



Projet AP3C

Adaptation des Pratiques Culturelles au Changement Climatique

Fiche méthode :

AP3C, un projet qui crée ses propres projections climatiques

Mai 2018

Projections climatiques AP3C VS Projections climatiques habituelles

Le projet de Recherche et Développement « AP3C » est en cours depuis 2015 avec pour objectif d'obtenir des informations localisées permettant une analyse fine des impacts du changement climatique sur le Massif central, en vue d'adapter les systèmes de production agricole du territoire et d'en sensibiliser les acteurs. Ce projet innovant et ambitieux, porté par le SIDAM, est mené en collaboration avec les Chambres d'agriculture des 11 départements engagés (Allier, Cantal, Haute-Loire, Puy-de-Dôme, Loire, Lot, Lozère, Aveyron, Corrèze, Creuse, Haute-Vienne) et en partenariat avec l'Institut de l'Élevage (IDELE).

Afin de ne plus être seulement dans la réaction face aux aléas et de pouvoir procéder à des choix stratégiques tenant compte des nouvelles évolutions climatiques et de leurs impacts sur les systèmes d'élevage, le projet AP3C a opté pour une approche combinant l'expertise climatique, agronomique et systémique des ingénieurs de 11 Chambres d'agriculture, en lien avec ceux de l'IDELE.

L'expertise climatique consiste à établir un ensemble de projections à l'horizon 2050 à partir de l'analyse de l'évolution d'un certain nombre de paramètres météorologiques (températures, précipitations, évapotranspirations potentielles (ETP)), au pas de temps quotidien sur la période 1980-2015 et sur l'ensemble du Massif central. Ces projections permettent d'appréhender de manière détaillée les évolutions climatiques attendues sur le territoire.

En effet, en France, on peut trouver par exemple un large panel de projections climatiques dans un site comme « Drias – les futurs du climat ». On peut alors se demander **pourquoi produire ses propres projections climatiques** à l'intérieur d'un projet d'application tel que AP3C alors qu'il existe, à disposition gratuitement, tout un ensemble de projections climatiques issues de modèles physiques globaux, zoomées sur nos territoires et opérées par des institutions de recherche réputées ?



Ce document vise à argumenter les raisons de ce choix et illustre la pertinence de la méthode employée. Il ne s'agit pas de faire un long développement théorique mais d'illustrer la cohérence de la méthode choisie avec les observations du changement climatique réellement engagé.

Des projections compatibles avec les observations du changement climatique engagé sur nos territoires

La plupart des projets d'atténuation du Changement Climatique ou d'adaptation à ce phénomène mobilisent des projections climatiques issues de modèles physiques de « circulation générale » (GCM) qui servent de base aux inter-comparaisons effectuées pour chaque rapport du GIEC. En France, ces projections sont mises à disposition de tout un chacun via des sites comme DRIAS – Les futurs du climat (<http://www.drias-climat.fr/>).

Ces projections sont d'un accès gratuit, moyennant une inscription nominative en ligne et relativement aisé grâce aux interfaces-utilisateurs. Elles ont la particularité d'être en cohérence géographique instantanée puisque c'est l'ensemble du globe qui est simulé à chaque pas de temps et donc elles représentent de manière physiquement cohérente des phénomènes de grande étendue comme les perturbations pluvieuses et venteuses d'Ouest, classiques de nos latitudes tempérées, particulièrement de l'automne au printemps. Cependant, encore actuellement, les modèles qui effectuent ces projections sont conçus pour la Recherche, c'est-à-dire une analyse des causes du Changement Climatique. Or, une part significative de ces causes n'est pas encore accessible du fait de leur résolution spatiale (quelques dizaines de kilomètres) et de la complexité des schémas de fonctionnement du climat réel.

Donc, malgré tout l'intérêt pédagogique que la mise à disposition de ces données représente, il faut savoir que les projections correspondantes ne sont pas compatibles avec le Changement Climatique qui s'est réellement engagé sur le terrain depuis environ 40 ans et, sur certains aspects pénalisants pour l'agriculture, sont sévèrement incompatibles.

Pour contourner cette difficulté, AP3C a fait le choix de créer ses propres projections climatiques en s'appuyant sur un réseau d'une centaine de stations à travers le Massif central, dans le but d'avoir une analyse fine de l'impact du changement climatique sur notre territoire d'étude.

Les exemples présentés dans les pages suivantes explicitent, d'une part, que les projections climatiques habituellement utilisées ne sont pas cohérentes avec le changement climatique observé, et d'autre part, que les projections climatiques du projet AP3C sont effectivement compatibles avec le changement climatique mesuré.

On choisit ici d'illustrer cette affirmation par deux exemples qui figurent dans la documentation diffusée lors du premier colloque AP3C en juillet 2017. Cette documentation est disponible sur la page internet dédiée à l'évènement (<http://www.sidam-massifcentral.fr/projets/securisation-systemes/ap3c/colloque-ap3c-2017>) puis en cliquant sur le lien « Présentation détaillée ». Il s'agit en l'occurrence des diapositives 45 et 47.

AP3C : un projet qui crée ses propres projections climatiques

AP3C utilise un générateur stochastique de temps (abréviation anglaise SWG) pour produire des projections climatiques de nature statistique, point par point. Les projections sont produites jusqu'à l'horizon 2050, classiquement appelé « futur proche ».

Concrètement, des données quotidiennes observées de température minimale (Tn), température maximale (Tx), d'évapotranspiration potentielle (ETP) et de cumul de précipitations (RR) sont analysées sur la période 1980-2015.

La première étape consiste en l'extraction des organisations chronologiques de « long terme », comme la tendance, les cycles et évolutions de cycles, puis en l'extraction des organisations de « court terme » comme la persistance ou l'inertie des situations météorologiques. On aboutit à un résidu dont on s'assure du caractère aussi proche que possible de l'aléatoire via un certain nombre de tests statistiques spécifiques.

Ensuite, ce résidu est re-généré un grand nombre de fois (10.000 fois dans le cadre d'AP3C) par un générateur de nombre aléatoire dont la distribution de probabilité, évolutive dans le temps, est calibrée sur celle de l'observation. La conformité des séries de résidus une fois re-générés sur celle des résidus observés est également vérifiée a posteriori. Puis on rajoute le schéma d'organisation de court terme et de long terme (celui déterminé sur l'observation), pour aboutir à un ensemble de 10.000 séries chronologiques, simulées sur 1980-2015, parfaitement compatibles, en moyenne, en distribution et en organisations chronologiques, avec la série d'observations originale.

En ce qui concerne l'avenir, on utilise les conclusions relatives issues des modèles GCM (des rapports du GIEC) qui indiquent que dans le faisceau de possibilités de l'évolution du climat vers le proche futur, jusque 2050 environ, l'enveloppe basse correspond de près à la poursuite de la tendance observée sur les dernières décennies. Donc AP3C utilise, pour son générateur stochastique de temps c'est-à-dire pour ses projections jusque 2050, l'hypothèse « minimale raisonnable » de poursuite sans accélération du Changement Climatique tel qu'il s'est réellement engagé sur le terrain entre 1980 et 2015.

Des projections qui représentent la variabilité interannuelle

La conception des projections d'IAC* dans le cadre d'AP3C, fait appel à pas moins de 10.000 projections par indicateur. Les 10.000 projections réalisées font l'objet d'une approche statistique.

Sur les graphiques produits dans AP3C, sont représentés les déciles 1, 2, 5, 8 et 9.

Ainsi, le décile 1 (D1) correspond au seuil en deçà duquel se trouvent les 1.000 projections les plus basses, c'est à dire une probabilité d'occurrence de 10%, tandis que le décile 9 (D9) marque le seuil au-delà duquel se trouvent les 1.000 projections les plus hautes. La probabilité d'être en-dessous de D9 est donc de 90%.

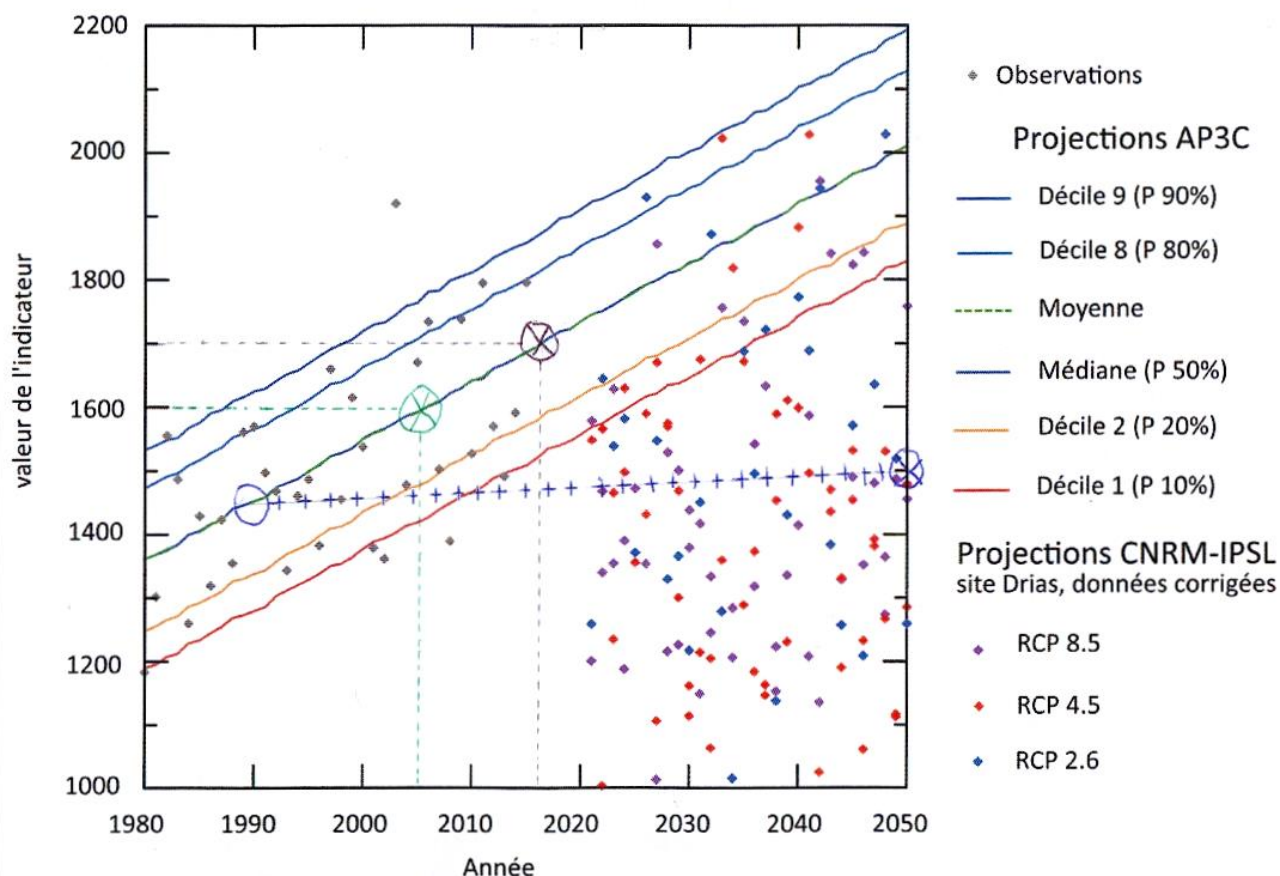
Le décile 5 est aussi appelé médiane (autant de projections plus basses que plus hautes).

La moyenne des 10.000 projections est également représentée ainsi que les observations effectivement réalisées entre 1980 et 2015.

* IAC : Indicateur Agro-Climatique

Exemple de projection de l'indice de Huglin, station de Limoges-Bellegarde

Station de Limoges-Bellegarde (87), alt. 402m



Exemple 1 : Indice héliothermique de Huglin sur la station de Limoges-Bellegarde (87), altitude 402m.

Qu'est-ce que l'indice de Huglin ?

L'indice de Huglin permet d'adapter le choix du cépage selon le climat d'un territoire. Il se calcule à partir des températures moyennes et maximales entre le 1er avril et le 30 septembre et d'un coefficient correcteur faisant référence à la longueur du jour (selon la latitude) selon la formule suivante :

$$\sum \frac{[(Tm-10)+(Tx-10)] \times 1.04}{2}$$

Valeur de l'indice de Huglin	Exemples de cépages adaptés
1600	Müller Thurgau
1700	Gamay, Pinot blanc
1800	Pinot noir, Chardonnay, Riesling, Sylvaner, Sauvignon blanc
1900	Cabernet franc
2000	Cabernet sauvignon, Merlot, Chenin
2100	Ugni blanc
2200	Grenache, Syrah, Cinsaut
2300	Carignan

Tableau 1 : Correspondance entre l'indice de Huglin et les cépages adaptés.

Comment lire ce graphique ?

Sur le graphique précédent figurent :

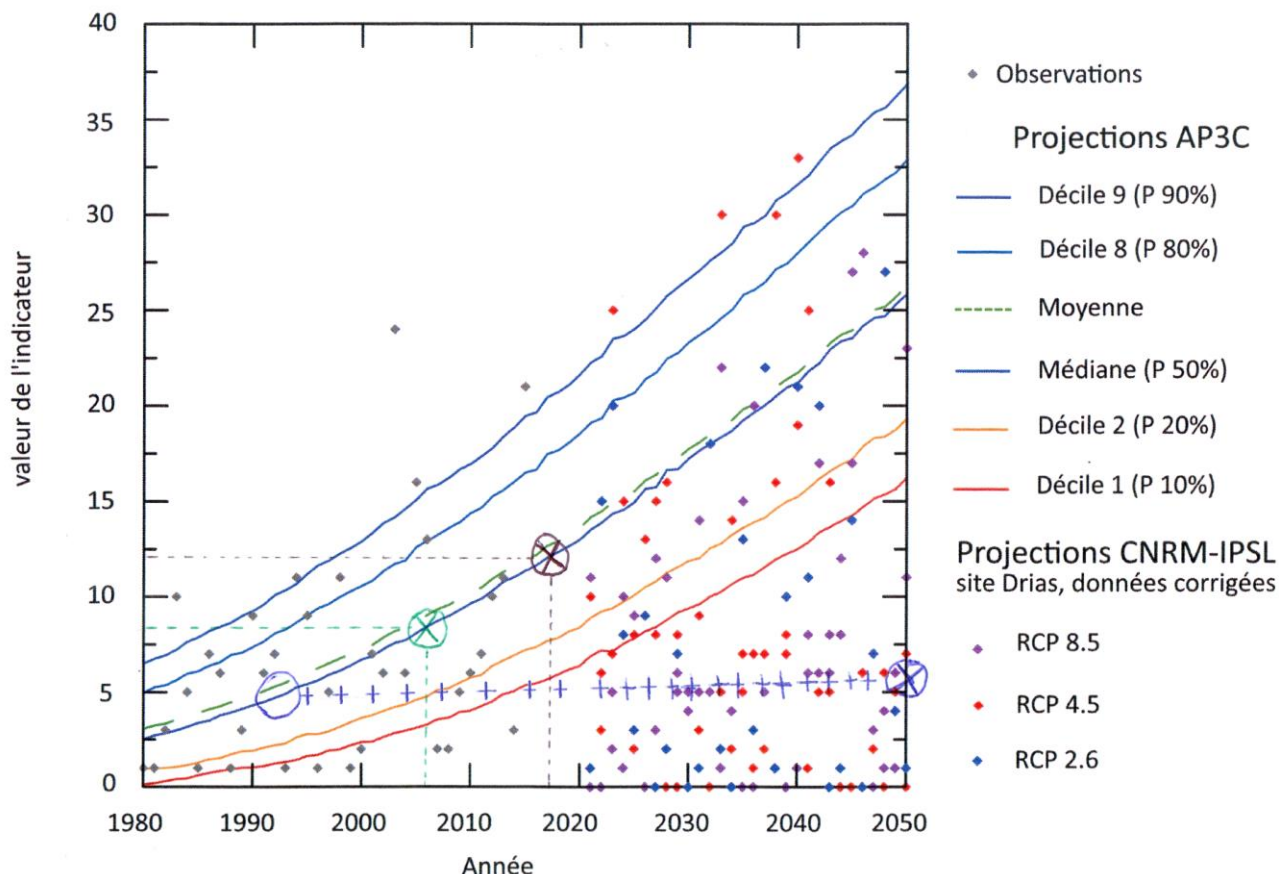
- des observations d'indicateurs agroclimatiques sur la période 1980-2015, représentées point par point en gris,
- des projections, appelées aussi « réanalyses » sur le passé, d'indicateurs agroclimatiques sur la période 1980-2050 produits sur la base des projections climatiques AP3C, représentées par des courbes de distribution statistique (déciles externes, médiane et moyenne),
- des projections d'indicateurs agroclimatiques sur la période 2021-2050, produits sur la base des projections climatiques habituelles, représentées point par point avec code couleur d'identification.

Pour aider à l'interprétation, on a ajouté manuellement :

- Une croix verte cerclée ⊗ qui correspond à la valeur minimale viticole de l'indice de Huglin, soit 1600 avec des cépages de type Müller-Thurgau. Cette valeur était déjà obtenue vers 2005 en valeur médiane, ce qui signifie qu'il était thermiquement possible d'opter pour un cépage type Müller-Thurgau.
- Une croix noire cerclée ⊗ qui correspond à l'indice médian actuel (2017) soit une valeur de 1700. Ceci signifie, qu'aujourd'hui, il est thermiquement possible d'opter pour un cépage type Gamay-Pinot blanc à Limoges.
- Une croix bleue cerclée ⊗ qui correspond à la médiane multi-modèles (5 modèles de DRIAS) de l'indice de Huglin à l'échéance 2050. Elle est de l'ordre de 1500, soit un site qui serait encore non-viticole en 2050. Cette valeur de 1500 est contredite par l'observation, dans la mesure où le site est déjà potentiellement viticole aujourd'hui.
- Des croix bleues qui représentent la valeur médiane multi-modèles (5 modèles de DRIAS) sur 2050-2021, prolongée vers le passé.
- Le recoupement ○ des valeurs médianes entre l'observation et les modélisations physiques de DRIAS se fait vers 1995.

Exemple de projection d'un indicateur d'intensité d'échaudage, station de Lurcy-Levis

Station de Lurcy-Levis (03), alt. 225m



Exemple 2 : Indicateur de l'intensité de l'échaudage du maïs, sur la station de Lurcy-Levis (03), altitude 225m.

Qu'est-ce que l'échaudage ?

Les phénomènes d'échaudage peuvent se produire suite à une attaque parasitaire ou bien lors d'accident climatique. Nous nous intéressons ici à cette seconde catégorie. En cas de forte chaleur (supérieure à 32°C), la circulation d'eau dans la plante est difficile et les réserves accumulées dans les organes végétatifs ne peuvent pas migrer vers les grains. Ceci a pour conséquence de faire chuter leur poids spécifique.

Dans AP3C, pour caractériser le risque d'échaudage, nous mesurons le nombre de jours où la température dépasse les 32°C entre le 1er juin et le 30 septembre.

Comment lire ce graphique ?

Sur le graphique ci-dessus figurent :

- des observations d'indicateurs agroclimatiques sur la période 1980-2015, représentées point par

point en gris,

- des projections, appelées aussi « réanalyses » sur le passé, d'indicateurs agroclimatiques sur la période 1980-2050 produits sur la base des projections climatiques AP3C, représentées par des courbes de distribution statistique (déciles externes, médiane et moyenne),
- des projections d'indicateurs agroclimatiques sur la période 2021-2050, produits sur la base des projections climatiques habituelles, représentées point par point avec code couleur d'identification.

Pour aider à l'interprétation, on a ajouté le même type d'annotations manuelles que précédemment :

- Une croix verte cerclée ⊗ qui représente la valeur médiane de l'indicateur obtenue en 2006. Elle indique, qu'en 2006, 8 jours sont échaudants pour le maïs sur ce site.
- Une croix noire cerclée ⊗ qui correspond à la valeur médiane actuelle (2017). Elle indique que, aujourd'hui, 12 jours sont échaudants pour le maïs sur ce site.
- Une croix bleue cerclée ⊗ qui correspond à la médiane multi-modèles de l'indicateur à l'échéance 2050. Ces projections indiquent que 6 jours seraient échaudants pour le maïs sur ce site à l'horizon 2050, c'est-à-dire 2 fois moins d'échaudage que la situation actuelle, ce qui est en contradiction flagrante avec la tendance observée.
- Des croix bleues qui représentent la valeur médiane multi-modèles sur 2050-2021, prolongée vers le passé.
- Le recoupement ○ des valeurs médianes se fait également vers 1995.

Interprétation spécifique à la non-utilisabilité des projections climatiques habituelles

Pour un usage opérationnel vers un futur pas trop lointain, les projections habituelles souffrent de 2 défauts : un défaut de pente (ou de vitesse d'évolution) et un défaut d'origine des temps (ou de positionnement du « présent »).

Un défaut de pente

Le premier défaut est relativement aisé à comprendre sur les 2 exemples.

Exemple 1, l'évolution de l'indice de Huglin selon les projections habituelles, médiane multi-modèles, est d'environ +50 en 60 ans avec 1450 vers l'année 1990 et 1500 vers l'année 2050. L'évolution réelle minimale de cet indice (observée et utilisée dans les projections AP3C) est d'environ +550 en 60 ans avec 1450 vers l'année 1990 et 2000 vers l'année 2050. On observe donc une erreur d'un facteur 10 sur cet indicateur spécifique à la vigne.

Exemple 2, l'évolution de l'intensité de l'échaudage selon les projections habituelles est d'environ +1 jour en 60 ans avec 5 jours vers 1990 et 6 jours vers 2050. L'évolution réelle minimale de cet indice est d'environ +21 en 60 ans avec 5 jours vers 1990 et 26 jours vers 2050. Il y a donc une erreur d'un facteur 20 sur cet indicateur assez courant en agronomie.

Un défaut d'origine des temps

Le second défaut est plus technique et suppose la compréhension préalable du premier.

Tous les modèles GCM (qui produisent les projections habituelles) calculent « faux » dans le sens où le climat du modèle en un endroit donné ne correspond pas au climat réellement observé. Ce fait est bien connu des modélisateurs du climat et nécessite une correction post-simulation.

Cette correction se fait par comparaison entre le climat observé et le climat simulé sur une période du passé, dite « de référence », qui s'étend généralement sur 20 ou 30 ans. Sur cette période de référence, on établit point par point une courbe de correction (ou une table de correction de manière équivalente) entre le climat observé et le climat simulé. Concrètement, on remplace la moyenne simulée (et les écarts à cette moyenne) par la moyenne observée (et les écarts à cette moyenne). On peut montrer que la correction est optimale au centre de la période de référence. Cette courbe (ou table) de correction est ensuite utilisée pour l'ensemble des projections, y compris en dehors de la période de référence, vers le futur en particulier.

Ce qu'il faut comprendre, ou accepter, c'est que cette correction de distribution de valeurs ne modifie en rien, ou très marginalement, les organisations chronologiques. Plus concrètement, si l'évolution tendancielle (la pente) est erronée au départ, elle reste tout aussi erronée après correction. Or, nous avons vu que le premier défaut des projections habituelles est une très nette sous-estimation de cette pente. Donc, au plus les projections habituelles utilisent une période de référence ancienne, au plus l'erreur de pente aura le temps de se propager jusqu'au présent et ensuite vers le futur.

La plupart des projections récentes (sur scénarios RCP) du site DRIAS, utilisées pour le 5ème rapport du GIEC en 2013-2014, ont une période de référence 1986-2005, centrée sur 1995 soit 23 ans avant 2018. Les projections plus anciennes (sur scénarios SRES), sont reprises par DRIAS mais figurent originellement sur le site Scampei (<http://www.umr-cnrm.fr/scampei/>). Elles furent utilisées pour le 4ème rapport du GIEC en 2007, mais sont néanmoins mentionnées car encore utilisées de nos jours. Elles ont une période de référence 1961-1990, centrée sur 1975.

Une explication technique plus détaillée nous amènerait jusqu'à la nécessité de re-définir ce qu'on entend par « climat », c'est à dire à aborder des travaux théoriques qui sous-tendent la mise au point des projections climatiques d'AP3C. Ce n'est pas ici le propos mais quelques informations sont néanmoins disponibles dans les références du paragraphe suivant.

Une méthode climatique présentée dans des colloques scientifiques internationaux

Concernant la « réputation » de la méthodologie climatique utilisée par AP3C, on peut mentionner qu'elle a été présentée à plusieurs reprises dans des colloques scientifiques internationaux, dont

- Les ateliers « Climat et impacts », organisés par l'IPSL en novembre 2014, programme dans http://geops.geol.u-psud.fr/IMG/pdf/programme_journees_climat_et_impacts_2014.pdf, documentation sur demande
- La conférence climatique préparatoire à la COP21 de l'UNESCO en juillet 2015 (résumé de la présentation en pages 105-106 du livre des résumés http://pool7.kermeet.com/C/ewe/ewex/unesco/DOCS/CFCC_abstractBook.pdf)
- Les ateliers internationaux des « générateurs stochastiques de temps » en mai 2016 (<https://perso.univ-rennes1.fr/valerie.monbet/SWGEN2016/Cailliez.pdf>)

Une méthode à caractère optimiste ou pessimiste ?

Concernant le caractère « optimiste » ou « pessimiste » des projections climatiques AP3C, dont on peut rappeler qu'elles sont basées sur les trajectoires climatiques réellement observées donc nécessairement compatibles avec elles, on peut répondre oui et non !

Les projections climatiques de AP3C sont effectivement « pessimistes » dans la mesure où elles tiennent compte d'une élévation tendancielle de la température réellement observée, environ deux fois plus rapide en moyenne annuelle que celle décrite par les projections habituelles.

Mais les projections climatiques de AP3C sont aussi très « optimistes » dans le sens où elles ne tiennent pas compte de la (très probable) accélération de l'évolution que le climat global aura à subir dans les prochaines décennies, accélération qui s'est peut-être déjà amorcée. On peut citer un certain nombre de causes de cette accélération, causes qui sont désormais finement analysées dans les

modèles physiques du climat qui sont effectivement conçus pour répondre à la question « Pourquoi ? » mais pas directement à la question « Comment ? » (au contraire du modèle statistique utilisé par AP3C) :

- Relargage de la chaleur temporairement stockée dans l'Océan Pacifique tropical pendant « le Hiatus » 1998-2013, soit une période pendant laquelle le Changement Climatique a semblé faire une pause.
- Politiques de qualité de l'air des pays émergents, réduisant l'effet « parasol ». Cet effet parasol est lié à l'émission incessante de grandes quantités de poussières de nature essentiellement industrielle qui interceptent une partie non négligeable du rayonnement solaire incident.
- Début de désagrégation de la banquise antarctique liée à l'accélération du courant marin circumpolaire.
- Emission de gaz à effet de serre (CO₂) toujours en accélération, avec un record à nouveau probablement battu en 2017.
- ...

Contacts :

- Vincent CAILLIEZ, Climatologue, Chambre d'agriculture de la Creuse,
vincent.cailliez@creuse.chambagri.fr
- Marie TISSOT, Coordinatrice du projet AP3C, SIDAM,
marie.tissot.sidam@aura.chambagri.fr

AP3C, Mai 2018