climatisation en saisissant l'adhésion ou la méfiance du répondant à la démarche de l'A.C.M.G..

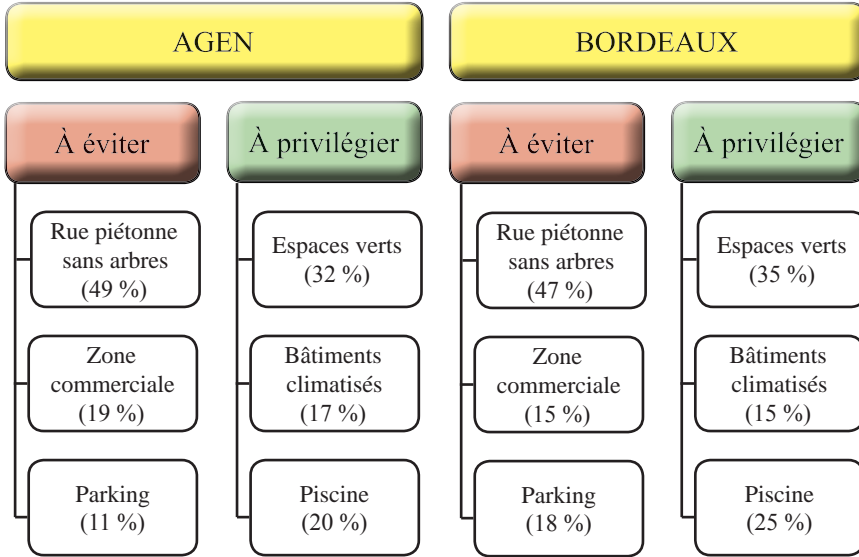
À ces trois objectifs correspondent cinq hypothèses. Pour y répondre et remplir les objectifs, nous avons construit un questionnaire de 40 questions, mené trois entretiens semi-directifs avec des acteurs du développement durable au sein des collectivités, ainsi que des entretiens informels avec des passants lors d'événements pour promouvoir l'enquête. Enfin, nous avons dédié la dernière question au recueil des remarques et témoignages des répondants.

Grâce au réseau de diffusion que nous avons mobilisé, nous avons obtenu 334 réponses dont 194 de femmes et 115 d'hommes entre 20 et 79 ans que nous avons pu analyser.

Parmi l'ensemble des conclusions que nous avons pu déduire de l'analyse des réponses, nous en avons sélectionné trois qui concernent principalement son mode d'adaptation actuel et idéal aux situations de canicules.

14 ASPE Chantal et JACQUÉ Marie. *Environnement et société : Une analyse sociologique de la question environnementale*. Editions Quae. Paris : Maison des sciences de l'homme, 2012. p31

L'illustration ci-dessous, représente les lieux publics que le répondant privilégie ou évite en période de fortes chaleurs :



Nous remarquons que l'influence des îlots de chaleur et de fraîcheur urbains (ICU, IFU) est très importante en termes de fréquentation des lieux publics. Une rue piétonne sans arbres est évitée par près de 50 % des Agenais et des Bordelais tandis que les espaces verts sont plébiscités par environ 1 répondant sur 3. Ces premières réponses confirment qu'il est important pour une collectivité de veiller à la mise en place et à l'entretien d'espaces verts de manière à végétaliser et créer des espaces de fraîcheurs en ville. La ville d'Agen s'est rendue compte de ce constat suite aux plaintes des commerçants, situés du côté ensoleillé d'une rue commerçante piétonne, qui voyaient leurs établissements désertés aux profits de ceux situés à l'ombre. La végétalisation de la ville, puisqu'elle favorise la fréquentation des espaces publics, peut aussi jouer un rôle d'attrait pour une activité commerciale.

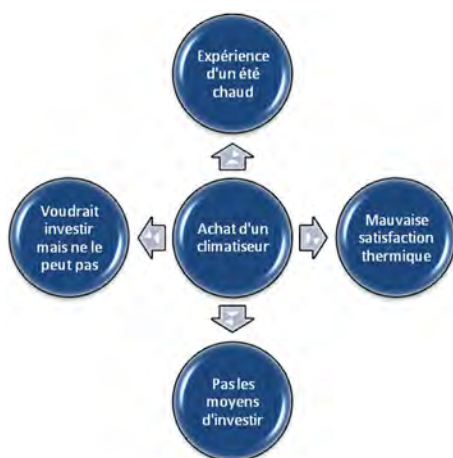
Nous voyons également des traces de la mal-adaptation au changement climatique telle qu'expliquée plus haut. La mal adaptation, est le fait de mettre en œuvre une stratégie d'adaptation, en réaction aux stimuli du changement climatique, qui satisfait l'individu, mais qui a pour conséquence d'accroître le changement climatique¹⁵.

C'est le cas de la climatisation active basée sur la pompe à chaleur qui satisfait au besoin d'assurer un confort thermique en période de forte

15 Voir <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Differents-types-d-adaptation.html>

chaleur dans un espace limité (voiture, bureau, magasin, chambre, salle de cinéma, restaurant...). Cependant, le climatiseur rejette la plupart du temps de l'air chaud dans l'espace public voisin, il est source de nuisance sonore pour des voisins si l'échangeur et son ventilateur se trouvent à moins de 50 m et il est source de pollution (consommation d'énergie électrique et rejet de gaz à effet de serre). Ainsi, **le développement de la climatisation (notamment individuelle) si elle n'est pas maîtrisée ou régulée rapidement accentuera les îlots de chaleur** dans les milieux urbains et donc les conséquences et impacts du changement climatique sur la société.

Pour mieux enrayer cette dynamique à notre avis contre-productive, nous avons recherché les facteurs qui semblent jouer dans l'acquisition d'une climatisation individuelle auprès de nos répondants dont on sait que l'échantillon est loin d'être représentatif des communautés d'Agen et de Bordeaux, mais qui a le mérite d'exister et de nous fournir la confirmation que ce sujet intéresse toutes les tranches d'âges, qu'ils soient propriétaires ou locataires.



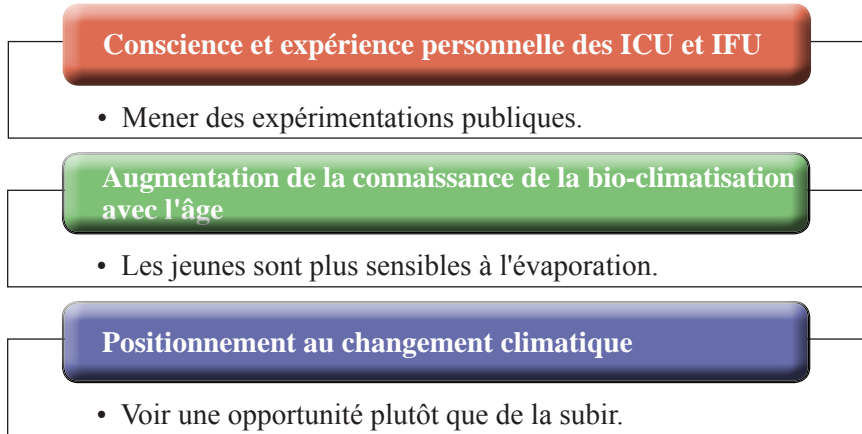
Comme le montre cet organigramme, nous avons remarqué que l'expérience d'un été chaud favorise l'obtention d'un climatiseur, de même qu'une mauvaise satisfaction thermique du répondant vis-à-vis de son lieu d'habitation. Enfin, nous avons remarqué que les personnes, ayant ou souhaitant acquérir un climatiseur, n'ont pas les moyens d'investir dans le confort thermique « structurel » de leur résidence (isolation

performante extérieure), ou que la décision ne leur appartient pas alors qu'ils le souhaiteraient (locataires ou en copropriété).

Ainsi, pour lutter contre cette mal-adaptation, il serait efficace d'investir dans le confort thermique de l'individu. L'action peut intervenir à plusieurs niveaux, au niveau du collectif en favorisant les IFU, et au niveau individuel en sensibilisant sur les conséquences de la climatisation et en proposant des dispositifs d'accompagnement dans les travaux « structurels » garantissant le confort thermique du résident.

Pour terminer, nous avons cherché à saisir les caractéristiques de la diffusion de la connaissance de la bio-climatisation auprès du grand

public. Nous avons ainsi dégagé trois dynamiques représentées dans l'organigramme suivant :



Le facteur le plus marqué est l'expérience personnelle des différents flots thermiques urbains. Plus précisément, un individu qui a remarqué de manière « flagrante » que la température pouvait varier sensiblement suivant l'endroit où il se trouve au sein d'une même ville sera plus sensible à la bio-climatisation. Il y a donc un lien entre la conscience et l'expérimentation des ICU ou des IFU et la connaissance de la bio-climatisation. C'est pourquoi nous recommandons de poursuivre des expérimentations scientifiques publiques permettant d'exploiter ce lien (et de lever le sixième frein).

Nous avons remarqué également que les principes de la bio-climatisation sont de mieux en mieux connus avec l'âge. Les jeunes (25 ans et moins) possèdent donc moins d'information sur la bio-climatisation que leurs aînés. Cependant, nous avons mis en évidence que les plus jeunes semblent mieux maîtriser que leurs aînés l'évapotranspiration des végétaux ; il s'agirait alors de mobiliser cette connaissance intégrant son utilisation dans la bio-climatisation.

Enfin, nous avons pu montrer qu'une personne qui considère le changement climatique comme une opportunité de « réinterpréter nos modes de production et de consommation » est plus encline à s'intéresser aux moyens durables d'adaptation, comme la bio-climatisation. À l'inverse, un individu ayant l'impression de le subir ou d'avoir à composer avec lui choisira la solution de facilité de « la clim » et ne souciera pas trop de générer du bruit ou de la chaleur dans l'espace public voisin.

Aussi nous préconisons d'adopter la dialectique de « l'opportunité » pour les communications grand public. D'autant que par ailleurs, un positionnement « opportuniste » vis-à-vis du changement climatique

engendre un « empowerment » : pousse l'individu à être « proactif », c'est-à-dire à s'impliquer, se mobiliser, devenir acteur d'une adaptation durable au changement climatique¹⁶.

Pour conclure, la problématique de l'adaptation durable au changement climatique est à notre sens à rapprocher de celle du bien commun. Toutefois, nous ne pouvons nier la recherche de chacun à satisfaire ses besoins propres. C'est pourquoi il est essentiel à nos yeux de chercher à faire converger les intérêts ou les enjeux de chacun avec ceux du bien commun. Pour ce faire, les solutions durables doivent être compétitives, appropriables et s'inscrire dans la réalité de chacun. De plus les collectivités ou les instances publiques, déjà liées au bien commun, pourraient illustrer, donner corps, ou encore concrétiser ce qu'est une adaptation durable, cette exemplarité devenant ainsi un moteur du changement social pour faire advenir une société durable.

CONCLUSIONS ET PROSPECTIVES

Des études ont déjà fait la démonstration que les villes Nord-Américaine ont généralement des écarts entre les ICU et le IFU supérieurs aux villes Européennes¹⁷. À l'ACMG nous pensons qu'une partie de cette différence vient de la chaleur apportée en ville par les climatiseurs et par une non-prise en compte de la minéralisation excessive des espaces publics. En 2010 des collègues de Murcie en Espagne nous ont affirmé que la température du centre de Murcie avait chuté de plus de 2 °C à la suite d'une panne de courant en milieu d'après-midi qui avait stoppé les climatiseurs.

Nous aimerions que ce nous avons présenté dans les chapitres précédents puisse vous pousser à agir à votre niveau de manière à investir pour votre santé en marchant davantage et en prenant plus souvent votre vélo, mais aussi pour votre confort thermique de manière durable sachant que certaines des solutions que vous adopterez pour lutter contre le chaud excessif seront performantes contre le froid dont la meilleure isolation extérieure des locaux.

Votre action peut intervenir à deux niveaux :

- **Premièrement au niveau collectif** en favorisant les îlots de fraîcheur, en végétalisant davantage les villes le long de chemins pédestres ou cyclables urbains et en réfléchissant à une meilleure coordination avec le monde agricole voisin qui par le type et le mode de culture peut atténuer voire rafraîchir l'air arrivant sur une zone d'activité ou d'habitat.

Ce type de démarche est en cours en Lot-et-Garonne à la suite des États

16 Voir par exemple http://www.lemonde.fr/societe/article/2013/02/07/l-empowerment-nouvel-horizon-de-la-politique-de-la-ville_1827820_3224.html

17 Voir <http://www.epa.gov/heatisland>.

Général de l'Agriculture en 2011 et la création d'un GIE Thematik'Eau où plus de 80 % de l'activité agricole irriguée du Lot-et-Garonne se mobilise pour établir un tel dialogue. Le principe de ce rapprochement est de trouver des solutions gagnant/gagnant entre d'un côté des citoyens qui veulent avoir moins chaud et de l'autre des agriculteurs qui considèrent qu'avec de l'irrigation de précision bien gérée leur avenir et celui de leurs enfants sont assurés.

Cela signifie avoir à disposition, lors de périodes de canicules comme 2003, d'une ressource en eau plus importante que celle aujourd'hui disponible de manière à maintenir le plus possible de surfaces végétalisées ou arborées capables d'évapotranspirer. La solution de réduire les surfaces irriguées pour s'adapter à une ressource en eau limitée aboutirait selon nous à une croissance plus rapide des températures en juillet et août comme on l'a vu sur l'image du 9 août 2003 où il fait au sol sur les zones de céréales moissonnées 20 °C de plus que sur les parcelles irriguées du bord de Garonne. Des projets de stockage dans des lacs de nouvelle génération favorisant la biodiversité et dans les nappes de surface (anciens méandres de Garonne) sont en cours et s'ils sont acceptés socialement ils permettront de garantir le fonctionnement de cette climatisation durable basée sur l'eau et le végétal.

- **Votre action peut être individuelle** en prenant conscience des conséquences de la climatisation active et en choisissant plutôt des dispositifs ou travaux «structurels» garantissant votre confort thermique par l'application de principes passifs et actifs souvent utilisés par nos ancêtres et que l'énergie à trop bon marché nous a fait négliger : isolation extérieure, toiture et terrasse végétalisée irriguée, vigne vierge irriguée du côté des murs ensoleillés, ombrage par des arbres feuillus côté sud, augmentation de l'albédo des parois ensoleillées, situation à l'aval (suivant les vents dominants chauds) d'une zone boisée ou cultivée et irriguée.

Cette démarche et ces moyens d'adaptation au réchauffement climatique ne seront possibles que si chaque individu prend des mesures pour assurer un stock d'eau estival suffisant, soit de manière individuelle en stockant les eaux de pluie de sa toiture, soit de manière collective en participant à des sortes de coopératives ou d'associations pour stocker et acheminer cette eau de qualité jusqu'à leur domicile. Du temps de l'Empire Romain, en 150 de notre ère, chaque citoyen de Rome avait droit à 1000 litres d'eau par jour¹⁸. L'eau était alors considérée comme agent du développement et de civilisation. Aujourd'hui nous consommons environ 150 litres par habitant et par

18 VIOLLET Pierre-Louis. *L'hydraulique dans les civilisations anciennes* - <http://www.presses-des-ponts.fr/notre-librairie/230-lhydraulique-dans-les-civilisations-anciennes.html>

jour et les principes d'une écologie anglo-saxonne nordique poussent à réduire ce volume d'eau potable. Si l'on adoptait plus volontiers les principes d'une écologie Méditerranéenne on pourrait imaginer, d'ici 20 ans lorsque les canicules seront plus fréquentes, d'apporter en été de juin à septembre l'équivalent de 100 litres de plus par jour et par habitant afin d'assurer un confort de vie plus durable au milieu d'une ville, d'un village, d'une maison où des arbres et de la végétation irriguée se développeraient en harmonie. L'exemple d'ADAPTACLIMA avec les études des îlots de chaleur sur l'Agglo d'Agen, la ville de Bordeaux et la Communauté Urbaines de Bordeaux confirme cette proposition avec comme premier résultat celui de la création le 28 août 2014 d'un Cluster Eau & Adaptation au changement climatique, porté par l'Agglo d'Agen et qui rassemble 16 entreprises, collectivités et Centres de Recherche et de formation autour des thèmes présentés dans cet article.

Il reste maintenant à mettre en œuvre cette démarche à une échelle suffisante pour qu'elle soit capable de nous faire traverser avec moins de conséquences économiques et de santé les futures canicules estivales semblables à 2003. Dans ce but nous espérons avoir réussi à vous convaincre, cher lecteur, de tenter d'appliquer ces principes ici décrits sur votre lieu de vie, votre lieu de travail, votre village ou votre ville et sinon à au moins vous faire prendre conscience de l'impact thermique de votre mode de vie et de travail.

Fait à Le Passage, Bordeaux et Vila Réal le 13 novembre 2014.

REMERCIEMENTS :

Ils vont en premier aux administrateurs de l'ACMG, tous et toutes bénévoles, qui ont accepté depuis 2007 de nous laisser travailler en direction de « la ville ». Ensuite aux partenaires d'Adaptaclima qui nous ont accueillis dans leur consortium, aux financeurs d'INTERREG SUDOE (Europe), à l'équipe de l'UTAD de Villa Réal au Portugal et à l'université des Sciences Sociales de Bordeaux qui ont participé et écrit dans cet article.

L'ensemble des Maires de l'Agglo d'Agen qui a accepté de nous soutenir dans ce projet avec les équipes techniques, la Mairie de Bordeaux avec les directions du développement durable et des parcs et jardins et l'ADEME d'Aquitaine ne sont pas oubliés dans ces remerciements, car c'est grâce à elles et à eux que nous avons été poussés à agir et à tenter de traduire le plus simplement possible ce que nous avons compris dans les champs irrigués où il fait toujours plus frais que sur les chaumes voisins.

Sans oublier l'Académie des Sciences, Lettres et Arts d'Agen qui, sensible à cette problématique, nous a ouvert les pages de la Revue de l'Agenais.

BIBLIOGRAPHIE (Références du chapitre III)

- Charlesworth A, Gray A, Pencheon D, Stern N. Assessing the health benefits of tackling climate change. *British Medical Journal*. 2011 ; 343:d6520.
- EC. *Keeping Europe's cities on the move EU: funded research to ensure urban mobility*. Luxembourg : European Commission - Directorate-General for Research Directorate H — Transport; 2010.
- Fuller R, Irvine K, Devine-Wright P, Warren P, Gaston K. Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biology Letters*. 2007 ; 3(4) : 390-394.
- Gladwell V, Brown D, Wood C, Sandercock G, Barton J. The great outdoors: how a green exercise environment can benefit all. *Extreme Physiology & Medicine*. 2013 ; 2:3.
- Grahn P, Stigsdotter U. Landscape planning and stress. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2003 ; 2(1) : 1-18.
- HHS. *2008 Physical activity guidelines for Americans*. Washington, D.C. : U.S. Department of Health and Human Services; 2008.
- IPCC. *Climate change 2013: the physical science basis*. New York : Cambridge University Press; 2013.
- Keniger L, Gaston K, Irvine K, Fuller R. What are the benefits of interacting with nature?. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2013 ; 10 (3) : 913-935.
- Leslie E, Cerin E, Kremer P. Perceived neighborhood environment and park use as mediators of the effect of area socio-economic status on walking behaviors. *Journal of Physical Activity & Health*. 2010 ; 7(6) : 802-810.
- NPHP, SIGPAH. *Promoting active transport: an intervention portfolio to increase physical activity as a means of transport*. Melbourne : National Public Health Partnership ; 2001.
- Ogilvie D, Foster C, Rothnie H, Cavill N, Hamilton V, Fitzsimons C, et al. Interventions to promote walking: systematic review. *British Medical Journal*. 2007 ; 334:1204.
- Pucher J, Dill J, Handy SL. Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: an international review. *Preventive Medicine*. 2010 ; 50, Supplement (0) : S106-S125.
- Rabl A, Nazelle A. Benefits of shift from car to active transport. *Transport Policy*. 2012 ; 19(1) : 121-131.
- Wanner M, Götschi T, Martin-Diener E, Kahlmeier S, Martin B. Active transport, physical activity, and body weight in adults: a systematic review. *American Journal of Preventive Medicine*. 2012 ; 42(5) : 493-502.