



Datar

L'adaptation aux effets du changement climatique en Haute et Basse-Normandie

ETUDE

ANALYSE DU CLIMAT FUTUR EN HAUTE ET BASSE-NORMANDIE

Artelia Eau & Environnement
Unité Climat Energie

50, Avenue Daumesnil
75 970 Paris Cedex 12
Tel. : +33 (0)1.48.78.37.42
Fax : +33 (0)1.48.78.93.41



SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
1. METHODOLOGIE : MODELISATION ET PARAMETRES CLIMATIQUES ANALYSES	5
1.1. MODELISATION DU CLIMAT ET SCENARIOS D'EMISSIONS	5
1.1.1. Modéliser le climat : un exercice complexe	5
1.1.2. Les scénarios du GIEC	5
1.1.3. Le modèle Arpège-Climat	6
1.2. CHOIX DES SCENARIOS ET DES HORIZONS TEMPORELS	6
1.3. PARAMETRES RETENUS POUR L'ETUDE	7
1.4. L'EXPOSITION AUX EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE : DES FACTEURS D'INCERTITUDE A PRENDRE EN COMPTE	9
2. SYNTHESE DES SIMULATIONS CLIMATIQUES ET ANALYSE DE L'EXPOSITION DES TERRITOIRES NORMANDS	11
2.1. PARAMETRES DE TEMPERATURES	12
2.1.1. Températures moyennes annuelles	12
2.1.2. Moyenne saisonnière des températures moyennes hivernales (décembre-janvier-février)	14
2.1.3. Moyenne saisonnière des températures moyennes estivales (juin-juillet-août)	16
2.2. PARAMETRES DE PRECIPITATIONS	18
2.2.1. Moyenne annuelle des précipitations	18
2.2.2. Moyenne saisonnière des précipitations en hiver	20
2.2.3. Moyenne saisonnière des précipitations en été	22
2.3. PARAMETRES DE CANICULE ET SECHERESSE	24
2.4. MOYENNE ANNUELLE DU NOMBRE DE JOURS OU LE CUMUL DE PRECIPITATIONS ATTEINT AU MOINS 10 MM	26
3. BIBLIOGRAPHIE	28

TABLEAUX

TABL. 1 - LES TROIS SCENARIOS DU GIEC SUR LESQUELS S'APPUIE L'ETUDE DE METEO-FRANCE (SOURCE : GIEC, 2007)	7
TABL. 2 - LISTE DES PARAMETRES (SOURCE : METEO-FRANCE, 2010)	7
TABL. 3 - LISTE DES PARAMETRES RETENUS POUR L'ANALYSE	8

FIGURES

FIG. 1. IDENTIFICATION DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE (ARTELIA, 2012)	3
FIG. 2. SCENARIOS D'EMISSIONS DE GES ET PROJECTIONS RELATIVES AUX TEMPERATURES MOYENNES DE SURFACE (GIEC, 2007)	5
FIG. 3. UNE CASCADE D'INCERTITUDES (SOURCE : BOE, 2007)	10

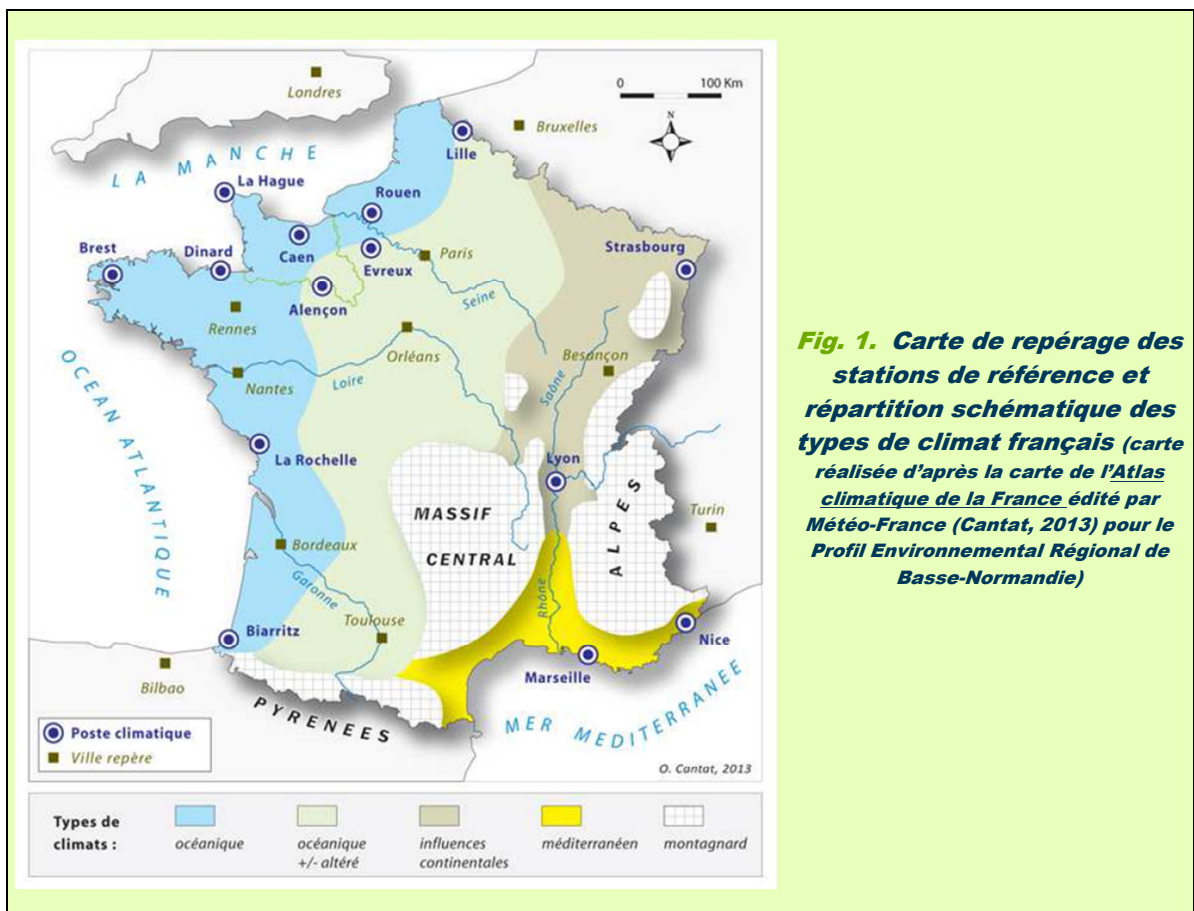
INTRODUCTION

Le climat désigne l'ensemble des caractéristiques de l'atmosphère et de leurs variations, à une échelle spatiale donnée et sur une période relativement longue, pour ne pas tenir compte des années exceptionnelles, qui relèvent de la variabilité climatique.

Les principaux paramètres pris en compte pour caractériser un climat sont les températures et les précipitations, auxquels peuvent s'ajouter le vent, la nébulosité, ou encore l'ensoleillement. A partir de ces paramètres sont établis des indices permettant de caractériser le climat. Ainsi en est-il par exemple de l'amplitude thermique annuelle, obtenue en faisant la différence entre la température moyenne du mois le plus chaud de l'année et celle du mois le plus froid.

Ces indices permettent de différencier plusieurs climats à l'échelle du globe : climat tempéré, tropical, équatorial, etc. Ils permettent également de distinguer différentes échelles climatiques : du microclimat au climat global. Il n'existe donc pas un, mais des climats, relatifs aux différents territoires et à l'échelle à laquelle on se place.

Ainsi, **le climat tempéré océanique, caractéristique de la Normandie, est par exemple marqué par une amplitude thermique relativement faible et une pluviométrie importante.** Cette situation générale ne doit pas masquer des **contrastes locaux**, liés à l'altitude, ou encore à la proximité de l'espace maritime. Elle ne doit pas également masquer l'existence ponctuelle d'**événements exceptionnels** (exemple : période de grand froid, épisodes de sécheresse, etc.), qui relèvent de la variabilité climatique.



Le **changement climatique** se distingue de la variabilité climatique en désignant une **variation statistiquement significative** (sur une période suffisamment longue pour ne pas tenir compte de la variabilité climatique) d'un ou de plusieurs paramètres climatiques.

La mise en évidence du changement climatique est donc fondée sur une analyse à long terme du climat passé, afin de pouvoir le distinguer de la variabilité climatique. Les températures moyennes annuelles ont par exemple augmentées de 0,95°C au cours du XXIème siècle à l'échelle nationale (ONERC, 2009), en dépit d'écarts de températures bien plus conséquents d'une année à l'autre (variabilité climatique).

Le changement climatique est aujourd'hui démontré et fait l'objet d'un **consensus scientifique** fondé sur les rapports du GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat). L'**origine anthropique du changement climatique** est également admise, comme en témoigne la corrélation entre l'évolution des émissions de gaz à effet de serre (GES) et l'augmentation des températures moyennes. Son ampleur sera liée à l'évolution des émissions de GES par les activités humaines au cours de ce siècle. L'objectif des politiques d'atténuation est de limiter l'ampleur du changement climatique au niveau mondial, en visant la réduction de ces émissions.

Quel que soit le résultat des politiques d'atténuation, les émissions passées et actuelles continueront à avoir un effet sur l'évolution du climat en raison de l'inertie de ce dernier. Dans cette perspective, scientifiques et décideurs s'entendent aujourd'hui sur la **nécessité d'élaborer et de mettre en œuvre des politiques d'adaptation** au changement climatique.

Le changement climatique, une réalité reconnue et un enjeu essentiel pour l'avenir des territoires

« Depuis quelques décennies, des évolutions rapides ont été mises en évidence par le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC). Ces études soulignent l'importance du réchauffement actuel lié en partie aux activités humaines. Si ces conclusions sont largement partagées aujourd'hui, les projections concernant l'évolution climatique sont difficiles compte tenu de la complexité des phénomènes qui interviennent.

Or, le climat a un impact sur toutes les composantes de notre environnement : il détermine la gestion de l'eau, la qualité de l'air respiré, la consistance des sols, la survie des espèces. Ces données impactent directement la production de nos ressources alimentaires et nos conditions de vie.

Les aléas d'origine atmosphérique et la vulnérabilité toujours plus forte de notre société (croissance démographique, urbanisation dans des secteurs sensibles...) induisent davantage de risques à gérer et anticiper.

Le changement climatique a dépassé le cadre purement scientifique pour devenir un enjeu actuel et déterminant pour les politiques publiques. »

Source : extrait du *Profil Environnemental Régional de Basse-Normandie* (version de travail), DREAL Basse-Normandie, 2013.

L'adaptation vise à **anticiper les impacts** présents et futurs du changement climatique **sur les territoires**.

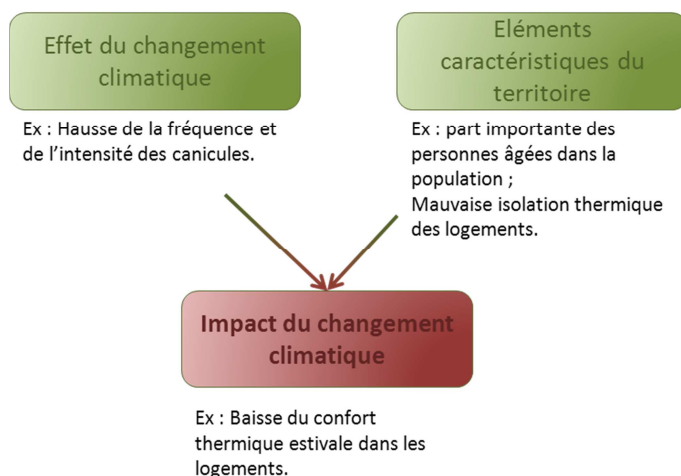


Fig. 2. Identification des impacts du changement climatique (Artelia, 2012)

Un **impact du changement climatique** est le produit d'un effet du changement climatique (**exposition**) avec les enjeux présents sur le territoire qu'il est susceptible d'affecter (**sensibilité**). Un effet désigne la variation significative d'un paramètre climatique. L'importance de cet effet sur un territoire donné définit l'exposition de ce dernier.

Le diagnostic de vulnérabilité d'un territoire désigne l'analyse des impacts du changement climatique sur ce dernier.

Ce rapport, qui en constitue la première étape, **vise à évaluer l'exposition du territoire Haut et Bas-Normand aux effets du changement climatique**. Il s'appuie, pour ce faire, sur l'analyse de l'étude cartographique produite – à la demande de la DATAR – par Météo-France pour le Nord-Ouest de la France ; portant sur l'évolution de différents paramètres climatiques selon trois scénarios du GIEC (B1, A1B et B2), aux horizons 2030, 2050 et 2080.

Après avoir exposé les choix méthodologiques relatifs à la modélisation du climat et à la sélection des paramètres climatiques analysés, ce rapport présente l'analyse de l'exposition des territoires Normands à la variation attendue de chaque paramètre.

N.B. : 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.

Éléments de synthèse

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

À l'horizon 2030 :

- Une **hausse des températures moyennes relativement faible** (jusqu'à +1,6°C en hiver et +1,4°C en été dans l'Orne et le sud-est de l'Eure par rapport aux moyennes 1970-2000) ;
- Une **baisse importante des précipitations en moyenne estivale** (-10 à -15% par rapport aux cumuls de 1970-2000), pour partie compensée par une augmentation en moyenne hivernale (notamment dans le Cotentin), mais qui se traduit par une **hausse notable du temps passé en situation de sécheresse** (20 à 35% sur une période de 30 ans) : la plaine de Caen-Argentan est le territoire le plus concerné ;

Etant donné la douceur actuelle du climat (entre 9,5 et 11,5°C en moyenne annuelle entre 1970 et 2000), la Normandie est faiblement exposée à la hausse des températures moyennes à cet horizon. **L'exposition aux épisodes de canicule n'augmente légèrement que pour de sud-est de l'Orne et de l'Eure** (entre 5 et 20 jours par période de 30 ans).

Le régime des précipitations devrait à l'inverse connaître une évolution notable, avec une réduction marquée des moyennes estivales et une augmentation consécutive des épisodes de sécheresse, en particulier pour les territoires les moins arrosés actuellement (plaine de Caen-Argentan et plateaux de l'Eure). **En moyenne annuelle, les précipitations devraient rester relativement stables.**

À l'horizon 2050 :

- **Poursuite de la hausse des températures moyennes**, marquée par une augmentation de l'amplitude thermique entre l'été (jusqu'à +3°C dans le sud de l'Orne et le sud-est de l'Eure) et l'hiver (jusqu'à +2,2°C, uniquement pour le scénario pessimiste A2) ;
- **Accentuation de la réduction des précipitations en moyenne estivale** (jusqu'à -20% sur l'ensemble du territoire) doublée d'une stabilité, voire d'une augmentation des précipitations en moyenne hivernale (jusqu'à +10% sur le littoral pour les scénarios B1 et A2).

La tendance décrite en 2030 s'accroît en 2050. Elle devient significative pour les températures, avec une augmentation des moyennes annuelles, hivernales et estivales dépassant 2°C.

Le contraste climatique entre l'été et l'hiver devient très marqué sur l'ensemble du territoire normand, et en particulier dans l'Orne, l'Eure et la plaine de Caen-Argentan, avec des étés plus secs et chauds et des hivers plus humides. **Le temps passé en situation de sécheresse devrait ainsi atteindre jusqu'à 50%** (sur une période de 30 ans). Dans le même temps, **les épisodes de fortes précipitations devraient s'accroître, en particulier sur les collines normandes et le Cotentin.**

À l'horizon 2080 :

- **Une hausse importante des températures moyennes** (jusqu'à +3,6°C en moyenne annuelle par rapport à la moyenne 1970-2000), **voire très élevée en été** (jusqu'à +5°C pour le sud-est de l'Orne et de l'Eure), mais qui reste moyenne en hiver (entre +1,8 et +2,8°C) ;
- **Une baisse généralisée des précipitations en moyenne annuelle** (-10 à -20%) et estivale (-25 à -30% pour les scénarios A1B et A2).

Les tendances continuent de s'accroître à la fin du siècle, avec une **hausse particulièrement importante de l'exposition aux épisodes de sécheresse** (entre 50 et plus de 60% du temps sur une période de 30 ans). **L'exposition aux épisodes de canicules ne devient significative qu'à cet horizon, pour le sud-est de l'Orne et de l'Eure** (entre 150 et 300 jours de canicules par période de 30 ans, contre seulement 20 à 40 sur le littoral).

Ce dernier élément souligne que l'augmentation notable des températures moyennes estivales doit être considéré au regard des températures moyennes estivales actuelles, relativement douces.

1. METHODOLOGIE : MODELISATION ET PARAMETRES CLIMATIQUES ANALYSES

1.1. MODELISATION DU CLIMAT ET SCENARIOS D'EMISSIONS

1.1.1. Modéliser le climat : un exercice complexe

La modélisation du système climatique vise à **mettre en équation l'évolution d'un grand nombre de paramètres interdépendants**, relatifs à l'atmosphère et aux océans.

Cette modélisation a évolué, au cours des quarante dernières années, au gré de l'évolution des connaissances et du perfectionnement des outils informatiques. Il faut aujourd'hui à un super-processeur une quarantaine d'heures de calculs pour simuler l'évolution du climat sur une année.

Les modèles climatiques actuels sont **capables de reproduire l'évolution passée du climat à l'échelle régionale**, à partir des données issues des relevés météorologiques effectués depuis le début de l'ère industrielle.

C'est cette connaissance du climat passé, associée à la mise en évidence d'une corrélation entre l'évolution des émissions de GES et celle des températures moyennes, qui **permet de modéliser l'évolution climatique future**.

1.1.2. Les scénarios du GIEC

En insérant dans leurs modèles **différentes hypothèses d'évolution des émissions de GES**, les scientifiques du GIEC font apparaître différents scénarios d'évolution des températures moyennes et du climat dans son ensemble.

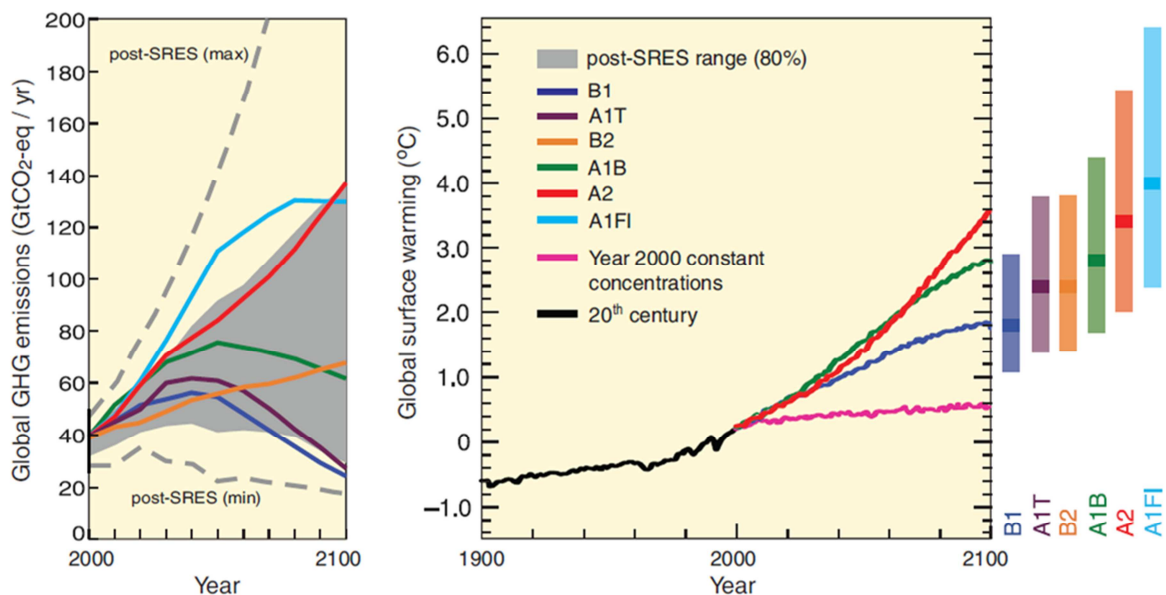


Fig. 3. Scénarios d'émissions de GES et projections relatives aux températures moyennes de surface (GIEC, 2007)

Ces hypothèses d'évolution des émissions dépendent, pour l'essentiel, de trois paramètres :

- L'évolution démographique : chaque homme génère 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 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.

Dans son rapport spécial sur les scénarios d'émissions (SRES, 2000)¹, le GIEC distingue quatre grandes familles de scénarios (A1, A2, B1 et B2).

« 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, [...] 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 [...], ce qui situe ce scénario dans la classe basse des scénarios du GIEC. »

ONERC, 2006.

1.1.3. Le modèle Arpège-Climat

À la demande de la DATAR, le Centre National de Recherche Météorologique a réalisé des projections du climat futur à l'échelle du Nord-ouest de la France à partir de son modèle climatique **ARPEGE-Climat** ; par ailleurs **retenu par le GIEC parmi les modèles climatiques de référence** pour ses exercices de simulation.

Ce modèle climatique dispose d'une maille étirée offrant 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 des régions Haute et Basse-Normandie.

1.2. CHOIX DES SCENARIOS ET DES HORIZONS TEMPORELS

Pour cette étude interrégionale, trois scénarios d'émission du GIEC ont été retenus : B1, A1B, A2. Pour chacun de ces scénarios, le modèle ARPEGE-Climat a produit une simulation climatique pour les horizons 2030, 2050 et 2080.

N.B. : chaque horizon est moyenné sur une période de trente ans centrée sur les années 2030 (2016/2045), 2050 (2036/2065) et 2080 (2066/2095).

¹ <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-fr.pdf>

Tabl. 1 - Les trois scénarios du GIEC sur lesquels s'appuie l'étude de Météo-France (source : GIEC, 2007)

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.

Les résultats des simulations ont été cartographiés, par paramètre, pour chacun des trois scénarios du GIEC et à chaque horizon temporel.

1.3. PARAMETRES RETENUS POUR L'ETUDE

Dans le cadre de l'étude de Météo-France, vingt-deux paramètres climatiques ont été analysés, dont dix-huit considérés comme des paramètres standards et quatre comme des paramètres élaborés, à partir des paramètres standards, par les services météorologiques.

Tabl. 2 - Liste des paramètres (source : Météo-France, 2010)

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

Dans un objectif de synthèse, neuf paramètres ont été retenus pour cette étude, caractérisant les cinq types de paramètres climatiques. La liste des paramètres étudiés est présentée ci-dessous.

Tabl. 3 - Liste des paramètres retenus pour l'analyse

Types de paramètres	Paramètres/Indices cartographiées	Unités des indices
Paramètres de températures	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> Moyenne annuelle des nombres de jours où les précipitations atteignent au moins 10 mm 	Nombre de jours
Paramètre de canicule	<ul style="list-style-type: none"> Nombre cumulé de jours sur 30 ans présentant un caractère de canicule 	Nombre de jours
Paramètre de sécheresse	<ul style="list-style-type: none"> 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.

Chaque type de paramètre apporte des informations complémentaires quant à l'exposition des territoires Haut et Bas-Normand aux effets du changement climatique :

- **Les paramètres de températures** (moyennes annuelle, hivernale et estivale) présentent une vision générale du climat futur. Plus particulièrement, l'évolution des moyennes de température aura un effet direct sur le tourisme, l'agriculture, ou la demande énergétique ;
- **Les paramètres de précipitations et de fortes précipitations** ont un effet direct sur l'offre et la demande en eau d'une part (eau potable, agriculture, milieux naturels, production d'énergie et industrie, etc.), et sur certains risques naturels d'autre part (inondations notamment) ;
- **Les paramètres canicule et sécheresse** sont particulièrement pertinents pour repérer les territoires qui pourront être considérés comme les plus exposés au changement climatique, notamment en comparaison d'événements survenus dans le passé. L'évolution de la fréquence et de la durée de ces événements extrêmes aura un effet direct sur la santé (surmortalité liée à la canicule, etc.), l'agriculture, ou encore le risque de retrait-gonflement des argiles.

Pour chacun de ces paramètres, dix 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, neuf 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, les paramètres élaborés de canicule et de sécheresse ne disposent que des neuf cartographies d'évolution, la méthode des deltas n'ayant pu s'appliquer pour créer une carte de situation de référence.

Les cartes d'évolution de la situation par rapport à la climatologie de référence seront analysées pour les paramètres de températures, de précipitations, de fortes précipitations et de canicule. Pour le paramètre de sécheresse, il s'agira des cartes de situation moyenne.

Evolution des vents

Les simulations climatiques de Météo-France mises à disposition dans le cadre de cette étude ne rendent pas compte de l'évolution des vents. Les récents travaux réalisés dans le cadre du Projet SCAMPEI (2011) ont cependant permis de modéliser l'évolution des vents en fonction des différents scénarios du GIEC. Aucune tendance d'évolution significative n'a pu être mise en évidence. En témoigne également cet extrait du Profil Environnemental Régional de Basse-Normandie :

« Les roses de vent du point le plus proche de Caen ont été calculées sur la base du scénario intermédiaire. Les résultats obtenus ne permettent pas d'envisager d'évolution significative : les conjectures relatives à une possible recrudescence de vents de Nord-Est, ou de vents forts ne sont pas démontrées »

Source : extrait du *Profil Environnemental Régional de Basse-Normandie* (version de travail), DREAL Basse-Normandie, 2013.

1.4. L'EXPOSITION AUX EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE : DES FACTEURS D'INCERTITUDE A PRENDRE EN COMPTE

La complexité inhérente à la modélisation du climat futur induit plusieurs sources d'incertitude, qu'il convient de prendre en compte dans l'analyse de l'exposition du territoire Haut et Bas-Normand aux effets du changement climatique :

- **Incertitude liée aux scénarios socioéconomiques** : les scénarios d'émissions du GIEC reposent sur des **hypothèses prospectives lourdes** d'évolution démographique et socioéconomique à l'échelle mondiale. C'est pour tenir compte du degré élevé d'incertitude relatif à ces hypothèses qu'ont été retenus trois scénarios (B1, A1B et A2) contrastés. Ils permettent ainsi de rendre compte du champ des possibles en termes d'évolution socioéconomiques, donc d'évolution des émissions de GES.
- **Incertitude relative au lien entre émissions et concentration atmosphérique des GES** : la façon dont les émissions de GES affectent les concentrations atmosphériques de ces gaz – donc le réchauffement des températures – fait l'objet de modèles comportant également des incertitudes² ;

² Exemple : les modèles de cycle du carbone projettent une concentration en CO2 atmosphérique comprise entre 540 et 970 ppm selon les scénarios SRES, avec un intervalle d'incertitude compris 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, l'incertitude reste importante. En témoignent les **divergences de résultats selon le modèle utilisé**. De plus, aux horizons proches, la variabilité climatique reste difficile à capter. Cela explique notamment qu'à l'horizon 2030, les simulations réalisées pour des scénarios « optimistes » (B1) 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 expliquée 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, l'incertitude s'accroît à chaque étape de la descente d'échelle (passage de projections globales à des projections de maille régionale), en fonction des choix méthodologiques (dynamique/statique) et des hypothèses retenues.

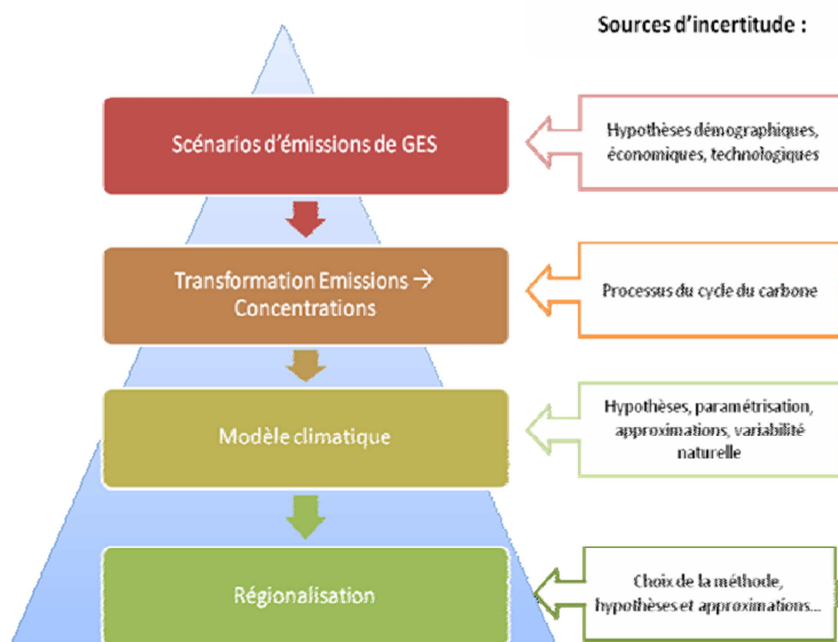


Fig. 4. Une cascade d'incertitudes (source : Boé, 2007)

Face à tant d'incertitude, **la recherche sur le développement des modèles et leur efficacité apparaît indispensable**. C'est dans ce cadre que le Service de la Recherche du Commissariat Général au Développement Durable du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE) a lancé dès 1999 un **programme – Gestion et Impacts du Changement Climatique (GICC)** – visant particulièrement à développer les connaissances et l'aide à la décision en matière de réduction des impacts et d'adaptation au changement climatique.

Néanmoins, **en dépit de cette incertitude, 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**.

2. SYNTHÈSE DES SIMULATIONS CLIMATIQUES ET ANALYSE DE L'EXPOSITION DES TERRITOIRES NORMANDS

Remarques préalables sur les résultats obtenus et leur interprétation

Ce rapport vise à faire ressortir des tendances d'évolution du climat pour le siècle à venir en Haute et Basse-Normandie, afin d'évaluer son exposition aux effets du changement climatique. Les résultats présentés ci-après ne peuvent donc pas être interprétés comme des prévisions climatiques exactes à une échelle locale.

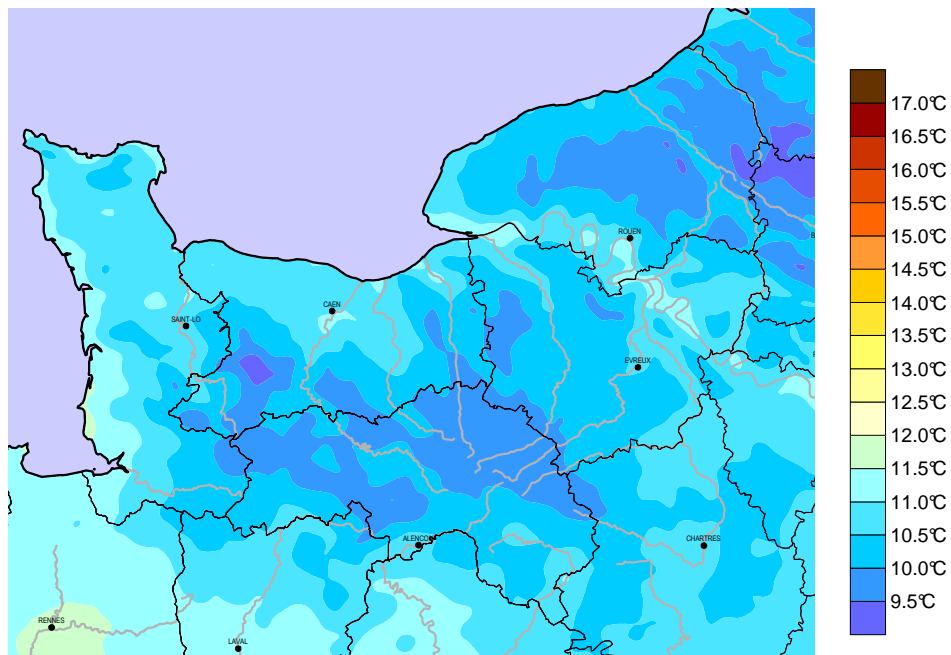
Pour cette raison, les données cartographiées sont présentées pour l'ensemble du territoire des deux régions et non par entités administratives. Les tendances ne sont pas calées en fonction de ces limites.

2.1. PARAMETRES DE TEMPERATURES

2.1.1. 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)



Analyse des tendances de températures
(moyenne annuelle)

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.

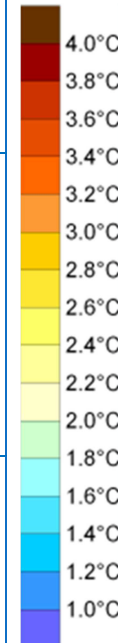
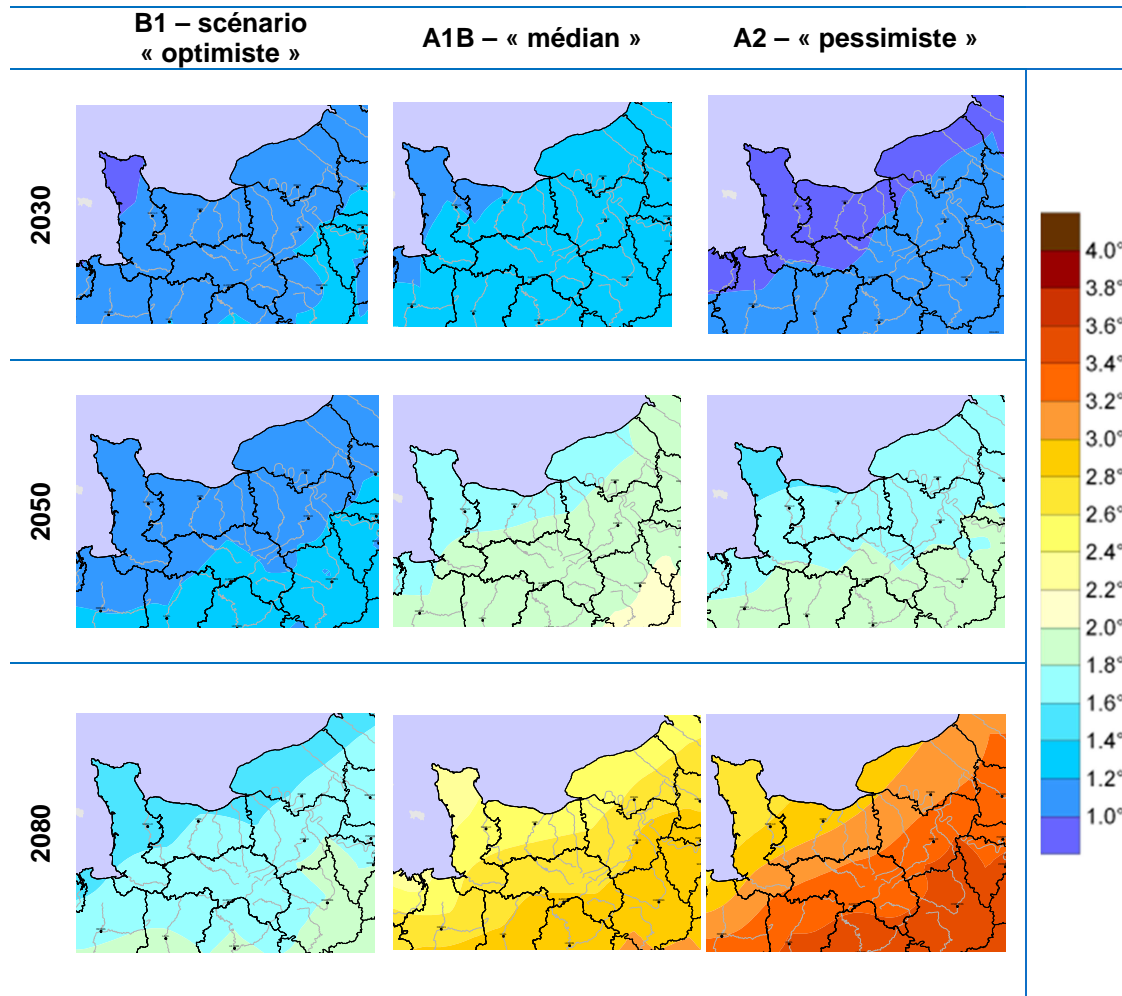
La Normandie présente une certaine homogénéité en termes de températures moyennes annuelles, comprises entre 9,5 et 11,5°C. Cela s'explique par un relief assez peu marqué ainsi que par la proximité de l'océan, qui lui confère une faible amplitude thermique saisonnière.

Le contraste de température entre le littoral et l'intérieur des terres s'explique, pour l'essentiel, par un relief un peu plus marqué au sud du Calvados et dans l'Orne (Collines de Normandie et Suisse Normande), ainsi qu'en Seine-Maritime (Pays de Caux et de Bray).

C'est sur la base de cette situation de référence que seront analysées les évolutions climatiques simulées par ARPEGE-Climat, pour faire apparaître l'exposition des territoires normands à l'augmentation des températures.

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

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



Evolution attendue des températures moyennes annuelles en Normandie

Quel que soit le scénario, les données confirment une tendance générale à l'augmentation des températures moyennes annuelles sur l'ensemble de la Normandie, avec un réchauffement plus rapide à l'intérieur des terres (Orne et, dans une moindre mesure l'Eure) que sur le littoral.

Selon les différents scénarios, l'augmentation des températures moyennes pourrait s'échelonner entre 0 et 1,4°C à l'horizon 2030. 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 1,6 à 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 moyennes annuelles 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 et 3,6°C environ. À cet horizon, trois ensembles géographiques se distinguent graduellement : la presqu'île du Cotentin, où le réchauffement serait de 2 à 2,8°C ; les plaines littorales entre 2,8 et 3,2 ; et enfin l'arrière-pays jusqu'à 3,6°C.

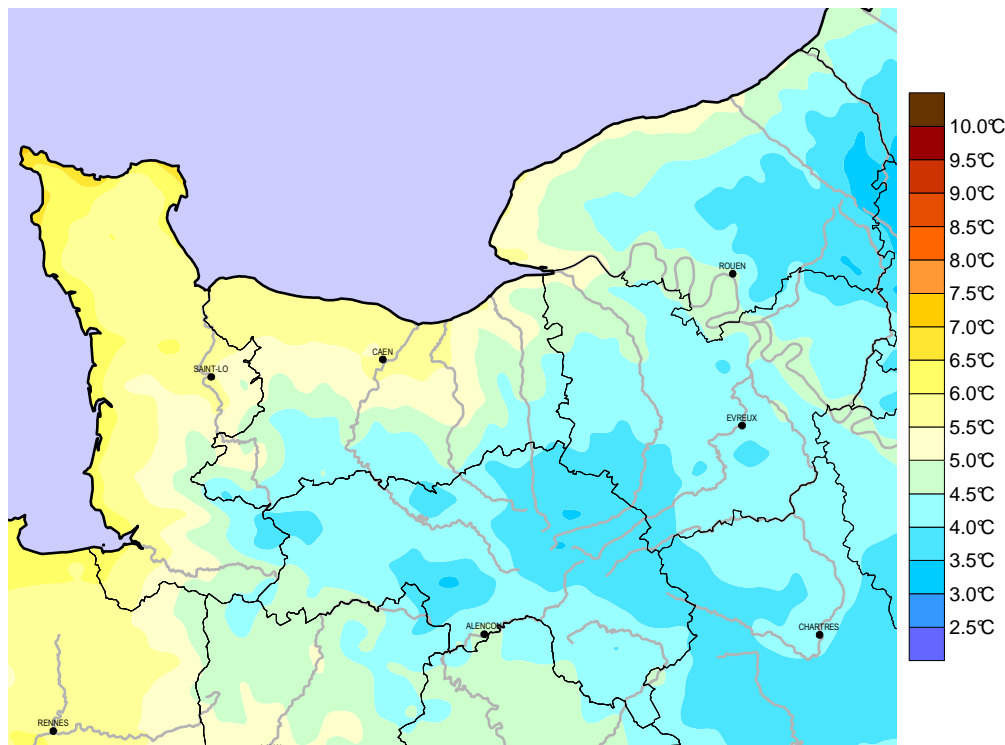
Malgré une augmentation notable des températures à partir de 2050, l'exposition de la Normandie à l'augmentation des températures moyennes annuelles devrait rester relativement moyenne jusqu'à la fin du siècle, étant donné la douceur du climat actuel.

Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010

2.1.2. 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)

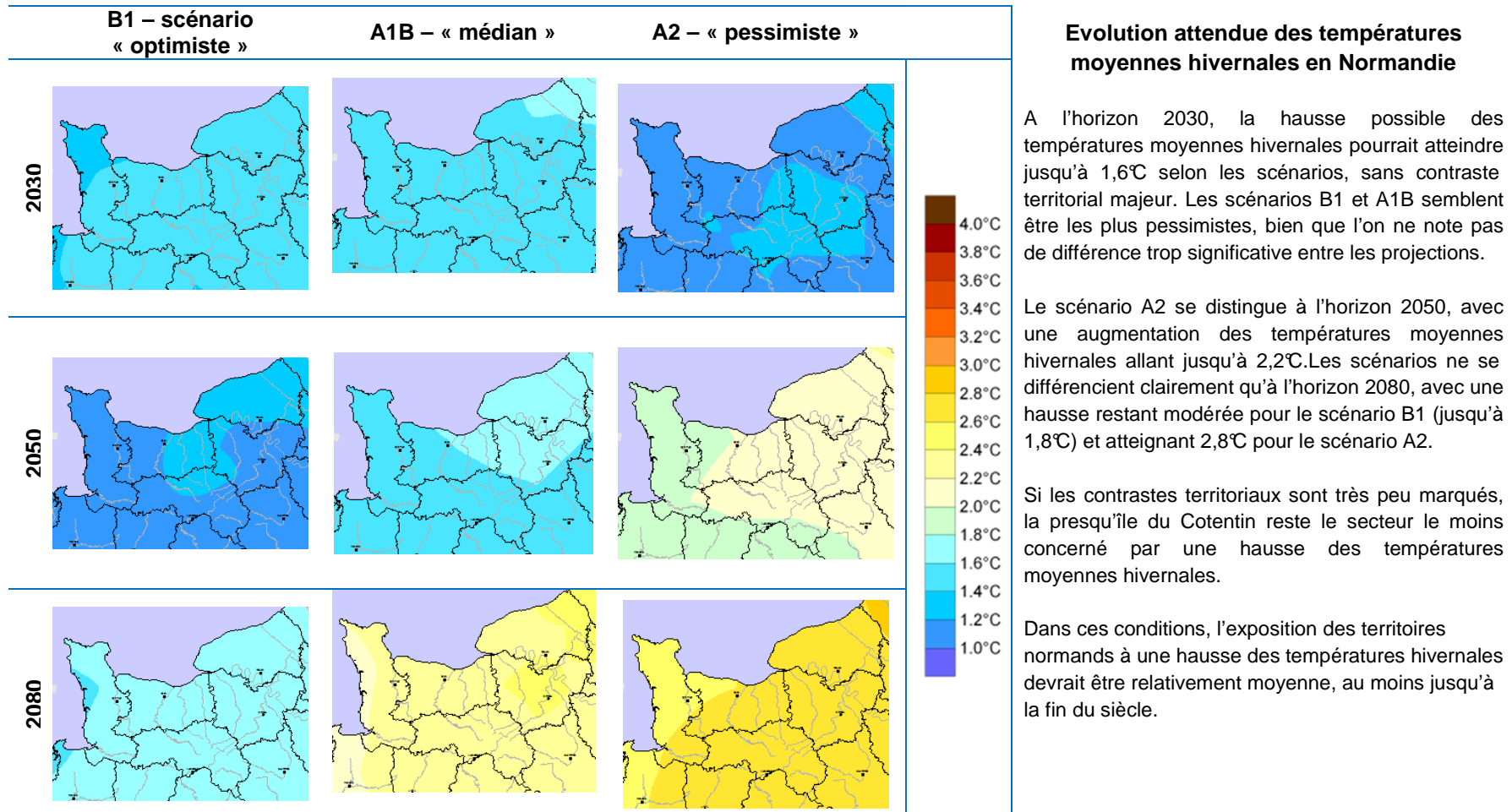
Analyse des tendances des températures
(moyenne hivernale)

L'analyse des moyennes de températures hivernales souligne un contraste thermique net entre le littoral (en particulier la presqu'île du Cotentin et la plaine de Caen), marqué par des températures douces (jusqu'à 7°C en moyenne), et l'intérieur des terres plus froid (jusqu'à 3,5°C en moyenne).

Là encore, la proximité à l'océan et le relief expliquent cette gradation décroissante des températures du littoral vers l'intérieur. En témoigne la vallée de la Seine, qui permet à l'influence océanique de pénétrer dans les terres et bénéficie ainsi de températures plus douces.

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

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

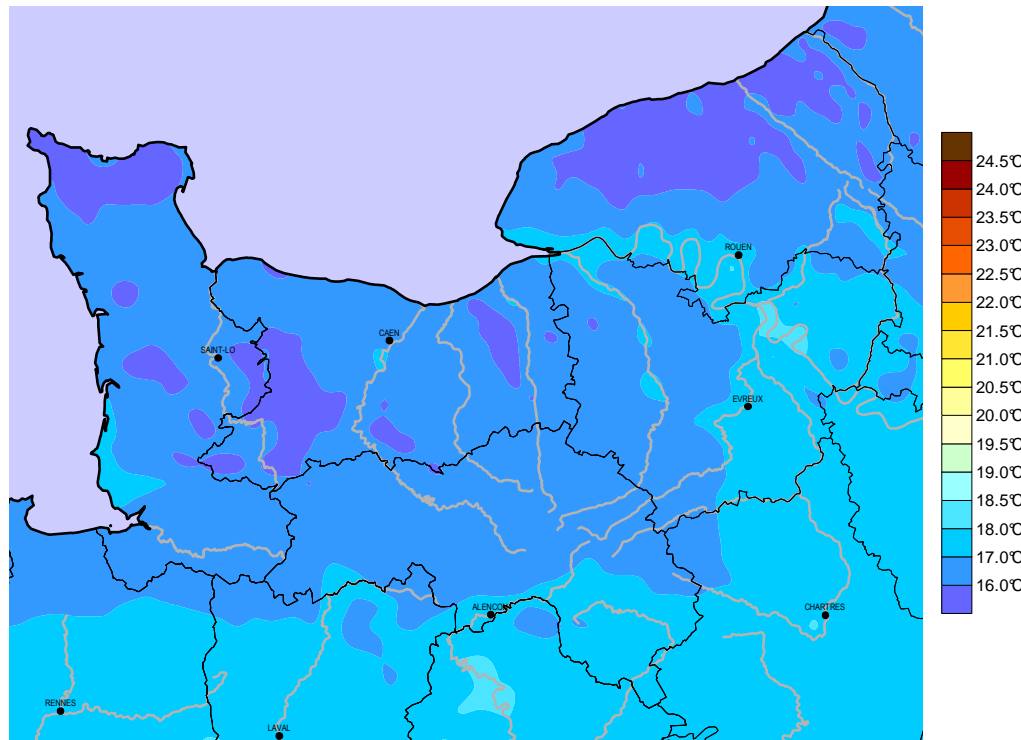


Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010

2.1.3. 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 en degrés.

Scénario de référence (1971-2000)



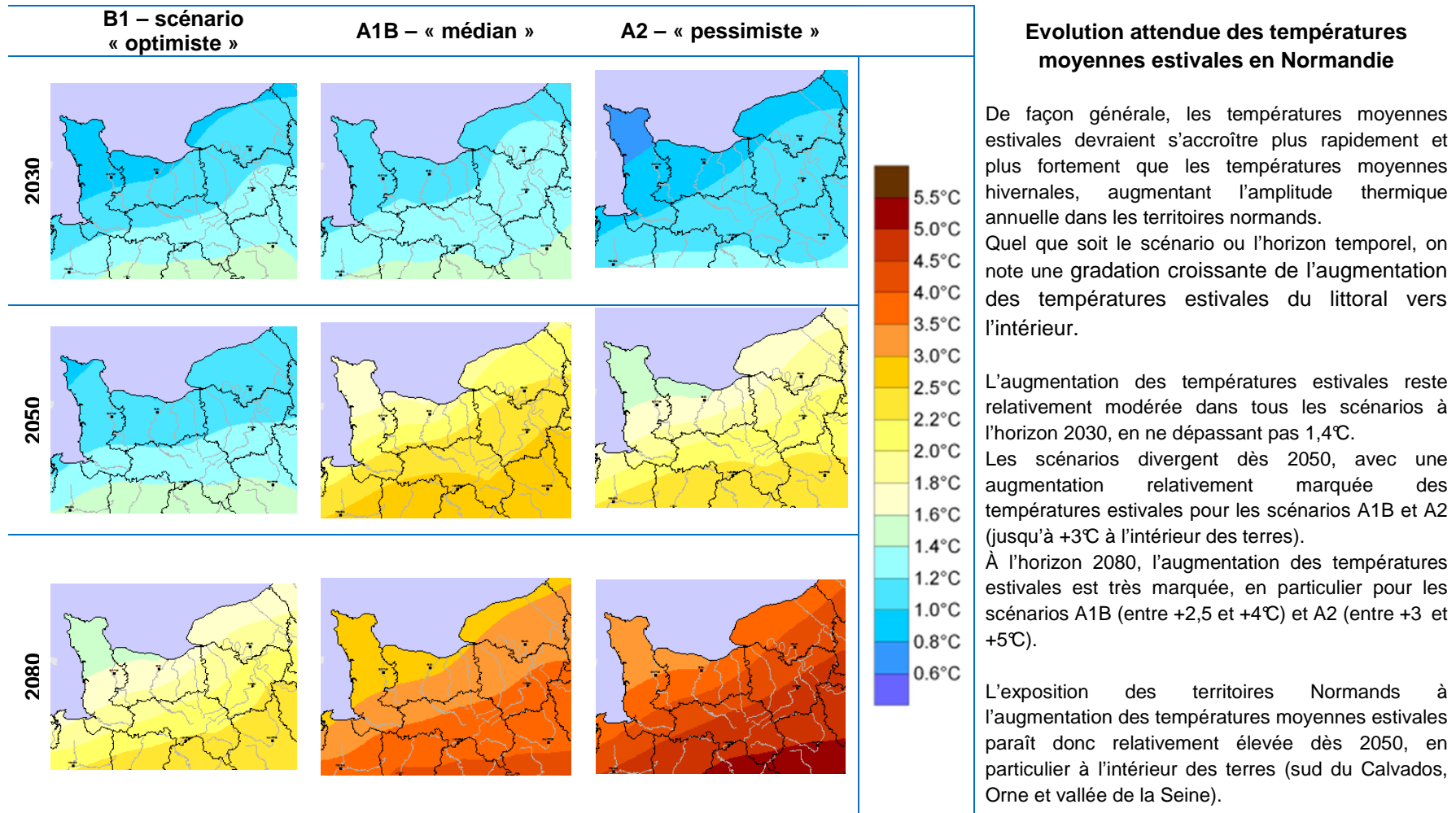
Analyse des tendances des températures (moyennes estivales)

L'analyse des moyennes de températures estivales ne révèle pas de contraste territorial majeur. Deux éléments se distinguent néanmoins :

- La douceur des températures moyennes estivales, qui ne dépassent pas 18°C sur l'ensemble du territoire normand ;
- La vallée de la Seine se distingue avec des températures légèrement supérieures au reste du territoire.

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

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



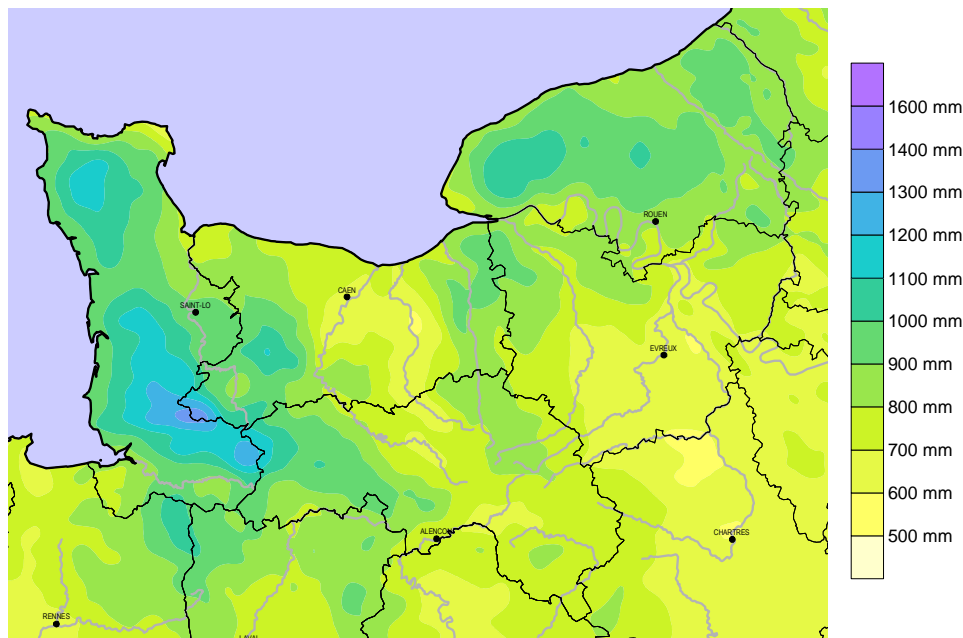
Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010.

2.2. PARAMETRES DE PRECIPITATIONS

2.2.1. Moyenne annuelle 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)



Analyse des tendances de précipitations (moyenne annuelle)

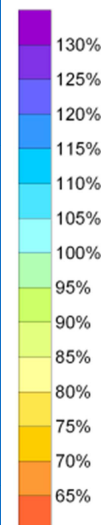
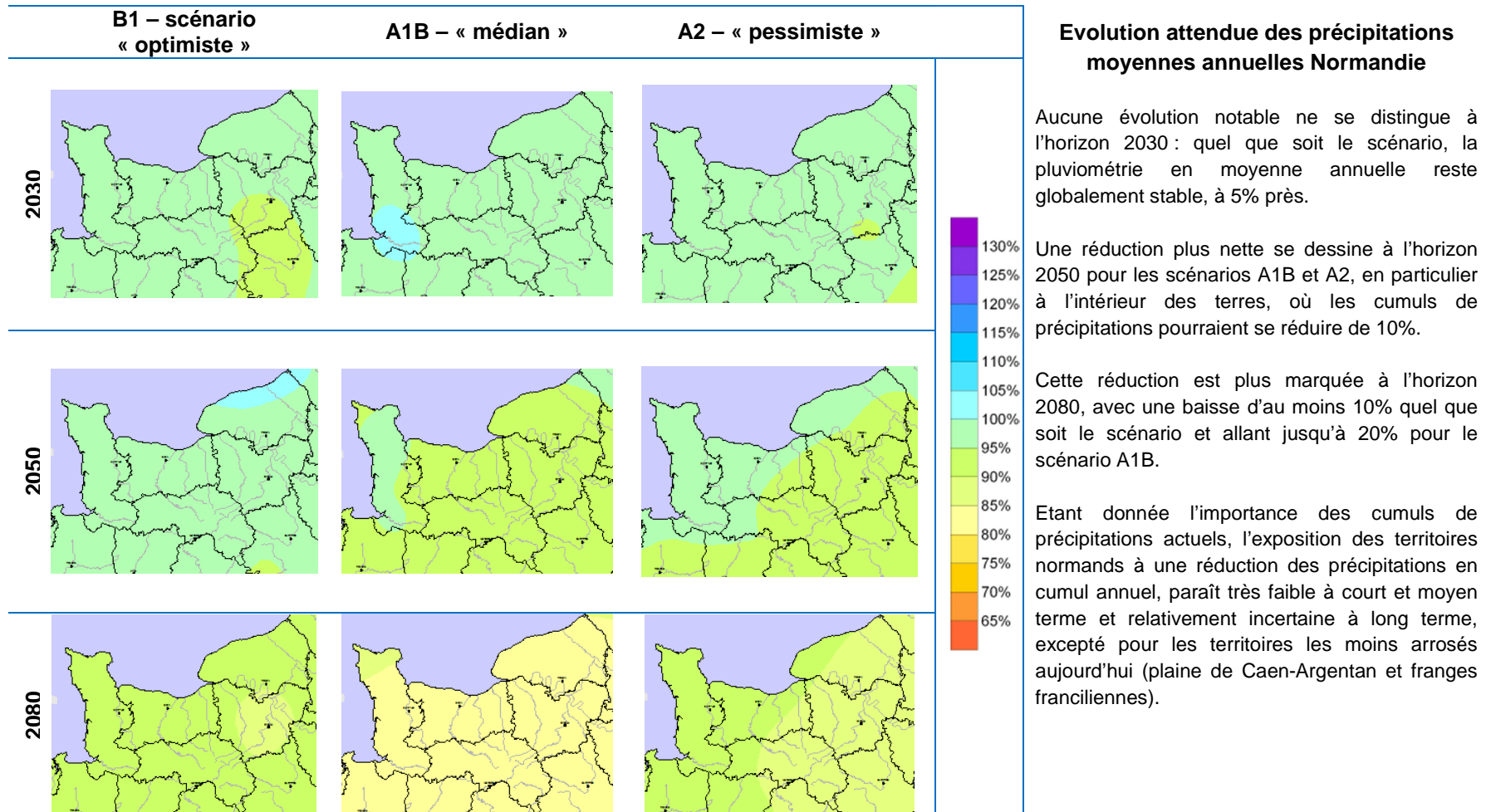
La carte ci-contre représente la répartition des précipitations en pluviométrie moyenne annuelle (cumul des précipitations sur une année en mm).

Les cumuls de précipitations en Normandie sont globalement importants. Néanmoins, des contrastes territoriaux se dégagent :

- Le département de la Manche reçoit les plus forts cumuls (jusqu'à 1 600mm/an). La presqu'île du Cotentin et les Collines Normandes forment en effet un obstacle face aux dépressions atlantiques ;
- Les reliefs du Pays d'Auge et des Pays Caux et de Bray reçoivent également d'importants cumuls (jusqu'à 1 100mm/an) ;
- La plaine de Caen-Argentan et la partie sud-est de l'Eure sont moins arrosées (entre 600 et 800mm/an).

C'est sur la base de cette situation de référence que seront analysées les évolutions climatiques simulées par ARPEGE-Climat, pour faire apparaître l'exposition des territoires normands à l'évolution des précipitations dans la perspective du changement climatique.

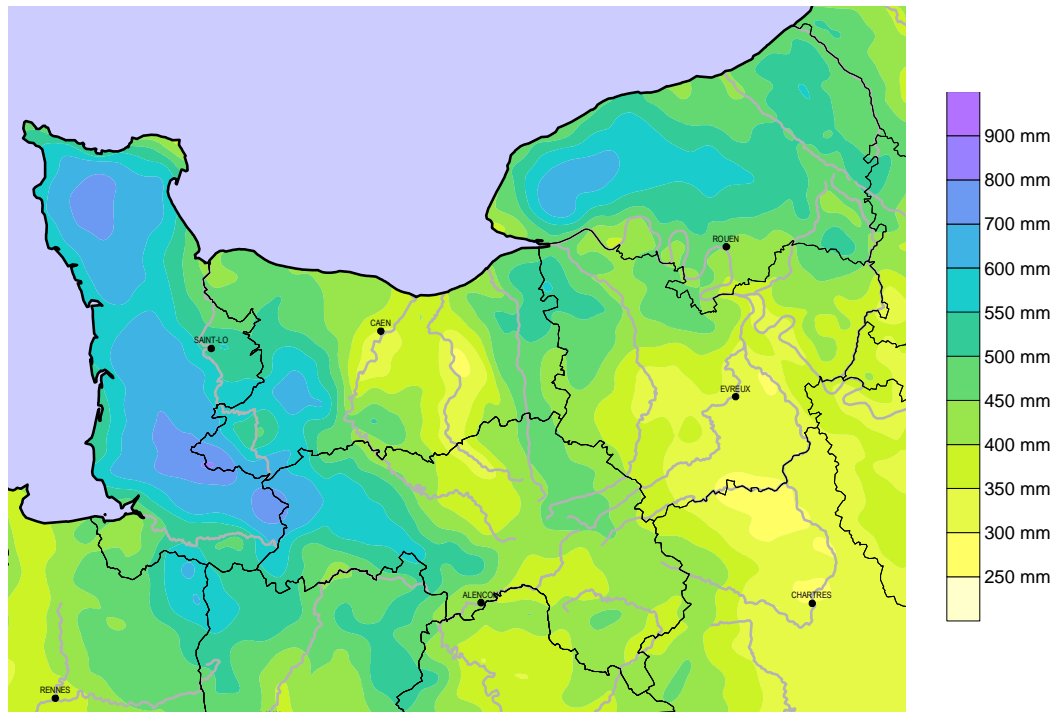
Moyenne annuelle des précipitations : écart à la référence en pourcentage aux horizons 2030- 2050-2080



Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010

2.2.2. 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.

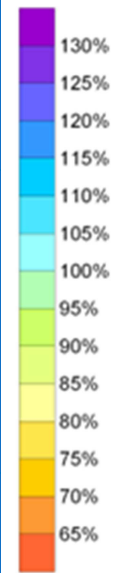
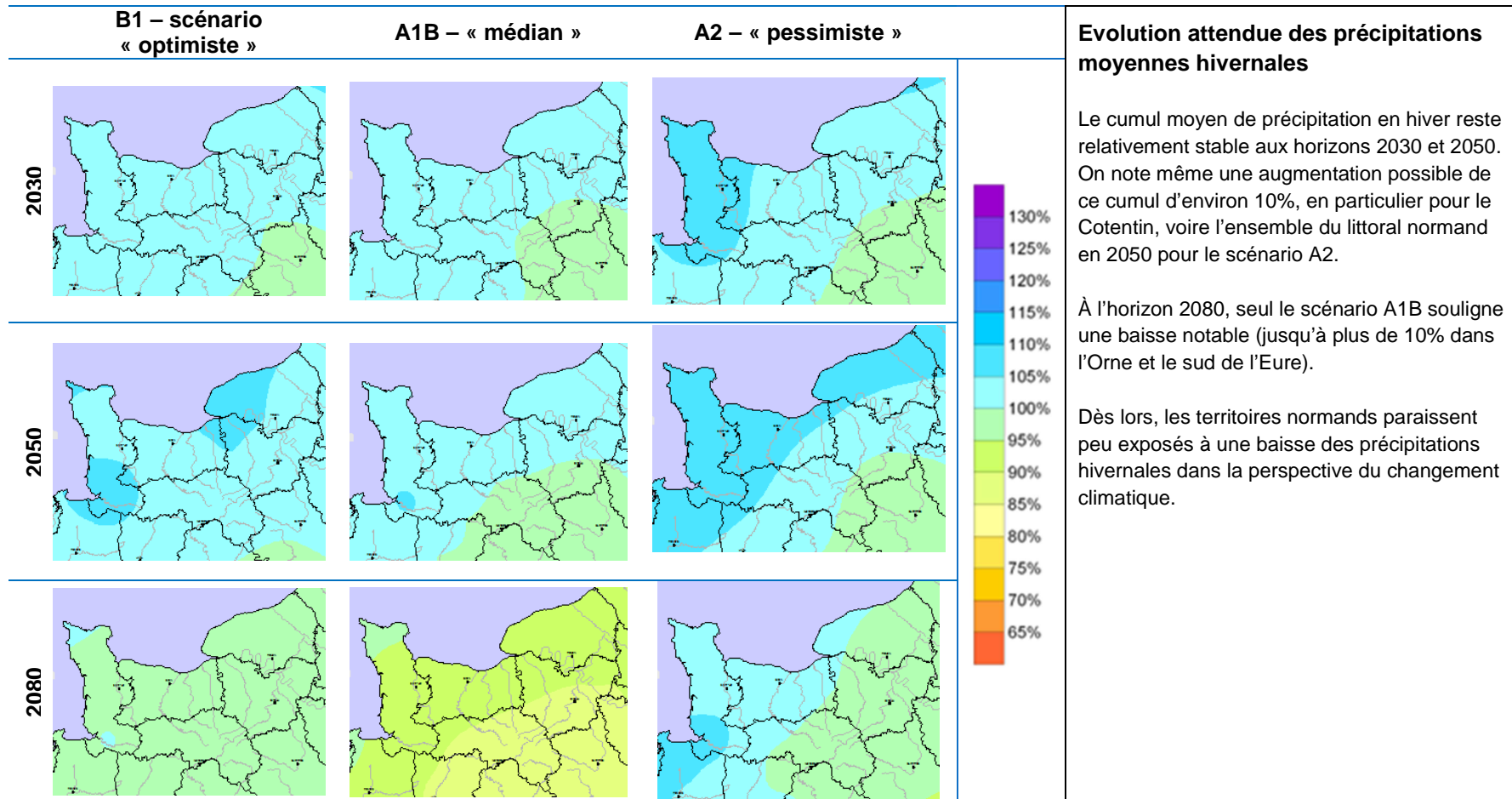
Scénario de référence (1971-2000)**Analyse des tendances de précipitations (moyenne hivernales)**

En hiver, le cumul des précipitations moyennes 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.

Dès lors, les contrastes territoriaux liés au relief, identifiés sur la carte de la pluviométrie annuelle (voir 2.2.1), se distinguent avec plus de netteté.

Météo-France – DATAR, décembre 2012, Fourniture d'indicateurs pour caractériser le changement climatique

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

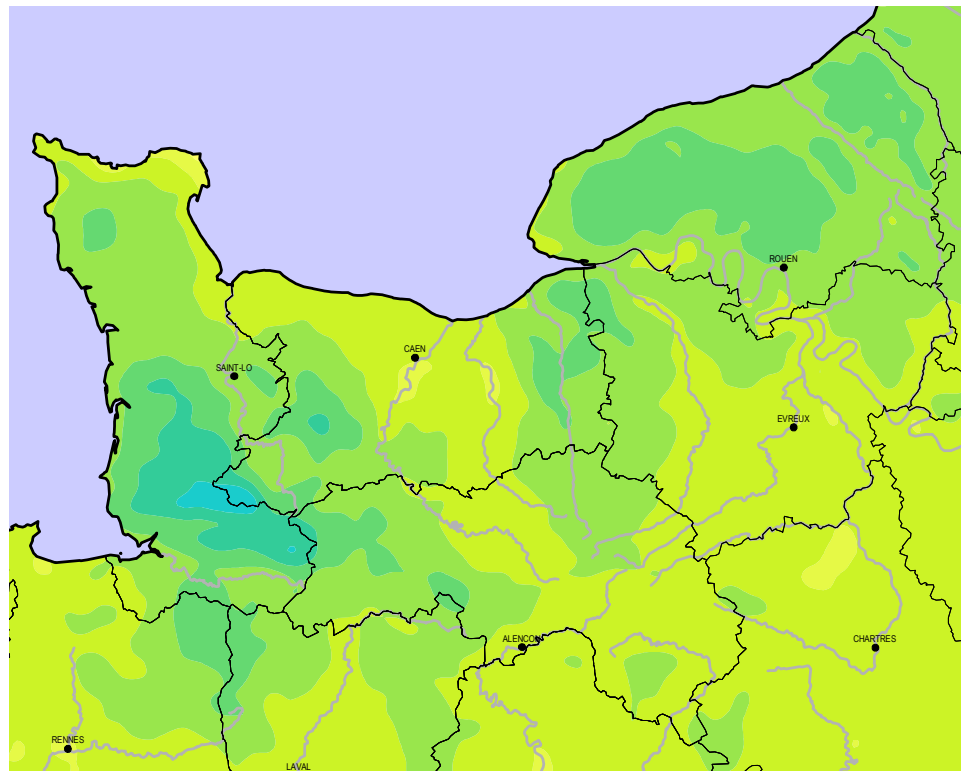


Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010.

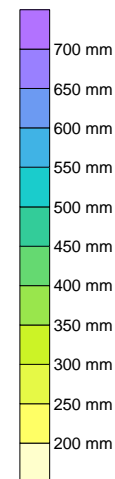
2.2.3. Moyenne saisonnière des précipitations en été

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

Scénario de référence (1971-2000)



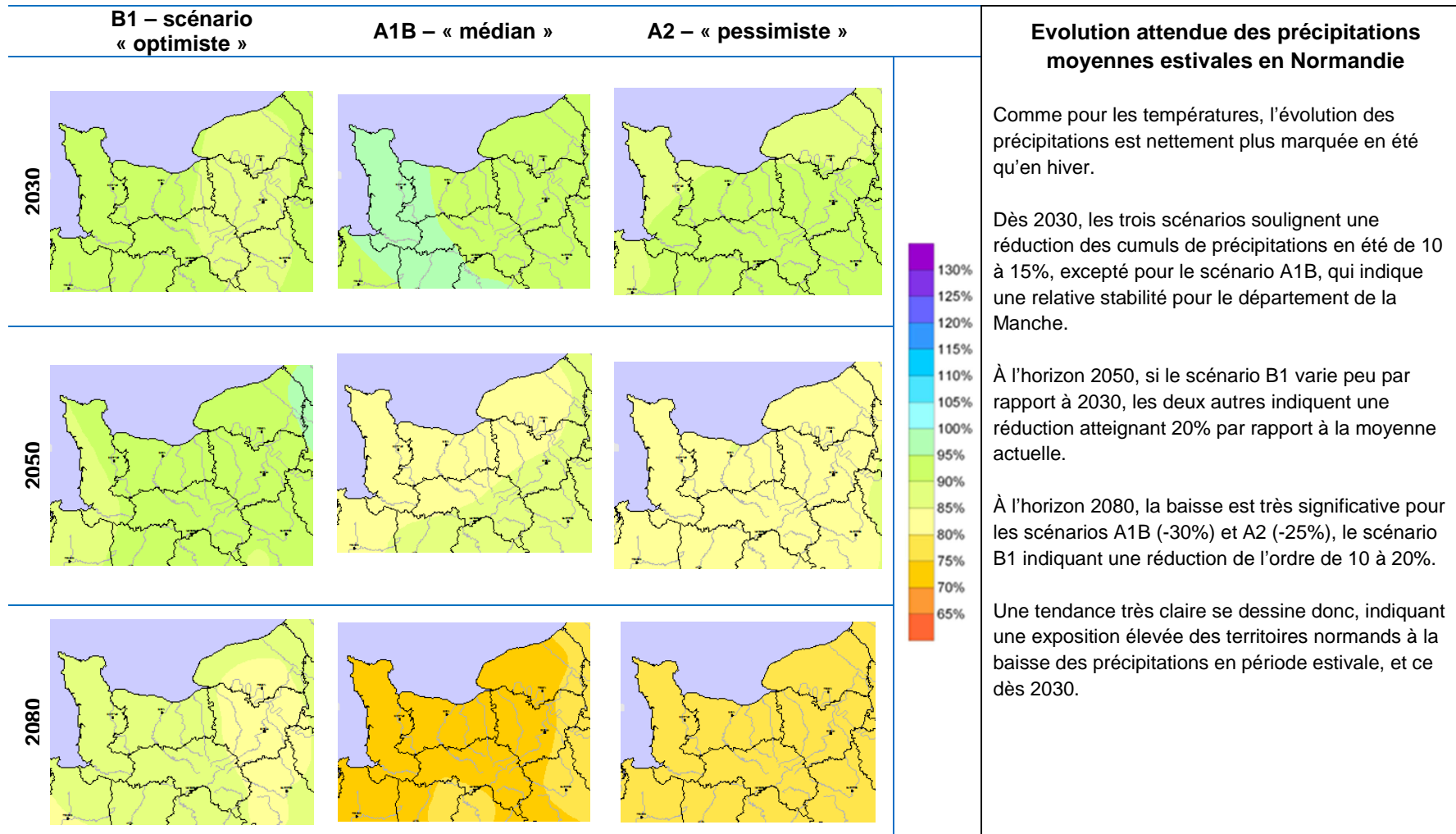
Analyse des tendances de précipitations (moyenne estivale)



Cette carte présente les moyennes annuelles des précipitations estivales. Elles oscillent entre 300 et 500 mm par an selon les zones géographiques.

Là encore, les mêmes contrastes territoriaux liés au relief, identifiés sur la carte de la pluviométrie annuelle (voir 2.2.1), se distinguent.

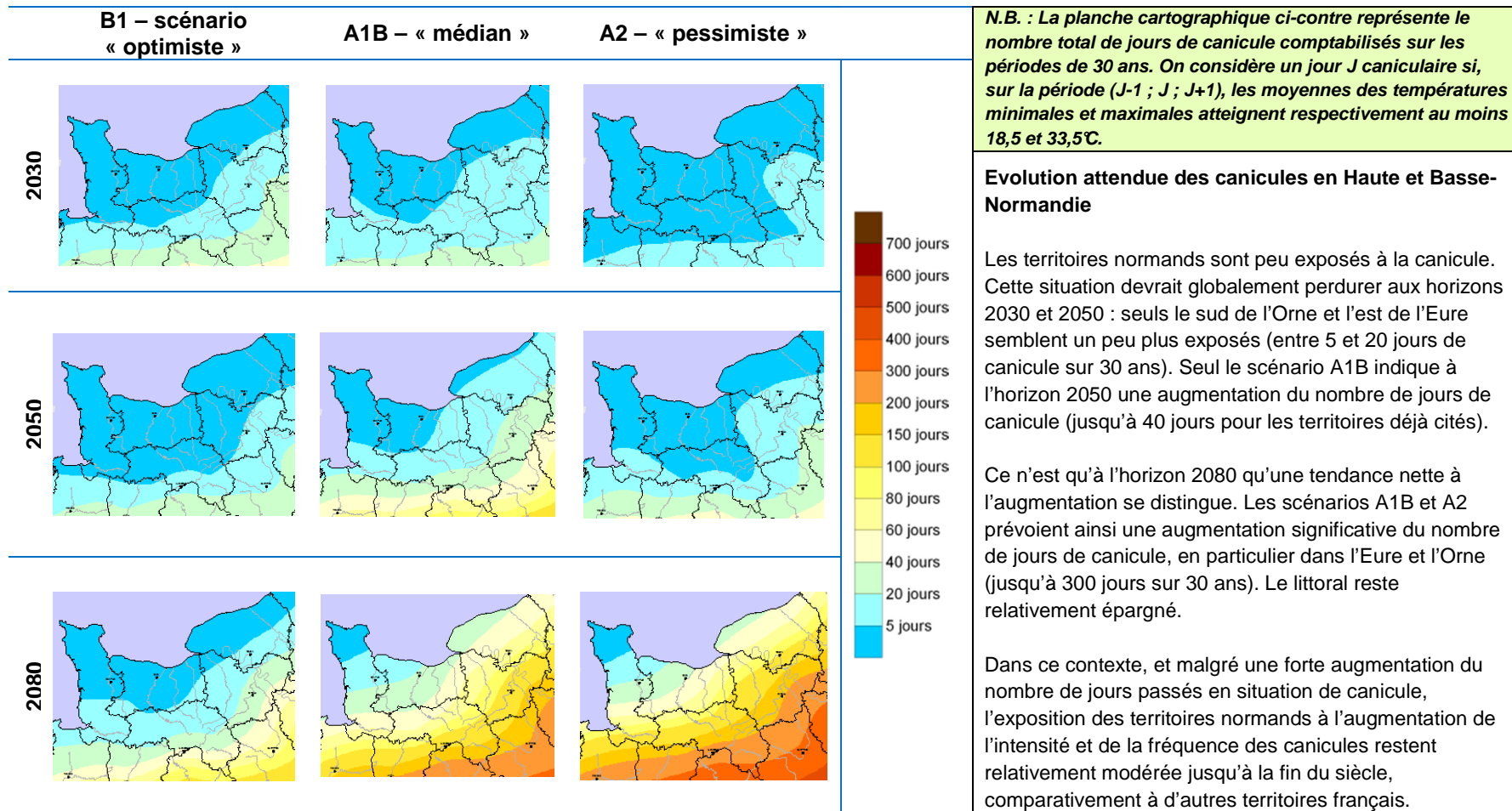
Moyenne saisonnière des précipitations en été : écart à la référence en pourcentage aux horizons 2030 - 2050 - 2080



Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010

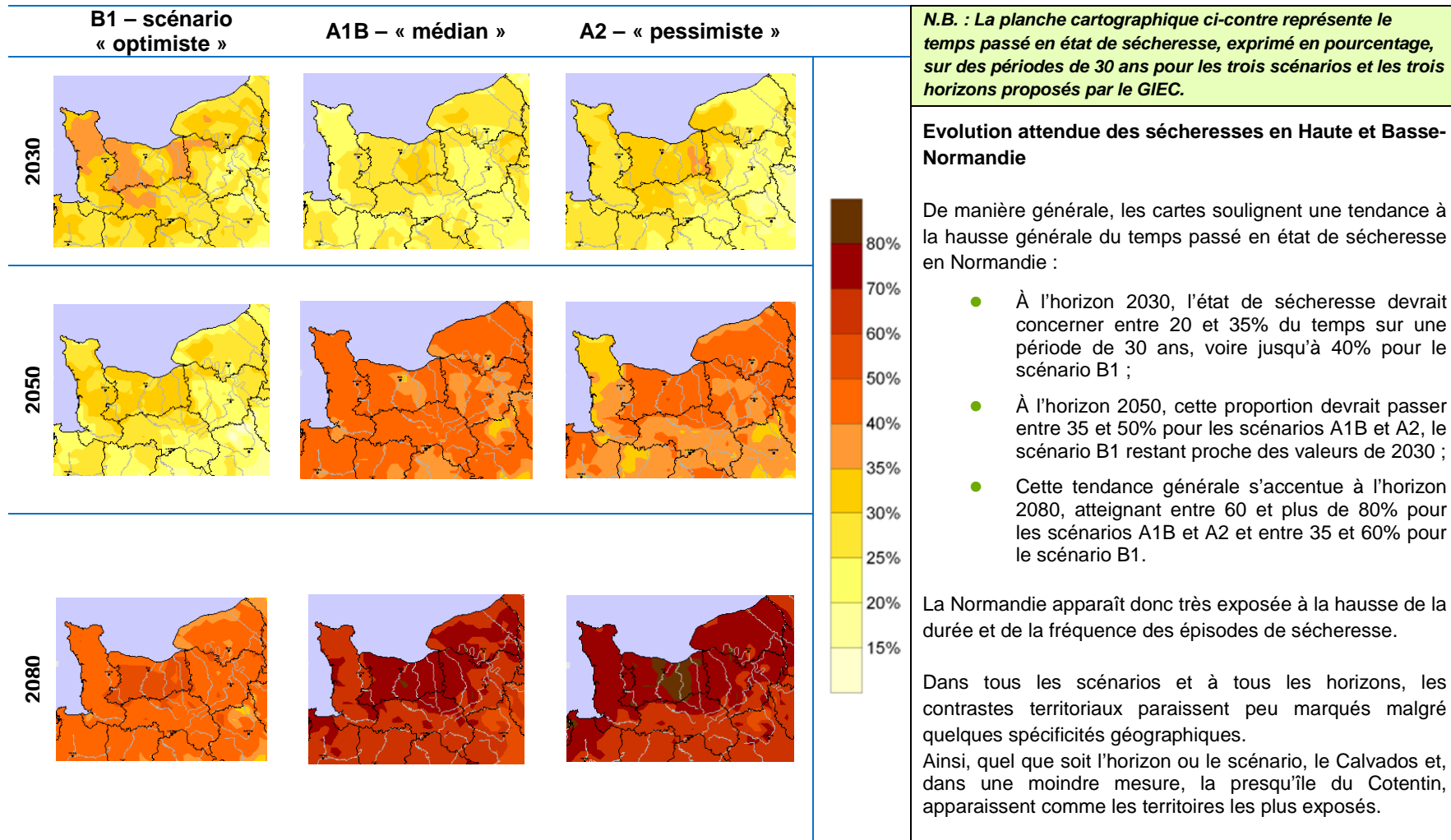
2.3. PARAMETRES DE CANICULE ET SECHERESSE

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



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

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

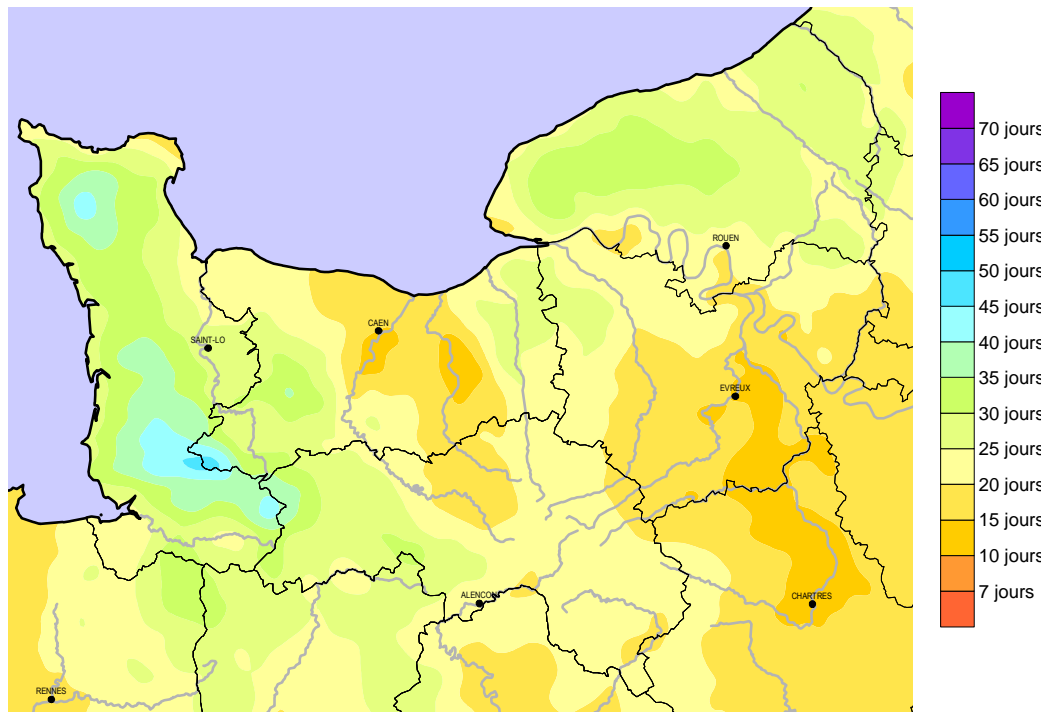


Source des cartes : Météo-France – DATAR, 2010.

2.4. MOYENNE ANNUELLE DU NOMBRE DE JOURS OU LE CUMUL DE PRECIPITATIONS ATTEINT 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)



Analyse de l'exposition aux épisodes de fortes précipitations des territoires normands

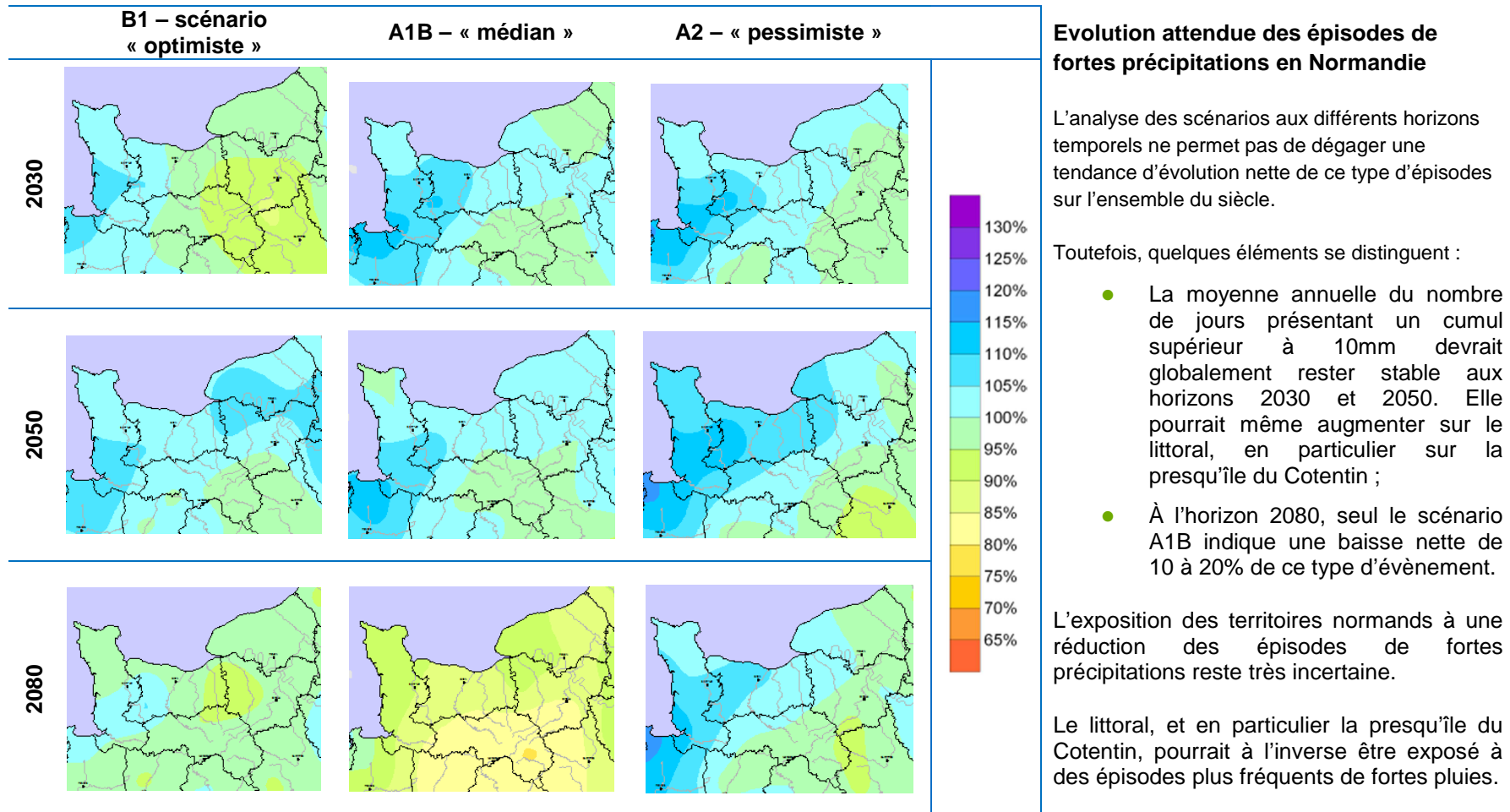
La moyenne annuelle du nombre de jours pour lesquels le cumul de précipitations atteint au moins 10mm permet de caractériser l'exposition d'un territoire aux épisodes de fortes précipitations.

Les mêmes contrastes territoriaux liés au relief, identifiés sur les cartes de pluviométrie annuelle et saisonnières se distinguent :

- Le département de la Manche apparaît comme le plus concerné par ces épisodes de fortes précipitations (jusqu'à 50 jours par an en moyenne) ;
- Les reliefs des Pays d'Auge, de Caux et de Bray apparaissent également concernés, dans une moindre mesure.

La plaine de Caen-Argentan et le sud-est de l'Eure sont moins touchés par ce type d'évènement climatique.

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.

3. BIBLIOGRAPHIE

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

J. JAN (Météo-France), *Projections d'indicateurs climatiques sur la Basse-Normandie*, Etude sur l'adaptation au changement climatique en Basse-Normandie, mars 2009.

C. JEANDEL et R. MOSSERI, *Le climat à découvert, outils et méthodes en recherche climatique*, CNRS Editions –, ouvrage collectif, 2011.

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

Profil Environnemental Régional de Basse-Normandie (version de travail), DREAL Basse-Normandie, 2013.