STRATÉGIE D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE GRAND-OUEST

PARTIE 2 : ANALYSES DES SIMULATIONS CLIMATIQUES

Table des matières de la partie 2

1 INTRODUCTION 26
2 ÉLÉMENTS DE MÉTHODOLOGIE 28
2.1 GÉNÉRALITÉS SUR LA MODÉLISATION CLIMATIQUE ET LES SCÉNARIOS D'ÉMISSIONS 28
2.1.1 LA COMPLEXITÉ DE LA MODÉLISATION DU CLIMAT 28
2.1.2 LA NÉCESSITÉ D'ENVISAGER PLUSIEURS SCÉNARIOS D'ÉMISSIONS 28
2.1.3 LES SCÉNARIOS DU GIEC 29
2.2 LE MODÈLE ARPÈGE-CLIMAT 29
2.3 CHOIX DES SCÉNARIOS ET DES HORIZONS TEMPORELS 30
2.3.1 CHOIX DES SCÉNARIOS 30
2.3.2 CHOIX DES HORIZONS TEMPORELS 30
2.4 PARAMÈTRES RETENUS POUR L'ÉTUDE 31
2.5 L'INCERTITUDE : UN FACTEUR INHÉRENT AU CHANGEMENT CLIMATIQUE 34
3 RÉSULTATS DES SIMULATIONS ET ANALYSES DES PARAMÈTRES CLIMATIQUES 36
3.1 PARAMÈTRES DE TEMPÉRATURES 37
3.1.1 TEMPÉRATURES MOYENNES ANNUELLES 37
3.1.2 MOYENNE SAISONNIÈRE DES TEMPÉRATURES MOYENNES HIVERNALES (DÉCEMBRE-JANVIER-FÉVRIER) 39
3.1.3 MOYENNE SAISONNIÈRE DES TEMPÉRATURES MOYENNES ESTIVALES (JUIN-JUILLET-AOÛT) 42
3.2 PARAMÈTRES DE PRÉCIPITATIONS 42
3.2.1 MOYENNES ANNUELLES DES PRÉCIPITATIONS 42
3.3 MOYENNE SAISONNIÈRE DES PRÉCIPITATIONS EN HIVER 47
3.3.1 MOYENNE SAISONNIÈRE DES PRÉCIPITATIONS EN ÉTÉ 48
3.4 PARAMÈTRES DE CANICULE ET SÉCHERESSE 49
3.5 MOYENNE ANNUELLE DU NOMBRE DE JOURS OÙ LES PRÉCIPITATIONS ATTEIGNENT AU MOINS 10 MM 49
4 BIBLIOGRAPHIE 55

1 Introduction

La politique d'adaptation au changement climatique caractérise une démarche proactive visant à prendre des dispositions pour limiter les impacts sociaux, environnementaux et économiques du changement climatique. L'adaptation vise à augmenter la résilience des systèmes impactés et à saisir les éventuelles opportunités liées au changement climatique.

Le diagnostic des vulnérabilités au changement climatique constitue la première étape de toute démarche d'adaptation. En amont, l'analyse du climat futur représente un prérequis à ce diagnostic des vulnérabilités. Elle permet en effet de dresser un état des lieux prospectifs des connaissances actuelles sur l'évolution des paramètres climatiques à divers horizons temporels et en fonction de trois grands types de scénarios d'évolution socio-économiques. L'évolution du climat futur conditionne en effet les facteurs de la vulnérabilité future des territoires.

Afin d'appuyer les démarches inter-régionales d'adaptation, la DATAR a missionné Météo-France pour mettre à disposition des SGAR une étude cartographique de l'évolution de plusieurs paramètres climatiques en France métropolitaine, en proposant un découpage en quatre grandes zones, dont la zone Grand Ouest, comprenant les régions Bretagne, Pays de la Loire et Centre.

En résumé, les principaux points que nous pouvons retenir pour le Grand Ouest, suite à l'analyse des projections climatiques de Météo-France, sont :

À l'horizon 2030 :

- **Une hausse des températures moyennes annuelles** (comprise entre 0,8 et 1,4°C selon les scénarios) par rapport à la température moyenne de référence (période de référence : 1971-2000). Cette hausse serait plus marquée en été, avec des écarts de température par rapport à la période de référence pouvant atteindre 1,8°C dès 2030 sur la Vendée, la Loire Atlantique et le Morbihan.
- **Une diminution modérée mais généralisée des précipitations annuelles moyennes, et une augmentation des épisodes de sécheresses** (caractérisés par le temps passé en sécheresse exprimé en pourcentage) : le territoire du Grand Ouest pourrait passer de 10 à 30% du temps en état de sécheresse, avec des pics localisés atteignant 40%, en particulier en Bretagne.

À l'horizon 2050 :

- **Une poursuite de la hausse des températures moyennes,** avec des écarts entre les scénarios et les saisons qui se creusent. En été, les écarts à la référence pourraient atteindre 3°C dans la zone d'influence de la vallée de la Loire et au sud de celle-ci (scénarios A1B et A2).

- **Un accroissement des disparités saisonnières et territoriales dans la diminution des précipitations moyennes** : baisse plus marquée en été, affectant plus particulièrement la Bretagne et la frange littorale du territoire.
- **Une hausse du nombre de jours de canicule**, avec des contrastes territoriaux significatifs : les territoires au sud d'une ligne allant du Morbihan à l'Eure et Loir étant bien plus impactés que les autres.
- **Une aggravation des sécheresses** : sur certaines zones géographiques, le pourcentage de temps passé en état de sécheresse pourrait s'élever à 50% selon les scénarios les plus pessimistes. La Bretagne et les deux tiers sud de la région Centre semblent particulièrement impactés.

À l'horizon 2080 :

- **Une aggravation des tendances précitées pour les températures moyennes** : hausse des températures moyennes estivales jusqu'à +5,5°C sur certains territoires dans le scénario le plus pessimiste (le sud de la région Centre et les territoires sous influence de la Loire apparaissant particulièrement touchés) ; tandis qu'en hiver, l'élévation des températures moyennes serait limitée entre 1,4 et 3°C environ selon les scénarios.
- **Une diminution plus significative des précipitations annuelles moyennes, et une accentuation des disparités territoriales**, la Vendée et les deux tiers sud de la région Centre étant les plus touchés. Cette diminution serait d'autant plus marquée en été, la frange littorale – en particulier la Bretagne – étant davantage impactée que l'intérieur des terres.
- **Une hausse significative du nombre de jours de canicules**, les données faisant apparaître une exposition significative des territoires sous influence de la Loire, tandis que les zones peu exposées au nord de la Bretagne se réduisent considérablement.
- **Une généralisation des périodes de sécheresse sur le territoire**, avec, dans le scénario le plus optimiste, 40% du temps passé en état de sécheresse sur une majeure partie du territoire, ce chiffre s'élevant à 60 voire 80% dans les scénarios pessimistes. Le sud de la région Centre et les Côtes d'Armor semblent particulièrement touchés.

Les cartes, dont certaines sont détaillées ci-après, permettent de dégager des tendances claires d'évolution du climat dans notre zone d'étude. Elles doivent néanmoins être utilisées avec précaution, de nombreuses restrictions s'appliquant quant à la précision spatiale et temporelle des paramètres présentés.

2 Éléments de méthodologie

2.1 Généralités sur la modélisation climatique et les scénarios d'émissions

2.1.1 La complexité de la modélisation du climat

Modéliser le système climatique est un exercice complexe. Il s'agit en effet de mettre en équation l'évolution d'un grand nombre de paramètres relatifs à l'atmosphère et aux océans, ainsi qu'à la géographie des territoires (végétation, cycle de l'eau, occupation des sols, etc.).

Cette mise en équation du système climatique s'est faite de façon progressive au cours des quarante dernières années, au fur et à mesure de l'évolution des connaissances et des calculateurs informatiques. Elle nécessite des puissances de calculs considérables. Il faut ainsi une quarantaine d'heures de calcul sur un super-processeur pour simuler l'évolution du climat sur un an.

Les modèles climatiques utilisés aujourd'hui sont capables de reproduire aux échelles mondiale et régionale aussi bien les climats passés (paléoclimats connus notamment via les carottes glaciaires) que le climat récent (validé par les relevés météorologiques depuis de début de l'ère industrielle).

C'est sur la base de la connaissance de l'évolution passée et de l'état actuel du climat qu'il devient possible de modéliser son évolution future, dans le but de s'y adapter. Les scientifiques du GIEC[4] ont montré que :

- le changement climatique en cours est corrélé à l'augmentation de la concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère, le principal étant le CO2 ;
- l'ampleur du changement climatique sera liée à la quantité de gaz à effet de serre émise par des activités humaines.

Dès lors, il apparaît nécessaire, pour modéliser le changement climatique, d'intégrer les émissions de gaz à effet de serre aux modèles climatiques, la variation de ce paramètre selon différents scénarios d'émission se traduisant par une variation des projections climatiques.

2.1.2 La nécessité d'envisager plusieurs scénarios d'émissions

Les scientifiques du GIEC ont défini différents scénarios d'évolution socioéconomique à l'échelle mondiale, conditionnant l'évolution des émissions de GES par les activités humaines. Ces scénarios d'évolution dépendent, pour l'essentiel, de trois paramètres :

[4] Groupement Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (http://www.ipcc.ch/).

- L'évolution démographique : chaque homme génère en effet une certaine quantité de CO2 en fonction de son mode de vie et du niveau de développement du pays dans lequel il vit ;
- L'évolution des politiques énergétiques et en particulier du mix énergétique (répartition entre énergies fossiles et énergies renouvelables dans la production et la consommation d'énergie) ;
- L'évolution des contrastes de développement Nord-Sud.

2.1.3 Les scénarios du GIEC

Dans son rapport spécial sur les scénarios d'émissions (SRES, 2000)[5], le GIEC distingue quatre grandes familles de scénarios (A1, A2, B1 et B2) s'appuyant sur différentes hypothèses d'évolution démographique et socioéconomique à l'horizon 2100.

Les scénarios les plus contrastés sont les scénarios A2, dit pessimiste, et B2, dit optimiste (voir encadré ci-dessous). Ces scénarios constituent des références permettant de borner l'incertitude quant à l'évolution future du climat. Ils se distinguent des scénarios A1 et B1 par une plus faible mondialisation de l'économie.

« Le scénario A2 correspond à un développement économique avec une orientation principalement régionale et une forte croissance démographique. Le recours à l'énergie n'est brimé par aucune contrainte forte, et les émissions de gaz à effet de serre sont très importantes, aboutissant à une concentration en gaz carbonique de 850 ppm environ en 2100, pour 280 ppm au milieu du XIXe siècle, ce qui situe ce scénario dans la classe haute des scénarios du GIEC, sans qu'il constitue pour autant un cas extrême.

Le scénario B2 correspond à des émissions plus faibles de gaz à effet de serre, en raison d'orientations plus fortes vers la protection de l'environnement et l'équité sociale, une moindre croissance démographique et une évolution technologique modérée. Certaines mesures partielles de réduction des gaz à effet de serre et des aérosols sont prises en compte, en réponse à des préoccupations environnementales d'ordre local ou régional, telles que les problèmes de qualité de l'air. Le résultat est une concentration en gaz carbonique de 600 ppm environ en 2100, pour 280 ppm au milieu du XIXe siècle, ce qui situe ce scénario dans la classe basse des scénarios du GIEC. »

(Source : ONERC)

2.2 Le modèle Arpège-Climat

Pour cette étude commanditée par la DATAR, le Centre National de Recherche Météorologique a réalisé des projections du climat futur à l'échelle française à partir de son modèle climatique global nommé ARPEGE-Climat. On note qu'il constitue l'un des modèles climatiques de référence retenus par le GIEC pour ses exercices de simulations.

[5] http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-fr.pdf

Ce modèle climatique, offre une **résolution d'environ 50 km pour la France**. Cette résolution permet donc de disposer de projections climatiques à échelle régionale, particulièrement utiles à l'échelle du Grand Ouest.

2.3 Choix des scénarios et des horizons temporels

2.3.1 Choix des scénarios

Pour cette étude interrégionale, trois des quatre scénarios d'émission du GIEC ont été retenus : B1, A1B, A2.

Pour chacun de ces scénarios, le modèle Arpège climat a produit une simulation climatique différente pour le XXIe siècle : optimiste, médiane et pessimiste.

LES TROIS SCÉNARIOS DU GIEC SUR LESQUELS S'APPUIE L'ÉTUDE DE MÉTÉO-FRANCE[6]

Scénario B1 dit « optimiste »	**Considéré comme le scénario le plus optimiste** en termes d'émissions de GES, il décrit un monde qui connaîtrait un pic de la population mondiale au milieu du siècle mais qui déclinerait ensuite et où l'accent serait mis sur des solutions mondiales orientées vers une viabilité économique et environnementale et sur une évolution plus rapide des structures économiques vers une économie de services et d'information.
Scénario A1B dit « médian »	**Scénario intermédiaire**, il suppose une croissance économique rapide s'appuyant notamment sur une orientation vers des choix énergétiques équilibrés entre énergies fossiles et énergies renouvelables et nucléaire ; et suppose l'introduction de nouvelles technologies plus efficaces.
Scénario A2 dit « pessimiste »	**Ce scénario plus pessimiste** décrit un monde très hétérogène caractérisé par une forte croissance démographique, un faible développement économique et de lents progrès technologiques.

2.3.2 Choix des horizons temporels

Pour cette étude, trois horizons temporels distincts ont été retenus pour les simulations climatiques : 2030, 2050 et 2080. En pratique, chaque horizon est moyenné sur une période de trente ans centrée sur les années 2030 (2016/2045), 2050 (2036/2065) et 2080 (2066/2095).

Au final, pour chaque horizon temporel, les résultats des simulations ont été cartographiés pour chacun des trois scénarios du GIEC.

[6] GIEC, 2007, Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, …, 103 pages. Page 44 http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_fr.pdf

2.4 Paramètres retenus pour l'étude

Dans le cadre de l'étude de Météo-France, 22 indicateurs climatiques ont été analysés, dont 18 considérés comme des indicateurs standards et 4 comme des indicateurs élaborés par les services météorologiques.

TABLEAU 3 - LISTE DES INDICATEURS (SOURCE : MÉTÉO-FRANCE)

Paramètres standard
Moyenne annuelle des températures moyennes
Moyenne saisonnière des températures moyennes (juin - juillet - août)
Moyenne saisonnière des températures moyennes (septembre - octobre - novembre)
Moyenne saisonnière des températures moyennes (mars - avril - mai)
Moyenne saisonnière des températures moyennes (décembre - janvier - février)
Moyenne saisonnière des températures maximales (juin - juillet - août)
Moyenne saisonnière des températures maximales (septembre - octobre - novembre)
Moyenne saisonnière des températures maximales (mars - avril - mai)
Moyenne saisonnière des températures maximales (décembre - janvier - février)
Moyenne saisonnière des températures minimales (juin - juillet - août)
Moyenne saisonnière des températures minimales (septembre - octobre - novembre)
Moyenne saisonnière des températures minimales (mars - avril - mai)
Moyenne saisonnière des températures minimales (décembre - janvier - février)
Moyenne annuelle des nombres de jours de gel
Moyenne annuelle des nombres de jours où les précipitations atteignent au moins 10 mm
Moyenne annuelle des précipitations d'octobre à mars
Moyenne annuelle des précipitations d'avril à septembre
Moyenne annuelle des précipitations

Paramètres élaborés
Moyenne annuelle des nombres de jours avec température maximale sup. ou égales à 30°C
Nombre cumulé de jours sur 30 ans présentant un caractère de canicule
Sécheresse : écart à la référence du nombre de jours de sécheresse
Moyenne annuelle des précipitations efficaces

Bien que l'ensemble de ces indices offre des données pertinentes sur l'évolution climatique attendue, nous avons retenu pour l'étude MEDCIE Grand Ouest 9 d'entre eux caractérisant les 5 types de paramètres climatiques. La liste des paramètres étudiés est présentée ci-après.

Tableau 4 - Liste des paramètres retenus pour l'analyse

Types de paramètres	Paramètres/Indices cartographiées	Unités des indices
Paramètres de températures	• Moyenne de températures annuelles moyennes • Moyennes saisonnières des températures moyennes annuelles Décembre/Janvier/Février • Moyennes saisonnières des températures moyennes annuelles Juin/Juillet/Août	Ecart à la référence en degrés
Paramètres de précipitations	• Moyenne annuelle des précipitations • Moyenne annuelle des précipitations en été • Moyenne annuelle des précipitations en hiver	Ecart à la référence en pourcentage
Paramètre de fortes précipitations	• Moyenne annuelle des nombres de jours où les précipitations atteignent au moins 10 mm	Nombre de jours
Paramètre de canicule	• Nombre cumulé de jours sur 30 ans présentant un caractère de canicule	Nombre de jours
Paramètre de sécheresse	• Temps passé en situation de sécheresse sur les périodes de 30 ans	Temps en pourcentage

Les paramètres de températures, de précipitations et de fortes précipitations sont des indicateurs dits standards, alors que les paramètres de canicule et de sécheresse sont des indicateurs élaborés par Météo-France.

Ces différents types de paramètres apportent chacun des informations complémentaires et pertinentes pour la région du Grand Ouest et pour les thématiques qui seront étudiées par la suite. Plus précisément :

- **Les paramètres de températures** (moyennes annuelle, hivernale, estivale) permettent de présenter une vision générale du climat futur. Ils sont particulièrement pertinents dans l'étude de l'évolution de certains secteurs qui dépendent directement de ces indicateurs, tels que le tourisme, l'agriculture, ou l'habitat ;
- **Les paramètres de précipitations et de fortes précipitations** seront particulièrement pertinents dans l'étude des secteurs/thématiques où l'eau tient une place centrale. On pense notamment à l'agriculture ou la forêt, mais également au tourisme et à la production énergétique ;
- **Les paramètres canicule et sécheresse** sont particulièrement pertinents pour repérer les territoires qui pourront être considérés comme les plus vulnérables notamment en comparaison d'événements survenus dans le passé. Ces indicateurs seront très utiles pour l'étude de secteurs tels que l'agriculture ou encore la santé.

Pour chacun de ces indices, 19 représentations cartographiques sont fournies, avec :

- Une cartographie de la situation climatique de référence sur la période 1971-2000 ;
- Pour chacun des scénarios du GIEC et pour les trois horizons temporels, 9 cartographies de la situation moyenne ;
- Pour chacun des scénarios du GIEC et pour les trois horizons temporels, 9 cartographies de l'évolution de la situation par rapport à la climatologie de référence.

N.B. : Contrairement aux paramètres de températures, de précipitations et de fortes précipitations qui sont représentés par les trois jeux de données cartographiques de situation (scénario et horizon) et d'évolution, les paramètres élaborés de canicule et de sécheresse ne disposent que de 9 cartographies :

- Pour le paramètre de canicule, seules les 9 cartographies d'évolution ont été tracées car la méthode des deltas n'a pu s'appliquer pour créer des cartes de situation ;
- Pour le paramètre de sécheresse, seules **9 cartographies de situation** des trois scénarios pour les trois horizons de l'étude ont été tracées.

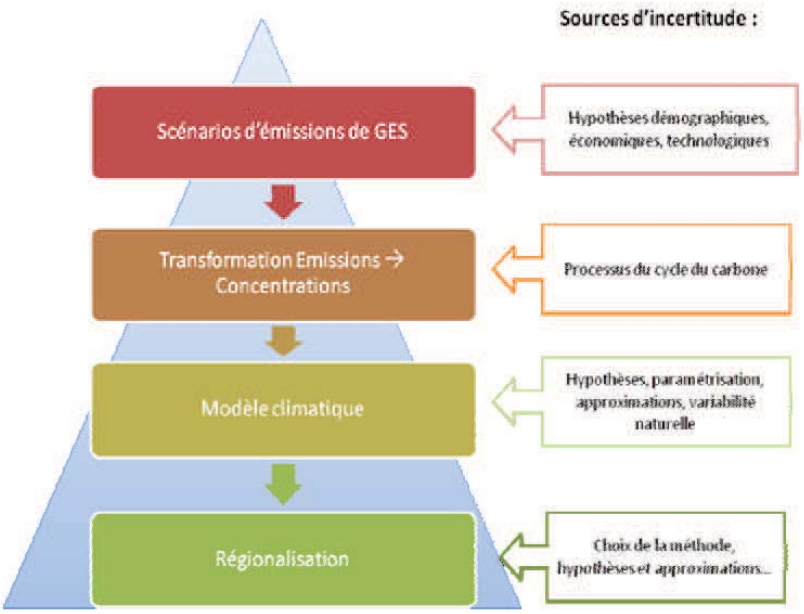
Ce sont les cartes de d'évolution de la situation par rapport à la climatologie de référence qui seront analysées pour les paramètres de températures, de précipitations, de fortes précipitations et de canicule alors que pour le paramètre de sécheresse, ce sont les cartes de situation moyenne qui seront interprétées.

2.5 L'incertitude : un facteur inhérent au changement climatique

L'ensemble du processus de simulation du climat futur est soumis à des incertitudes significatives, dont les origines sont décrites ci-après :

- **Incertitude liée aux scénarios socioéconomiques :** ils reflètent des trajectoires possibles de développement économique, de croissance démographique, de consommation et d'un ensemble d'autres facteurs pour lesquels les projections à long terme reposent sur des hypothèses lourdes et difficilement vérifiables. C'est pour tenir compte du degré élevé d'incertitude que les 3 scénarios (B1, A1B et A2), reflétant des trajectoires différentes, sont utilisés dans cette étude. Ils permettent ainsi de rendre compte du champ des possibles en termes d'évolution socioéconomiques et donc d'évolution des émissions de GES.
- **Incertitude portant sur le lien entre émissions et concentration atmosphérique en CO2 :** la façon dont les émissions de GES affectent les concentrations atmosphériques de ces gaz fait l'objet de modèles qui comportent également des incertitudes : en 2100, les modèles de cycle du carbone projettent une concentration en CO2 atmosphérique comprise entre 540 et 970 ppm selon les scénarios SRES. La fourchette d'incertitude inhérente aux modèles est comprise entre 490 et 1260 ppm (Houghton et al. 2001) ;
- **Incertitude liée aux modèles climatiques utilisés :** bien que des progrès considérables aient été réalisés dans le domaine de la modélisation climatique, avec des modèles de plus en plus complexes et intégrant de plus en plus de paramètres, l'incertitude reste importante, comme en témoignent les divergences de résultats selon les modèles utilisés. De plus, **aux horizons proches, la variabilité naturelle est à ce jour difficilement captée, ce qui explique notamment qu'à l'horizon 2030, les simulations réalisées pour des scénarios « optimiste » et « médian » (B1 et A1B) puissent, pour certains paramètres, présenter une évolution plus marquée que dans des scénarios plus pessimistes**. Par ailleurs, si l'évolution d'un paramètre tel que la température est aujourd'hui relativement bien expliqué par les modèles, il y a davantage d'incertitudes concernant l'évolution des précipitations, ou encore les extrêmes climatiques. Ici, seul un modèle est pris en compte, ce qui constitue une limite importante ;
- **Incertitude liée à la descente d'échelle :** enfin, on retrouve une incertitude à chaque étape de la descente d'échelle (passage de projections globales à des projections de maille régionale), qui porte tant sur le choix de la méthode (dynamique/statique) que sur les hypothèses posées.

FIGURE 7 - UNE CASCADE D'INCERTITUDES (ADAPTÉ DE BOÉ, 2007)



Dans ce contexte d'incertitudes, la recherche sur le développement des modèles et leur efficacité apparaît indispensable. En effet, il est encore extrêmement difficile de reproduire la variabilité naturelle du climat par le biais de systèmes de simulations et les connaissances sur les projections décennales méritent encore d'être approfondies. C'est d'ailleurs dans ce cadre que le Service de la Recherche du Commissariat Général au Développement Durable du MEDDTL a lancé dès 1999 un programme – Gestion et Impacts du Changement Climatique (GICC) – visant particulièrement à développer les connaissances pour développer l'aide à la décision en matière de réduction des impacts et d'adaptation au changement climatique.

Toutefois, de grandes tendances d'évolution se dessinent, quel que soit le scénario d'émissions adopté : élévation des températures moyennes annuelles, augmentation des contrastes saisonniers pour les précipitations, etc. S'il est important de prendre en compte l'incertitude, celle-ci ne doit donc pas constituer un frein à l'action pour l'adaptation.

3 Résultats des simulations et analyses des paramètres climatiques

Remarques préalables sur les résultats obtenus et leur interprétation

Dans cette étude, il s'agit de faire ressortir des tendances d'évolution du climat pour le siècle à venir. Les résultats présentés ci-après ne peuvent donc pas être interprétés comme des prévisions climatiques exactes pour des points géographiques précis.

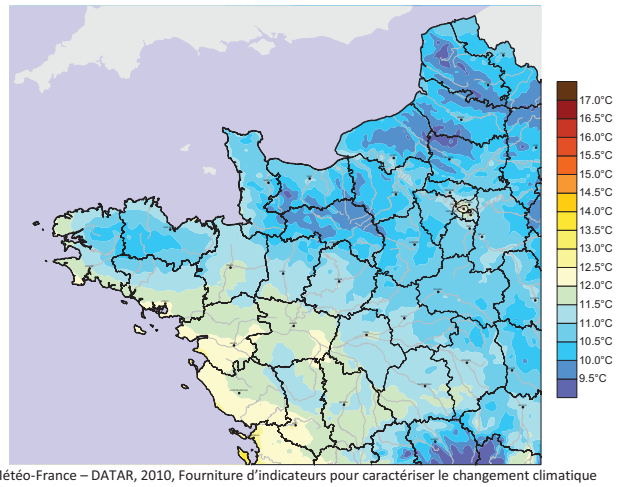
C'est pour cela que les données cartographiées sont présentées pour l'ensemble de la zone du Grand Ouest et non pas par entités administratives. Les tendances ne sont pas calées en fonction de ces limites. Il est donc important de considérer ces résultats avec prudence, notamment dans la recherche d'informations spatiales ou temporelles plus précises, même si les données peuvent être interprétées à l'échelle régionale et départementale.

3.1 Paramètres de températures

3.1.1 Températures moyennes annuelles

Rappel : Le scénario de référence utilisé pour l'évaluation des anomalies est basé sur les moyennes recensées de la période 1971-2000 et l'évolution des températures par rapport à la climatologie de référence est exprimée par des cartes d'écart à la référence, exprimé en degrés.

Scénario de référence (1971-2000)



Météo-France – DATAR, 2010, Fourniture d'indicateurs pour caractériser le changement climatique

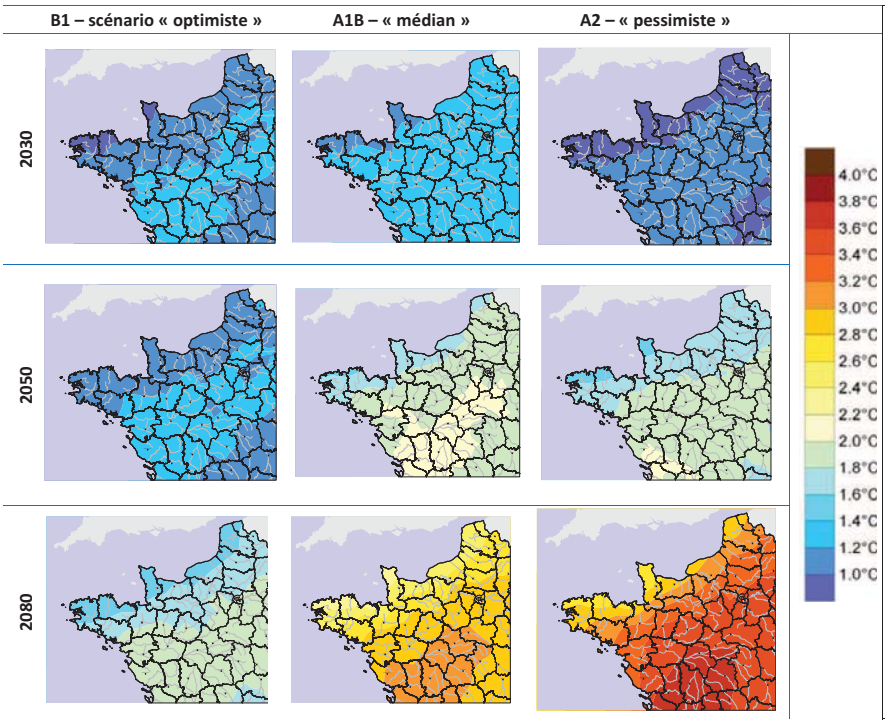
Analyse des tendances de températures

Cette carte présente les températures moyennes de la période 1971-2000, obtenues par le calcul de la moyenne entre le maximum et le minimum des températures journalières. Elle représente les températures moyennes quotidiennes 2010 moyennées sur l'année complète.

Sur la période de référence, on remarque que le Grand Ouest présente une certaine homogénéité en termes de températures moyennes annuelles, comprises entre 10°C à 12,5°C sur l'ensemble du territoire. Cette homogénéité s'explique, pour l'essentiel, par un relief relativement peu marqué sur l'ensemble du territoire.
L'influence océanique et la présence du Massif Armoricain en Bretagne explique les quelques contrastes de température entre le littoral et l'intérieur des terres.

Ces données, qui constituent le référentiel de base pour les comparaisons avec les évolutions projetées, seront particulièrement intéressantes pour l'étude des thématiques tourisme et santé, mais également pour l'ensemble des autres thèmes à enjeux comme la ressource en eau, l'agriculture / pêche / bois, la biodiversité, ou encore la production d'énergie.

Moyenne des températures annuelles moyennes : écart à la référence en degrés aux horizons 2030-2050-2080



Evolution attendue des températures moyennes annuelles dans le Grand Ouest

Quel que soit le scénario, les données confirment une tendance générale à l'augmentation des températures moyennes sur l'ensemble du Grand Ouest avec un réchauffement plus rapide du littoral au sud de la Bretagne et dans la vallée de la Loire.

L'évolution des températures moyennes semble moins importante dans la péninsule bretonne que dans le reste de la zone.

Selon les différents scénarios en 2030, les écarts des températures pourraient s'échelonner entre 0 et 1,4°C. Les écarts se creusent dès l'horizon 2050 notamment pour les scénarios A1B et A2 avec des écarts à la référence de l'ordre de 1,8 à 2,2°C alors que le scénario B1 dit optimiste reste dans des écarts relativement similaires à ce que l'on observe en 2030.

C'est à l'horizon 2080 que les tendances d'augmentation des températures sont les plus importantes. Pour le scénario B1, l'augmentation ne dépasse pas 2°C. Les deux autres scénarios présentent des écarts plus importants, compris entre 2,2 et 3,8°C environ. À cet horizon, trois ensembles géographiques se distinguent graduellement : les deux tiers sud de la région Centre, où le réchauffement serait de 3 à 3,8°C ; le reste de la vallée de la Loire entre 2,8 et 3,2 ; et enfin la péninsule bretonne entre 2,2 et 3°C.

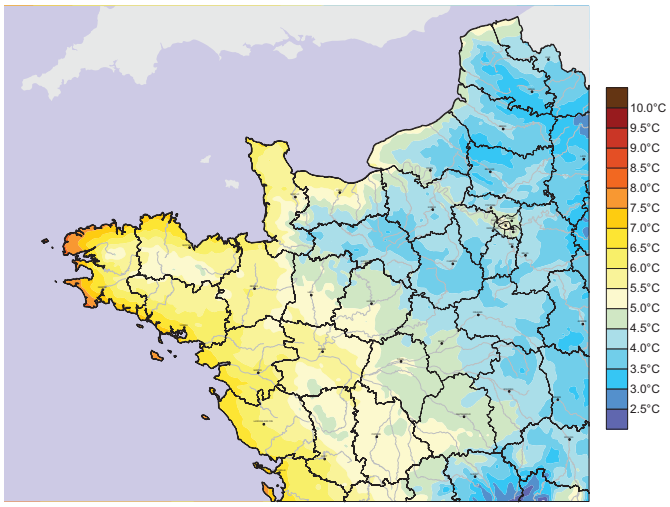
En conclusion, il est important de souligner que l'augmentation des températures n'empêchera pas la survenue de phénomènes exceptionnels tels que les vagues de froid, ce qui implique des défis importants en termes d'adaptation.

Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010.

3.1.2 Moyenne saisonnière des températures moyennes hivernales (décembre-janvier-février)

Rappel : Le scénario de référence utilisé pour l'évaluation des anomalies est basé sur les moyennes recensées de la période 1971-2000 et l'évolution des températures par rapport à la climatologie de référence est exprimée par des cartes d'écart à la référence en degrés.

Scénario de référence (1971-2000)

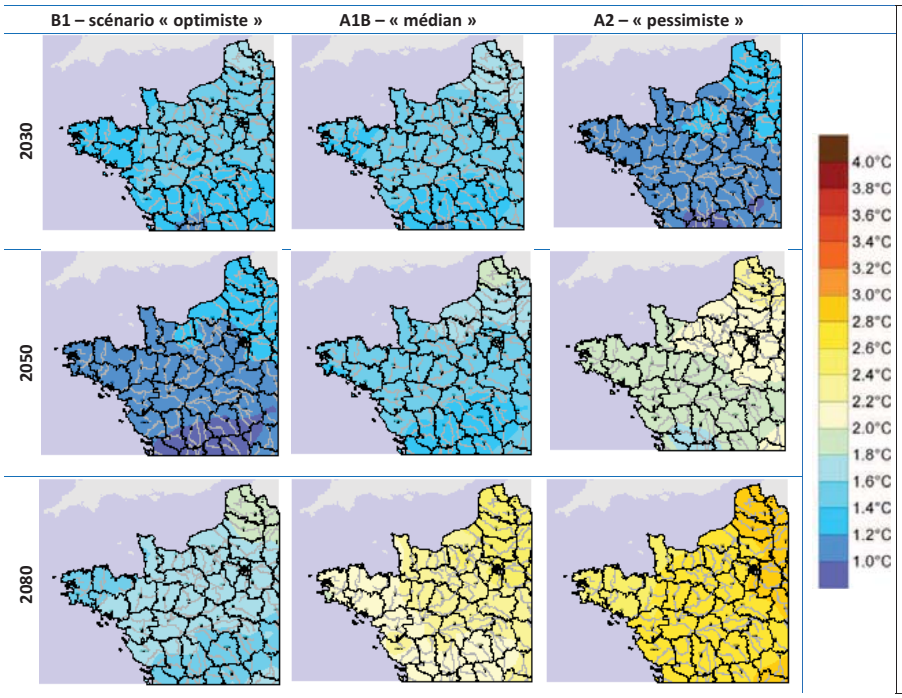


Analyse des tendances des températures moyennes hivernales

Les données de températures saisonnières permettent de déceler des particularités dans l'évolution climatique des saisons.

Les données moyennes de températures hivernales actuelles permettent déjà de cibler certains espaces géographiques différenciés : la zone littorale présente les températures les plus élevées, de l'ordre de 6 ,5 à 8,5°C ; le nord-est de la région Centre présentant les moyennes les plus basses (jusqu'à 3,5°C environ). On observe donc une gradation décroissante des températures du littoral vers l'intérieur, atténuée le long de la vallée de la Loire. Elle est là encore, largement liée à l'influence du climat océanique (la pointe bretonne dispose de la moyenne hivernale la plus forte).
La moyenne des températures hivernales est un indicateur pertinent, notamment pour la thématique « santé » : des températures hivernales plus douces favoriseraient par exemple la survie en hiver de certains insectes vecteurs de maladies.

Moyennes saisonnières des températures moyennes hivernales (décembre-janvier-février) : écart à la référence en degré aux horizons 2030-2050-2080



Evolution attendue des températures moyennes hivernales dans le Grand Ouest

A l'horizon 2030, les données font état d'une hausse possible des températures moyennes hivernales annuelles pouvant atteindre 1,6°C selon les scénarios. Les scénarios B1 et A1B semblent être les plus pessimistes, bien que l'on ne note pas de différence trop significative entre les projections.

Les scénarios se différencient plus clairement à partir de 2050. De manière générale, les écarts de températures seraient compris entre 0,8 et 2,2°C selon les scénarios, le scénario A2 étant le plus pessimiste.

À l'horizon 2080, on peut s'attendre à une hausse de températures moyennes hivernales par rapport à la période de référence comprise entre 1,4 et 3°C. Ici aussi, le scénario A2 se détache, en présentant les écarts les plus importants.

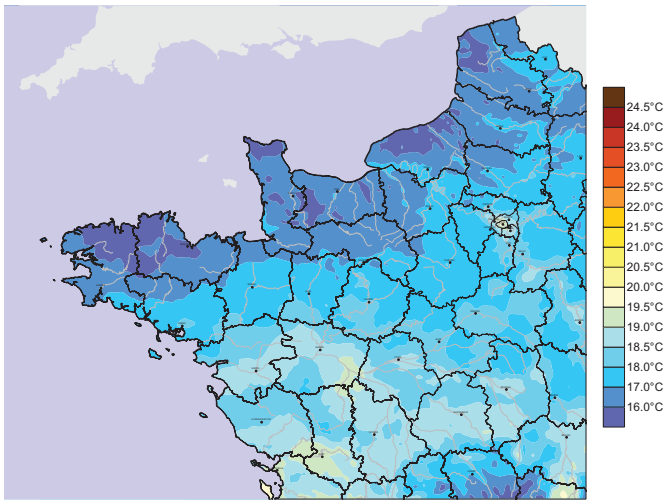
De façon globale, on note que les écarts à la référence sont moindres sur la péninsule bretonne, qui présente les températures les plus élevées selon le scénario de référence. On peut donc s'attendre à un relatif rééquilibrage des moyennes des températures hivernales à l'échelle de la zone d'étude.

Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010.

3.1.3 Moyenne saisonnière des températures moyennes estivales (juin-juillet-août)

Rappel : Le scénario de référence utilisé pour l'évaluation des anomalies est basé sur les moyennes recensées de la période 1971-2000 et l'évolution des températures par rapport à la climatologie de référence est exprimée par des cartes d'écart à la référence, exprimé en degrés.

Scénario de référence (1971-2000)



Météo-France – DATAR, 2010, Fourniture d'indicateurs pour caractériser le changement climatique

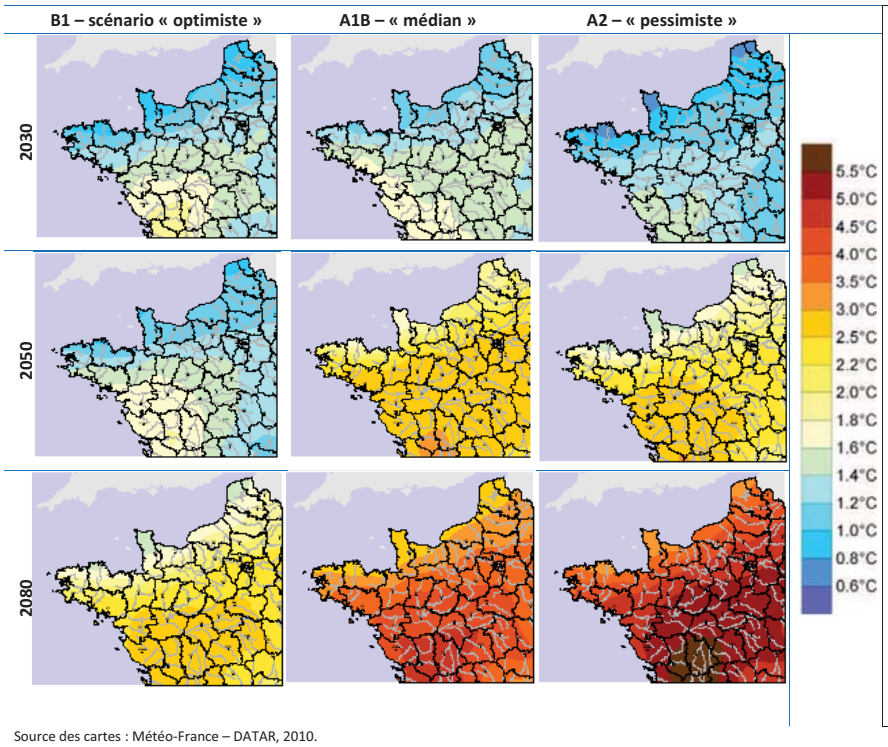
Analyse des tendances d'évolution des températures moyennes estivales

Comme pour les données concernant les températures hivernales, les données saisonnières estivales permettent de décrire et de comparer l'évolution du climat sur une période pertinente, en particulier pour les activités liées au tourisme, le confort thermique estival, ou encore à la gestion de la ressource en eau.

Sur la période de référence, deux espaces se distinguent :

- Le nord de la péninsule bretonne, qui présente les températures les plus fraiches (localement inférieures à 16°C) ;
- La vallée de la Loire, qui forme un « couloir » - notamment dans sa partie avale – où la moyenne des températures estivales est relativement plus élevée que sur le reste du territoire (jusqu'à environ 19,5 °C).

Moyennes saisonnières des températures moyennes estivales (juin-juillet-août) : écart à la référence aux horizons 2030-2050-2080



Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010.

Evolution attendue des températures moyennes estivales dans le Grand Ouest

À l'horizon 2030, bien que le scénario A2 soit légèrement plus optimiste que les deux autres, les projections sont relativement homogènes, avec des écarts compris entre environ 0,8 et 1,8°C.
À partir de l'horizon 2050, les scénarios divergent plus nettement. Le scénario B1 reste dans les mêmes tendances que pour 2030, les deux autres scénarios présentant une augmentation plus significative des températures, avec des écarts à la référence compris entre 1,8 et 3°C environ.
A l'horizon 2080, les augmentations des températures estivales apparaissent particulièrement marquées, pour les scénarios A1B et A2, les évolutions de températures pouvant atteindre un maximum de 5,5°C dans le sud de la région Centre (scénario A2).
A tous les horizons et dans tous les scénarios, les départements de la vallée de la Loire et le sud de la région Centre semblent être les territoires présentant les écarts les plus importants.

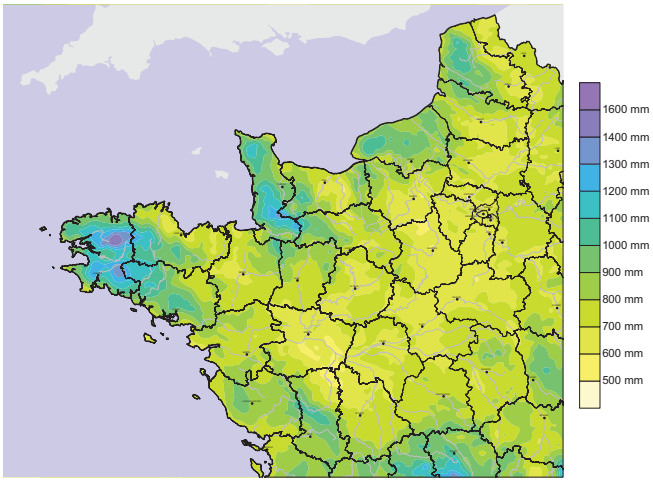
Plus globalement et en tout état de cause, les températures moyennes estivales augmenteraient de manière bien plus significative que les températures moyennes hivernales.
Cela pourrait avoir un impact négatif en milieu urbain (phénomène exacerbé d'îlot de chaleur urbain), ou encore dans le secteur énergétique : impact de l'augmentation des températures de l'eau, refroidissement des centrales nucléaires. En revanche, cela pourrait représenter une opportunité pour le secteur touristique, en particulier sur le littoral breton.

3.2 Paramètres de précipitations

3.2.1 Moyennes annuelles des précipitations

Rappel : Le scénario de référence utilisé pour l'évaluation des anomalies est basé sur les moyennes recensées de la période 1971-2000. L'évolution des précipitations par rapport à la situation de référence est exprimée en pourcentage.

Scénario de référence (1971-2000)



Météo-France – DATAR, 2010, Fourniture d'indicateurs pour caractériser le changement climatique

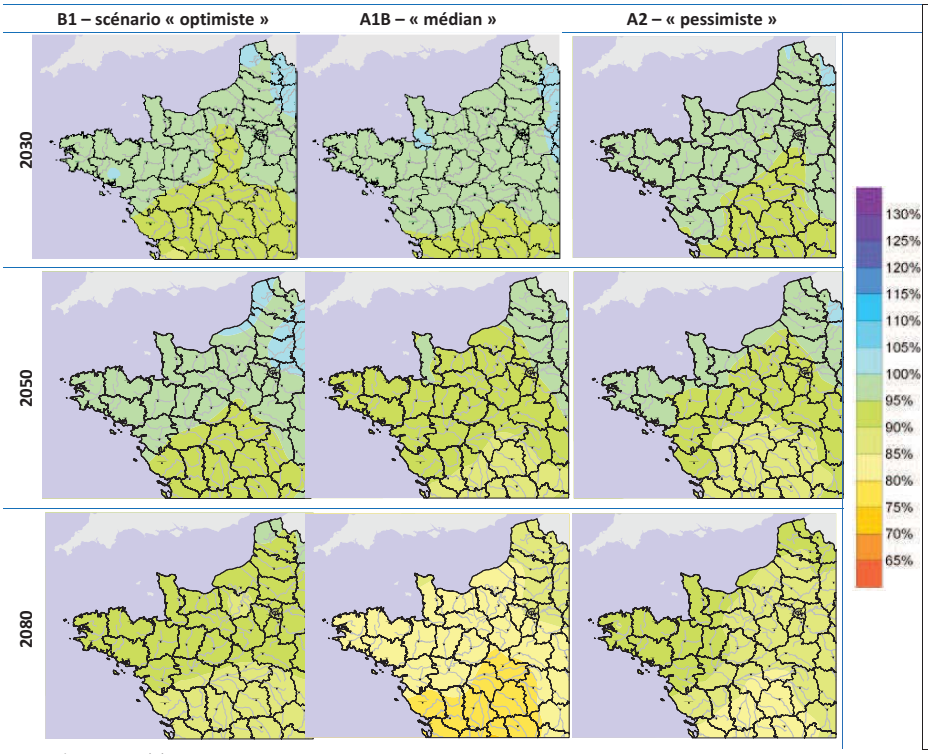
Analyse des tendances de précipitations moyennes annuelles

La pluviométrie annuelle est le cumul des précipitations tombées sur l'année, comptées en hauteur d'eau et exprimées en millimètres. La planche cartographique ci-contre représente la pluviométrie moyenne annuelle de 1971 à 2000 pour le Grand Ouest. Cette donnée renseigne sur les territoires les plus arrosés et permet de dégager de grandes tendances pluviométriques.

La méthode de calcul des données (AURELHY) tient compte du relief. Dans ce cadre, on constate que la présence du Massif Armoricain dans une zone exposée aux dépressions atlantiques se traduit par un fort cumul de précipitations comparativement au reste de la zone d'étude (jusqu'à plus de 1 600 mm/an localement).
Plus globalement, on constate que le littoral concentre davantage de précipitations que l'intérieur des terres.

Ces données permettront notamment de renseigner l'étude de la ressource en eau et de l'ensemble des secteurs qui y sont associés, comme la santé humaine, l'énergie, l'agriculture, la forêt, etc.

Moyenne annuelle des précipitations : écart à la référence en pourcentage aux horizons 2030- 2050-2080



Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010.

Evolution attendue des précipitations moyennes annuelles dans le Grand Ouest

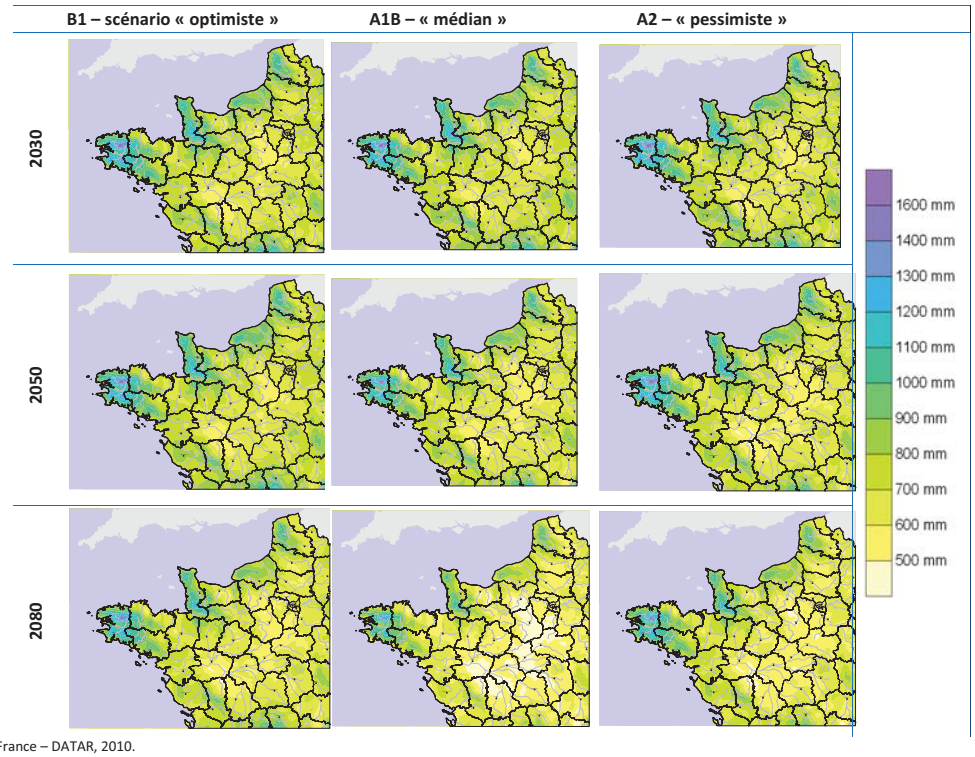
Concernant les moyennes des précipitations annuelles, on remarque que les cartes sont relativement homogènes quel que soit le scénario ou l'horizon.

De manière générale, le changement climatique entrainera, dans le Grand Ouest, une diminution des précipitations annuelles moyennes, celle-ci étant légèrement plus marquée au sud d'une ligne allant de la Loire Atlantique à l'Eure et Loir.

Cette réduction est très modérée à l'horizon 2030, où les précipitations annuelles moyennes représenteraient entre 95% et 100% de ce que l'on observe actuellement. A l'horizon 2050, une diminution plus nette des précipitations s'amorce dans les scénarios A1B et surtout A2, pour l'essentiel au sud de la région Centre (80 à 85% de la moyenne annuelle de référence).
La réduction des précipitations s'accentue à l'horizon 2080, en particulier dans le scénario A1B, la Vendée et le sud de la région Centre constituant alors les secteurs les plus touchés (entre 75 et 80% de la moyenne annuelle).

Ces données sont particulièrement intéressantes pour la filière agricole, localement très dépendante de la disponibilité des ressources en eau pour l'irrigation. D'autres secteurs-clés seront également impactés, comme l'énergie ou le tourisme.

Moyenne annuelle des précipitations : cumuls de précipitations attendus aux horizons 2030, 2050 et 2080 (mm)

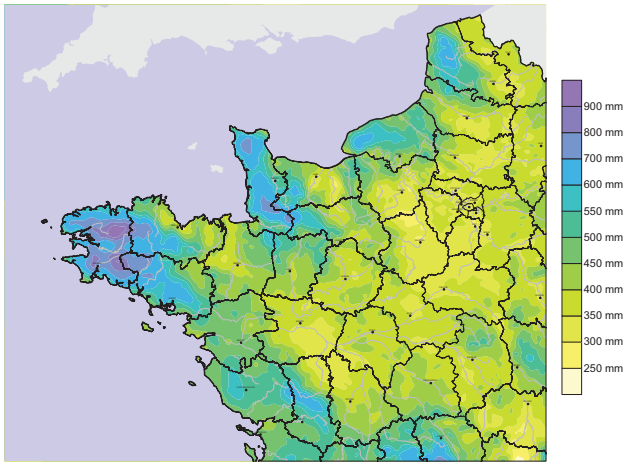


Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010.

3.3 Moyenne saisonnière des précipitations en hiver

Rappel : Le scénario de référence utilisé pour l'évaluation des anomalies est basé sur les moyennes recensées de la période 1971-2000. L'évolution des précipitations par rapport à la situation de référence est exprimée en pourcentage.

Scénario de référence (1971-2000)



Météo-France – DATAR, 2010, Fourniture d'indicateurs pour caractériser le changement climatique

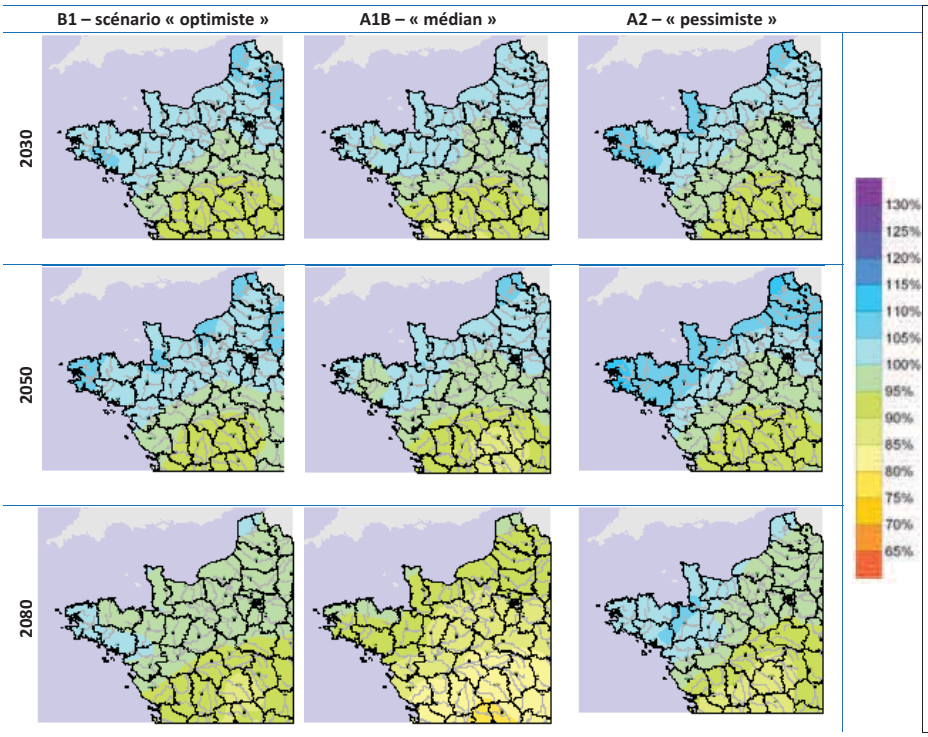
Analyse des tendances de précipitations moyennes hivernales

En hiver, le cumul des précipitations moyennes annuelles varie entre 300 et plus de 900 mm dans la zone d'étude. Cette période de l'année concentre donc la majeure partie des précipitations annuelles (environ les deux tiers). On notera cependant que cette information ne nous renseigne pas sur la répartition des précipitations durant cette période de l'année.

La carte de référence permet de mettre en évidence des disparités territoriales liées pour l'essentiel au relief et à l'influence océanique. Le Massif Armoricain et, dans une moindre mesure, l'ensemble de la bande littorale, apparaissent ainsi comme les espaces les plus arrosés.

Les précipitations hivernales sont particulièrement intéressantes pour l'étude de la disponibilité en eau, la période étudiée ici correspondant à la période de recharge des nappes phréatiques.

Moyenne saisonnière des précipitations en hiver : Ecart à la référence en pourcentage aux horizons 2030 - 2050 - 2080



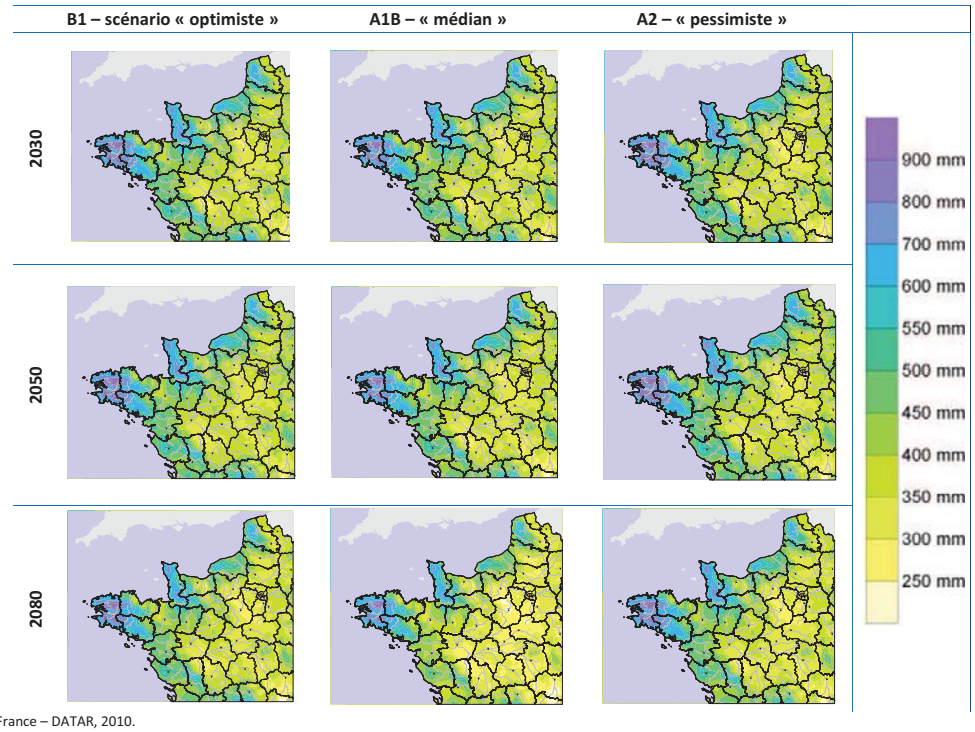
Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010.

Evolution attendue des précipitations moyennes hivernales

L'analyse des évolutions des précipitations hivernales met en évidence un contraste à l'échelle de la zone d'étude, de part et d'autre d'une ligne allant de la Loire-Atlantique à l'Eure et Loir. Au nord-ouest de cette ligne, le cumul des précipitations reste stable, voire augmente par rapport à la référence à court, moyen, voire long terme (scénario A2). Au sud-est au contraire, il tend à se réduire.
Les scénarios ne se différencient véritablement qu'à l'horizon 2080. Le scénario A1B apparaît comme le plus pessimiste, avec une réduction des précipitations sur l'ensemble de la zone d'étude.

Sachant que la saison de recharge des cours d'eau et des nappes souterraines s'échelonne entre septembre et mars, ces données donnent une idée de la disponibilité en eau et des enjeux à venir notamment pour les secteurs les plus demandeurs tels que l'agriculture, l'énergie ou encore les usages domestiques. On peut alors supposer que si les précipitations s'amenuisent en hiver, les ressources disponibles dans les nappes seront moins importantes notamment pour assurer les besoin en eau en été.

Moyenne saisonnière des précipitations hivernales : cumuls de précipitations attendus aux horizons 2030, 2050 et 2080 (mm)

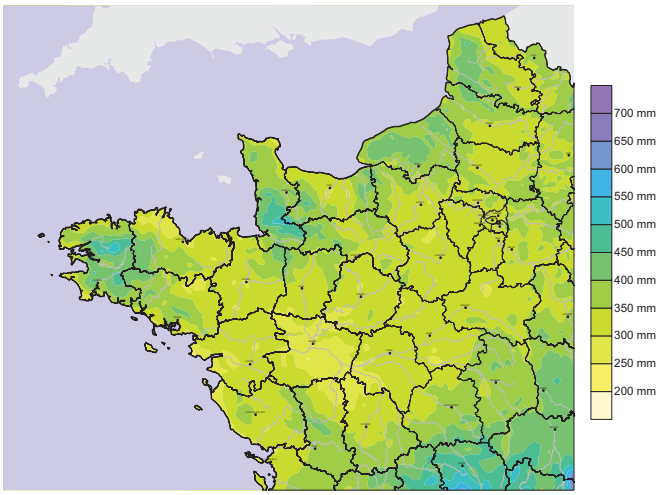


Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010.

3.3.1 Moyenne saisonnière des précipitations en été

Rappel : Le scénario de référence utilisé pour l'évaluation des anomalies est basé sur les moyennes recensées de la période 1971-2000 et l'évolution des précipitations par rapport à la situation de référence est exprimée en pourcentage.

Scénario de référence (1971-2000)



Météo-France – DATAR, 2010, Fourniture d'indicateurs pour caractériser le changement climatique

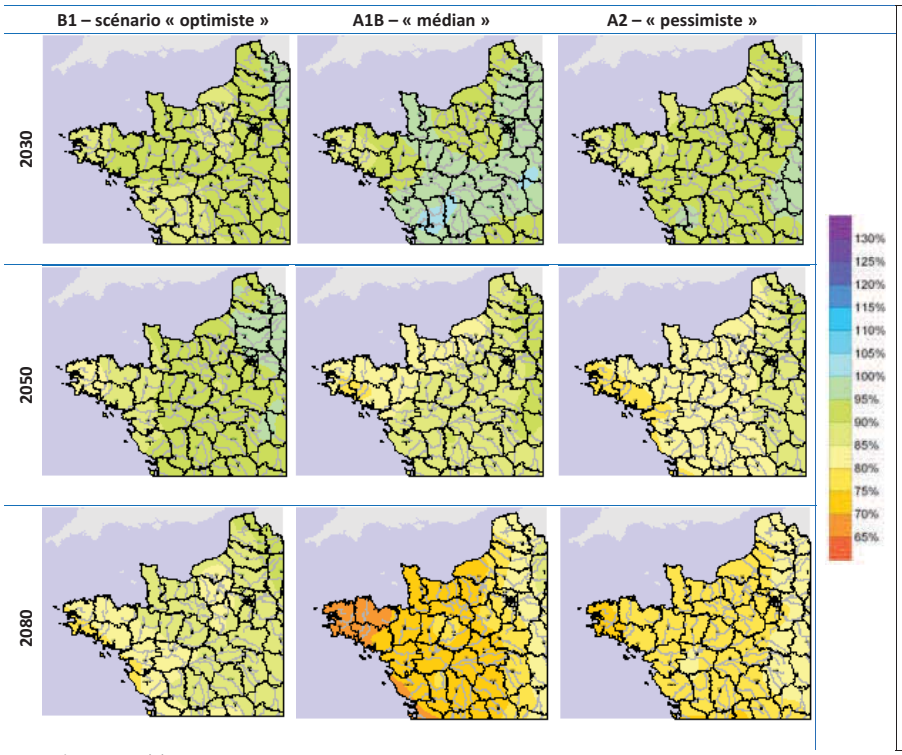
Analyse des tendances de précipitations moyennes estivales

Cette carte présente les moyennes annuelles des précipitations estivales. Ces précipitations moyennes en été oscillent entre 200 et 550mm par an selon les zones géographiques. Tout comme pour les données de pluviométrie moyenne, la planche cartographique ci-contre indique des tendances qui suivent le relief mais surtout l'exposition aux vents dominants (donc à l'influence océanique).

Les espaces les plus arrosés sont la péninsule bretonne et, dans une moindre mesure, l'ensemble du littoral de la zone d'étude (350 à 550mm par an).

Une partie des territoires de la basse vallée de la Loire apparaissent comme les moins arrosés (le département du Maine et Loire en particulier).

Moyenne saisonnière des précipitations en été : écart à la référence en pourcentage aux horizons 2030 - 2050 - 2080



Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010.

Evolution attendue des précipitations moyennes estivales dans le Grand Ouest

Comme pour les températures, l'évolution des précipitations est nettement plus marquée en été.

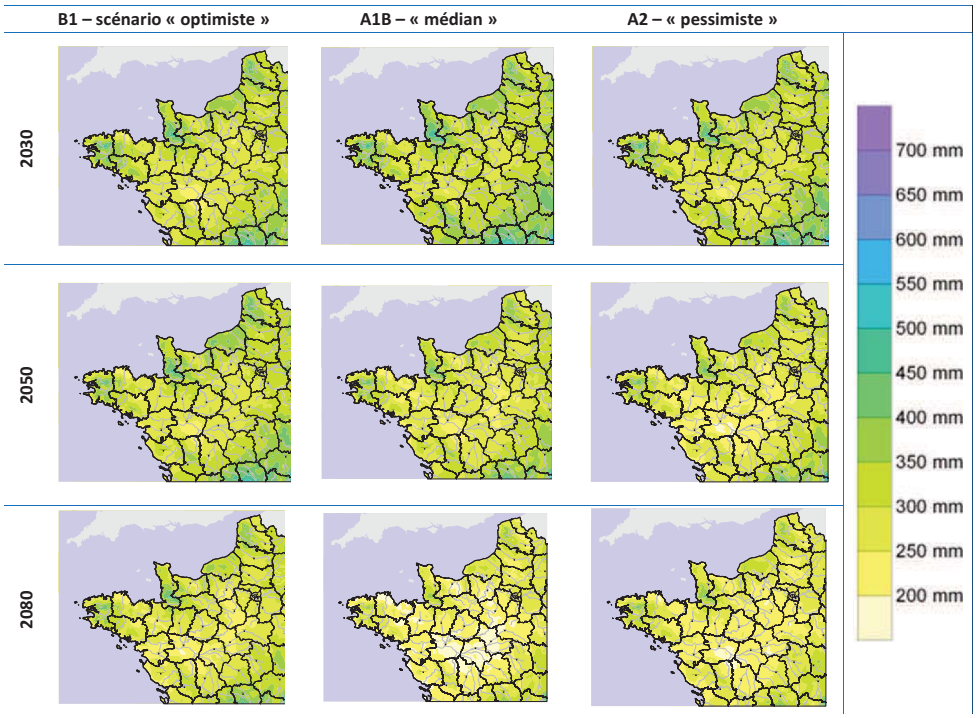
En ce qui concerne les moyennes annuelles des précipitations en été pour l'horizon 2030, on remarque que les scénarios B1 et A2 indiquent des écarts relativement similaires, compris entre 90 et 100% par rapport à la référence. Le scénario A1B fait état de précipitations représentant entre 95 et 105% de la période de référence.

A l'horizon 2050, les écarts se creusent entre les scénarios, A1B et A2 présentant des diminutions plus marquées. Quel que soit le scénario et à des degrés différents, la bande littorale apparaît plus impactée que l'intérieur des terres (gradient ouest-est).

A l'horizon 2080, la baisse des précipitations estivales est plus drastique et concerne l'ensemble du territoire, la zone ouest étant la plus impactée. Les précipitations moyennes estivales dans le Grand Ouest représenteraient, à cette échéance, 65 à 90% de ce que l'on observe dans la période de référence. Le gradient ouest-est s'accentue nettement.

Ces données sont particulièrement intéressantes pour les secteurs de l'eau, de l'agriculture ou encore du tourisme. En effet, la baisse des précipitations en été annonce des pressions plus importantes sur la ressource en eau et les usages qui en dépendent, particulièrement sur le littoral.

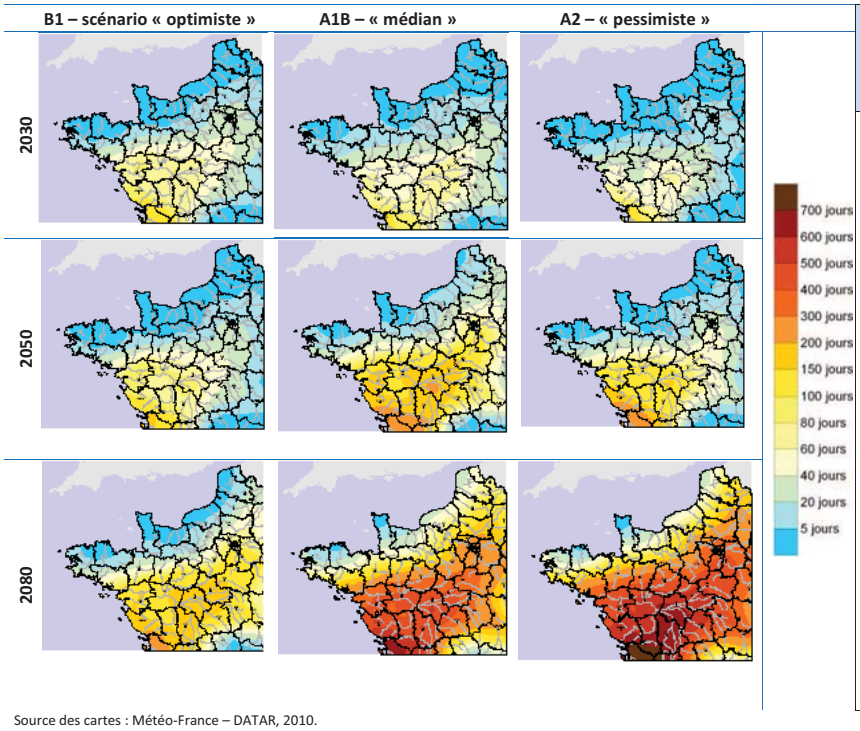
Moyenne saisonnière des précipitations estivales : cumuls de précipitations attendus aux horizons 2030, 2050 et 2080 (mm)



Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010.

3.4 Paramètres de canicule et sécheresse

Nombre cumulé de jours sur 30 ans présentant un caractère de canicule – 2030 - 2050 - 2080



Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010.

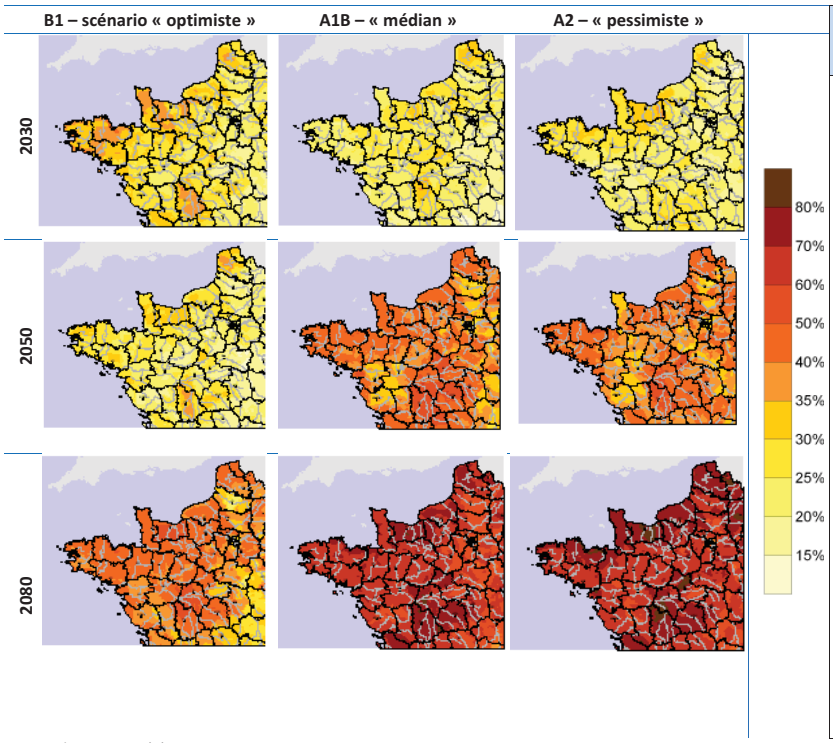
N.B. : La planche cartographique ci-contre représente le nombre total de jours de canicule comptabilisés sur les périodes de 30 ans. On considère un jour J caniculaire si, sur la période (J-1 ; J ; J+1), la moyenne des températures minimales et maximales atteignent respectivement au moins 18,5 et 33,5°C.

Evolution attendue des canicules dans le Grand Ouest

On observe de nettes différences territoriales dans l'importance des canicules sur le grand Ouest. Cette spatialisation se retrouve quel que soit le scénario et les écarts se creusent au fil du siècle. À l'horizon 2030, les trois scénarios sont homogènes et mettent en avant l'exposition plus importante du littoral de Loire Atlantique et de Vendée, ainsi que de la vallée de la Loire (entre 60 et 150 jours cumulés de canicules sur 30 ans). À l'inverse, la péninsule bretonne ainsi que les départements situés au nord de la Loire (de l'Ille et Vilaine à l'Eure et Loir) semblent relativement épargnés.
À l'horizon 2050, on assiste à un renforcement des tendances amorcées en 2030 et à une réduction des zones épargnées. Ces tendances se renforcent encore à l'horizon 2080, principalement pour les scénarios A1B et A2. L'ensemble du territoire sous influence de la Loire apparaît distinctement comme le plus exposé (jusqu'à 700 jours cumulés sur 30 ans), tandis que les zones épargnées au nord de la Bretagne se réduisent encore.

Ces données de canicules sont particulièrement intéressantes pour le secteur de la santé mais également pour l'aménagement urbain en relation avec le confort thermique estival. Elles permettent notamment de donner une idée des zones qui seront les plus exposées.

Sécheresse : pourcentage de temps passé en état de sécheresse – 2030 - 2050 - 2080



Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010.

N.B. : La planche cartographique ci-contre représente le temps passé en état de sécheresse, exprimé en pourcentage, sur des périodes de 30 ans pour les trois scénarios et les trois horizons proposés par le GIEC.

Evolution attendue des sécheresses dans le Grand Ouest

De manière générale, les cartes soulignent une tendance à la hausse générale du temps passé en état de sécheresse dans le Grand Ouest. Dans tous les scénarios et à tous les horizons, les projections apparaissent relativement homogènes sur le territoire, bien que quelques spécificités géographiques puissent être soulignées.

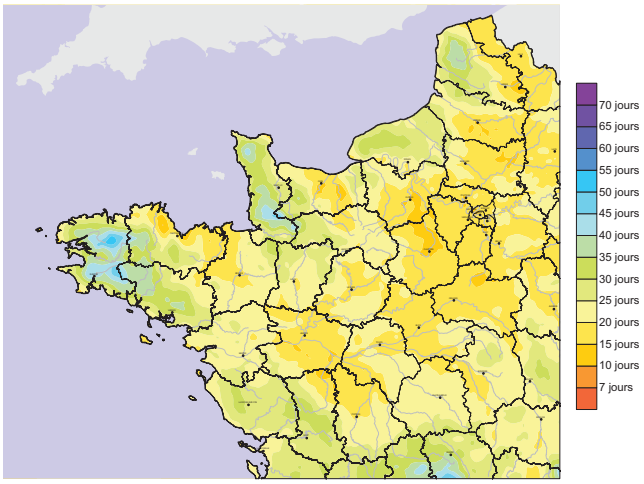
À l'horizon 2030, suivant les zones géographiques et les scénarios, le territoire du Grand Ouest pourrait passer de 10 à 30% du temps en état de sécheresse, avec des pics localisés atteignant 40%, en particulier en Bretagne.
A l'horizon 2050, dans les scénarios A1B et A2 une majorité du territoire passerait au moins 30% et jusqu'à 50% du temps en état de sécheresse. Le scénario B1 semble rester relativement identique qu'en 2030.
À l'horizon 2080, les scénarios A1B et A2 se démarquent et présentent des valeurs atteignant 60 à 80% sur une partie du territoire, principalement en région Centre et dans les Côte d'Armor.

Pour ces trois scénarios, la région Centre et le nord de la Bretagne apparaissent particulièrement impactés même si d'une manière générale, l'ensemble du territoire à 2080 serait touché. Ces données sont à mettre en regard avec la filière agricole notamment qui sera probablement le secteur le plus touché par ces événements de sécheresse.

3.5 Moyenne annuelle du nombre de jours où les précipitations atteignent au moins 10 mm

Rappel : Le scénario de référence utilisé pour l'évaluation des anomalies est basé sur les moyennes recensées de la période 1971-2000 et l'évolution des moyennes annuelles de jours où les précipitations atteignent au moins 10mm par rapport à la climatologie de référence est exprimée en pourcentage d'écart à la référence.

Scénario de référence (1971-2000)



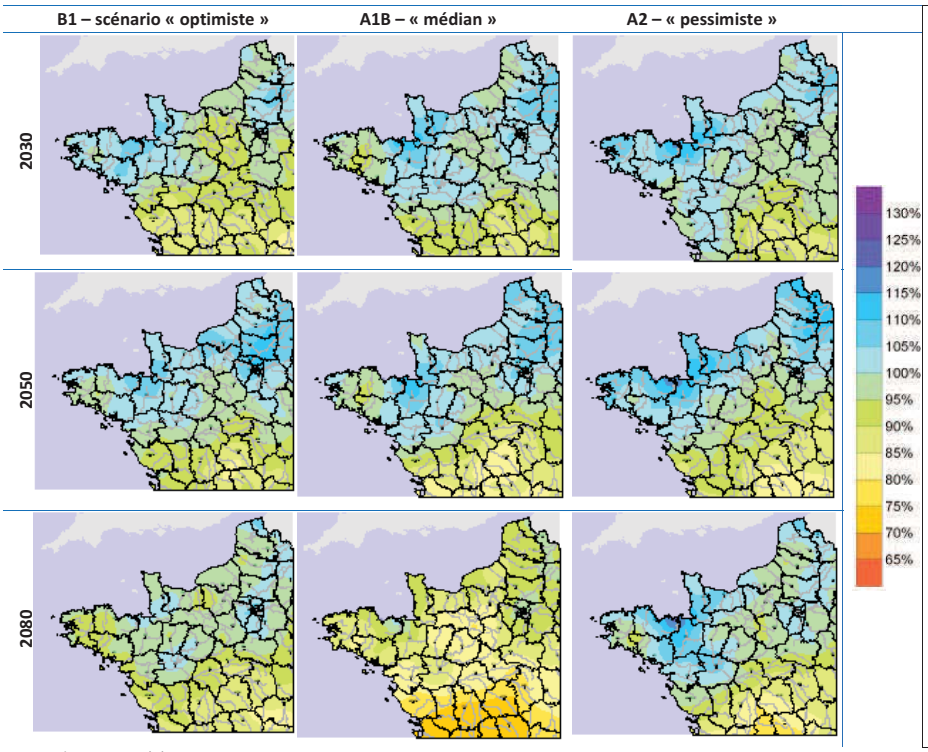
Météo-France – DATAR, 2010, Fourniture d'indicateurs pour caractériser le changement climatique

Analyse des tendances de fortes précipitations

On utilise les données de moyenne annuelle du nombre de jours où les précipitations atteignent au moins 10 mm pour caractériser les épisodes de fortes précipitations.

Dans la période de référence, on remarque que les pluies les plus importantes se situent sur le littoral, et en particulier dans la Péninsule bretonne, avec des valeurs atteignant localement 55 jours. L'intérieur des terres est quant à lui moins touché par ces épisodes.

Moyenne annuelle des nombres de jours où les précipitations atteignent au moins 10 mm : écart à la référence en pourcentage aux horizons 2030- 2050 - 2080



Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010.

Evolution attendue des fortes précipitations dans le Grand Ouest

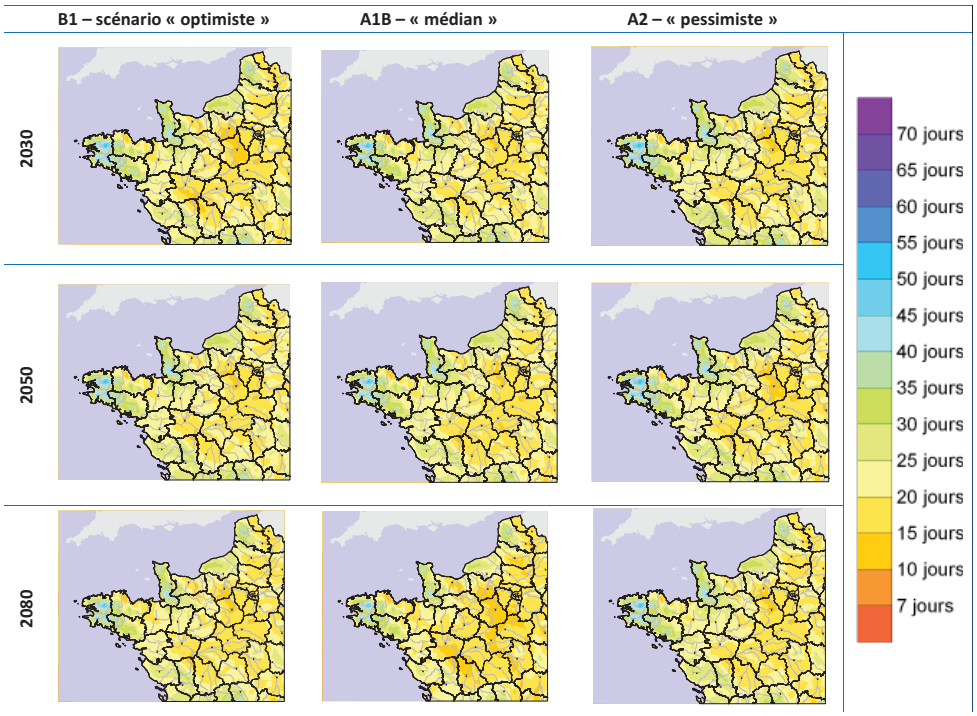
Les données sont exprimées en pourcentage d'écart par rapport à la référence.

Aux horizons 2030 et 2050, les projections font apparaître un contraste territorial important et peu évolutif entre une zone nord-ouest marquée par une relative stabilité, voire une augmentation globale des épisodes de fortes précipitations (jusqu'à 120% localement) ; et une zone sud-est où la tendance générale est à la réduction de ces épisodes (région Centre pour l'essentiel, mais aussi la Vendée).

A l'horizon 2080, les écarts se creusent davantage entre les scénarios. Le scénario A1B est le plus marqué, avec une diminution globale des épisodes de fortes précipitations (valeurs comprises entre 70 et 100%). De manière générale, la Vendée et le sud de la région Centre semblent les plus touchés par cette évolution, même si l'ensemble des territoires sont concernés.

L'augmentation locale des épisodes de fortes précipitations pourrait notamment entraîner une augmentation de l'érosion des sols agricoles et du risque d'inondation par ruissellement, en particulier à court et moyen terme au nord de la Bretagne.

Moyenne annuelle des nombres de jours où les précipitations atteignent au moins 10 mm : cumuls du nombre de jours par an aux horizons 2030, 2050 et 2080



Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010.

4 Bibliographie

Une liste complète de la bibliographie utilisée pour l'étude a été compilée et est présentée en Annexe. Ci-après, une extraction ciblée sur le thème traité dans cette seconde partie du rapport de première phase.

MEEDDM/ONERC, 2009, *Évaluation du coût des impacts du changement climatique et de l'adaptation en France*, Rapport de la deuxième phase. Septembre 2009.

Météo-France - DATAR, 2010, *Fourniture d'indicateurs pour caractériser le changement climatique*.

CNRS Editions – *Le climat à découvert, outils et méthodes en recherche climatique*, ouvrage collectif sous la direction de Catherine Jeandel et Rémy Mosseri.