



Direction Interrégionale Nord  
Bureau d'études  
18, rue Elisée Reclus BP 7  
59651 Villeneuve d'Ascq Cedex

Rapport d'étude

---

# Changement climatique

**en**

# **Nord - Pas-de-Calais**

*DREAL Nord – Pas-de-Calais*

*Mai 2011*



## Table des matières

<b>Etapes nécessaires à la réalisation d'une étude d'impact....</b>	<b>3</b>
Les scénarios .....	4
Les modèles du climat.....	4
Les incertitudes.....	5
<b>Méthodologie et recommandations.....</b>	<b>6</b>
<b>Évolution des paramètres de température.....</b>	<b>9</b>
Climat actuel.....	9
Analyse des températures à l'échelon annuel .....	9
Analyse des températures à l'échelon saisonnier.....	11
Climat futur : paramètres moyens.....	12
Climat futur : paramètres extrêmes.....	14
<b>Évolution des paramètres de précipitations.....</b>	<b>15</b>
Climat actuel.....	15
Climat futur : paramètres moyens.....	15
Climat futur : paramètres extrêmes.....	16
<b>Conclusion.....</b>	<b>17</b>
<b>ANNEXE : Paramètres de température au printemps et à l'automne.....</b>	<b>18</b>

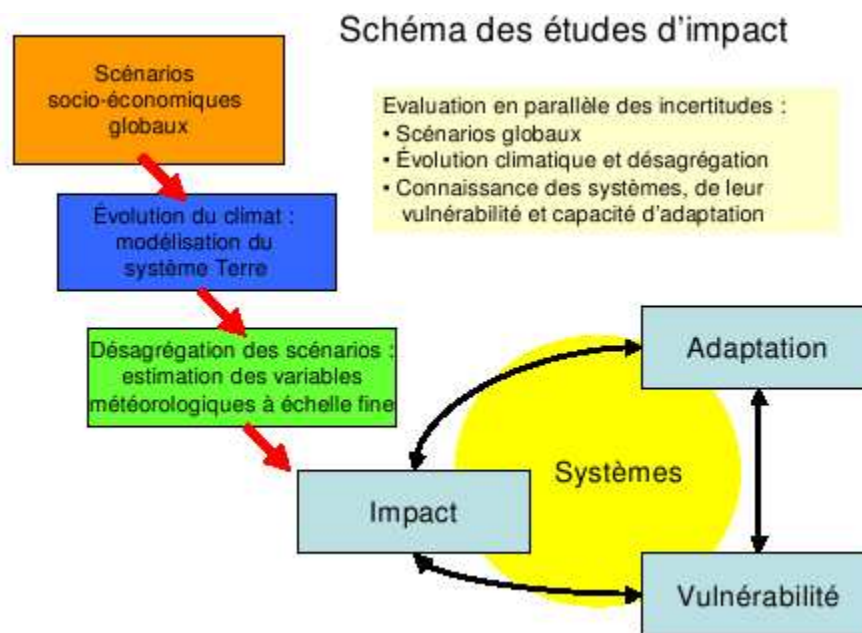


Cette étude sur le changement climatique dans la région Nord – Pas-de-Calais intervient dans le cadre de l'élaboration du SRCAE.

Nous renvoyons à la note d'accompagnement des produits « DATAR » (« Fourniture d'indicateurs pour caractériser le changement climatique », Catherine Conseil, nov 2010), ainsi qu'au rapport Jouzel du 26/01/2011, pour des informations complémentaires sur les principes et la méthodologie employée dans la réalisation des projections climatiques.

## Etapes nécessaires à la réalisation d'une étude d'impact

Etudier l'impact du changement climatique au XXIe siècle sur différents secteurs passe par plusieurs étapes nécessaires, qui sont illustrées sur le schéma générique ci-dessous.



On trouve, d'une part, un enchaînement d'actions sur les paramètres météorologiques et qui aboutit à des projections climatiques régionalisées (*partie gauche du schéma*). D'autre part, il faut une connaissance du système à étudier, qui peut être une culture agricole, les débits des rivières, le transport, ... (*partie en bas à droite*) L'effet des paramètres climatiques projetés sur le système étudié donne l'impact du changement climatique, l'adaptation et la vulnérabilité face au phénomène.

Dans le présent rapport, nous étudierons la partie purement météorologique, c'est à dire les projections climatiques régionalisées sur le Nord – Pas-de-Calais, sans prise en compte d'un système en particulier.



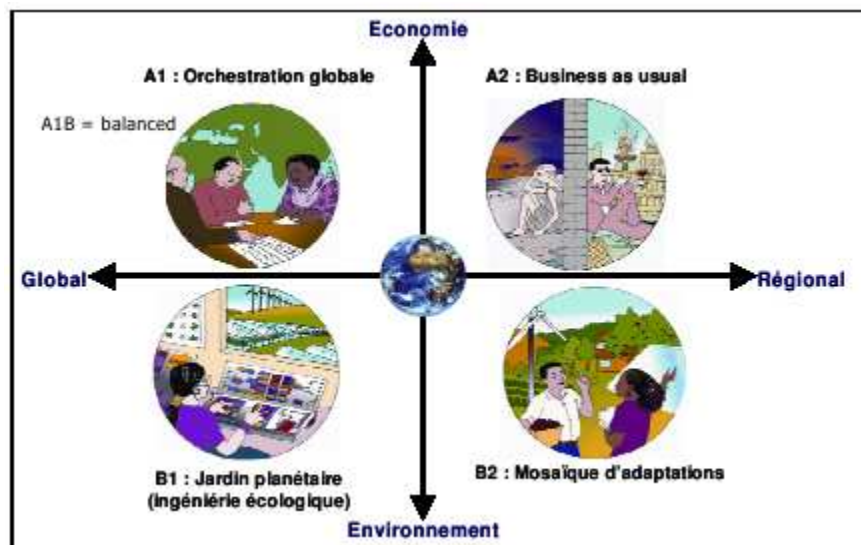
On détaille ci-dessous les ingrédients nécessaires à la réalisation d'une telle étude :

- les scénarios socio-économiques,
- les modèles climatiques,
- la prise en compte et l'évaluation des projections climatiques.

### Les scénarios

Les scénarios socio-économiques sont ceux associés au dernier rapport du GIEC de 2007. Ils correspondent chacun à une hypothèse d'évolution de la société sur le globe : sources d'énergie, expansion de l'industrie et de l'agriculture, démographie,... Cette hypothèse se traduit en taux d'émission des différents Gaz à Effet de Serre (GES).

La prise en compte de plusieurs scénarios rend compte de l'incertitude associée aux orientations économiques et politiques. A noter qu'aucun scénario du 4e rapport du GIEC, même le plus environnemental, n'envisage une politique volontaire de réduction des gaz à effet de serre.



### Les modèles du climat

Les modèles climatiques sont une représentation du système climatique, c'est à dire de l'atmosphère, de l'océan, des surfaces continentales, de la cryosphère, de la végétation, ... (cf Illustration 1)

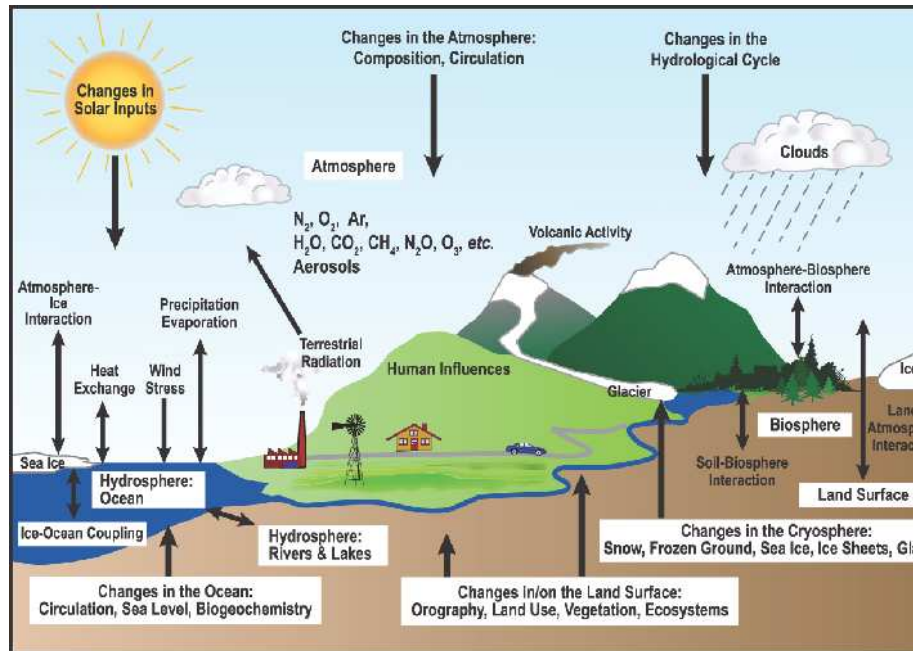


Illustration 1: Schéma des constituants du système climatique et de leurs interactions (source : GIEC AR4 WG I)

Comme les paramètres climatiques sont des paramètres moyennés sur plusieurs années, ils ont une grande prévisibilité. Les projections climatiques couvrent l'ensemble du XXI<sup>e</sup> siècle. La période la plus pertinente est d'ailleurs la 2<sup>e</sup> moitié du siècle, car c'est alors que les scénarios se démarquent nettement les uns des autres et que l'incertitude liée aux différents modèles devient relativement plus faible. Les projections de la fin du siècle montrent ainsi l'importance des politiques qui sont prises aujourd'hui.

Les modèles du 4<sup>e</sup> rapport du GIEC ont une maille de l'ordre de 150 km, ce qui leur permet d'avoir une bonne représentation des variations spatiales à l'échelle mondiale. Par contre cette résolution n'est pas suffisante pour une étude d'impact régionale. C'est pourquoi on applique sur ces sorties modèles des outils de régionalisation, dits de descente d'échelle. Attention, l'augmentation de la résolution implique que l'incertitude relative à la représentation cartographiée est plus grande.

### Les incertitudes

Tout exercice de scénario sur le 21<sup>ème</sup> siècle est de nature probabiliste en raison des nombreuses sources d'incertitude existante (certaines sont fondamentalement irréductibles). Les simulations climatiques ne sont pas des prévisions et aucune échelle de probabilité ne leur est attachée (aucun scénario n'est plus probable qu'un autre). Elles représentent a priori des évolutions plausibles du climat de la France sur le 21<sup>ème</sup> siècle basées sur nos connaissances actuelles, et qui permettent d'éclairer les décideurs actuels.

Il existe principalement quatre sources d'incertitude :



- l'incertitude associée aux scénarios d'émission des GES. Cette incertitude peut être approchée en analysant différents scénarios.
- l'incertitude naturelle liée au climat. Elle correspond à la variabilité climatique intrinsèque et chaotique qui est un phénomène naturel et irréductible.
- l'incertitude « modèle » liée à la représentation des processus physiques. Elle peut être prise en compte en s'appuyant sur plusieurs modèles du GIEC.
- l'incertitude liée à la régionalisation des sorties modèle.

## Méthodologie et recommandations

Les caractéristiques de la présente étude sur le changement climatique dans la région Nord – Pas-de-Calais sont les suivantes :

- Modèle climatique : **Arpège-Climat** version 4.6, qui est un modèle à maille étiré avec une résolution de 50 km sur la France.

Bien que le nord de la France ne soit pas une région contrastée par son relief, il est important de souligner que le relief modélisé est une approximation relativement grossière de la réalité (cf Illustration 2).

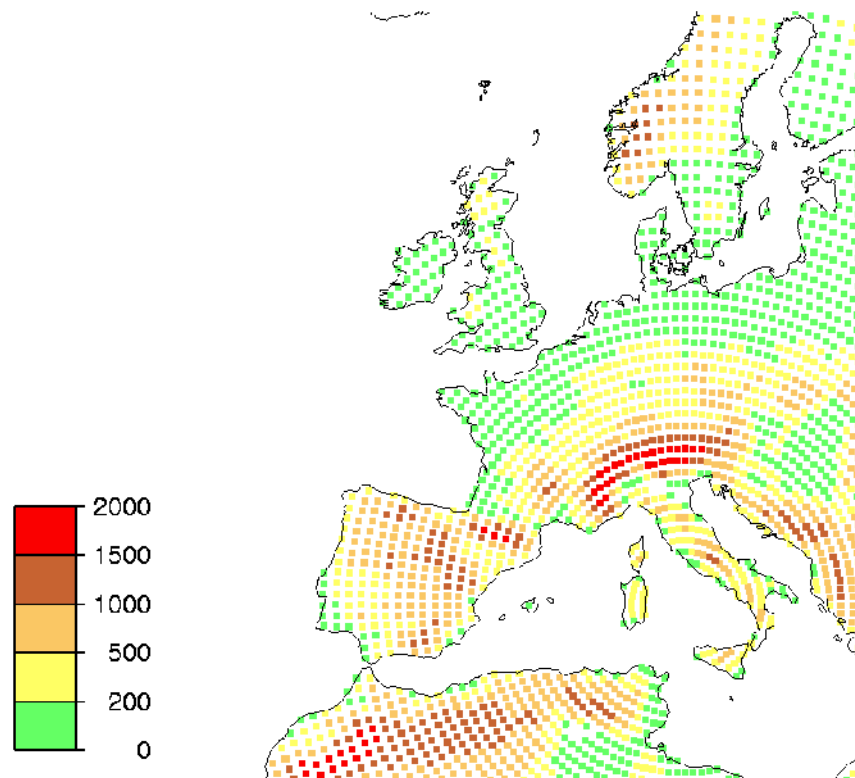


Illustration 2: Relief vu par le modèle Arpège-Climat (en m)



- Scénarios socio-économiques : A1B, A2 et B1.

Le scénario **A1B** décrit un monde futur dans lequel la croissance économique sera très rapide, la population mondiale atteindra un maximum au milieu du siècle pour décliner ensuite et de nouvelles technologies plus efficaces seront introduites rapidement. C'est un scénario **médian**.

Le scénario **A2** décrit un monde très hétérogène. Le développement économique a une orientation principalement régionale, et la croissance économique par habitant et l'évolution technologique sont plus fragmentées et plus lentes que pour les autres scénarios. C'est un scénario dit **pessimiste**.

Le scénario **B1** décrit un monde convergent avec la même population mondiale culminant au milieu du siècle et déclinant ensuite, comme dans le scénario A1B, mais avec des changements rapides dans les structures économiques, vers une économie de service et d'information, des progrès dans les matériaux utilisés et l'introduction de technologies propres et utilisant les ressources de manière efficiente. C'est un scénario dit **optimiste**. (Remarque : il ne s'agit pas d'un scénario de réduction volontariste des GES)

- Climatologie de référence : **1971/2000**.

Le climat actuel est illustré par une climatologie fine (résolution 1 km) issue de la spatialisation des observations sur la période 1971-2000 par la méthode AURELHY. La méthode AURELHY permet d'obtenir des champs météorologiques (pluie et température) par l'interpolation des mesures effectuées sur une longue période en prenant en compte le relief. Cette climatologie fine constitue actuellement la climatologie de référence à Météo-France

- Horizons étudiés : **2030** (2015-2045), **2050** (2035-2065) et **2080** (2065-2095). Les horizons futurs sont désignés par l'année médiane d'un intervalle de 30 ans.
- Méthode de régionalisation : méthode des « deltas », qui a été utilisée dans l'étude DATAR.

Cette méthode fait l'hypothèse forte que l'évolution climatique est relativement stable spatialement. De ce fait, la résolution fine peut être apportée par la même méthode de krigeage et spatialisation que celle utilisée sur la période de référence (méthode développée par Météo-France dénommée « Aurélhy »). Il s'agit d'une interpolation et non d'une méthode de descente d'échelle. La résolution de l'information finale relative au changement climatique reste identique à celle du modèle, donc de cinquante kilomètres.

La méthode de correction des données est la suivante (par exemple pour la température) :

$$T = T_{1971-2000} + (T_{\text{mod}} - T_{\text{ref,mod}})$$



Nous rappelons ici les **précautions** nécessaires à l'usage de l'analyse et des projections climatiques. La première des recommandations est de bien lire et de s'imprégner de ces précautions, car elles accompagnent les cartes et permettent une juste compréhension de l'analyse.

Pour les paramètres climatiques au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, on parle de projections et non de prévisions. La nuance est importante et est liée aux incertitudes accompagnant les sorties des modèles climatiques.

Afin de pallier à ces sources d'incertitude, on utilise plusieurs scénarios et plusieurs modèles. Il faut garder à l'esprit que les cartes issues de la méthode des deltas (DATAR) ne prennent en compte qu'un seul modèle. C'est pourquoi il est utile de se référer au rapport Jouzel, qui utilise 2 modèles.

Par ailleurs, il est nécessaire d'effectuer l'analyse d'un paramètre sur au moins 2 scénarios, ou si ce n'est pas possible de spécifier clairement qu'il ne s'agit que d'un seul scénario parmi d'autres.

Une recommandation essentielle est de ne pas se laisser abuser lors de la lecture des cartes zoomés sur la région, qui affichent une résolution de 1km. La partie de l'information portant sur les éventuels changements climatiques demeure en effet à résolution 50 km. Toutes les structures de plus petite taille sont calquées sur la climatologie 1971/2000. La résolution kilométrique est en quelque sorte artificielle, mais cela n'empêche pas le résultat d'être pertinent. Utiliser la climatologie actuelle permet en effet d'avoir un rendu des phénomènes de petites échelles (dû au littoral, au relief, aux fleuves, ...). Le résultat est donc réaliste si l'on admet l'hypothèse que ces phénomènes de petites échelles évolueront peu lorsque le climat global changera, pour ces horizons d'étude.

Par conséquent il sera très délicat de mettre en évidence des nuances dans le changement climatique à une échelle infra-régionale.

Pour information, il faut avoir à l'esprit que les sorties des modèles climatiques sont davantage exploitables à des horizons de 50 ou 100 ans que sur une ou deux décennies, bien que cela semble peu intuitif. Pour effectuer une prévision dite décennale (échéance inférieure à 20 ans), il faut en effet une connaissance plus fine du système climatique. De plus, le climat est en quelque sorte déjà joué à ces échéances proches, à cause de sa forte inertie et de la durée de vie des GES émis.





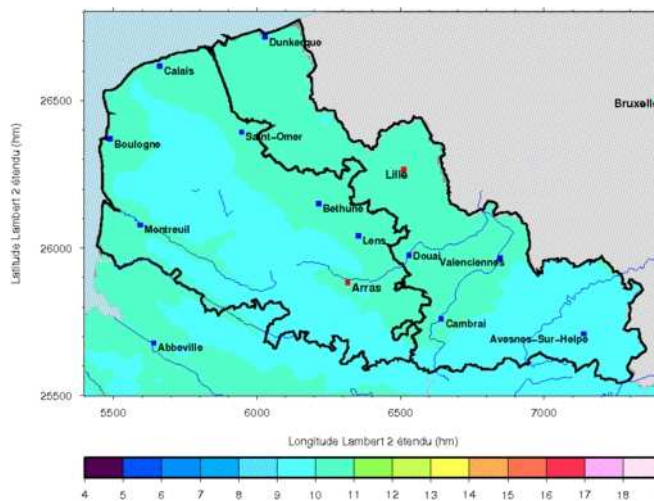
## Évolution des paramètres de température

Remarque : étant donné le grand nombre de paramètres de température utilisés dans l'étude pour la « DATAR » et repris ici, les cartes des saisons intermédiaires, printemps et automne, ne sont pas commentées. Cela ne remet pas en cause leur intérêt, notamment pour des domaines spécialisés. De plus, par souci de simplification, seulement 5 palettes de couleur ont été employées pour les paramètres Tmoy, Tmin et Tmax : une pour chaque saison, plus l'année.

### Climat actuel

Analyse des températures à l'échelon annuel

#### Température moyenne annuelle

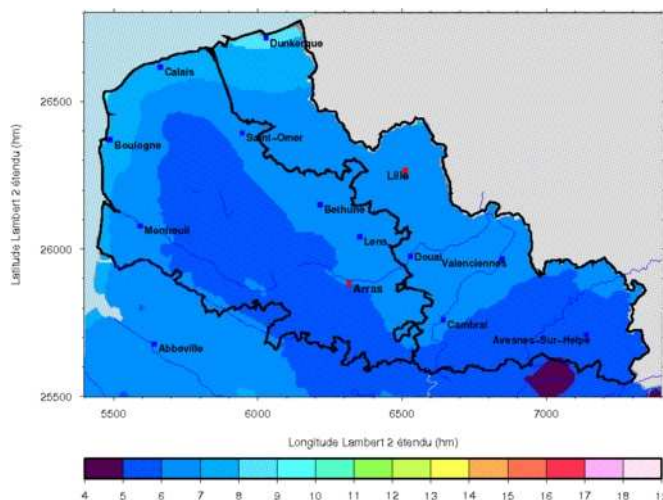


Il s'agit de la moyenne annuelle des températures moyennes quotidiennes. La température moyenne quotidienne se définit comme la moyenne arithmétique des températures minimale et maximale du jour considéré (unité : °C).

La température moyenne sur la région s'échelonne de 9°C à 11.5°C. Les températures moyennes les plus élevées sont situées sur les côtes de la région NPDC et le long de la frontière Belge. Des températures moyennes plus basses, de 9 à 9.5, sont présentes dans l'Artois, dans l'Est du Cambrais et dans l'Avesnois.

Illustration 3: Température moyenne annuelle

#### Température minimale annuelle



Il s'agit de la moyenne annuelle des températures minimales quotidiennes. La température minimale quotidienne se définit comme la température minimale entre 18 UTC la veille (J-1) et 18 UTC le jour J (unité : °C).

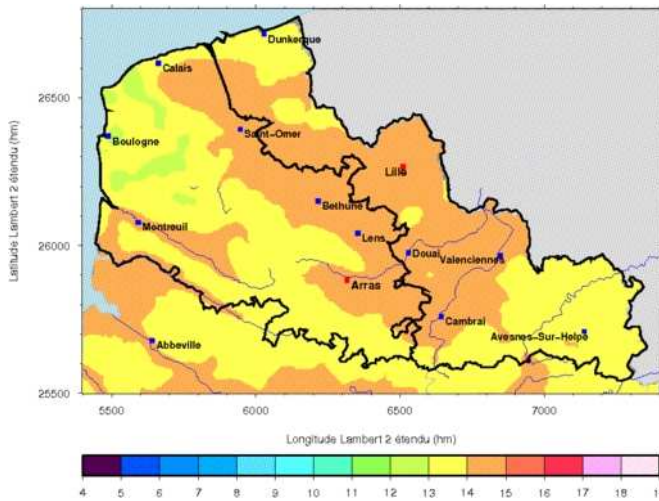
Les températures moyennes minimales sur la région varient de 5 à 9,5°C.

Les températures les plus basses se situent dans l'Avesnois et dans l'Artois.

Illustration 4: Température minimale annuelle (Climatologie 1971/2000)



### Température maximale annuelle

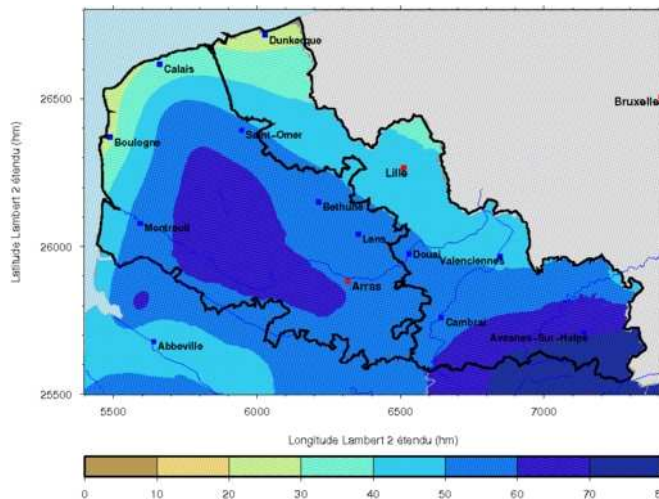


Il s'agit de la moyenne saisonnière des températures maximales quotidiennes. La température maximale quotidienne se définit comme la température maximale entre 06 UTC le jour J et 06 UTC le lendemain (J+1). Unité : °C.

Illustration 5: Température maximale annuelle

Les températures moyennes minimales sur la région varient de 12 à 15°C. Les températures les plus élevées couvrent la Métropole Lilloise, le Douais, le Valenciennais, l'est du Calaisis

### Gel

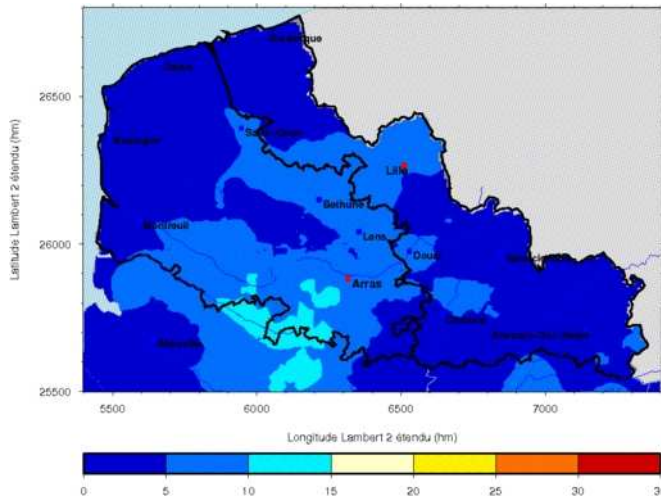


Les gelées (température minimale inférieure à 0°C) varient de 20 à 80 jours par an dans la région. Elles sont plus nombreuses au Sud de l'Avesnois ( 70 à 80 jours de gelées), et dans le centre de l'Artois (60 à 70 jours de gelée). Elles sont minimales (entre 20 et 30 jours) sur les côtes des Flandres et du Boulonnais.

Illustration 6: Nombre de jours de gel (Climatologie 1971/2000)



### Fortes chaleurs



Il s'agit du nombre de jours dans l'année où la température maximale quotidienne est supérieure 30°C (unité : le nombre de jours).

Le nombre de jours chauds est relativement homogène sur la région et s'élève entre 10 et 25 jours par an. Ce nombre est maximum dans les régions de l'Orsois et dans le Tardenois (sud-est de l'Aisne).

Illustration 7: Nombre de jours avec  $T_x > 30^\circ\text{C}$   
(Climatologie 1971/2000)

### Canicule

La canicule est définie selon les critères de l'INVS. Le jour  $J$  est compté caniculaire si, sur la période  $(J-1;J+1)$ , la moyenne des températures minimales atteint au moins  $18,5^\circ\text{C}$  et la moyenne des températures maximales atteint au moins  $33,5^\circ\text{C}$ .

Dans la climatologie, les épisodes de canicule restent rares dans le NPDC. On en compte en moyenne 1 par an, ce qui signifie que les années sans canicule sont courantes.

### Analyse des températures à l'échelon saisonnier

#### Température moyenne (hiver/été)

La température moyenne dans le NPDC, **en hiver**, s'échelonne de 2 à  $6^\circ\text{C}$  avec des minima localisées dans le Sud de l'Avesnois. Une zone homogène allant de l'Audomarois, Sud Béthunois, jusque dans l'Avesnois présente des températures de 3 à  $4^\circ\text{C}$ .

La zone homogène de températures, identifiée en hiver, s'étend **en été** sur les côtes de la Flandre et du Calais. Les températures relevées sont de l'ordre de  $16^\circ\text{C}$

#### Températures minimales (hiver/été)

**En hiver** les températures moyennes minimales s'échelonnent de  $0^\circ\text{C}$  à  $3^\circ\text{C}$ . La répartition spatiale des températures montre des minima localisés d'une part dans l'Avesnois, le Cambrasis le Sud de l'Artois jusqu'au



Boulonnais. Le reste de la région présente des valeurs plus élevées sur les côtes, entre 2.5 et 3°C.

**En été**, les températures minimales moyennes s'étendent de 10 à 14°C. La majeure partie de la région a des températures homogènes comprises entre 11 et 12°C. Des zones plus chaudes de l'ordre de 12°C sont localisées vers la métropole lilloise, et sur les côtes du littoral .

#### **Températures maximales (hiver/été)**

**En hiver** les températures moyennes maximales s'échelonnent de 5°C à 8°C. Les minima sont localisés dans l' Est de l'Avesnois, et sur le Sud du Cambrais et de l'Artois. Les températures les plus élevées se situent sur les côtes, entre 7 et 8°C.

**En été**, les températures moyennes maximales s'étendent de 18 et 21°C. La majeure partie de la région a des températures homogènes comprises entre 8 et 21°C. Les zones plus chaudes de l'ordre de 22°C sont localisées vers la métropole lilloise, vers l'Audomarois, au Nord de l'Artois (Béthunois, Arrageois) , sur le Cambrais , sur le Douaisis, et sur le Valenciennois.

#### **Climat futur : paramètres moyens**

Les températures sont à la hausse pour toutes les saisons. La croissance des températures a même tendance à augmenter au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, à l'exception du scénario B1.

On trouve une anomalie allant de +1°C à +2°C à l'horizon 2050 en moyenne annuelle, et de +1,5°C à +3°C à l'horizon 2080. Pour comparaison, le réchauffement au cours du XX<sup>e</sup> siècle est estimé à 0,8°C sur le nord de la France. On observe donc une tendance au réchauffement qui se renforcerait au cours des décennies à venir.

Plus le scénario est pessimiste, plus le phénomène est marqué. La dispersion entre les modèles devient conséquente à l'horizon 2080. Le scénario pessimiste, A2, affiche ainsi une forte hausse, +3°C sur l'année et +4°C l'été.

La saison la plus touchée par le réchauffement est en effet la saison chaude, avec un réchauffement allant de +1,5°C à +4°C. De plus on observe que le phénomène est légèrement plus marqué à l'intérieur des terres, au sud-est de la région, de l'ordre de quelques dixièmes de degré de plus.

Remarque : les valeurs des tableaux ci-dessous sont les moyennes de la climatologie actuelle et de l'anomalie des projections sur la région.

<b>Tmoy annuelles (°C)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>10,1</b>	<b>+1,1</b>	<b>+1,3</b>	<b>+0,9</b>	<b>+1,1</b>	<b>+1,8</b>	<b>+1,7</b>	<b>+1,6</b>	<b>+2,6</b>	<b>+3,0</b>
<b>Tmin annuelles (°C)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>6,2</b>	<b>+1,1</b>	<b>+1,4</b>	<b>+1,0</b>	<b>+1,2</b>	<b>+1,8</b>	<b>+1,8</b>	<b>+1,6</b>	<b>+2,5</b>	<b>+3,0</b>
<b>Tmax annuelles (°C)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>13,9</b>	<b>+1,1</b>	<b>+1,4</b>	<b>+1,0</b>	<b>+1,1</b>	<b>+1,9</b>	<b>+1,8</b>	<b>+1,7</b>	<b>+2,7</b>	<b>+3,1</b>
<b>Tmoy hivernales (°C)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>3,8</b>	<b>+1,7</b>	<b>+1,8</b>	<b>+1,3</b>	<b>+1,4</b>	<b>+1,9</b>	<b>+2,3</b>	<b>+1,9</b>	<b>+2,6</b>	<b>+2,9</b>
<b>Tmin hivernales (°C)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>1,2</b>	<b>+1,7</b>	<b>+1,8</b>	<b>+1,3</b>	<b>+1,4</b>	<b>+1,9</b>	<b>+2,4</b>	<b>+2,0</b>	<b>+2,6</b>	<b>3</b>
<b>Tmax hivernales (°C)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>6,5</b>	<b>+1,5</b>	<b>+1,6</b>	<b>+1,2</b>	<b>+1,3</b>	<b>+1,7</b>	<b>+2,1</b>	<b>+1,8</b>	<b>+2,5</b>	<b>+2,8</b>
<b>Tmoy estivales (°C)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>16,6</b>	<b>+1,0</b>	<b>+1,2</b>	<b>+0,9</b>	<b>+1,1</b>	<b>+2,0</b>	<b>+1,7</b>	<b>+1,8</b>	<b>+3,0</b>	<b>+3,9</b>
<b>Tmin estivales (°C)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>11,8</b>	<b>+0,9</b>	<b>+1,2</b>	<b>+0,8</b>	<b>+1,0</b>	<b>+1,9</b>	<b>+1,5</b>	<b>+1,6</b>	<b>+2,6</b>	<b>+3,5</b>
<b>Tmax estivales (°C)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>21,5</b>	<b>+1,0</b>	<b>+1,2</b>	<b>+0,8</b>	<b>+1,1</b>	<b>+2,1</b>	<b>+1,8</b>	<b>+1,9</b>	<b>+3,3</b>	<b>4,2</b>



## Climat futur : paramètres extrêmes

Le nombre de jours de **gel** est en chute. Il passe de 60 dans l'Artois à 30/40 en 2050 et 20/30 en 2080, soit une diminution de plus de 50%. Sur le littoral, le paramètre est faible aujourd'hui, entre 20 et 40, et pourrait être nul à la fin du siècle.

Le nombre de jours pour lesquels la **température est supérieure à 30°C** connaît également une évolution spectaculaire. De faible aujourd'hui, il deviendrait courant à la fin du siècle à la saison chaude. A l'intérieur des terres, on compterait de 10 à 40 jours de fortes chaleurs en 2080, ce qui est non négligeable si l'on tient compte du fait qu'ils se tiendront dans les 90 jours de l'été. Encore une fois, le sud-est de la région sera plus touché.

L'évolution du nombre de jours de **canicule** est différente. Ce paramètre n'augmente presque pas sur la première moitié du siècle. Mais il est soudain en nette hausse à l'horizon 2080 où il s'échelonne entre 1 et 7 (dans le Cambrasis). Cette tendance non linéaire montre l'importance des effets de seuil. La canicule repose en effet sur la Tn et la Tx et sur un critère de durée. Il apparaît qu'à la fin du siècle les éléments nécessaires à la canicule seront plus fréquents, entraînant une recrudescence du phénomène.

<b>Gel (nombre de jours)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>53,0</b>	<b>-20</b>	<b>-24</b>	<b>-16</b>	<b>-19</b>	<b>-28</b>	<b>-27</b>	<b>-25</b>	<b>-34</b>	<b>-39</b>
<b>TX &gt; 30 °C (nombre de jours)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>4,4</b>	<b>+2,7</b>	<b>+2,4</b>	<b>+1,9</b>	<b>+3,2</b>	<b>+6,5</b>	<b>+5,9</b>	<b>+7,1</b>	<b>+14,4</b>	<b>+17,8</b>
<b>Canicules (nombre de jours)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>0,1</b>	<b>-</b>	<b>+0,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>-</b>	<b>+0,5</b>	<b>+0,1</b>	<b>+0,5</b>	<b>+2,2</b>	<b>+3,5</b>

## Évolution des paramètres de précipitations

### Climat actuel

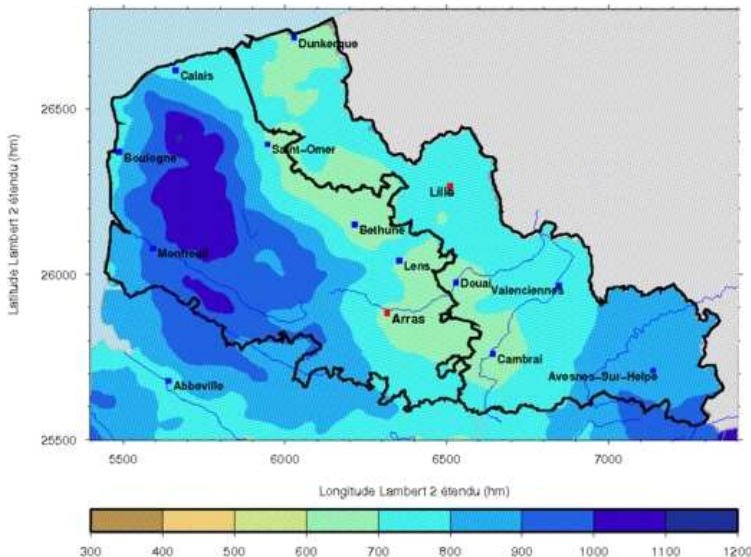


Illustration 8: Cumul de précipitations annuel (Climatologie 1971/2000)

Les hauteurs de précipitations sur la région ne sont pas homogènes :

- sur une grande partie du Pas-de-Calais, les précipitations sont supérieures à 800 mm par an, avec un pic à 1100 mm sur le Boulonnais,
- l'Avesnois connaît également des précipitations supérieures à 800mm,
- Ailleurs, sur une grande partie du Nord, les cumuls sont plus faibles, 700 mm en moyenne.

On retrouve un géographie semblables pour les fortes pluies (RR >10 mm).

### Climat futur : paramètres moyens

Jusqu'en 2050 inclus, le cumul annuel de précipitations est stable par rapport à la climatologie actuelle pour tous les scénarios. Cependant le cumul annuel cache une disparité significative entre l'hiver et l'été :

- lors de la saison froide, les précipitations ont tendance à augmenter, entre +15 et +40 mm (soit +2% à +10% suivant les zones).
- lors de la saison chaude, elles ont tendance à diminuer dans une même proportion, entre -15 et -50 mm (soit -4% à -14% suivant les zones).

D'une manière générale, plus le scénario est pessimiste, plus la tendance est marquée.

A l'horizon 2080, les précipitations pour les 2 saisons sont à la baisse. L'amplitude de cette baisse reste plus faible et plus incertaine en hiver, entre 0 et -30 mm pour 6 mois. Mais la tendance par rapport à 2050 est nette : l'anomalie positive de précipitations hivernales devient nulle, voire négative.



La diminution des précipitations estivales se poursuivant, le cumul annuel a une tendance significative à la baisse pour 2080, entre -40 et -110 mm par an (soit -4% à -14% suivant les zones).

### **Climat futur : paramètres extrêmes**

Le nombre de pluies supérieures à 10 mm reste proche des normales actuelles au cours du XXI<sup>e</sup> siècle.

A noter que ce paramètre est légèrement au-dessus de la climatologie actuelle en 2030 et 2050 pour tous les scénarios. Mais l'ampleur de l'anomalie reste peu significative, autour de +1 jours par an sur une vingtaine au total.

Par conséquent, le cumul de précipitations total baissant, la part relative de fortes pluies augmenterait.

La diminution des précipitations, notamment estivales, s'accompagne d'une augmentation du nombre de jours connaissant une sécheresse. Une sécheresse est définie comme un déficit en eau au cours du cycle hydrologique modélisé. Le paramètre étudié est la proportion de temps passé à subir un état de sécheresse en une année.

La proportion de jours secs augmente très fortement au cours du siècle, d'après les projections climatiques, de 8% aujourd'hui à 40 à 75% en 2080. Plus le scénario est pessimiste, plus la tendance est marquée. On peut s'attendre à ce que ces périodes de sécheresse aient lieu principalement en été.

Le paramètre « pluies efficaces » confirme la tendance à l'augmentation d'épisodes secs. Il s'agit de la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle (ETP). L'ETP provient de la méthode Penman-Monteith, mise en oeuvre à partir des données brutes modèle en points de grille. L'ETP représente la consommation maximale d'eau de la végétation étant donné la situation météorologique (le type de végétation et de sol est considéré comme constant spatialement), sans se préoccuper de la disponibilité effective en eau. En d'autres termes, un paramètre « pluies efficaces » négatif signifie que la demande en eau est plus grande que l'offre. Au contraire, s'il est positif, les nappes phréatiques peuvent se remplir.

A l'horizon 2030 les scénarios sont quasiment identiques et on peut penser qu'ils s'approchent de la climatologie actuelle. L'évolution du paramètre reste faible en 2050.

Par contre on observe une nette diminution à l'horizon 2080, de -90 à -220 jours par rapport à 2030, soit -30% à -70% selon les zones.



<b>Précipitations annuelles (mm)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>801</b>	<b>+6</b>	<b>-4</b>	<b>-3</b>	<b>+3</b>	<b>-15</b>	<b>-8</b>	<b>-44</b>	<b>-106</b>	<b>-80</b>
<b>Précipitations estivales (mm) avril à septembre</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>366</b>	<b>-19</b>	<b>-19</b>	<b>-25</b>	<b>-20</b>	<b>-39</b>	<b>-49</b>	<b>-38</b>	<b>-76</b>	<b>-77</b>
<b>Précipitations hivernales (mm) octobre à mars</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>435</b>	<b>+25</b>	<b>+16</b>	<b>+22</b>	<b>+23</b>	<b>+24</b>	<b>+42</b>	<b>-6</b>	<b>-30</b>	<b>-3</b>
<b>RR &gt; 10 mm (nombre de jours)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>22,5</b>	<b>+0,1</b>	<b>+0,4</b>	<b>+0,6</b>	<b>+0,7</b>	<b>+1,2</b>	<b>+1,7</b>	<b>-</b>	<b>-1,2</b>	<b>+0,1</b>
<b>Jours secs par an (%)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>8</b>	<b>+20</b>	<b>+18</b>	<b>+14</b>	<b>+18</b>	<b>+35</b>	<b>+35</b>	<b>+34</b>	<b>+59</b>	<b>+66</b>
<b>Pluies efficaces (mm)</b>									
	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
	<b>307</b>	<b>296</b>	<b>310</b>	<b>303</b>	<b>241</b>	<b>257</b>	<b>213</b>	<b>82</b>	<b>95</b>



## Conclusion

Les paramètres moyens semblent parfois changer dans une faible proportion, mais l'évolution des extrêmes est plus parlant et plus spectaculaire. Citons notamment le gel, les fortes chaleurs, la sécheresse et les pluies efficaces. Ces fortes tendances sont dues à des effets de seuil.

Les températures sont en hausse continue au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, voire accélérée pour les scénarios A1B et A2. A l'horizon 2080, les projections donnent une augmentation de +1,5°C à +3°C<sup>1</sup>, avec un pic à l'été. Les résultats sont robustes pour ce paramètre et illustrent l'importance de l'impact du scénario socio-économique sur le climat à venir.

Les cumuls de précipitations sont en baisse en été dès 2030 de l'ordre 20 mm sur 6 mois. Les précipitations sont à la hausse dans une même proportion (20 mm en 6 mois) en hiver.

A l'horizon 2080, la tendance s'inverse en hiver, si bien que le cumul annuel est en chute, de -40 à -110 mm par an (cumul annuel entre 700 et 1000 mm au total sur une grande partie de la région)

On peut s'attendre aux tendances suivantes sur les extrêmes :

- chute de la fréquence de gel, avec une diminution de moitié dans l'Artois et une quasi-disparition sur le littoral,
- augmentation importante de la fréquence des fortes chaleurs, qui pourrait être multipliée par 5 d'ici la fin du siècle ( $T_x > 30^\circ\text{C}$ ), avec une hausse en 2080 de la fréquence des canicules,
- périodes de sécheresse en recrudescence, avec un cumul de pluies efficaces en nette baisse à la fin du siècle,
- nombre de jours de fortes pluies globalement constant,

On remarque que la saison estivale concentre les changements les plus significatifs.

Nous rappelons qu'une part d'incertitude est inhérente aux valeurs des projections climatiques. Cela ne doit toutefois pas masquer le rôle et le contenu de ces projections. En effet elles ne sont pas des prévisions, mais des tendances dans l'état actuel des connaissances, basées sur des hypothèses vraisemblables d'évolution de la société.

---

<sup>1</sup> Pour comparaison, +0,8°C sur le nord de la France au cours du XX<sup>e</sup> siècle



## ANNEXE : Paramètres de température au printemps et à l'automne

<b>Tmoy printanières (°C)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>9,1</b>	<b>+0,7</b>	<b>+1,1</b>	<b>+0,7</b>	<b>+0,8</b>	<b>+1,6</b>	<b>+1,3</b>	<b>+1,4</b>	<b>+2,1</b>	<b>+2,4</b>
<b>Tmin printanières (°C)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>4,9</b>	<b>+0,9</b>	<b>+1,3</b>	<b>+0,7</b>	<b>+0,9</b>	<b>+1,6</b>	<b>+1,4</b>	<b>+1,5</b>	<b>+2,1</b>	<b>+2,6</b>
<b>Tmax printanières (°C)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>13,3</b>	<b>+0,6</b>	<b>+1,0</b>	<b>+0,6</b>	<b>+0,7</b>	<b>+1,5</b>	<b>+1,1</b>	<b>+1,3</b>	<b>+2,0</b>	<b>+2,2</b>
<b>Tmoy automnales (°C)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>10,7</b>	<b>+1,1</b>	<b>+1,1</b>	<b>+0,9</b>	<b>+1,4</b>	<b>+1,8</b>	<b>+1,6</b>	<b>+1,5</b>	<b>+2,7</b>	<b>+3,1</b>
<b>Tmin automnales (°C)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>7</b>	<b>+0,9</b>	<b>+0,9</b>	<b>+0,7</b>	<b>+1,4</b>	<b>+1,6</b>	<b>+1,4</b>	<b>+1,3</b>	<b>+2,4</b>	<b>+2,9</b>
<b>Tmax automnales (°C)</b>									
1971/ 2000	2030			2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
<b>14,4</b>	<b>+1,4</b>	<b>+1,2</b>	<b>+1,0</b>	<b>+1,4</b>	<b>+1,9</b>	<b>+1,7</b>	<b>+1,6</b>	<b>+3,0</b>	<b>+3,3</b>



## Index des illustrations

<b>Illustration 1: Schéma des constituants du système climatique et de leurs interactions (source : GIEC AR4 WG I).....</b>	<b>5</b>
<b>Illustration 2: Relief vu par le modèle Arpège-Climat (en m).....</b>	<b>6</b>
<b>Illustration 3: Température moyenne annuelle.....</b>	<b>9</b>
<b>Illustration 4: Température minimale annuelle (Climatologie 1971/2000).....</b>	<b>9</b>
<b>Illustration 5: Température maximale annuelle.....</b>	<b>10</b>
<b>Illustration 6: Nombre de jours de gel (Climatologie 1971/2000). ..</b>	<b>10</b>
<b>Illustration 7: Nombre de jours avec Tx&gt;35°C (Climatologie 1971/2000).....</b>	<b>11</b>
<b>Illustration 8: Cumul de précipitations annuel (Climatologie 1971/2000).....</b>	<b>15</b>