

# PCET du Pays d'Arles



## Etude de la vulnérabilité du Pays d'Arles au changement climatique

### Rapport de phase 1 : Cahier Climat

Juin 2014



# Sommaire

Introduction .....	3
1 Le climat d’hier à aujourd’hui .....	4
<b>1.1 Le climat du Pays d’Arles</b> .....	5
1.1.1 Les moyennes .....	5
1.1.2 Les extrêmes .....	9
1.1.3 Les événements mémorables .....	16
<b>1.2 Les évolutions du Climat observées</b> .....	21
1.2.1 Les évolutions tendanciennes .....	21
1.2.2 Les incertitudes .....	29
2 Les avenir climatiques du Pays d’Arles à moyen et long termes .....	33
<b>2.1 Les avenir qui se dessinent...</b> .....	35
2.1.1 Un climat plus chaud... ..	37
2.1.2 ...et des canicules plus marquées .....	42
2.1.3 Des sécheresses plus nombreuses .....	46
2.1.4 Des pluies moins importantes ? .....	50
2.1.5 Quelles perspectives pour le couvert neigeux ? .....	50
2.1.6 Une évapotranspiration de plus en plus importante .....	51
2.1.7 Des pluies intenses plus nombreuses et plus fortes .....	52
<b>2.2 ...et ceux qui sont plus incertains</b> .....	56
2.2.1 Une modification du régime des vents ? .....	56
2.2.2 Les tempêtes .....	61
<b>Annexe 1 : méthodologie d’analyse du climat passé et futur</b> .....	<b>67</b>
Etude des aléas climatiques passés et futurs .....	67
Choix des projections climatiques d’intérêt pour le territoire du Pays d’Arles .....	67
<b>Annexe 2 : Un mot sur le GIEC</b> .....	<b>76</b>



---

## Introduction

### Comment savoir à quoi il faudra s'adapter ?

L'intensité du changement climatique dépendra de **l'évolution de la concentration de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère**. Celle-ci est elle-même conditionnée par les émissions passées et actuelles mais aussi futures. Pour explorer cet avenir, les scientifiques ont élaboré des **scénarios** qui fournissent des images des futurs possibles en termes d'émissions de GES. De ceux-ci découlent alors des scénarios de concentration de GES dans l'atmosphère qui servent d'entrée dans les modèles climatiques. Les modèles climatiques sont utilisés pour produire **des projections climatiques permettant de nous renseigner sur les différentes évolutions possibles du climat**.

**Ce premier « cahier climat » a donc pour objectif de renseigner les acteurs de la collectivité sur les évolutions climatiques observées et à venir pour le territoire du pays d'Arles.**

### Une cascade d'incertitudes

**Les projections climatiques ne seront toutefois jamais des prédictions** : les scénarios de développement socio-économiques qui conditionnent les émissions de gaz à effet de serre continueront de rester des hypothèses (plus ou moins probables) et les progrès des modèles n'enlèveront pas le caractère chaotique et imprévisible du climat. L'incertitude sur le changement climatique est d'autant plus grande que l'étude revêt un caractère local. Il existe en effet à chaque stade de développement des projections des incertitudes qui peuvent se cumuler (incertitude sur les modèles globaux, sur les scénarios socio-économiques, sur les méthodes de régionalisation...).

**Les incertitudes doivent donc être prises en compte dans les travaux d'adaptation mais en aucun cas servir de prétexte à l'inaction.**

De plus amples informations sont disponibles en annexe expliquant comment TEC et le CERFACS ont travaillé sur les différentes données de projections climatiques afin d'obtenir une visions des avenir climatiques se dessinant pour les Bouches-du-Rhône et le Pays d'Arles.



# 1 Le climat d'hier à aujourd'hui

## Point méthodologique

### Le climat passé, les sources de données

#### Méthode d'analyse du climat passé et futur

Les tendances climatiques et événements extrêmes passés et présents sont analysés à l'aide des données disponibles sur le territoire local voire départemental à savoir :

- Le bilan de la climatologie à la station d'Arles réalisé par Météo-France ;
- Les bilans climatiques des événements marquants passés du territoire (grand froid, tempête, pluies intenses etc.) et disponibles sur le site de Météo France ;
- Le recensement des arrêtés de catastrophes naturelles par type d'aléa, par commune et par saison sur les 30 dernières années grâce à la base de données GASPAR ;
- Les données d'observation de long terme déjà accessibles au public et proposant des séries longues intéressantes pour les stations d'Avignon, Marseille, Aix-en-Provence, Carpentras et Orange ;

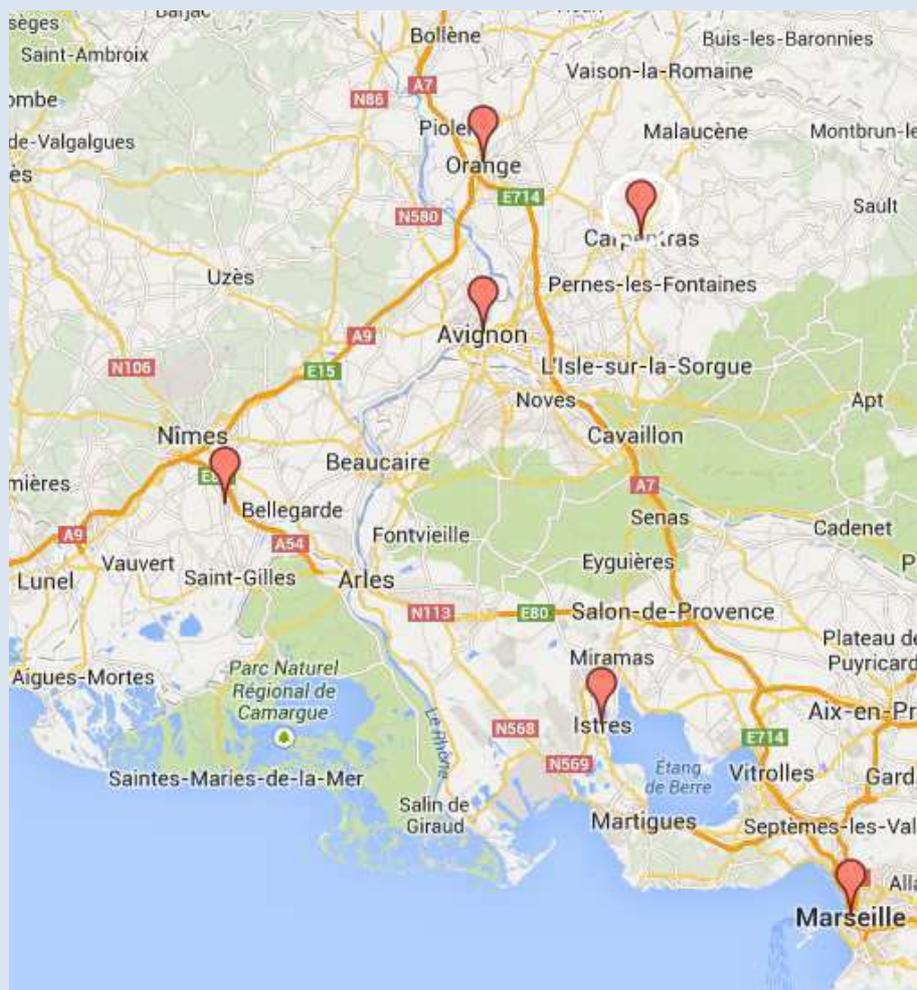


Figure 1 Carte des points géographiques à partir desquels sont issues les données du cahier climat



## Précisions sur le choix des stations pour les données de long terme

- le choix de la « station » climatique de référence

Les « normales » sont des moyennes des différents indicateurs météorologiques calculées sur plusieurs décennies, en l'occurrence 1981-2010. N'ayant pas obtenu de données pour Arles ou le Pays d'Arles (le CIRAME dispose de données dont nous n'avons pas eu accès), nous avons choisi de baser notre analyse sur la moyenne de deux stations Météo-France « encadrant » le pays d'Arles : Nîmes-Garons et Istres. Il n'existe pas de stations Météo-France basées dans le pays d'Arles.

*Une étude du climat passé renseignée par le CIRAME*

Nous avons choisi de compléter les données obtenues par le biais de Météo-France et dans le cadre de notre étude à destination du CG13 d'un ensemble de graphiques produits par le CIRAME qui disposent d'une analyse et d'informations précieuses sur des territoires proches du pays d'Arles : Avignon et Carpentras.

## 1.1 Le climat du Pays d'Arles

### Synthèse

#### Un contexte géographique particulier favorisant vents...

La configuration géographique du Pays d'Arles, au débouché du couloir rhodanien entre Cévennes et Alpes, influe nécessairement sur son climat. La région est en effet sensible au vent du nord soufflant dans la vallée du Rhône. La Tramontane est également un vent pouvant avoir des incidences sur le territoire, il s'agit d'un vent du nord-ouest, soufflant principalement sur le Languedoc Roussillon. L'origine de ces déplacements d'air est l'effet d'une dépression sur le golfe de Gênes et d'un anticyclone sur les Açores et l'Espagne.

#### ...et pluies intenses.

La proximité des massifs montagneux joue également un rôle important en ce qui concerne les précipitations. Les pluies sont favorisées par les dépressions formées sur le Golfe de Gênes et au large des Baléares. En automne et au printemps, des vents Est ou Sud-Est chargés d'eau viennent, principalement, rencontrer les Cévennes et parfois les Alpes, et forment des cumulonimbus au contact du froid (ce qui a parfois pour conséquence la formation d'orages). Il en résulte une pluviométrie qui peut être violente et courte en fonction du volume des nuages, des vents et des différences de températures.

#### Des températures méditerranéennes

Le climat méditerranéen implique des températures douces en hiver quand les étés sont chauds et secs.

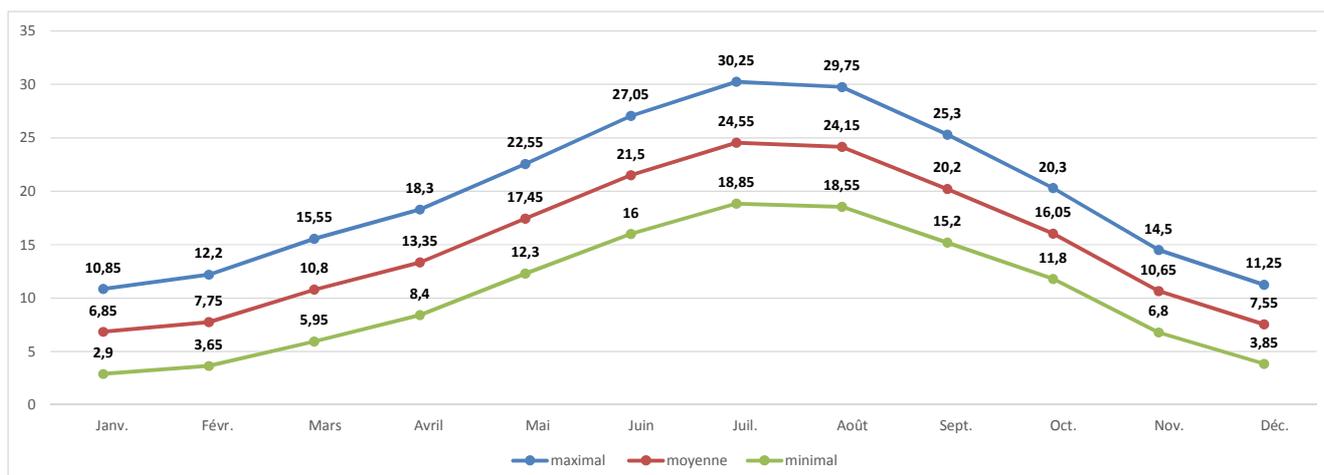
### 1.1.1 Les moyennes

#### Températures

Le territoire est également marqué par des températures douces et chaudes. Avec un minimum moyenné de 10,3°C (contre 8,9°C et 6,6°C à Paris et Strasbourg) et un maximum moyenné de 20°C.

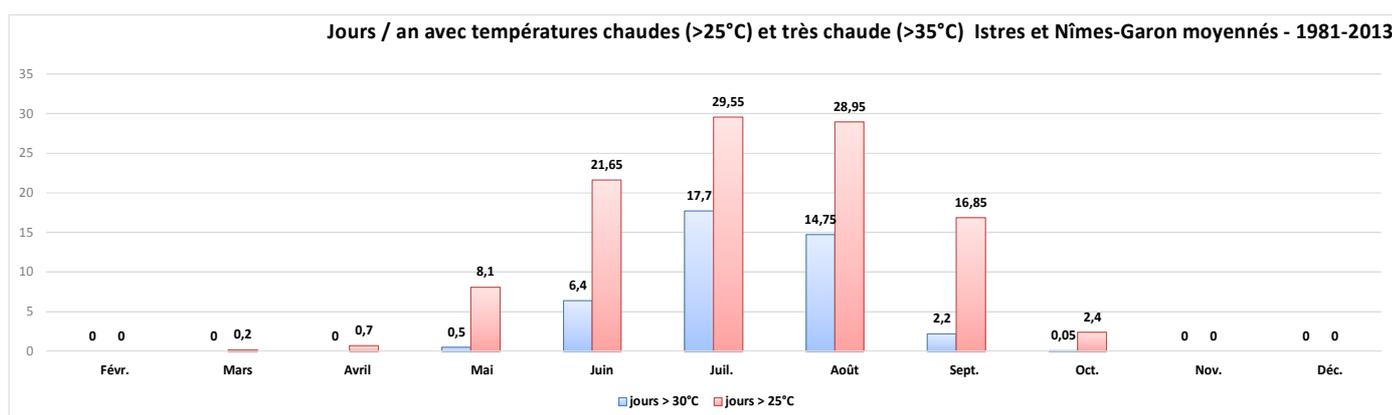


**Figure 2 : Température moyenne, minimale et maximale. Moyenne des stations Istres et Nîmes-Garons (1981-2013)**  
(Source : Météo France)



Il en ressort un nombre moyen de jours au-dessus de 25°C beaucoup plus important que Nice, Paris ou Strasbourg : 108.5 jours en moyenne par an où la température dépasse 25°C contre respectivement 85, 49 et 55.

**Figure 3 : Nombre de jours moyen par mois avec des températures à plus de 25 et 35°C. Moyenne des stations Istres et Nîmes-Garons. 1981-2013. Source : Météo-France**

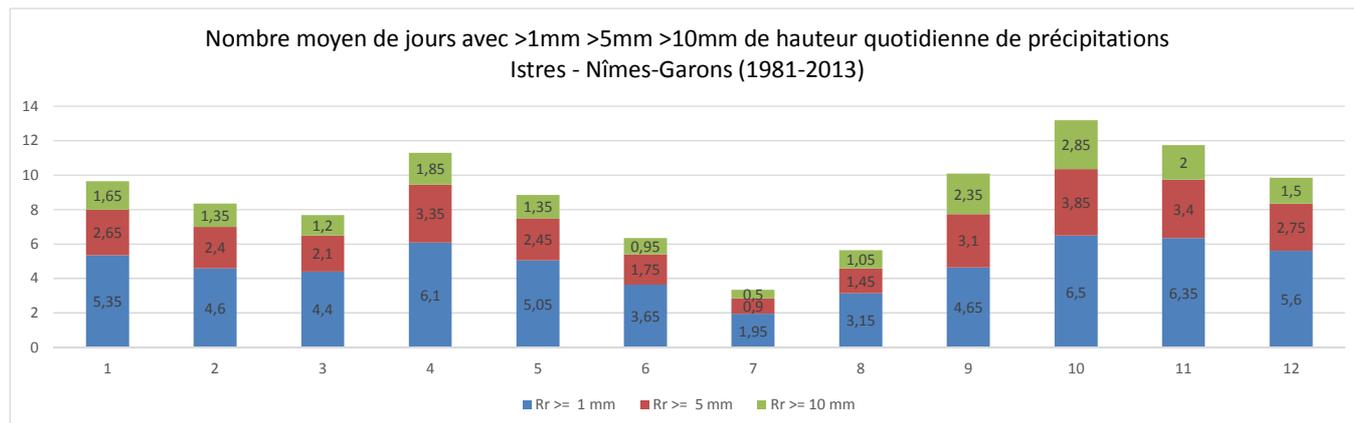


## Précipitations

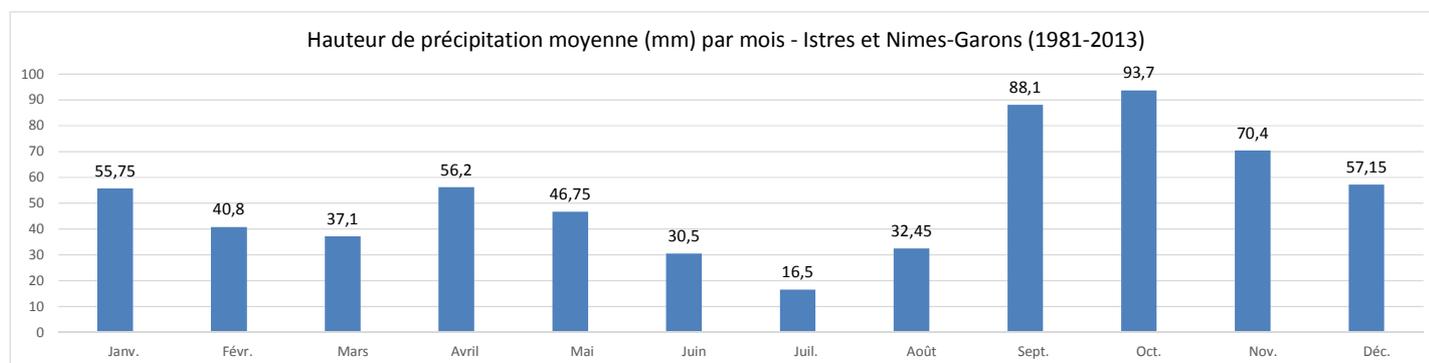
Du fait de la caractéristique géographique régionale, le territoire est fortement touché par des épisodes de précipitations intenses (les pluies cévenoles) qui apportent un cumul de plusieurs centaines de millimètres en quelques heures, parfois sur plusieurs jours. (cf. 1.1.2 extrêmes). Ces précipitations se produisent en automne et parfois en hiver lorsque le vent de sud et/ou sud-est apporte de l'air humide et chaud en provenance de la Méditerranée, comme le montre le graphique ci-dessous. Ces pluies intenses conditionnent grandement le risque d'inondation.



**Figure 4 : Nombre de jours moyens avec des pluies de plus de 1, 5 et 10mm de hauteur quotidienne par mois (Janvier à Décembre). Moyenne Nîmes-Garons et Istres. Source : Météo France.**



**Figure 5 : Hauteur de précipitation moyenne (mm) par mois – Moyenne Nîmes-Garons et Istres Source : Météo-France.**

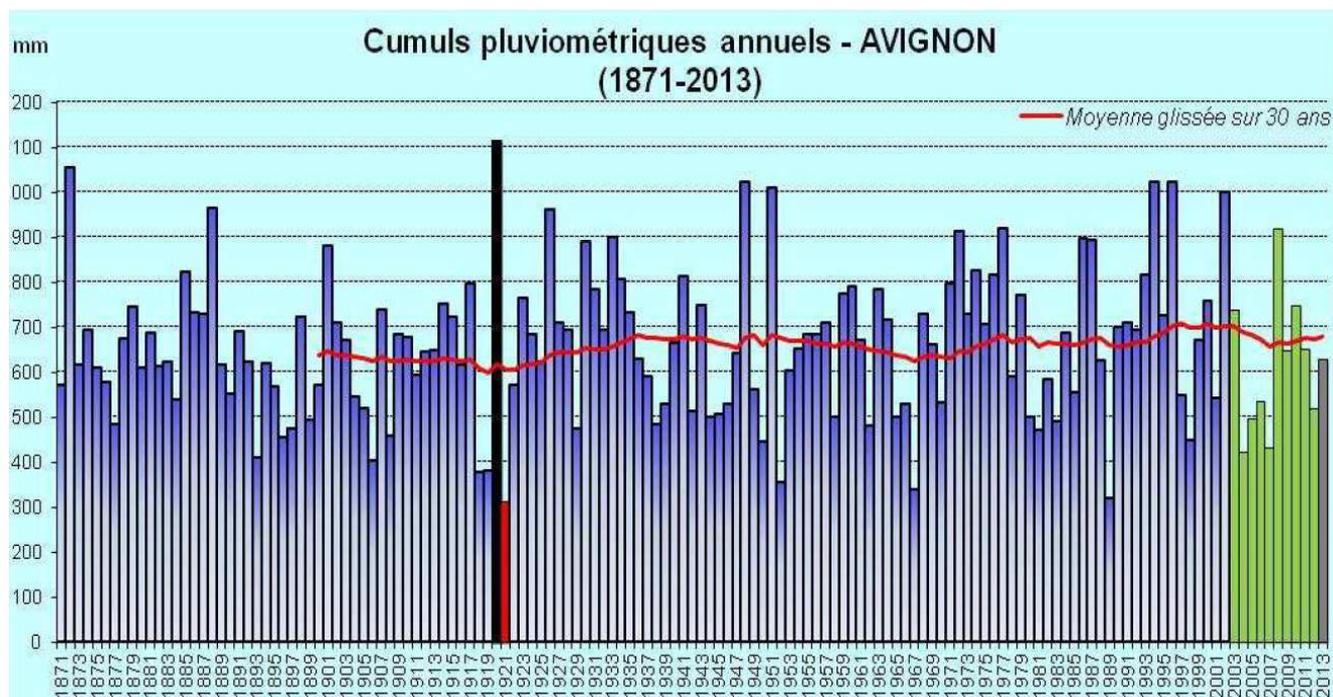


Toutefois le bilan annuel des précipitations reste moindre que pour la plupart des territoires français. La hauteur moyenne des précipitations en mm/an est de 625,4mm. Un peu moins que Paris et Strasbourg pour la même période (cf. Tableau 1 ci-dessous).

Cette information est confirmée par l'étude du cumul pluviométrique annuel à Avignon de 1871 à 2013 où la moyenne glissée sur 30 ans se situe entre 600 et 700mm par an.



Figure 6 : Cumuls pluviométriques annuels – AVIGNON (1871-2013) Source : CIRAME



### Vents

Le pays d'Arles subit un nombre moyen de jours avec rafales de vent important. On compte ainsi en moyenne 81,6 jours de vents violents à plus de 58km/h (16m/s) sur le territoire pour la période allant de novembre à avril entre 1981 et 2013.

### Autres

La quasi-absence de gel (5 jours par an en moyenne) et de neige (0,1j/an) est également une normale caractérisant le territoire du pays d'Arles comparés au reste de la France.



Le tableau ci-dessous reprend les principaux indicateurs des moyennes observées sur les stations de Nîmes-Garons et d'Istres dont les données sont moyennées. Nous avons ajouté les données issues de trois villes françaises permettant de comparer le Pays d'Arles à d'autres territoires « types ».

**Tableau 1 : Moyenne "Nîmes-Garons" comparée aux moyennes de Nice, Paris et Strasbourg - 1981-2010 (Source Météo-France)**

Indicateurs	Moyenne : Nîmes -Garon / Istres	Nice	Paris	Strasbourg
Température minimales (en °C)	<b>10,3</b>	12.4	8.9	6.6
Température maximales (en °C)	<b>20</b>	14.5	16	15.3
Hauteur moyenne des précipitations (en mm/an)	<b>625.4</b>	733	637	665
Nombre moyen de jours de pluie (>10mm) (en j/an)	<b>18.6</b>	23	15	16
Nombre moyen de jours de chaleur (temp max > 25°C en J/an)	<b>108.5</b>	85	49	55
Nombre moyen de gelée (en j/an)	<b>5</b>	1	25	66
Nombre moyen de jours avec chute de neige (en j/an)	<b>0.1</b>	1	12	26

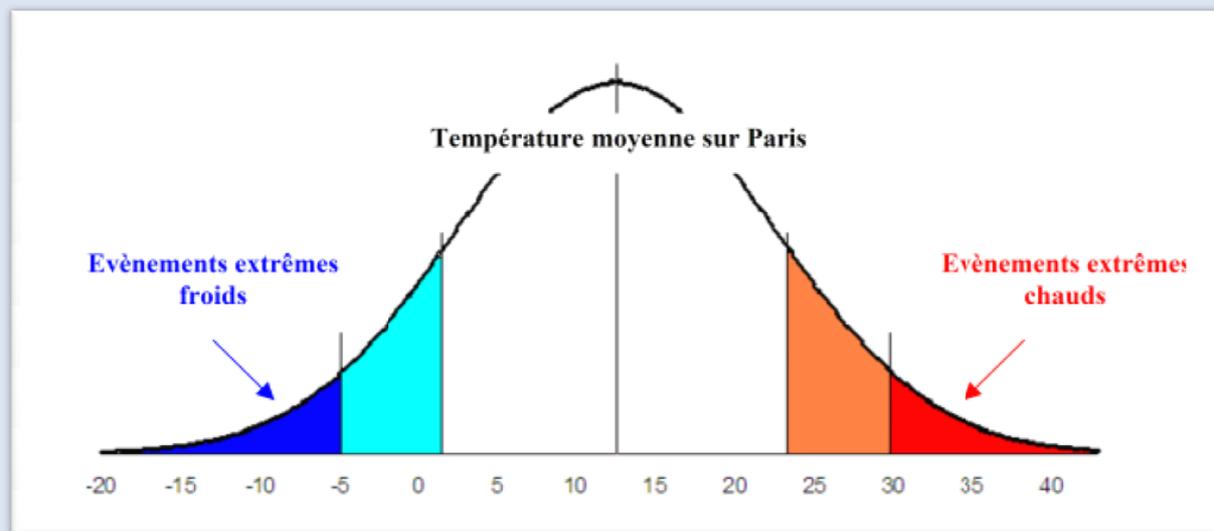
### 1.1.2 Les extrêmes

#### Qu'est-ce que les extrêmes ?

Les événements extrêmes sont des dépassements de seuils ponctuels qui caractérisent également le climat. L'étude du climat passé nous permet de voir que ces événements existent depuis toujours mais qu'ils peuvent être amplifié et voir leurs occurrence s'accélérer. Le schéma ci-dessous explique cette notion d'évènements extrêmes sur le cas des températures, avec en abscisse les occurrences et en ordonnées les températures.



Figure 7 Température moyenne et extrême (Source : APC)



### Records de températures

Concernant la température, nous avons déjà constaté (cf. figure 2 et tableau 1) le nombre relativement important de jours avec une température au-dessus de 25°C par an. Il est d'autant plus intéressant de constater que sur ces 107,5 jours en moyenne entre 1981 et 2013, 41,7 jours sont enregistrés au-dessus de 35°C. On ne compte en revanche que très peu de jours en températures négatives (entre 0 et -5°C) : 17,5 répartis sur les mois de Novembre à Février.

Au niveau des **températures maximales enregistrées**, le tableau ci-dessous retrace les principaux extrêmes enregistrés pour chaque mois et sur la période 1981-2013 sur les stations de références que nous utilisons dans le cadre de cette étude.

**L'année 2003 a été la plus chaude de cette période avec un record de température de 38,2°C** enregistré au mois d'Août à Nîmes-Garons. Il faut remonter à Juin 1935 pour le record de chaleur enregistré sur Istres (40,2 °C).

Tableau 2 Records de températures établis sur la période 1964 à 2013

<b>Nîmes Garons</b>	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
	20,5	22,4	26,9	29,6	35,1	37,9	38,1	<b>38,2</b>	34,4	31,3	26,3	20
Date	30-2013	19-1989	21-1990	08-2011	31-2001	21-2003	07-1982	<b>05-2003</b>	03-2006	04-2011	03-1970	26-1999

Tableau 3 Records de température la plus élevée 1920 - 2013

<b>Istres</b>	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
	21	23,3	26	29,8	34,5	<b>40,2</b>	39,5	39,7	34,2	30,9	25,2	20,3
Date	19-2007	27-1960	29-2012	20-1949	24-2011	<b>29-1935</b>	26-1983	13-1933	04-2004	02-1997	03-1970	24-1983

Concernant les **températures minimales enregistrées**, les extrêmes établis sur la période 1964-2013 sont de **-13,6 en 1956 à Istres et - 10,9°C en 1985 à Nîmes-Garons**.



Tableau 4 Records de température la plus basse 1920 - 2013

Istres	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
	-11,1	<b>-13,6</b>	-7,2	-1,4	3,1	6,7	9	9,6	5,1	-2	-4,9	-12,6
Date	07-1985	<b>10-1956</b>	07-1971	01-1977	04-1967	04-1984	12-1936	30-1986	29-1974	31-1941	23-1998	27-1962

Tableau 5 Records de température la plus basse 1964-2013

Nîmes Garons	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
	<b>-10,9</b>	-8,4	-7	0,3	3,3	6,6	10,8	10,3	6,1	1,9	-3,8	-7,3
Date	<b>15-1985</b>	10-1986	07-1971	14-1998	05-1977	04-1984	05-1978	30-1986	29-1974	30-2012	27-2010	29-1996

### Records de précipitations

Au niveau des **précipitations**, les hauteurs maximales (en mm) sur la période 1964-2013 sont référencées ci-dessous. Elles atteignent plus de 211.8 mm en une journée au mois de Septembre 2003 dans le cas de Nîmes-Garons, bien au-delà de la moyenne enregistrée sur cette période (99,4mm / j).

Tableau 6 hauteurs maximales (mm) enregistrées sur Istres et Nîmes-Garons

Nîmes - Garons	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
mm	69.8	99.3	60.2	54.4	93.4	57.3	46.0	68.6	<b>211.8</b>	178.8	105.7	95.8
Date	14-1988	11-1987	03-1974	09-2003	03-1977	05-1973	28-2013	25-2002	<b>22-2003</b>	26-1977	05-1984	01-2003

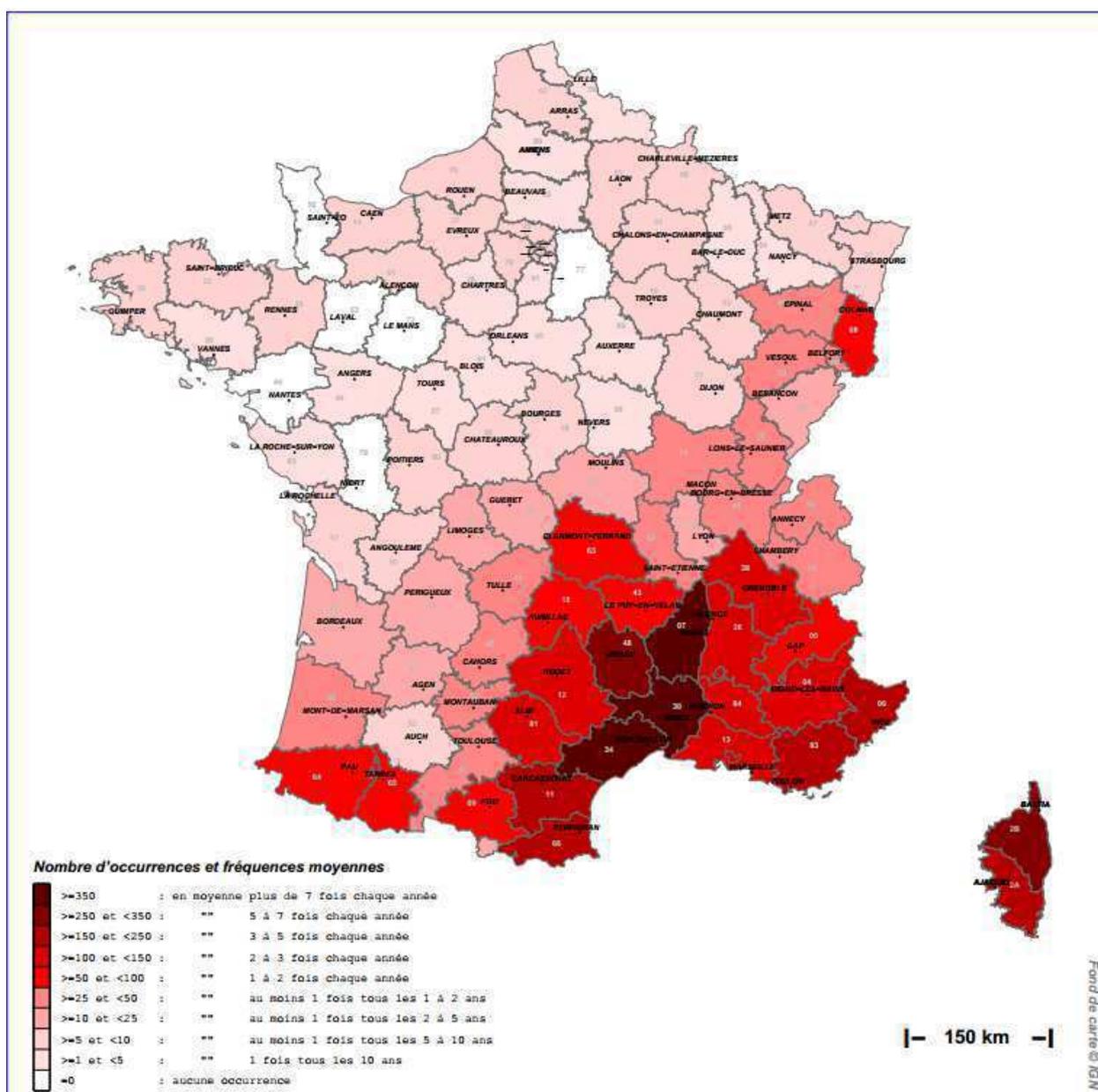
Tableau 7 hauteurs maximales (mm) enregistrées sur Istres et Nîmes-Garons

Istres	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
mm	65.2	81.2	62.7	63.6	64.3	182.8	52.3	108.2	<b>199.0</b>	156.6	104.0	95.2
Date	14-1988	04-1994	03-1974	25-1991	17-2005	05-1973	08-1977	23-1925	<b>05-1964</b>	20-1999	05-2011	24-1957



Par comparaison, le maximum de précipitation enregistré à Nice sur la même période fut de 191mm en une journée (proche du record d'Istres), 104mm à Paris et 66mm à Strasbourg. C'est donc là bien sur une spécificité du territoire. Les cartes de Météo-France le soulignent également : le Pays d'Arles est à la limite entre le département du Gard et des Bouches-du-Rhône où des épisodes de précipitations supérieures à 100 mm en 1 jour arrivent entre 1 fois par an pour les Bouches-du-Rhône et 7 fois par an pour le Gard. (Cf. figure 7)

Figure 8 Occurrence climatique observée sur un département (épisodes avec plus de 100mm en 1 jour - Période 1962-2011) Source : Météo-France



Nous pouvons également avoir une idée de l'occurrence de ces extrêmes pour une année sur Avignon. Le graphique ci-dessous qui classe les pluviométries annuelles dans un ordre croissant nous apprend :

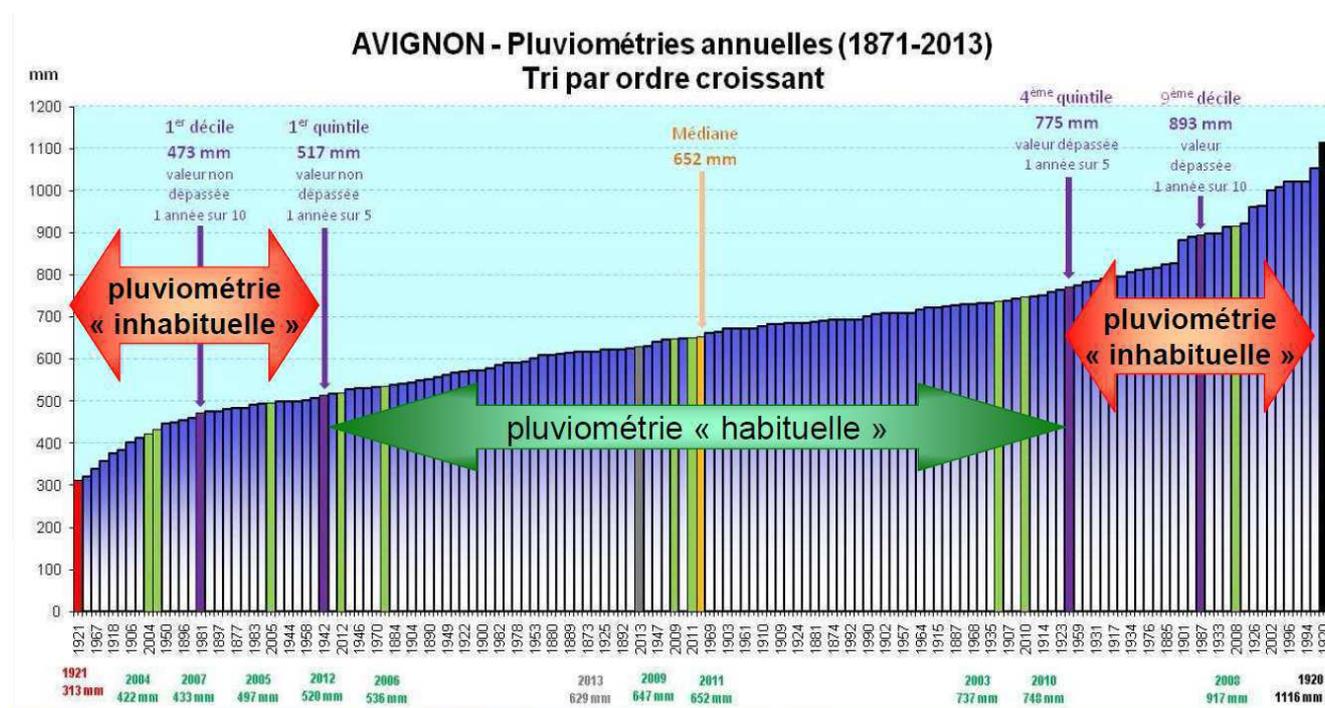
- concernant les années sèches :

- **1 année sur 10 connaît une pluviométrie à moins de 473mm.** C'est-à-dire à une diminution de plus de 27% par rapport à la médiane ;
- **1 année sur 5 connaît une diminution des précipitations de plus de 20%**

- concernant les années avec une forte pluviométrie :

- **1 année sur 5 connaît une pluviométrie cumulée supérieure à 20% par rapport à la médiane,** soit supérieure à 775mm ;
- **1 année sur 10 comptabilise une pluviométrie supérieure à 893mm, supérieure à 37% de la médiane !**

Figure 9 Pluviométries annuelles (1871-2013) à Avignon. Source : CIRAME



## Autres

**Les vents violents**, sont également une autre spécificité du territoire. Ces vents peuvent être particulièrement forts avec des événements extrêmes violents. Entre 1981 et 2010 nous constatons ainsi que le territoire subit **20 jours par an en moyenne à plus de 90Km/h** ce qui est une valeur relativement importante lorsqu'on considère le territoire français. (cf. figure 9)



Figure 10 Vent maximal instantané supérieur ou égale à 90km/h nombre de jours par an - 1981-2010 (Source Météo-France)

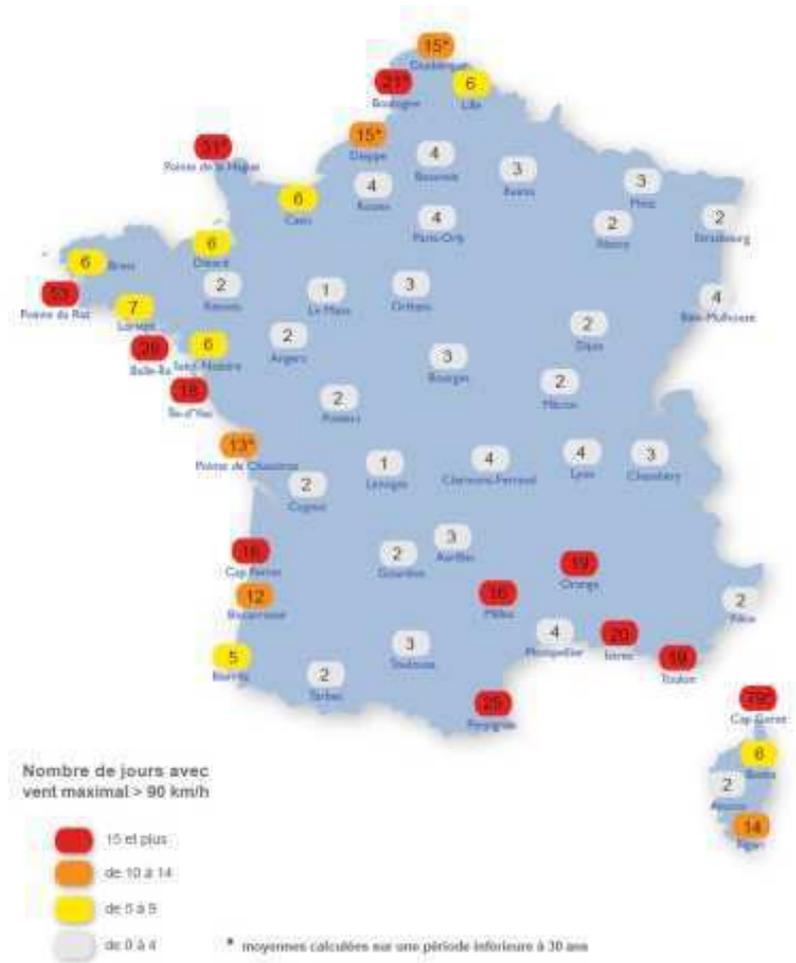
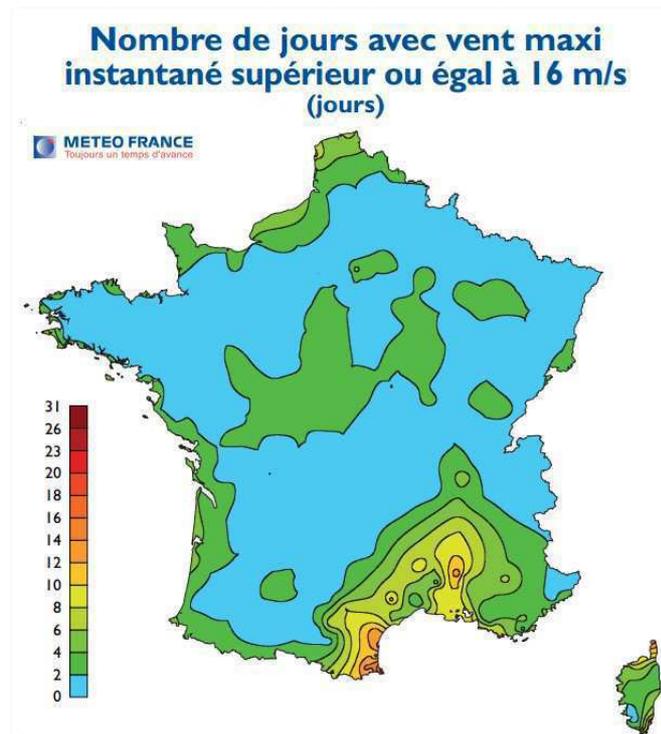


Figure 11 : Nombre de jours de vents forts (moyenne de référence 1991-2001)



Au niveau des records, on enregistre en **Novembre 2004** un épisode composé de rafale de **34m/s** soit **122 Km/h** à Nîmes-Garons et **136 Km/h** à Istres en **Février 2002**.

*Tableau 8 Records de vents (m/s) Nîmes-Garons*

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Nîmes-Garons	33	33	31	32	29	28	26	28	33	32	<b>34</b>	29
Date	19- 2000	14- 1989	18- 2000	10- 2005	06- 1987	04- 2002	23- 1999	24- 1987	22- 1992	10- 1987	<b>13- 2004</b>	30- 1984

*Tableau 9 Records de vents (m/s) Istres*

	Jan.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Istres	35	<b>38</b>	37	36	29	34	30	28	31	35	36	36
Date	18- 2000	<b>21- 2002</b>	05- 1982	18- 1991	30- 2006	09- 1994	06- 1993	03- 2005	23- 2002	28- 2012	07- 1999	20- 1999



### 1.1.3 Les événements mémorables

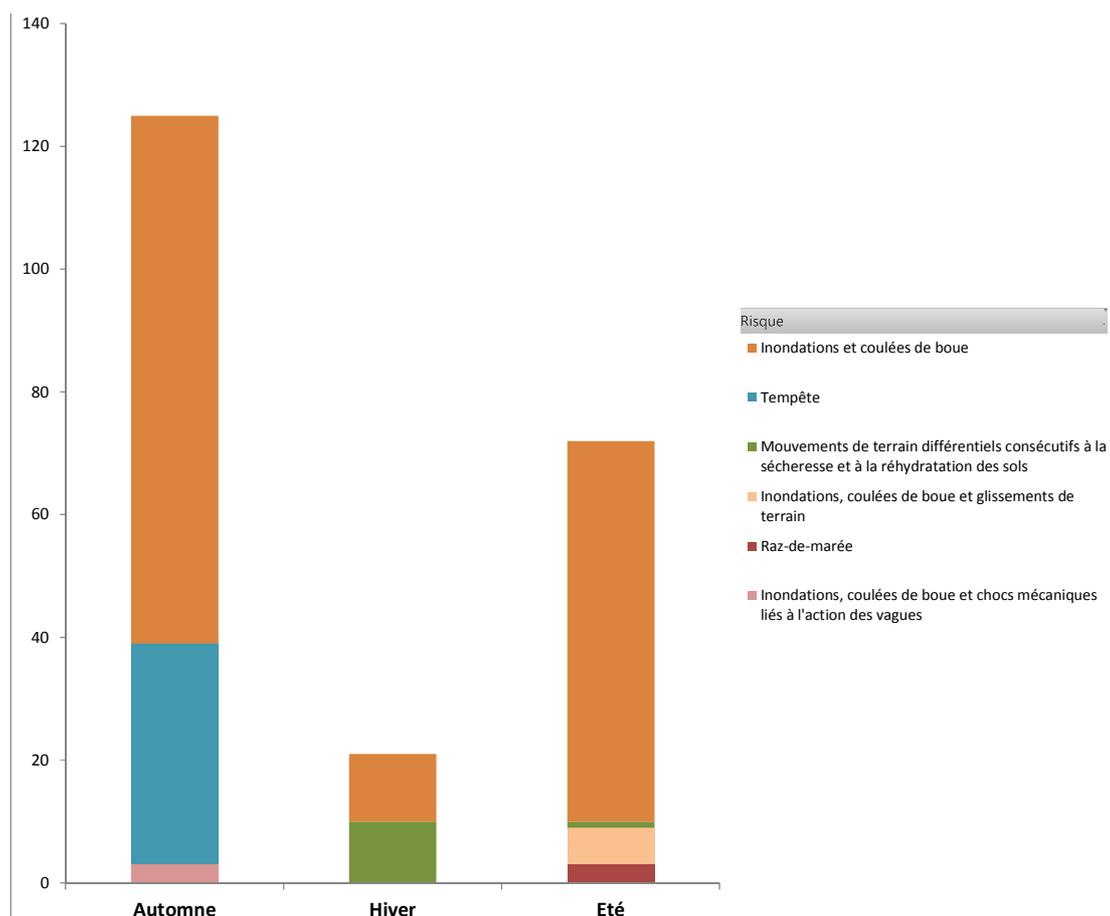
Nous retrouvons ces extrêmes climatiques dans les événements majeurs du territoire, que l'on peut retracer au travers des arrêtés de catastrophes naturelles.

*NB : cette partie traite des événements climatiques mémorables grâce à l'indicateur « arrêté de catastrophe naturelle ». Pour plus de détails sur les risques climatiques passés et futurs, se reporter au cahier de vulnérabilité « risques », qui se base sur une approche « à dire d'expert ».*

Le graphique ci-dessous représente le nombre total d'arrêtés de catastrophes naturelles sur le territoire du Pays d'Arles entre 1982 et 2012 par saison :

- L'automne et ses épisodes cévenols est propice aux risques d'inondations ainsi que de tempêtes.
- L'été est également une période où des précipitations intenses se forment et entraînent des crues. Des raz-de-marée peuvent également avoir lieu (1985)
- L'hiver compte également des catastrophes naturelles liées aux mouvements de terrains suite à une alternance de sécheresse et de réhydratation des sols.

**Figure 12** Nombre de catastrophes naturelles arrêtés sur le territoire du Pays d'Arles (1982-2010) Source : Base de données GASPARD, traitement via l'outil Impact Climat (ADEME).

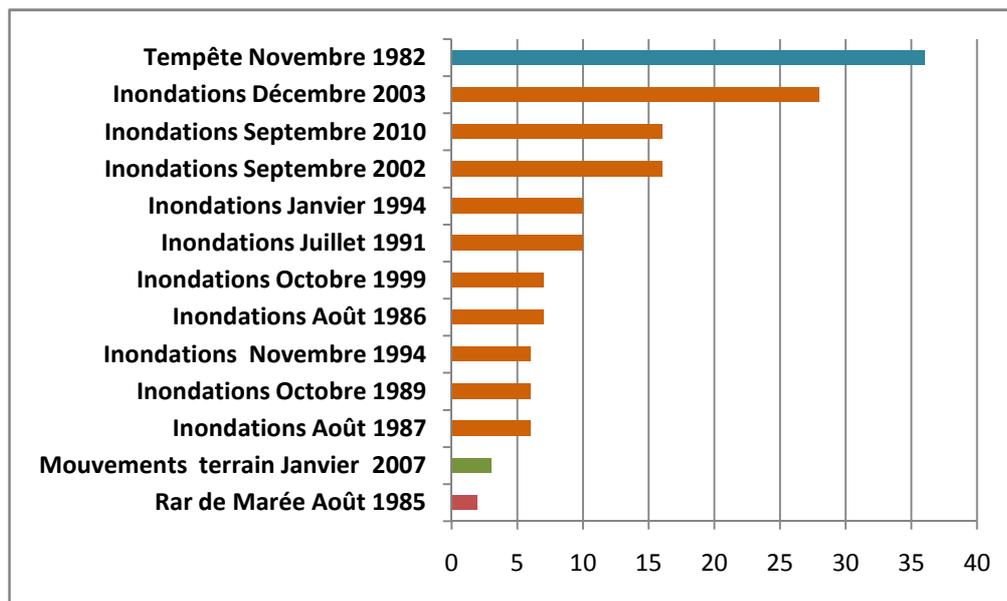


Notons que les inondations constituent un risque quasi-permanent, qu'elles soient « intérieures » (inondations de plaine, crues, inondations par remontée de nappes) ou « marines » (submersion, raz de marée). Par ailleurs, tout le territoire du Pays d'Arles est concerné. La tempête de novembre 1982 a quant à elle touché les 29 communes du Pays.

L'ampleur géographique de ces catastrophes peut être évaluée grâce à l'histogramme ci-dessous, représentant le nombre de communes concerné par l'évènement.



Figure 13 Nombre de communes concernées par les catastrophes naturelles (Source : TEC Conseil issu de la base de données Gaspar et de l'outil Impact Climat de l'Ademe)



On observe ainsi que si les glissements de terrains et les raz de marées restent localisés, les inondations le sont beaucoup moins (cf. l'ampleur des inondations de décembre 2003).

Ce sont les communes situées aux abords des principaux cours d'eau et du Rhône qui subissent le plus les conséquences du climat.

Les Saintes-Maries-de-la-Mer subissent également des risques de tempêtes (1982) et de raz de marée (1985) en plus des inondations(2002).



Figure 14 : Nombre d'arrêtés par commune sur les communes les plus touchées

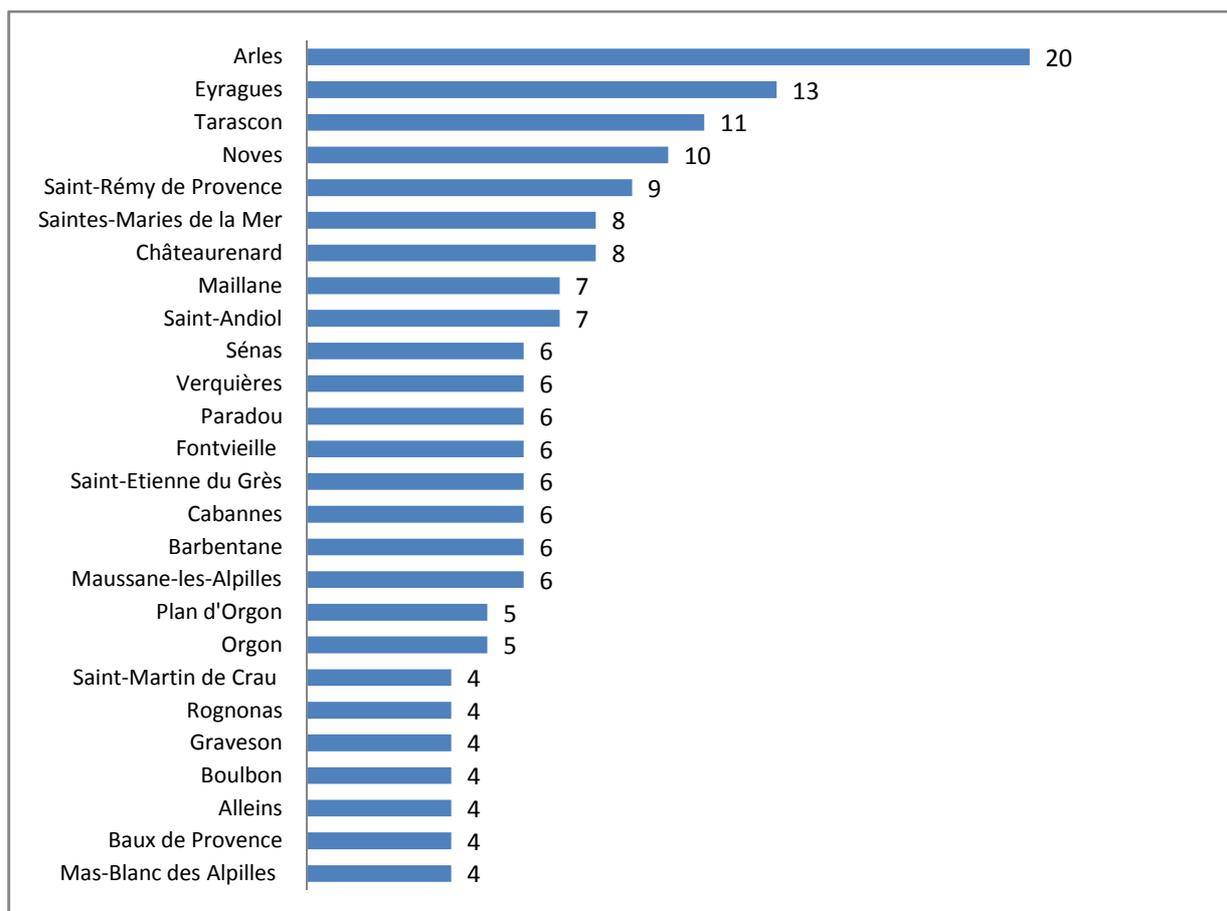
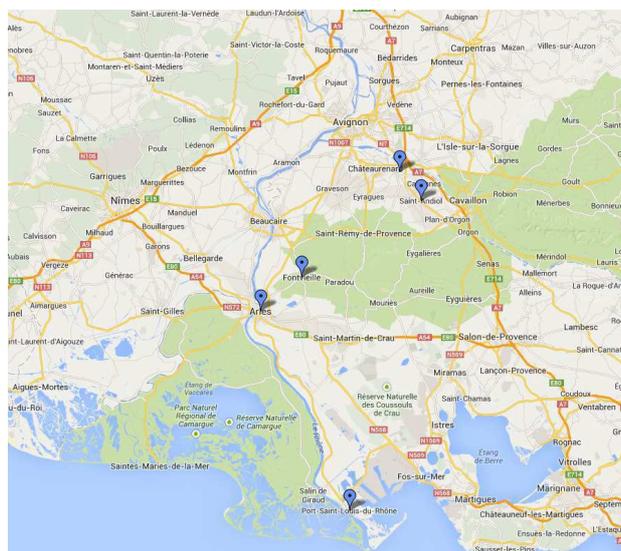


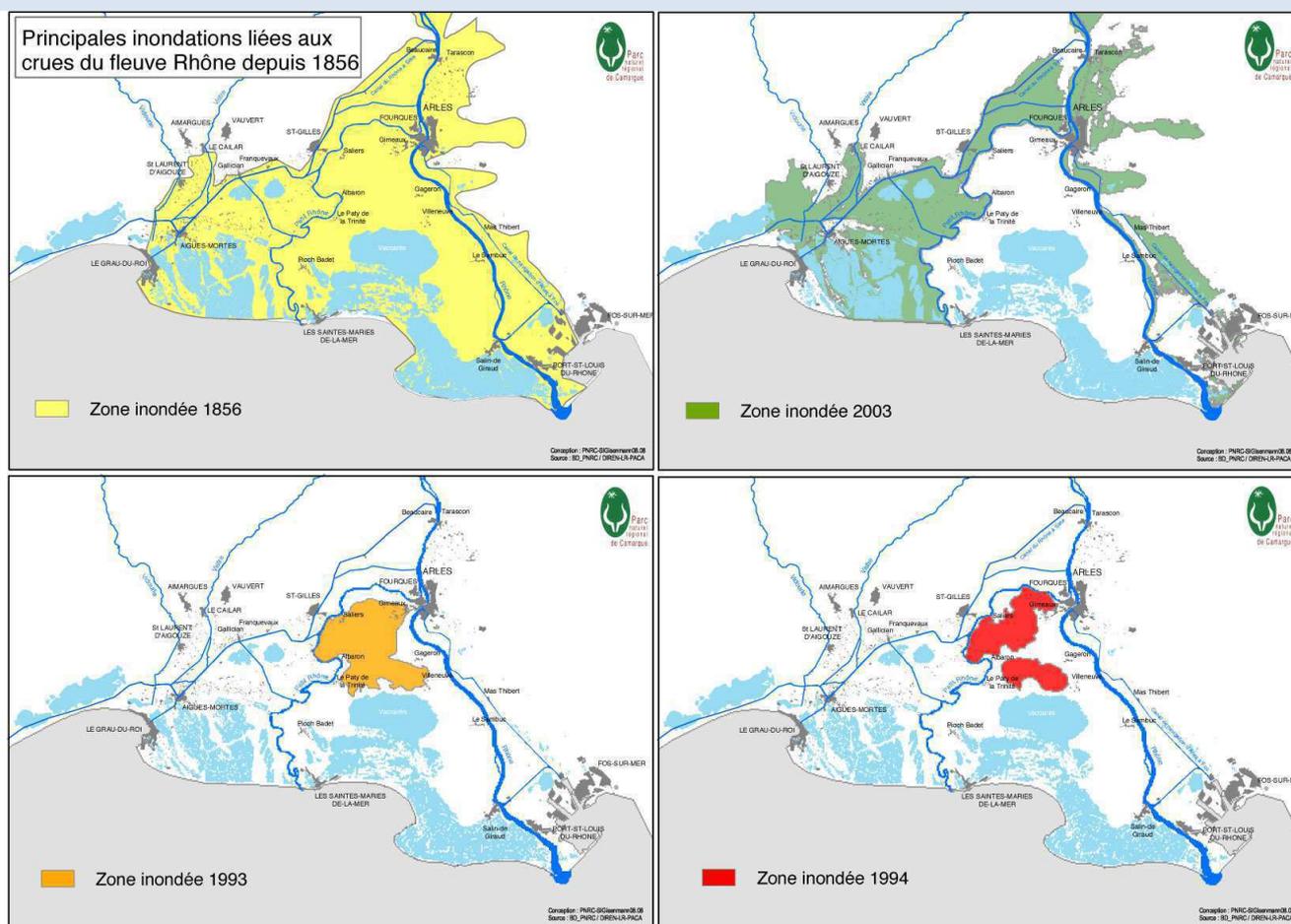
Figure 15 : Situation géographique des 5 communes du Pays d'Arles les plus touchées par un arrêté de catastrophe naturelle



## Arrêt sur image : quelques événements passés remarquables

Les inondations sont un phénomène récurrent sur le territoire. Le set de cartes que nous présentons ci-dessous montre l'étendue de ces dernières lors des événements majeurs que furent les crues du Rhône en 1856, 1993 et 1994, et enfin 2003.

Figure 16 Cartes des principales inondations liées aux crues du fleuve Rhône (Source : PNRC)



**La crue du Rhône de 2003** est due à un épisode pluvio-orageux intense et généralisé sur le quart sud-est de la France suite à une perturbation où les masses d'air froid rencontrent les masses d'air chaud saturé en humidité provenant de la Méditerranée.

Les inondations de 2003 ont été particulièrement importantes du fait de son amplitude géographique (20 départements concernés par la vigilance Orange de Météo-France) et sa durée dans le temps (48 heures).

Des records pluviométriques ont été atteints : le record du 22 septembre **2003 à Nîmes-Garons est de 211,8 mm**, et on enregistre ce même jour à la station **Arles-Trinquetaille un record de 265 mm**, soit presque l'équivalent de trois mois de pluies en une journée. Il en a découlé, à Arles par exemple, une rupture des digues du Rhône situées en amont de la commune, permettant à l'eau d'envahir les quartiers nord de la ville.

### La tempête de Novembre 1982

Une tempête est définie comme « un vent dont les rafales ont dépassés 100km/h au cours de la journée ». Un vent est généralement estimé violent donc dangereux lorsque sa vitesse atteint 80 km/h, et 100 km/h en rafale à l'intérieur des terres.

Les 7, 8 et 9 novembre une tempête ravage le Languedoc-Roussillon, le Massif Central et la région Rhône-

Alpes dans un premier temps pour enfin impacter l'ensemble du territoire national. Des vents de plus de 170km/h sont enregistrés en montagne.

Sur le Pays d'Arles, le littoral est particulièrement touché par des phénomènes de submersions marines avec une surcote de 83 cm enregistrée le 8 novembre.

Force est de constater que le pays d'Arles et le département des Bouches-du-Rhône font partie des zones géographiques les plus touchées avec certaines zones comme les pays de la Loire, la vallée du Rhône, le Nord Pas de Calais, l'Île de France, les Alpes maritimes et Midi Pyrénées.



## 1.2 Les évolutions du Climat observées

### Synthèse

#### Températures :

Les évolutions tendanciennes montrent un climat qui se réchauffe sensiblement avec par exemple sur **Orange une moyenne des années 1981-2013 plus chaude de 1,1°C** par rapport à la moyenne de la période 1951-1980. Cette évolution des températures semble plus marquée en été et au printemps, **on observe une augmentation des températures de +2,8°C en été et de 2°C au printemps à Carpentras**. La durée des épisodes de chaleur augmente également.

#### Précipitations :

Les précipitations ont également évolué entre 1951-1980 comparé à 1981-2013, **la tendance annuelle n'est pas claire même si elle connaît une baisse légère**.

En revanche on constate des variations plus ou moins fortes entre les saisons : par exemple, **les précipitations automnales ont tendance à augmenter** quand elles diminuent en été ce qui augmente la fréquence de sécheresse.

Enfin on observe une forte variabilité interannuelle des précipitations qui se confirme.

#### Autres :

**Le risque de submersion marine est aggravé par l'évolution du niveau de la mer méditerranéenne.**

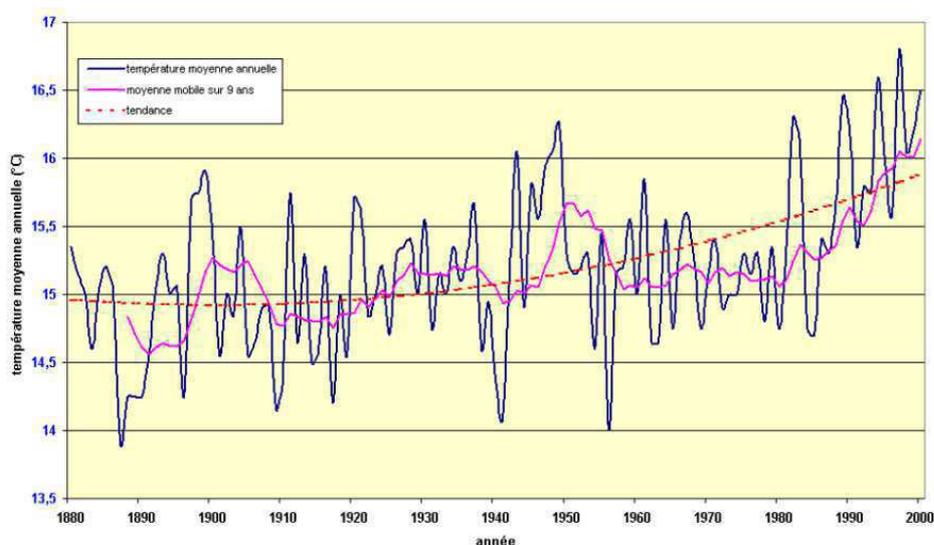
Il est en revanche difficile d'observer une évolution de l'intensité et de l'occurrence du vent.

### 1.2.1 Les évolutions tendanciennes

#### Températures

On observe sur le territoire des Bouches-du-Rhône une tendance à l'augmentation des températures moyennes, ce que confirme l'analyse de la série historique disponible sur Marseille quant à l'évolution des températures depuis 1880. **En un siècle, la température s'est élevée de près de 1°C**. De même, entre 1951 et 2013 on observe une augmentation des températures de 1,1°C sur Orange (cf. Figure 13 et 14).

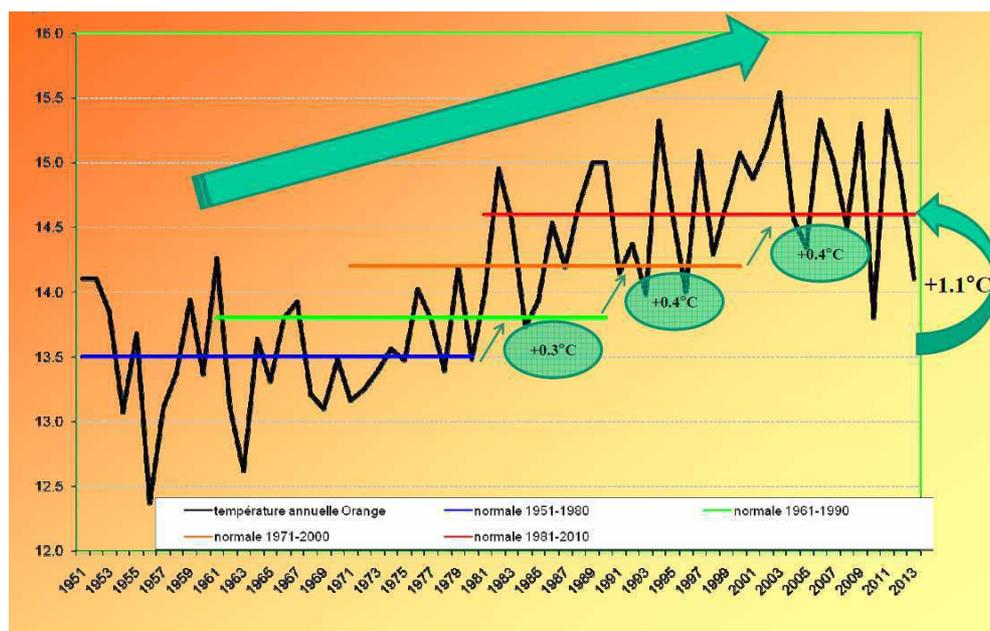
Figure 17 : Evolution de la température moyenne annuelle à Marseille depuis 1880



Source : Météo France



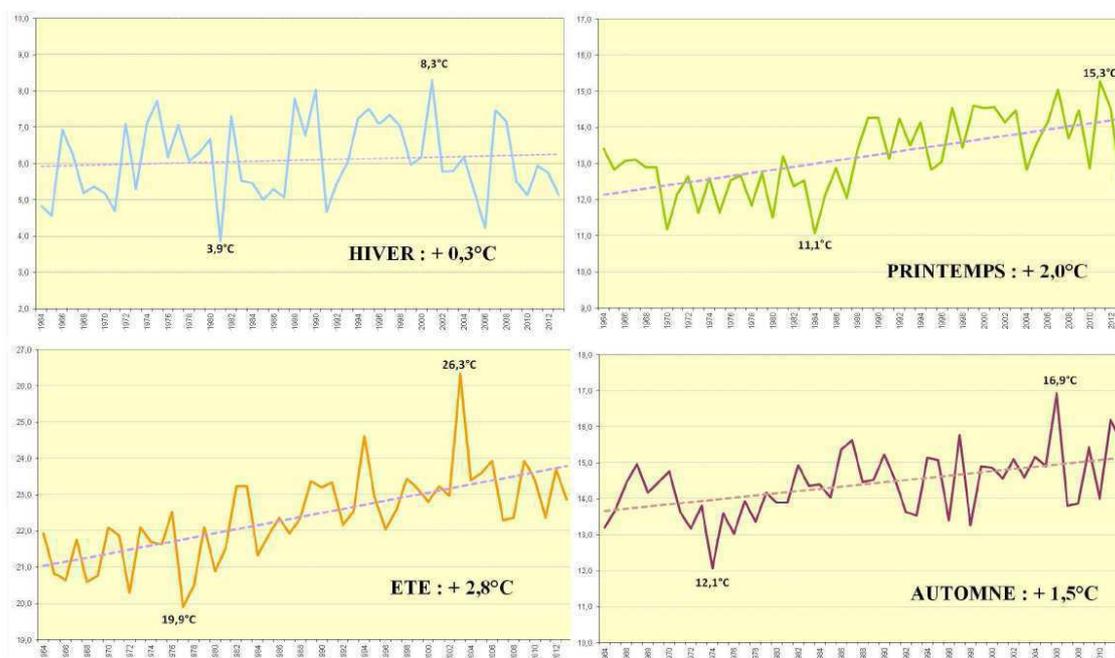
Figure 18 : Evolution de la température moyenne annuelle - Orange 1951 - 2013



Source : CIRAME

L'évolution saisonnière des températures moyennes permet de voir que ces changements annuels ont une variation très différente en fonction des saisons. Le cas de Carpentras montre qu'entre 1964 et 2013 les températures restent relativement stable concernant l'hiver (+0,3°C) alors qu'elles connaissent une **augmentation importante en été +2,8°C, au printemps +2°C et en automne +1,5°C.**

Figure 18 : températures moyennes saisonnières (en °C) – Carpentras 1964 – 2013



Source : CIRAME

L'évolution des minimaux et maximaux saisonniers est inégale. L'hiver est une saison à part où il y a une plus grande amplitude de température qu'aujourd'hui. Les minimales diminuent en effet de 0,5°C et les maximales de 1,1°C. En revanche, l'augmentation des températures est forte pour les autres saisons : les minimums augmentent de 0,8°C au printemps, de 1,5°C en été et de 1,7°C en automne. **Les maximales**



connaissent une augmentation particulièrement importante au printemps et en été : respectivement 3,4°C et 4°C.

Figure 19 : Evolution des minimales et maximales saisonnières (en °C) – Carpentras 1964 – 2013

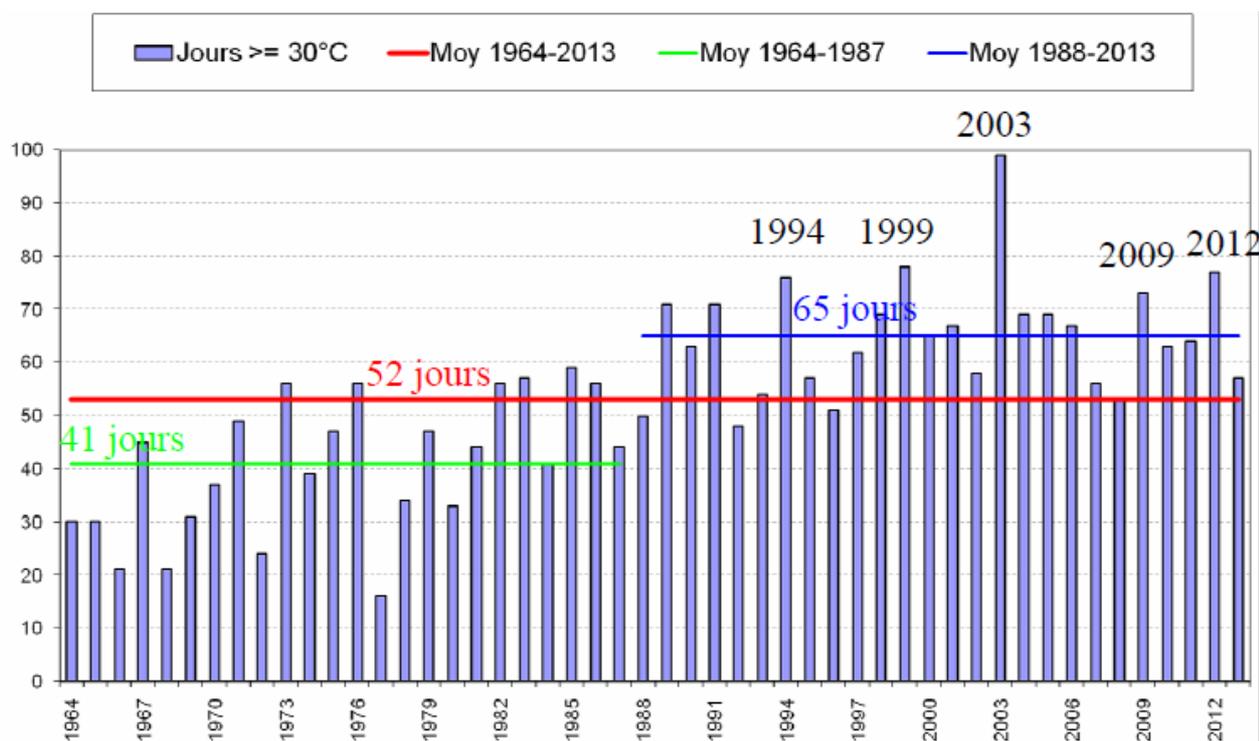
	Températures	
	Minimale	Maximale
Hiver	-0,5	1,1
Printemps	0,8	3,4
Eté	1,5	4
Automne	1,7	1,7

Source : CIRAME

### Fortes chaleurs

Cette évolution de la température se traduit également par une évolution de l'occurrence des fortes chaleurs. En moyenne entre 1964-1987 on comptait 41 jours de chaleurs supérieures ou égales à 30°C contre 65 jours en moyenne sur la période 1988-2013.

Figure 20 : Nombre de jours / an >= à 30°C à Carpentras



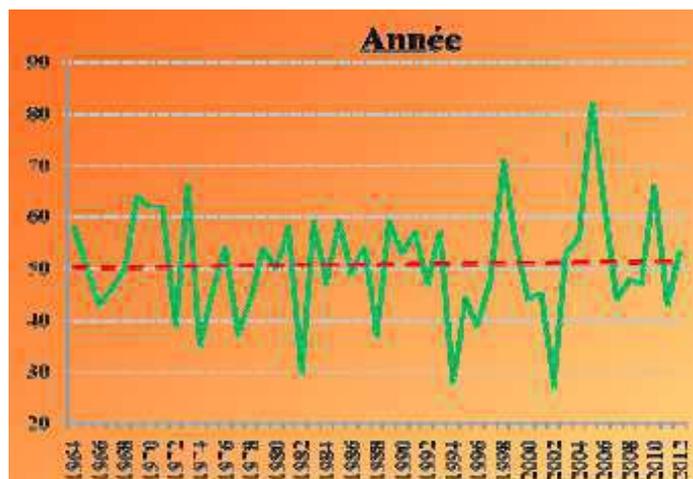
Source : CIRAME

### Températures inférieure à 0°C

Annuellement, le nombre de jours avec une température inférieure à 0°C est relativement stable entre 1964 et 2013.



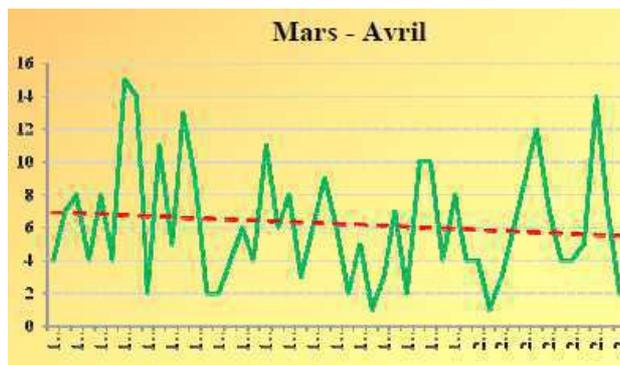
Figure 21 : Nombre de jours annuel avec une température <0°C (Carpentras) 1964-2012



Source : CIRAME

On constate cependant une baisse tendancielle du nombre de jour en dessous de 0°C entre mars et avril.

Figure 22 : Nombre de jours annuels avec une température <0°C aux mois de Mars - Avril (Carpentras) 1964\*2012



Source : CIRAME

## Précipitations

Certaines séries historiques confirment une tendance à la baisse des précipitations estivales et printanières comme le montre l'analyse saisonnière de l'évolution des cumuls de pluie à Aix-en-Provence :

- **Tendance à la baisse sur les saisons printemps-été depuis 1977 de - 85mm**
- **Tendance à la baisse au printemps depuis 1986 de - 30 mm**
- **Tendance à la baisse en été également de- 55mm**

Cette tendance à la baisse se confirme également à Salon-de-Provence (cf. figure 24). L'ensemble de la région Méridionale est touchée par le phénomène.



Figure 23 : Analyse saisonnière de l'évolution des cumuls de pluie à Aix-en-Provence

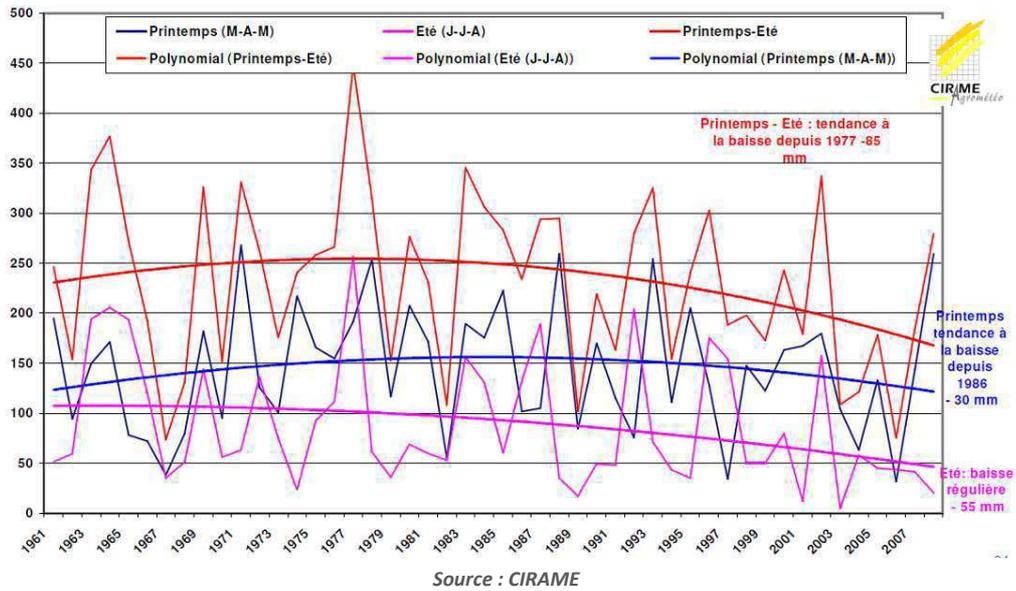
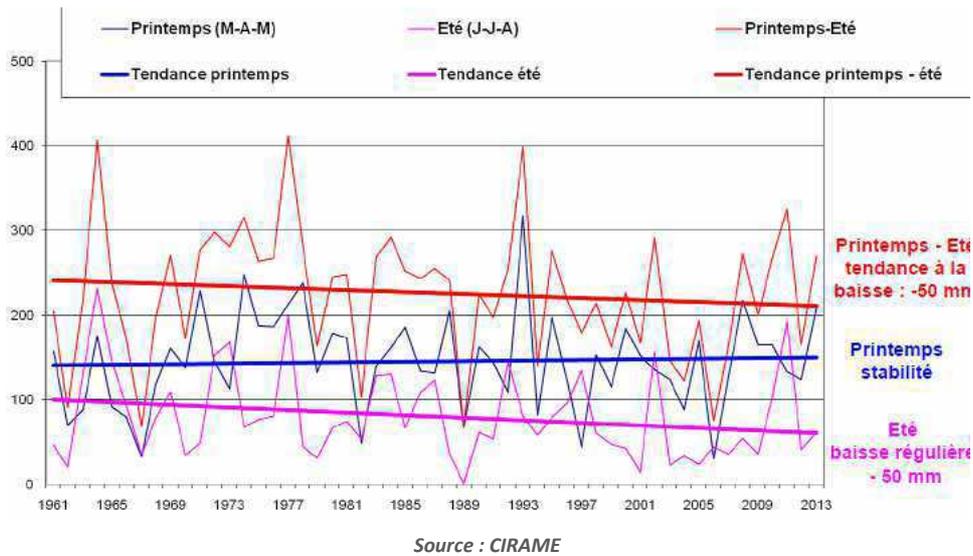


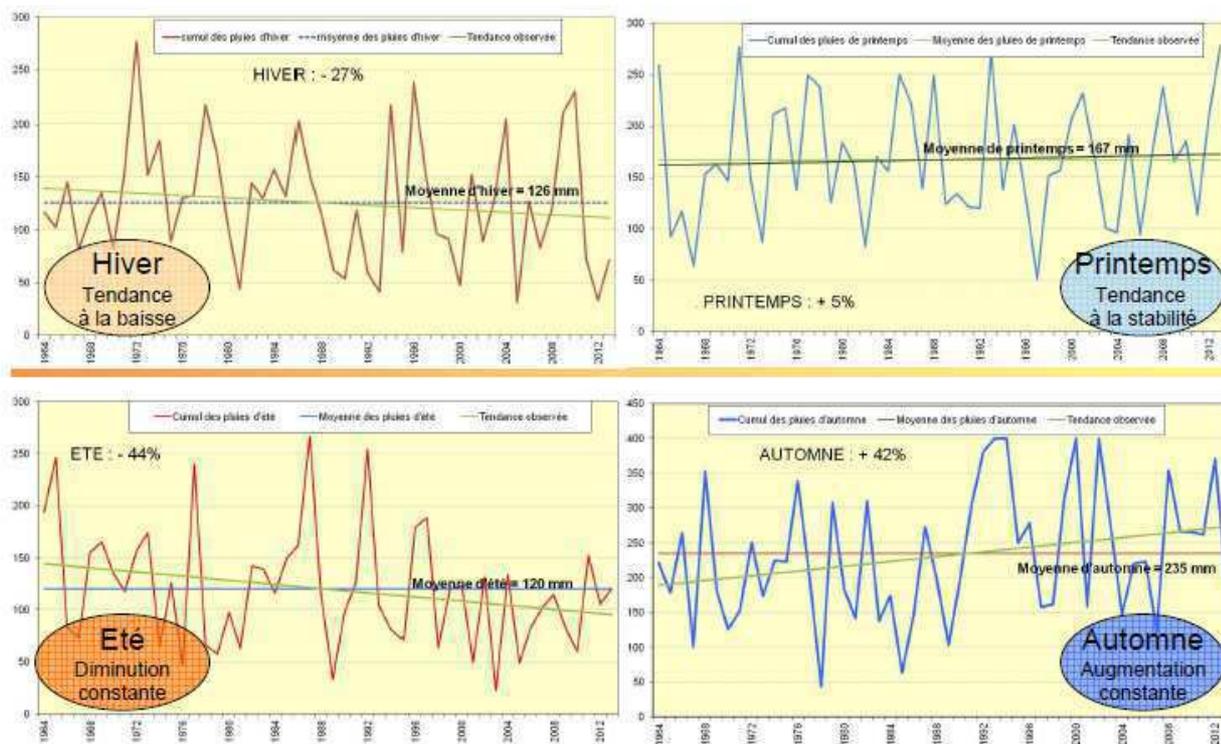
Figure 24 : Analyse de l'évolution des cumuls de pluie à Salon-de-Provence.



L'évolution des précipitations saisonnières à Carpentras permet également de percevoir les différences de tendances sur les différentes périodes de l'année :



Figure 25 Précipitation saisonnières (en mm) Carpentras (1964-2013)



Source : CIRAME

On constate des baisses tendancielle des précipitations annuelles avec de fortes variations entre saisons :

- Les diminutions tendancielle sont relativement importantes en hiver et en été :
  - **En hiver, une tendance à la baisse de – 27% des précipitations**
  - **En été, une tendance à la baisse prononcée de -44%**
- Il y a une certaine stabilité au printemps avec une augmentation observée de 5% de la moyenne.
- **Enfin, on constate une augmentation importante des précipitations à l'automne avec +42%.**

Il est également intéressant d'observer que l'évolution des précipitations par jour tend à augmenter. On observe ainsi une augmentation de la pluviométrie quotidienne de 11% en 20ans pour Carpentras si l'on étudie la moyenne glissée sur 10 ans entre 1985 et 2006.

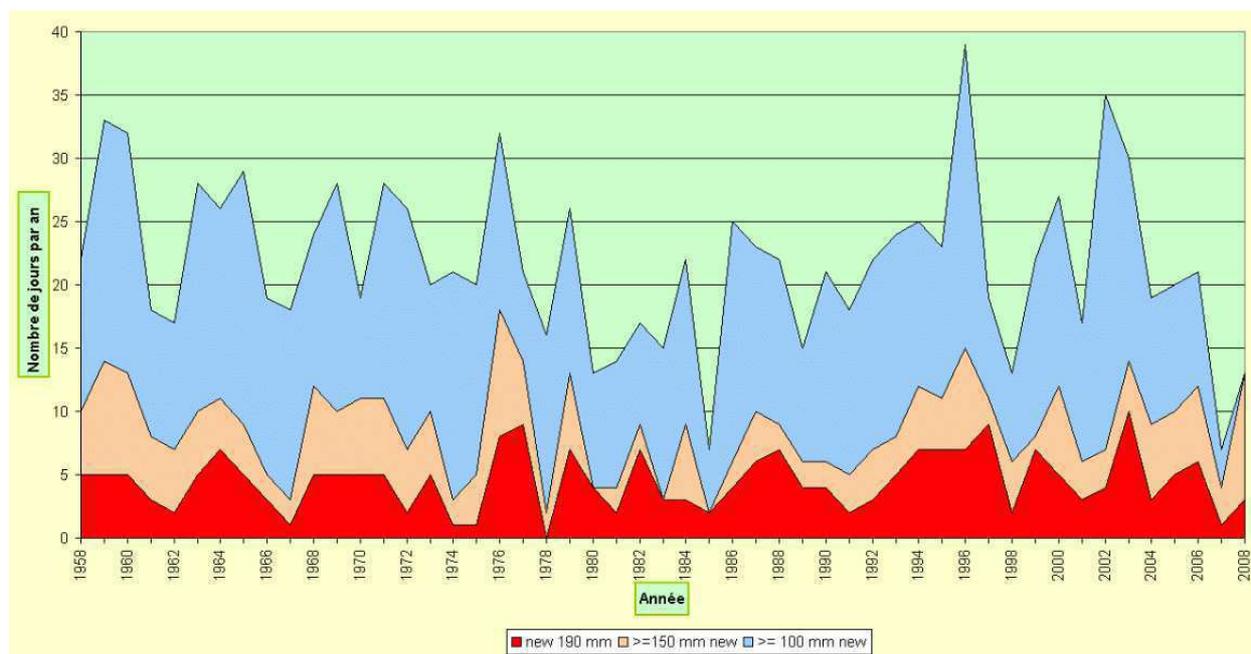
### Les pluies intenses

Les évolutions tendancielle précédemment observées ne traduisent pas obligatoirement une augmentation des extrêmes.

Les observations effectuées par Météo France sur la période 1958-2008 dans la région méditerranéenne ne montrent pas de variation significative dans l'occurrence des pluies diluviennes (figure ci-dessous).



Figure 26 : Nombre annuel de jours avec une hauteur de pluie  $\geq 100$ , 150 ou 190 mm en 24h sur les régions méditerranéennes de la France (Période 1958-2008)



La baisse de l'enneigement risque de réduire l'apport nécessaire en eau pour le bassin du Rhône.

Enfin, un élément qui concerne tout particulièrement le secteur agricole est celui de **l'évapotranspiration et par conséquent de l'humidité des sols**. En effet cela influe sur la recharge des nappes et sur la transformation des pluies en écoulement et en débits ;

« Des travaux de Milano (2010) montrent que l'évapotranspiration potentielle (ETP) pourrait augmenter de façon significative sur le bassin du Rhône à l'horizon 2100 (jusqu'à + 4 mm/jr en juillet et août) mais également dès les années 2050.

Boé (2007) a simulé l'évolution de l'évaporation réelle, qui augmenterait à toutes les saisons sauf en été où elle baisserait du fait d'une moindre humidité des sols.

Ainsi d'après Boé (2007) l'humidité des sols baisserait partout en France à l'horizon 2050, à l'exception des Alpes au printemps, probablement en conséquence de la fonte précoce des neiges.

Les baisses les plus marquées sont projetées dans le nord des Alpes en été, et sur quasiment tout le bassin en automne. L'humidité des sols est ici représentée par l'index SWI (Soil Wetness Index), défini par le rapport entre l'eau effectivement contenue dans le sol utilisable par le couvert végétal et le maximum d'eau utilisable par le couvert que le sol peut contenir. »

**Le projet ClimSec (Soubeyroux et al., 2011)** s'est attaché à produire des projections aux horizons 2020, 2050 et 2080 sur l'évolution des sécheresses météorologiques et agricoles en France. Une sécheresse météorologique est définie comme un déficit de pluviométrie, alors qu'une sécheresse agricole concerne l'humidité des sols. Les indices utilisés pour décrire ces sécheresses sont le SPI (Standardized Precipitation Index) et le SSWI (Standardized Soil Wetness Index).

A partir des années 2050, des sécheresses agricoles inhabituelles par leur expansion géographique et par leur intensité pourraient apparaître. Ces mêmes sécheresses pourraient être plus longues dans certaines régions notamment dans les zones montagneuses. L'évolution des sécheresses courtes paraît nette par rapport aux sécheresses longues.



Enfin à l'horizon 2080 des sécheresses météorologiques plus fortes pourront sévir en été et en automne. De longues sécheresses agricoles sont probables sur la quasi-totalité du pays, sans retour à la normale définie en climat actuel.

En conclusions, les trois paramètres température, évapotranspiration et neige montrent des signes très nets qui annoncent un problème de raréfaction de la ressource sur le bassin

### L'élévation du niveau de la mer

Les **submersions marines** peuvent provoquer des inondations sévères et rapides du littoral, des ports et des embouchures de fleuves. Elles sont liées à une **élévation extrême du niveau** de la mer due à la combinaison de plusieurs phénomènes :

- l'intensité de la marée (niveau marin dû principalement aux phénomènes astronomiques et à la configuration géographique) ;
- le passage d'une tempête, produisant une surélévation du niveau marin (houle, vent, diminution de la pression atmosphérique).

La simultanéité des phénomènes aggrave la submersion, accroît les débordements et permet à la mer d'atteindre des zones habituellement abritées. En Camargue, l'augmentation du niveau de la mer méditerranée (cf. figures ci-dessous) combiné à un ensemble de facteurs (érosion des sols, affaissement du delta, etc.) aggrave les risques de submersions marines. En effet, la mer méditerranée monte comme nous le montrent le relevé altimétrique et la carte ci-dessous :

Figure 27 : Mise en évidence de la montée du niveau de la mer méditerranée par les satellites d'altimétrie - Source : Aviso-CNES

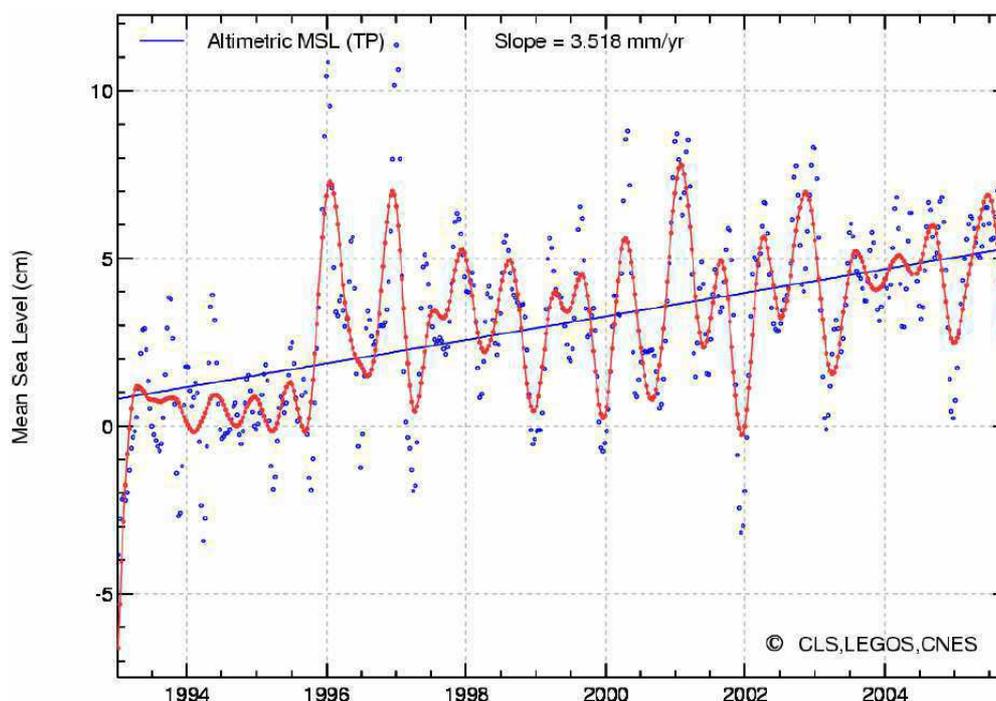
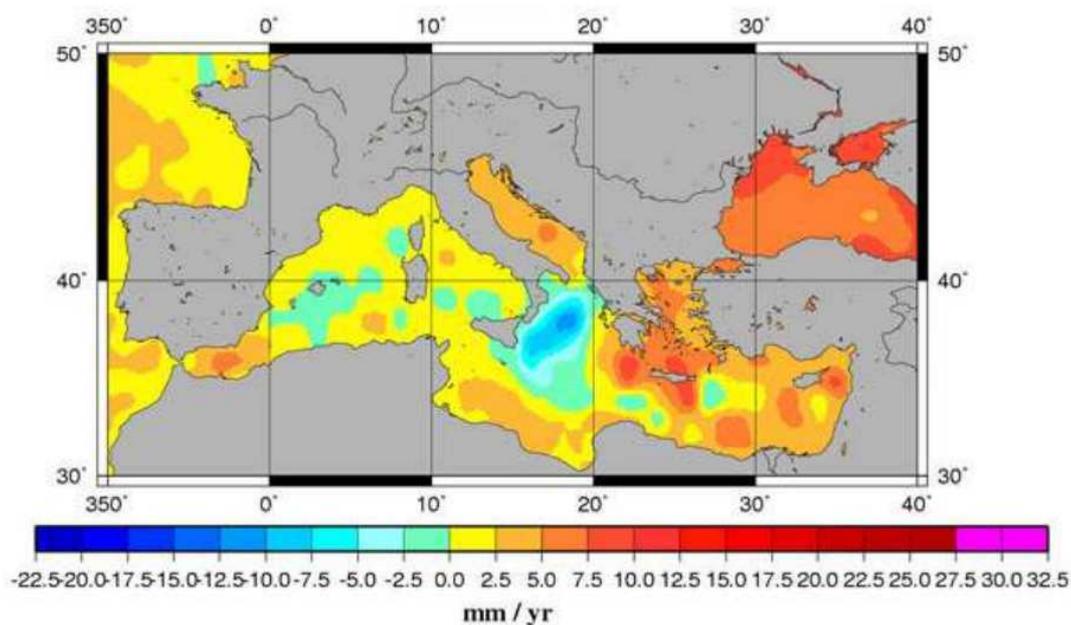


Figure 28 Carte de la distribution géographique des vitesses de variation du niveau de la mer (1993-2007) d'après Topex/Poseidon et Jason-1



Source : Planton S. Evolution de la mer, 2012. LEGOS

Or, la construction de barrages hydro-électriques dans les bassins versant du Rhône et son endiguement empêchent l'apport de matériel sédimentaire qui contrebalançait l'enfoncement par subduction du delta du Rhône. Les deux phénomènes ont abouti au XXe siècle à une augmentation du niveau de la mer de 22cm et une perte de 450ha dans le delta, ce qui se situe dans la fourchette haute de l'élévation constatée de la mer au XXe siècle (entre 12 et 22cm d'après le GIEC). A Marseille, on enregistre une augmentation de +1.2 mm/an entre 1896 et 2004 avec une accélération récente du phénomène (+ 3,1 mm/an entre 1993 et 2003).

A l'échelle mondiale, la période 1950-2000 montre une hausse de 1,8mm par an. Le réchauffement des océans explique la hausse de 0,4mm/an, la fonte des glaciers des pôles et massifs montagneux 1mm/an. Sur la décennie 1992-2003, l'expansion thermique de l'océan joue un rôle dominant. (GIEC)

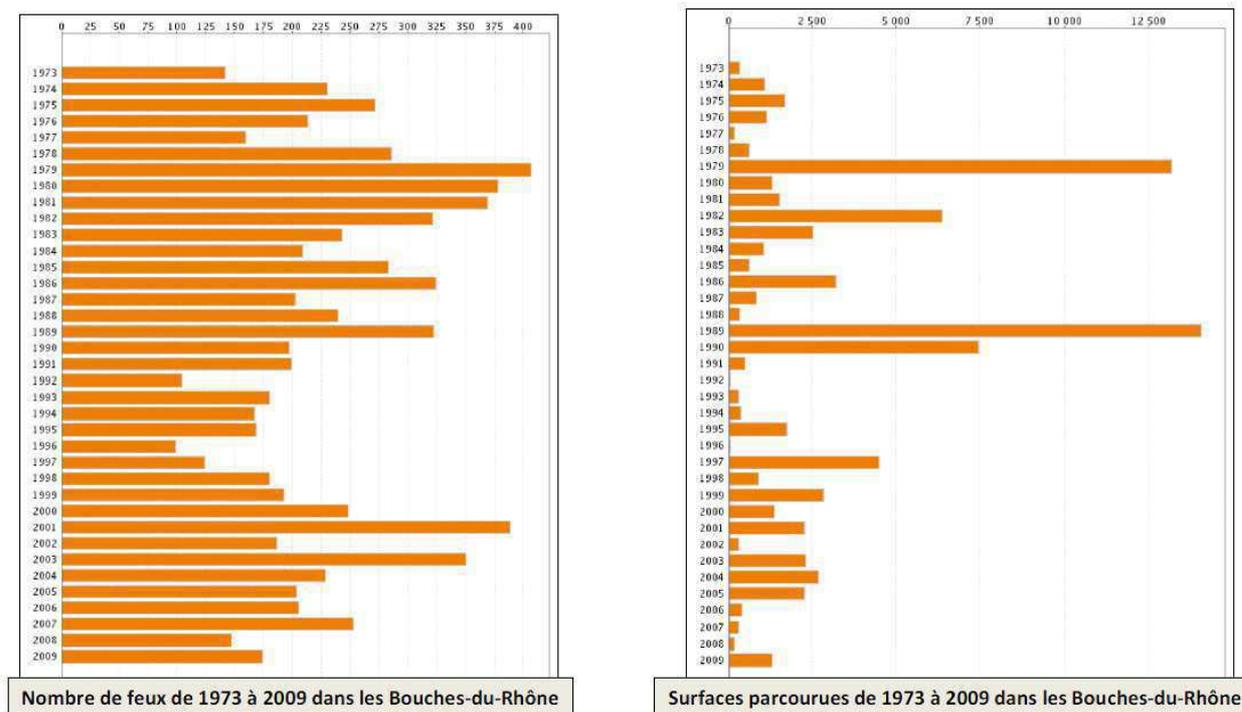
### 1.2.2 Les incertitudes

#### Les feux de forêts :

Il n'y a pas de tendances particulières se dessinant sur l'occurrence des feux de forêts dans les Bouches du Rhône.



Figure 29 : Nombre de feux de forêts dans les Bouches-du-Rhône et surfaces parcourues de 1973 à 2009



Source : Météo France, in Plan Climat Territorial – diagnostic de vulnérabilité- Communauté Pays d’Aubagne et de l’Etoile, 2009

L'Indice Forêt Météo (IFM) est calculé quotidiennement pour le compte de la Sécurité Civile et dépend uniquement de paramètres météorologiques. On constate que malgré une augmentation de ce paramètre, il en ressort une diminution des feux de la zone Sud probablement dû, selon le rapport de la mission interministérielle : Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts (Météo France, 2010), à une meilleure gestion des départs de feux et à une meilleure prévention des populations.

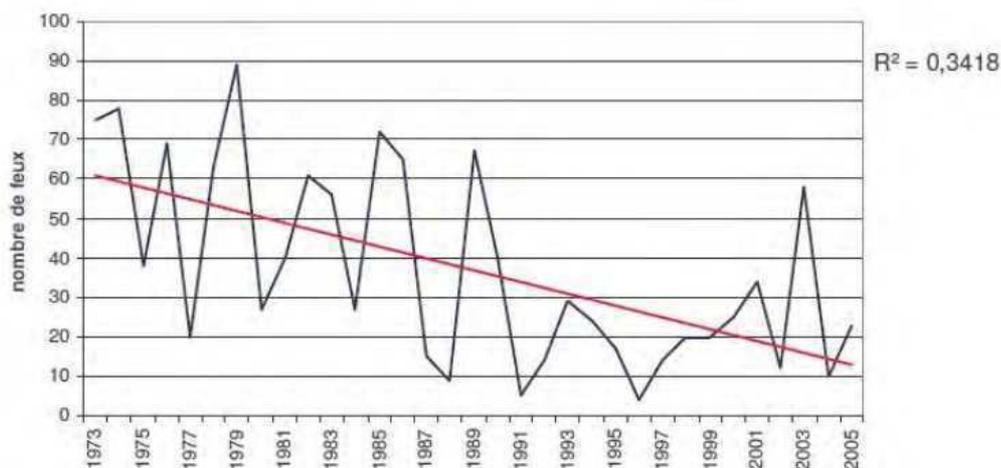
Figure 19 Évolution par région du nombre d'hectares de forêts brûlés (en moyenne annuelle) : Chiffres de 1989/2008 par rapport à ceux de 1965/1980 (Source : Météo France, Rapport mission interministérielle : changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts, 2010)

France entière	37 150 ha à 24 720 ha (soit - 50 %)
France hors zone Sud	11 100 ha à 6 570 ha (soit - 69%)
Zone Sud (dans sa définition opérationnelle)	26 050 ha à 18 150 ha (soit - 44 %)
Var	4 400 ha à 3 750 ha (soit - 17 %)
Hérault	1 550 ha à 550 ha (soit - 181 %)
Corse	6 650 ha à 7 100 ha (soit + 7 %)

Le nombre de feux de plus de 100 ha diminue ainsi drastiquement en fin de siècle.



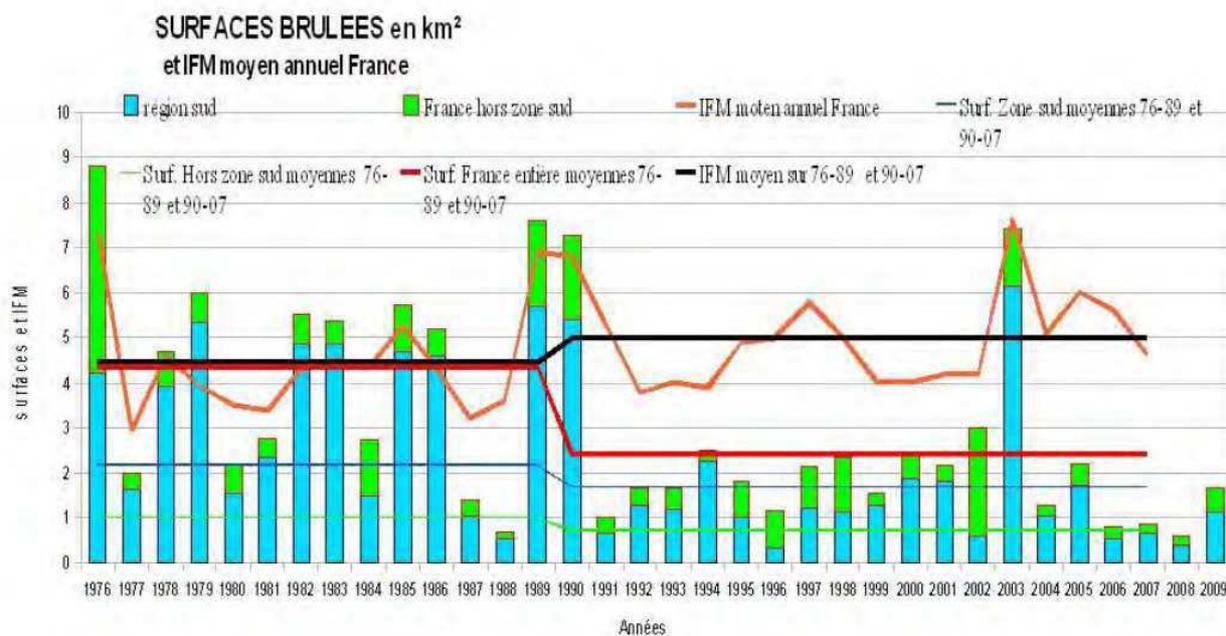
Figure 20 Evolution du nombre de feux de plus de 100 ha (Source : Prométhée 1973-2005)



Pourtant l'indice IFM augmente et il demeure bien une corrélation entre feux et cet indice, d'après météo France, une augmentation de 20% de l'IFM s'ensuit d'une augmentation aussi importante du nombre de feux en moyenne.

Le schéma ci-dessous rassemble l'ensemble de ces informations, la courbe noire correspond à l'IFM moyen entre 76-89 puis entre 90-07, on constate qu'elle augmente légèrement tandis que les surfaces brûlées en km<sup>2</sup> diminuent drastiquement, malgré le pic de 2003, à partir des années 1990.

Figure 21 Évolution par région du nombre d'hectares de forêts brûlés (en moyenne annuelle) : Chiffres de 1989/2008 par rapport à ceux de 1965/1980



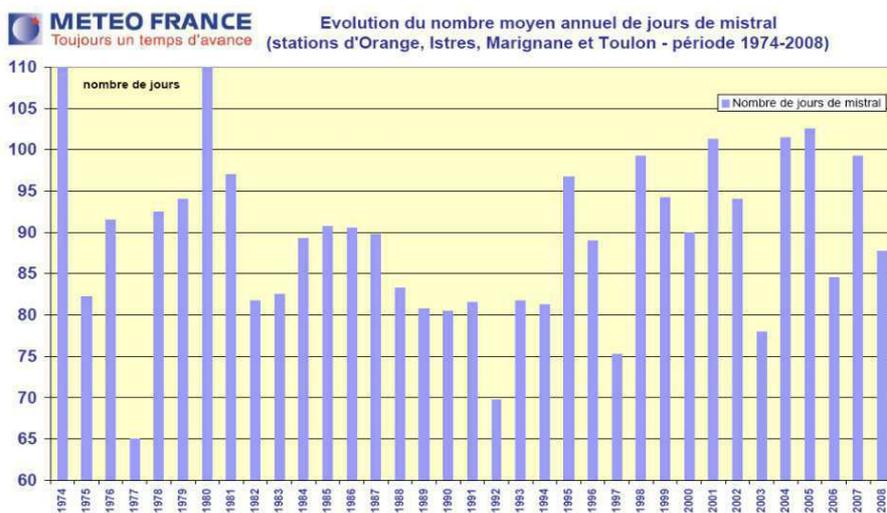
Source : Météo France, Rapport mission interministérielle : changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts, 2010)



## Vent

Les observations de Météo France ont montré qu'il n'y avait pas de tendance significative sur les dernières décennies quant à l'occurrence du mistral.

Figure 29 : Evolution du nombre de jours de mistral



Source : Météo France



## 2 Les avenir climatiques du Pays d'Arles à moyen et long termes

### Point méthodologique

#### Base de données, scénarios, horizons

Les projections climatiques retenues pour l'étude de vulnérabilité du Pays d'Arles sont celles développées par le CERFACS dans le cadre de l'étude réalisée à l'échelle départementale par le CG 13 à partir de **la base de données multi-modèles ENSEMBLE**.

Cette base permet de travailler sur plusieurs modèles climatiques, ce qui réduit les incertitudes liées à la modélisation du climat. Cinq modèles ont été choisis spécifiquement pour le territoire du Pays d'Arles. Certaines modèles reproduisent la moyenne du climat futur sur des paramètres clés que sont la température et les précipitations (modèles médians), d'autres modèles s'en éloignent (modèles plus extrêmes dits d'encadrement). Les 5 projections utilisées sont donc : une projection de référence relativement médiane et quatre projections permettant d'explorer le champ des possibles pour montrer la plage des incertitudes (projection « froide », projection « réchauffement modéré », projection « hiver chaud et humide », projection « chaude et sèche »)

En termes de scénario socio-économique, **le scénario moyen A1B du GIEC** a été étudié. Il est le seul disponible avec les données ENSEMBLE. Ce scénario correspond à une croissance rapide qui s'appuie sur un mix énergétique équilibrées entre énergies fossiles et autres (nucléaire et renouvelables). De nouvelles technologies plus efficaces sont relativement rapidement introduites. C'est également le scénario que l'AIE utilise pour 2050.

**Les horizons étudiés sont 2030, 2050 et 2080.** Notons que l'incertitude des scénarios socio-économique n'est pas prédominante aux horizons 2030 et 2050 mais le devient en fin de siècle.

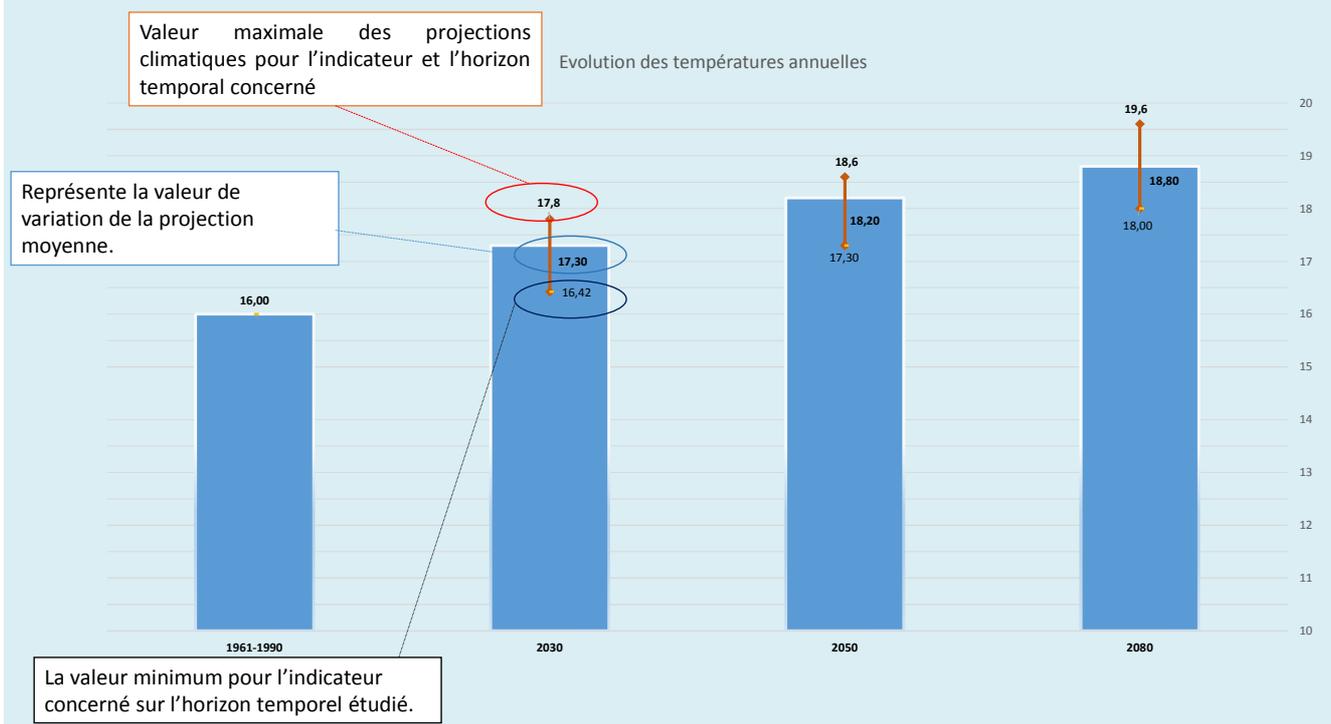
→ *Pour plus de détails sur la méthodologie utilisée pour les projections climatiques, veuillez-vous reporter aux annexes (Annexe n°1 sur la méthodologie d'analyse du climat futur, et Annexe n°2 de description des 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> rapports du GIEC).*



### Méthode de lecture de nos graphiques :

Les graphiques boursiers représentent l'évolution de chaque indicateur pour les 3 horizons temporels. Ces données sont issues des résultats de nos modélisations climatiques (voir encadré ci-dessus). Afin de mieux prendre en compte les incertitudes liées à cette évolution, nous avons représenté pour 2030, 2050 et 2080 trois données qui forment une « marge d'incertitude ».

- La donnée la plus basse représente la valeur minimum pour l'indicateur concerné sur l'horizon temporel étudié.
- La donnée du milieu, celle de l'histogramme plein, représente la valeur de variation de la projection moyenne.
- La donnée la plus haute est la valeur maximale trouvée par nos projections pour l'indicateur et l'horizon temporel concerné.



## 2.1 Les avenir qui se dessinent...

### Synthèse

Sont présentées ci-dessous les tendances générales qui s'esquissent au vu des projections des différents modèles. Les encadrés verts indiquent une forte convergence des projections, les oranges des résultats fortement divergents sur certains paramètres et les jaunes des résultats contrastés.

Un climat plus chaud

**Une élévation généralisée (horizons, saisons, territoire) des températures moyennes, minimales et maximales :**

- Augmentation de **1,3°C** (min 0,42 ; max 1,8°C) d'ici 2030
- Augmentation de **2,2°C** (min 1,3 ; max 2,6°C) d'ici 2050-80
- Augmentation de **2,8°C** (min 2 ; max 3,6°C) sur la période 2080-2100

Et peut être plus sec

**Les projections tendent vers un signal à la baisse du volume moyen de précipitations annuelles en dépit d'une forte dispersion des modèles et de la variabilité de l'indice : -2% (+1 à -19%), accentuation en 2050 -12% (-6% à -14%). En 2080, les signaux sont à nouveaux contradictoire : -7% (+1% à -23%).**

**Tendance à la baisse du nombre annuel de jours de pluie** à tous les horizons. La projection de référence indique à la moins grande diminution. Cette baisse pourrait atteindre jusque 7 jours en 2030, entre -2 et -9 jours en 2050, et entre -5 et -10 jours à l'horizon 2080.

**Spatialement, peu de différences notables** sont à signaler sur le territoire des Bouches du Rhône. Pas de signal annuel sur une augmentation ou une diminution des pluies intenses.

Des étés caniculaires et plus secs

**La saison estivale est la plus exposée au réchauffement.** En termes de tendance moyenne celle-ci est de l'ordre de **+1°C** (0,5°C – 1,6°C) à l'horizon 2030, de **+2,1°C** (1,3°C – 2,2°C) à l'horizon 2050 et **+2,5°C** (2°C – 2,9°C).

**Un signal clairement à la hausse sur les extrêmes de températures** mais une incertitude sur la fréquence de ces épisodes. Le nombre de jours supplémentaires de très fortes chaleur (> 35°C) serait compris entre 0 et 14 jours en 2030, 0 et 21 jours en 2050, 0 et 28 jours en 2080. La projection de référence indique les plus fortes augmentations soit **un doublement des épisodes caniculaires à court terme et un triplement à moyen terme. L'arrière pays serait plus impacté que le littoral** par la hausse des extrêmes.

**Une tendance à l'amplification de la sécheresse estivale** affichée par tous les modèles. Diminution du volume de précipitations, augmentation du nombre de jours secs consécutifs quand bien même l'incertitude demeure grande sur ce dernier paramètre : entre +1 et +27 jours en 2050, entre +3 et +25 en 2080.



## Des hivers plus doux

**Une élévation moins marquée des températures moyennes : +1,2°C (0,8°C – 1,9°C) à l’horizon 2030, +2,1°C (1,9°C – 2,6°C) à l’horizon 2050 puis +1,7°C (2°C – 3,6°C) à l’horizon 2080.**

Pas de tendance significative sur le volume et la fréquence des précipitations hivernales. En revanche, à l’exception de la projection « réchauffement modéré », l’ensemble des modèles envisagent une **élévation des épisodes de très fortes pluies (>= 20 mm)** en hiver à tous les horizons **mais de fortes incertitudes demeurent sur leur fréquence.**

Franche diminution voire disparition du risque de gel dès 2030.

## Des printemps plus secs

Une augmentation des températures moyennes pour le printemps mais moins marquée qu’en automne : **+1°C (0,5°C – 1,6°C)** en 2030, **+2,1°C (1,3°C – 2,2°C)** en 2050, **+2,5°C (2°C – 2,9°C)**.

**Les projections s’accordent toutes sur une diminution de la fréquence et du volume de précipitation de printemps à partir de 2050 :** entre -10% et -41% à cet horizon, -3% à -45% à l’horizon 2080 et un signal faible à l’augmentation du nombre de jours secs consécutifs : +2 jours (0-4) en 2050, +6 jours (1-6) en 2080.

## Des automnes plus extrêmes

**Une saison automnale qui se réchauffe plus vite que le printemps : +1,4°C (0,2°C – 1,6°C)** en 2030, **+2°C (0,9°C – 2,6°C)** en 2050, **+2,8°C (1,8°C – 4,2°C)** en 2080.

Pas de signal clair sur la tendance relative au volume de précipitations mais baisse de la fréquence des pluies en automne (nombre de jours de pluie).

**Une augmentation attendue des extrêmes de températures et de précipitations :** élévation du **risque d’épisodes caniculaires** quand bien même l’incertitude demeure sur leur fréquence : +1,4 jour de très fortes chaleurs (> 35°) en 2030, +2,6 jours en 2050, +3,4 jours en 2080.

**Une élévation légère des précipitations intenses** en fin de siècle, sensiblement plus marquée pour les précipitations les plus extrêmes (>20 mm).

## Vers une baisse du vent ?

Il est difficile de dégager une tendance sur la vitesse moyenne et les extrêmes car le vent est un paramètre très variable dans l’espace et le temps. Il est donc affecté largement par les moyennes dans les projections réalisées.

Toutefois, certains travaux de recherche approfondie (CERFACS) tendent à converger vers une diminution du vent, notamment sur la zone méditerranéenne à partir de 2050, qui s’accroît à l’horizon 2090 : diminution de la vitesse moyenne du vent à toutes les saisons avec une diminution des flux de nord entre novembre et avril et une augmentation de mai à octobre. Cette baisse reste toutefois faible (inférieure à 6%).



### 2.1.1 Un climat plus chaud...

Le climat du département se réchauffe. La température moyenne devrait augmenter selon toutes les projections, horizons temporels, régions et saisons.

Figure 30 : Changement de température moyenne annuelle aux horizons 2030, 2050 et 2080, projections de référence

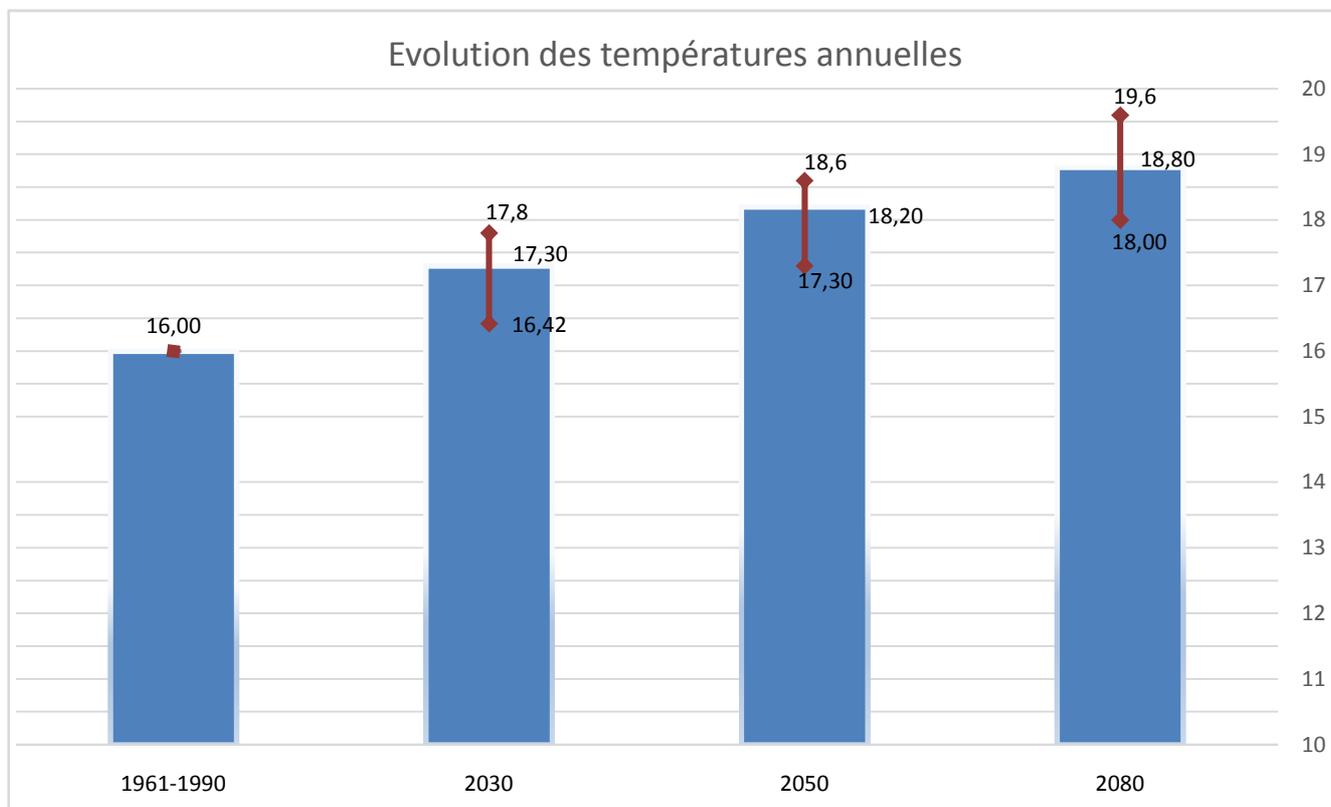
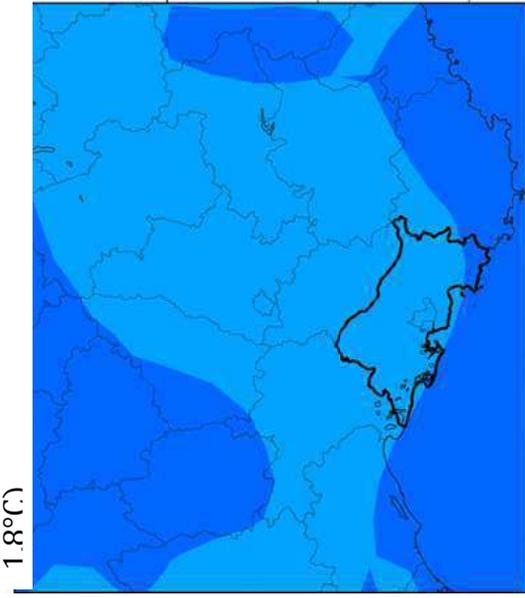


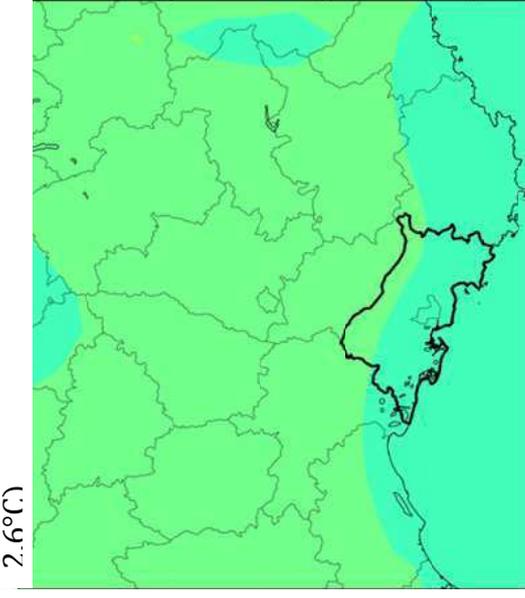
Figure 31: Changement de température moyenne annuelle aux horizons 2030, 2050 et 2080, projection de référence

Ecart (en °C) à la période de référence 1961-1990

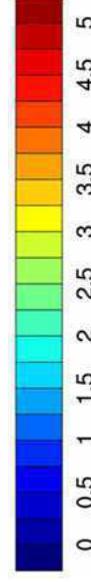
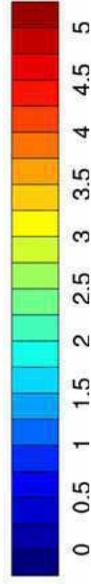
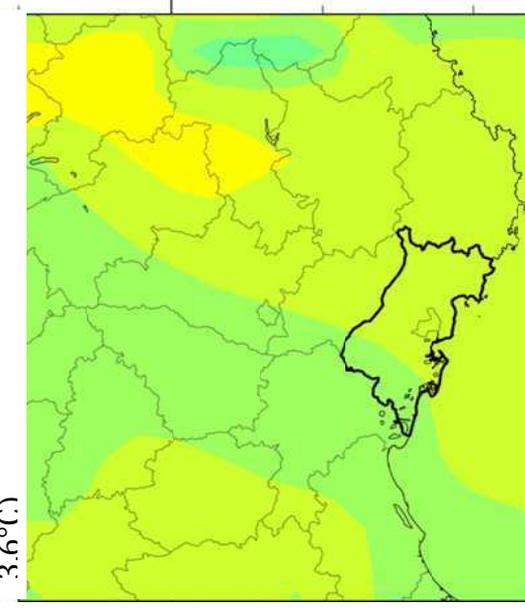
...En 2030 (2020-2040) : **+1.3 °C**(0.4°C – 1.8°C)



...En 2050 (2040-2060) : **+2.2 °C** (1.3°C – 2.6°C)



...En 2080 (2070-2090) : **+2.8 °C**(2°C-3.6°C)



En orange : résultats de la projection de référence pour le département



D'après ces résultats, à l'horizon 2030, l'augmentation des températures est d'environ +1,3°C (0,4°C-1,8°C). **Cette élévation est significative mais de relativement faible intensité.**

L'incertitude entre les modèles est d'environ 1,2°C avec une projection « réchauffement modéré » qui affiche une élévation minimale (0,4°C) alors que deux projections affichent déjà une hausse significative de +1,8°C.

**A l'horizon 2050, les températures continuent de croître.** Les incertitudes tendent à rester similaires (environ 1,3°C d'écart entre la projection la plus froide et la plus élevée). La tendance affichée par la projection de référence est de +2,2°C (1,3°C – 2,6°C).

**A l'horizon 2080, le réchauffement est beaucoup plus marqué : +2,8°C (2°C-3,6°C).** L'incertitude entre les projections tend toutefois à se creuser (1,6°C entre les deux extrêmes).

L'évolution des températures est relativement homogène sur l'ensemble du territoire des Bouches-du-Rhône (Figure 31).

En termes saisonniers, toutes les projections montrent une hausse des températures à tous les horizons temporels, excepté pour la projection de référence qui affiche une légère diminution de températures en hiver à l'horizon 2080 par rapport à l'horizon 2050.

**Figure 32 : Evolution des températures moyennes annuelles 2030, 2050 et 2080, toutes projections**

Ecart (en °C) à la période de référence 1961-1990 / Données saisonnières

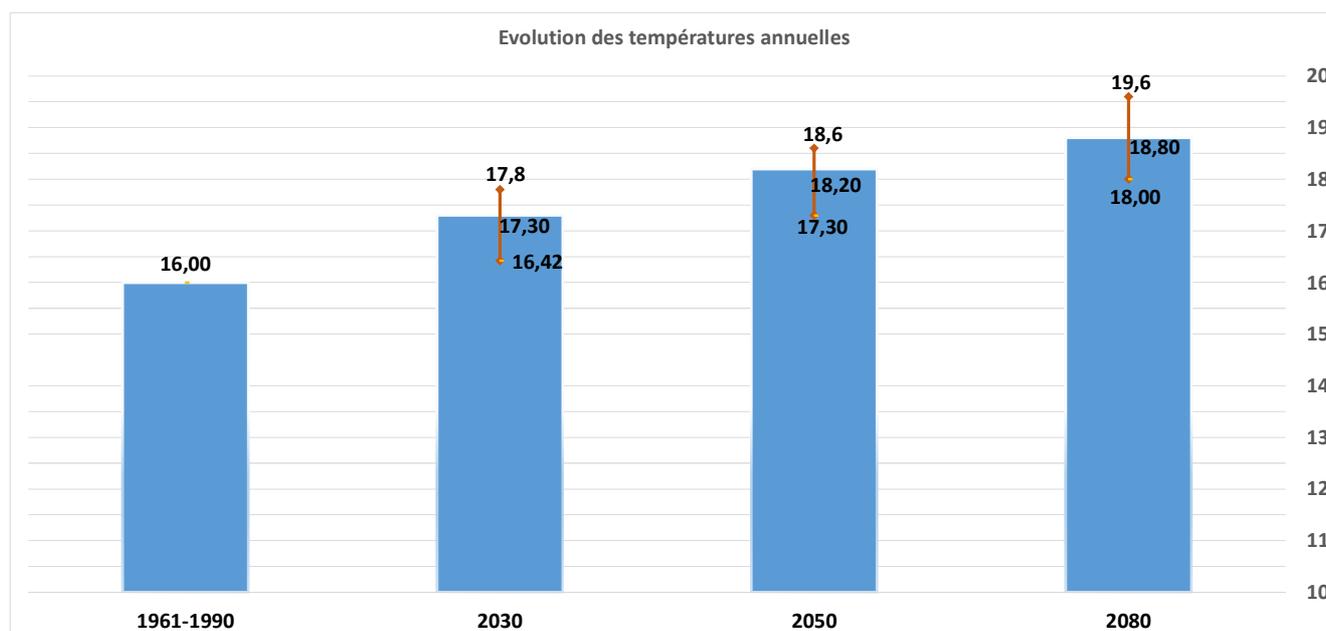


Figure 33 Evolution de la température au printemps pour les horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections

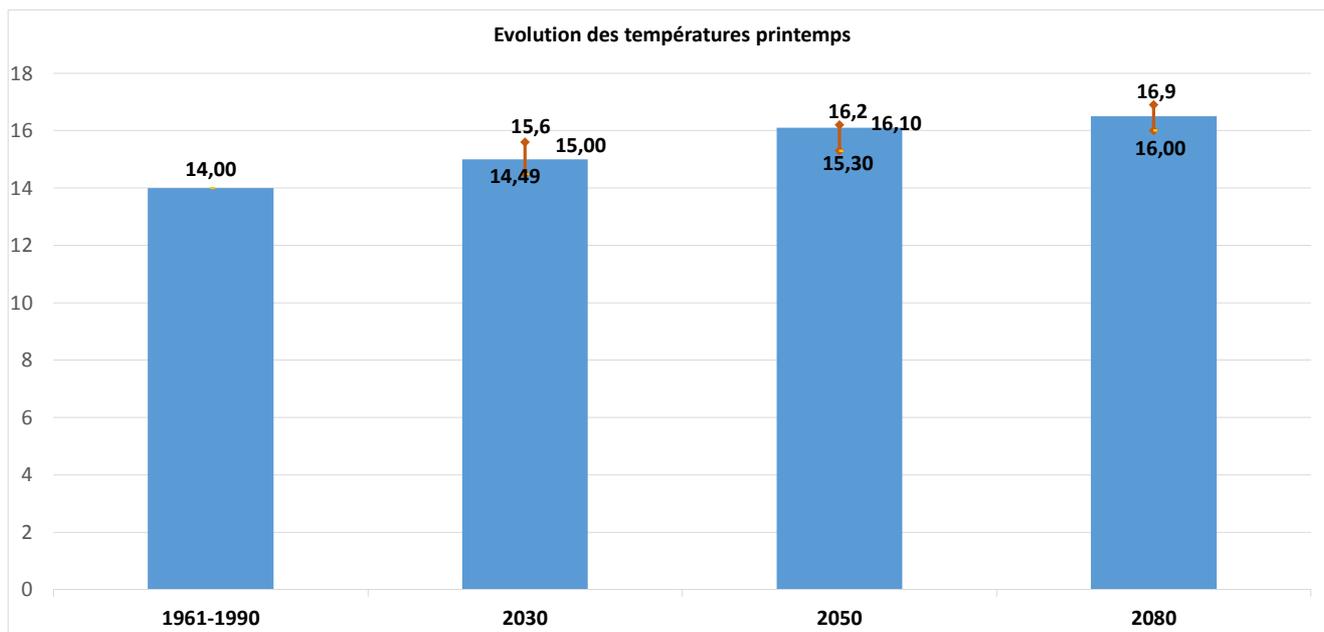


Figure 34 Evolution de la température en été pour les horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections

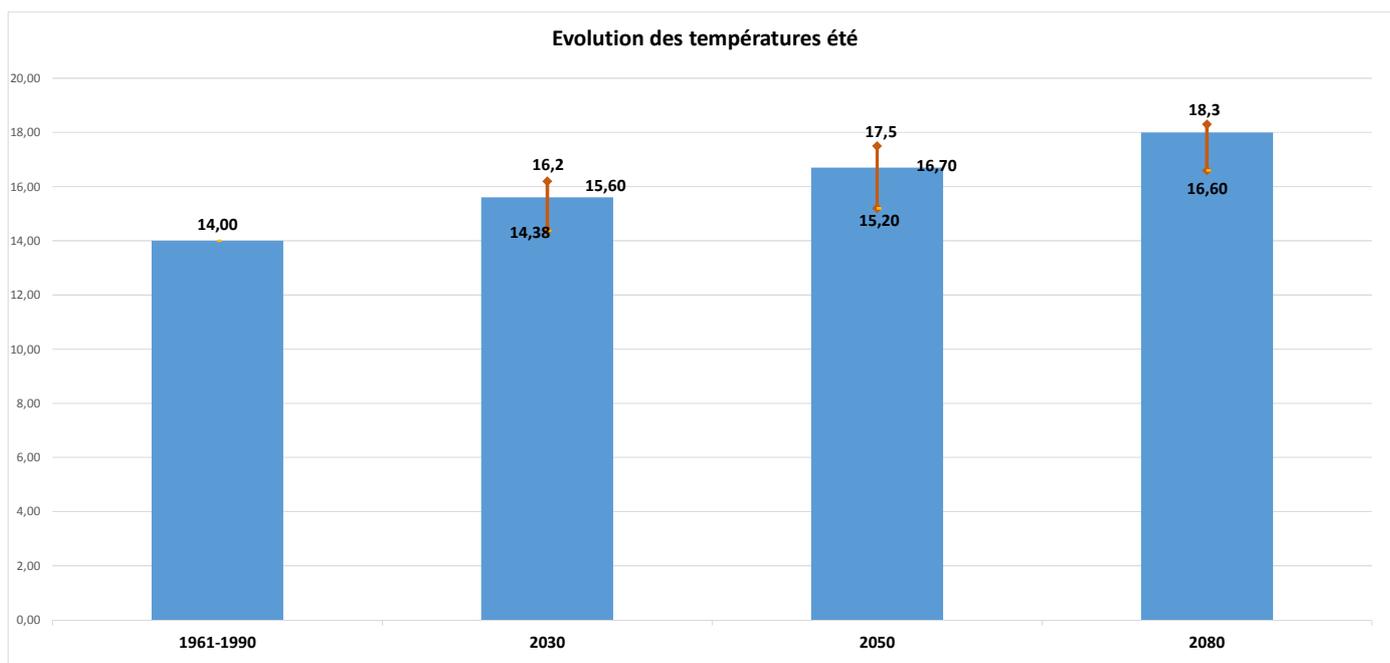


Figure 35 Evolution de la température en automne pour les horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections

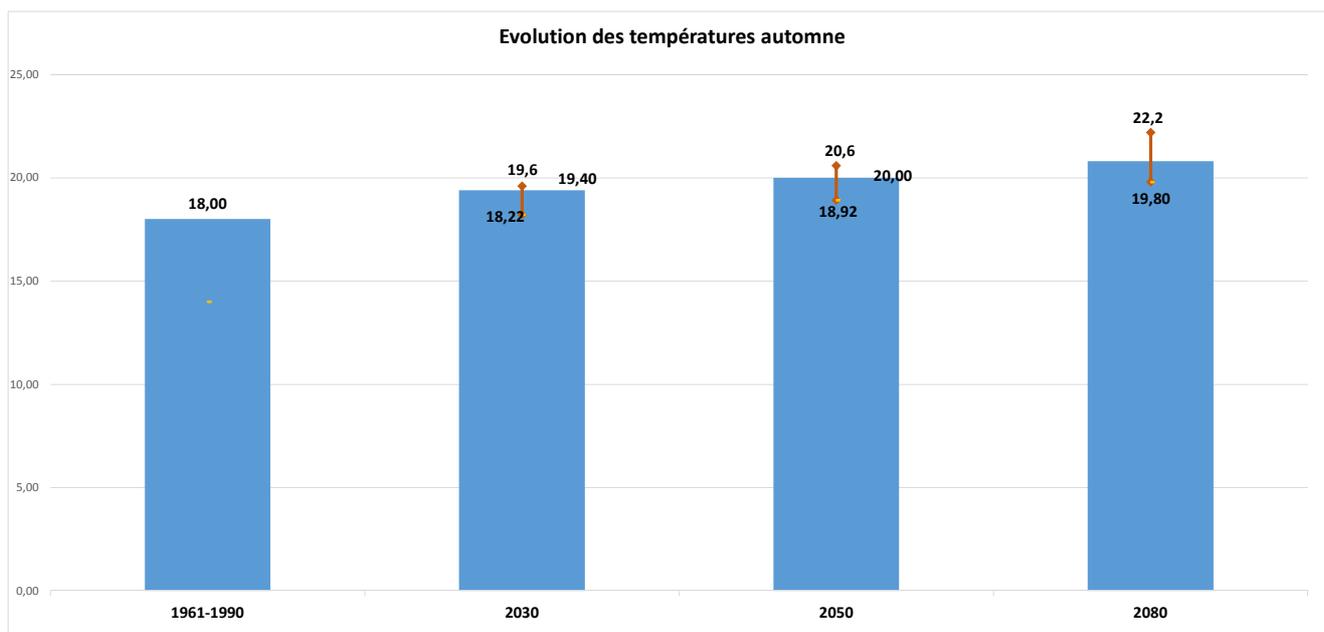
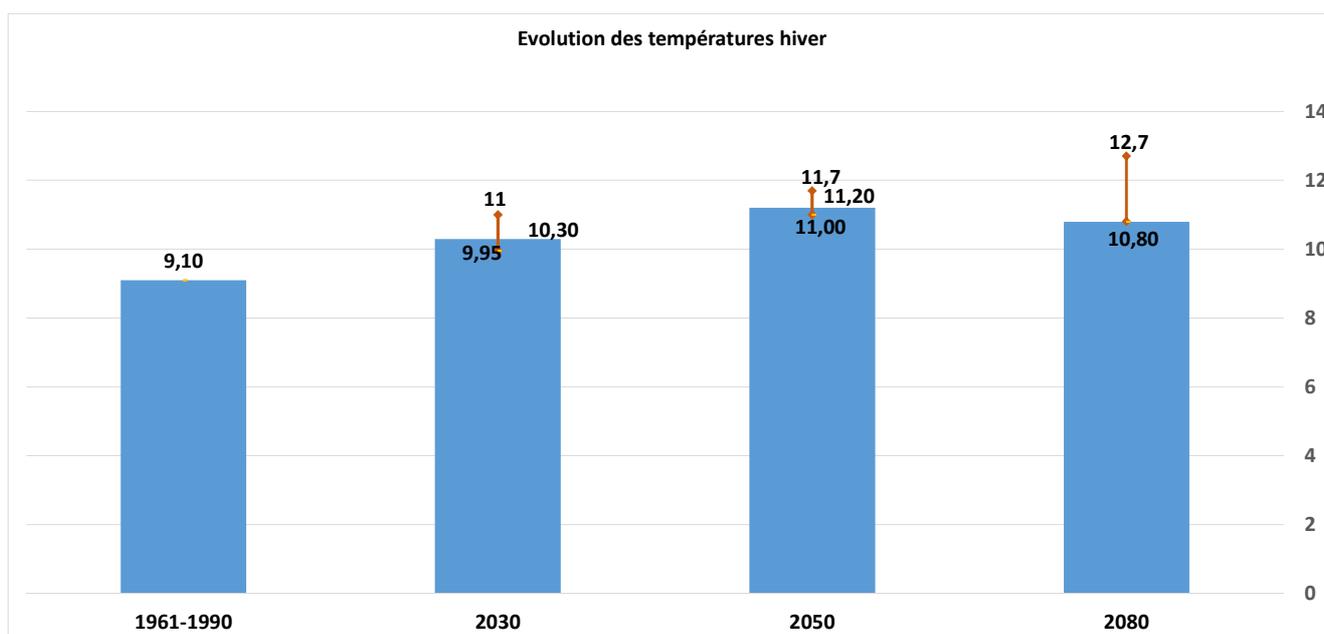


Figure 36 Evolution de la température en hiver pour les horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections



L'été est la saison la plus exposée au réchauffement. Il est de l'ordre de +1,6°C (0,36°C – 2,2 °C) à l'horizon 2030, de +2,7°C (1,2°C – 3,5°C) à l'horizon 2050 et +2,6°C (2°C-2,9°C) à l'horizon 2080. L'incertitude pour chacun des horizons est d'environ 1°C.

A contrario, l'hiver subirait une élévation de température moyenne moins marquée, de l'ordre de 1,2°C (0,8°C-1,9°C) à l'horizon 2030, de 2,1°C (1,9°C-2,6°C) à l'horizon 2050 puis une augmentation très significative de 4°C (2,6°C-4,3°C) à l'horizon 2080.

Les saisons printemps et automne prennent quant à elles une position intermédiaire. Ces augmentations de températures seraient respectivement :

- En 2030 : +1°C (+0,5°C – 1,6°C) et +1,4°C (0,2°C-1,6°C)



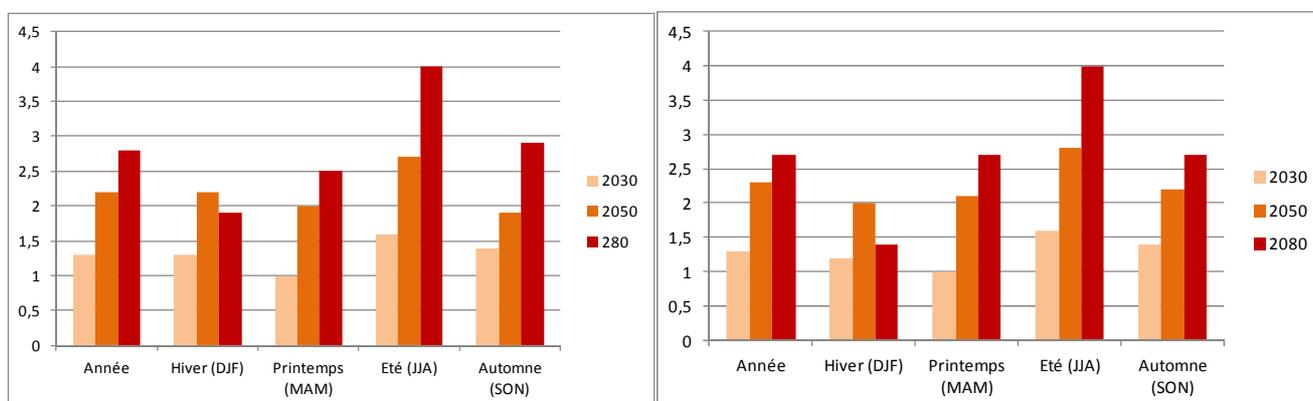
- En 2050 : + 2, 1°C (1,3°C-2,2°C) et +2°C (0,9°C-2,6°C)
- En 2080 : +2,5°C (2°C-2,9°C) et 2,8°C (1,8°C-4,2°C)

Il semblerait que l'incertitude soit plus grande sur le réchauffement en période automnale surtout à l'horizon 2080. En l'occurrence la projection « chaude et sèche » affiche une hausse très significative de +4,2°C.

Pour les températures minimales (Tmin) et maximales (Tmax), on retrouve globalement les mêmes tendances annuelles que pour la température moyenne. Spatialement, il y a également peu de différence au niveau départemental, la réponse des modèles est plutôt uniforme.

Figure 37 : Changement de température minimale (à gauche) et maximale (à droite) aux horizons 2030, 2050 et 2080, projection de référence

Ecart (en °C) à la période de référence 1961-1990 / Données annuelles et saisonnières



### 2.1.2 ...et des canicules plus marquées

#### Les très fortes chaleurs (nombre de jours où la température > 35°C)

Selon la climatologie de référence, le nombre de jours annuel où la température dépasse les 35°C est de 16 jours par an pour le département des Bouches-du-Rhône et est concentré sur la période estivale.

Il existe un signal plutôt clair à la hausse du nombre de jours de très forte chaleur avec cependant une forte incertitude sur le degré de réchauffement. C'est la projection de référence qui indique pour tous les horizons les plus fortes augmentations. La projection « hiver humide et chaud » et la projection « chaude et sèche » indiquent des élévations sensibles également. En revanche, les projections « réchauffement modéré » et « froide » ne prévoient pas d'augmentation.

Les tendances seraient donc :

- A l'horizon 2030 : +15 jours (0-15 jours)
- A l'horizon 2050 : +25 jours (0-25 jours)
- A l'horizon 2080 : + 32 jours (0-32 jours)

L'élévation des extrêmes serait donc particulièrement conséquente selon la projection de référence puisque le nombre de jours de fortes chaleurs doublerait à l'horizon 2030 et triplerait à l'horizon 2080.

Il existe des disparités spatiales sur cet indicateur. En effet, l'arrière-pays serait plus impacté que le littoral par l'élévation des températures extrêmes bien que la hausse soit sensible sur l'ensemble du territoire.

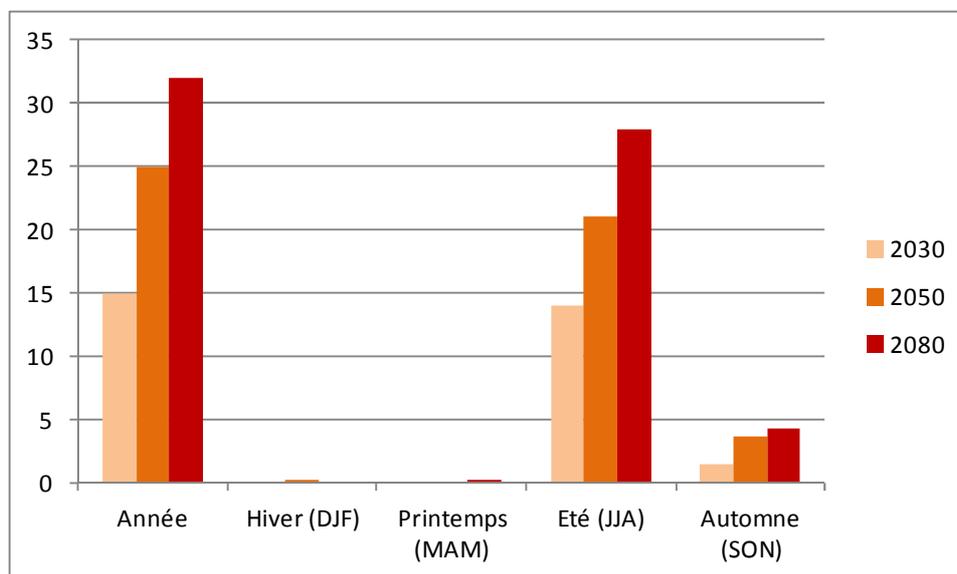
En termes de variations saisonnières, c'est la saison estivale qui concentrerait l'essentiel de ces hausses (Figure ) soit +14 jours en 2030, +21 jours en 2050, + 28 jours en 2080 selon la projection de référence.



Toutefois, l'ensemble des modèles indique une tendance à une élévation pour la saison automnale. Alors que la climatologie de référence n'indique que 0,81 jours, on projette + 1,4 jours en 2030, + 2,6 jours à l'horizon 2050 et + 3,4 à l'horizon 2080.

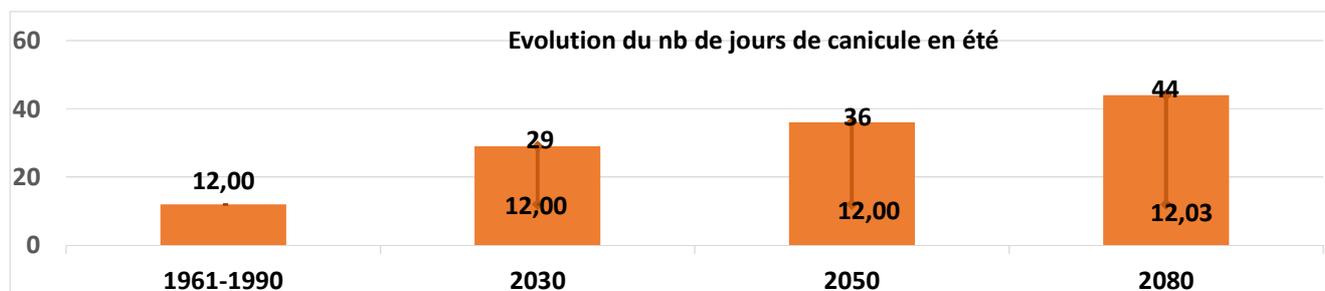
**Figure 38 : Evolution des fortes chaleurs (> 35°C) aux horizons 2030, 2050 et 2080, projection de référence**

Ecart (en nombre de jours) à la période de référence 1961-1990 / Données annuelles et saisonnières



**Figure 39 : Evolution des fortes chaleurs (> 35°C) aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections**

Ecart (en nombre de jours) à la période de référence 1961-1990 / Données saisonnières



**Figure 40 Evolution du nombre de jours de canicule à l'automne aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections.**

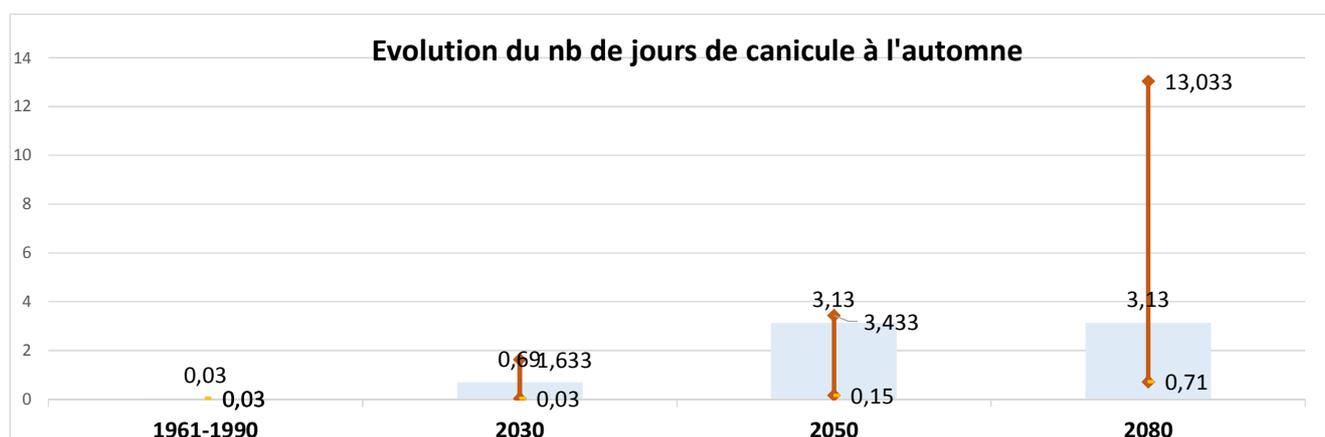
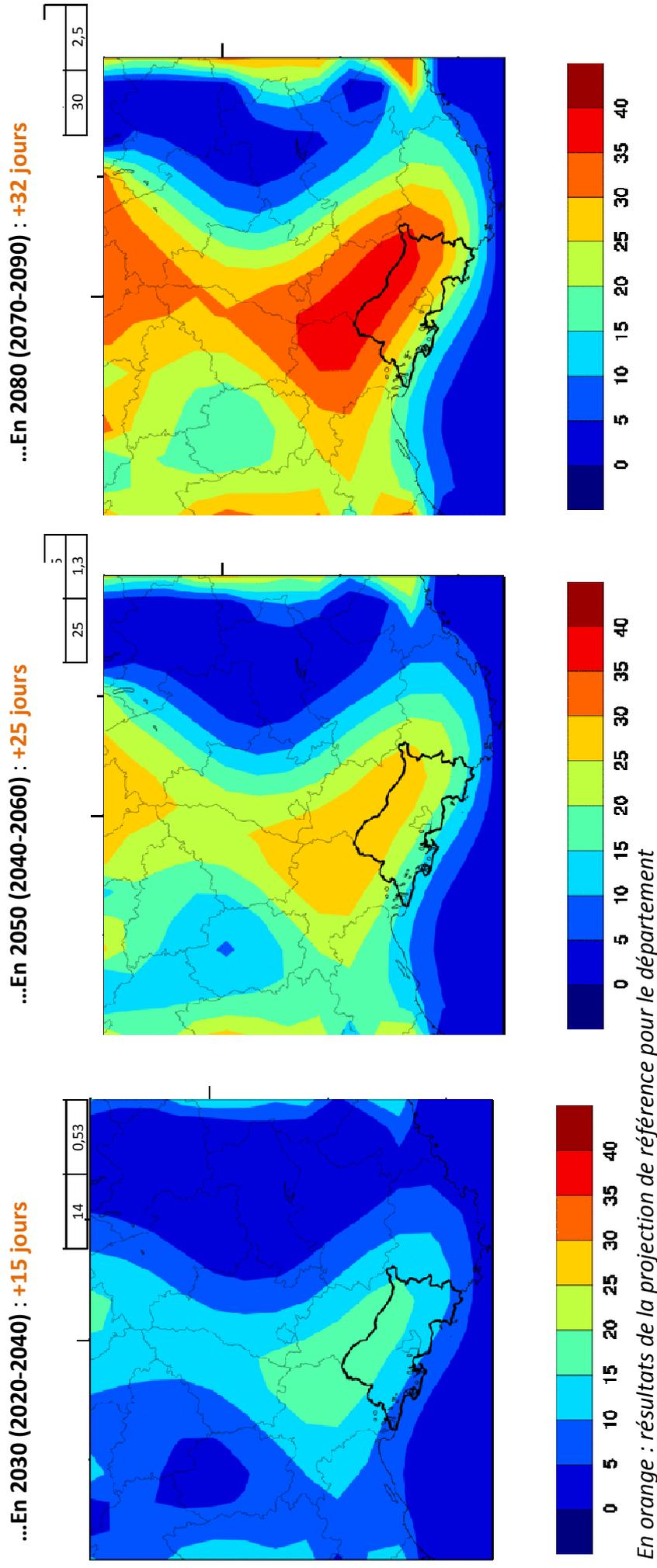


Figure 41 : Evolution du nombre de jours annuel où la température est supérieure à 35°C, projection de référence

Ecart (en nombre de jours) à la période de référence 1961-1990



### L'indice « vigilance canicule »

L'indice « vigilance canicule » est actuellement (d'après le modèle de référence) de 12 jours sur le département. L'indice correspond au nombre de jours annuel avec une moyenne glissante sur 3 jours des températures maximales supérieure ou égale à 35 °C et une moyenne glissante sur 3 jours des températures minimales supérieure ou égale à 24 °C.

Cet indicateur suit de près les résultats de l'indicateur précédent : la projection de référence indique l'élévation la plus marquée et les incertitudes selon les différentes projections sur le degré de réchauffement sont du même ordre.

En tendance, le risque canicule atteindrait ainsi :

A l'horizon 2030 : +18 jours (0-18 jours)

A l'horizon 2050 : +27 jours (0-27 jours)

A l'horizon 2080 : + 36 jours (0-36 jours)

La saison estivale serait particulièrement soumise au risque canicule et l'automne pourrait connaître aussi une élévation de ce risque. L'arrière-pays serait plus touché que le littoral.

Figure 42 : Evolution de l'indice de vigilance canicule aux horizons 2030, 2050 et 2080, projection de référence  
Ecart (en nombre de jours) à la période de référence 1961-1990 / Données annuelles et saisonnières

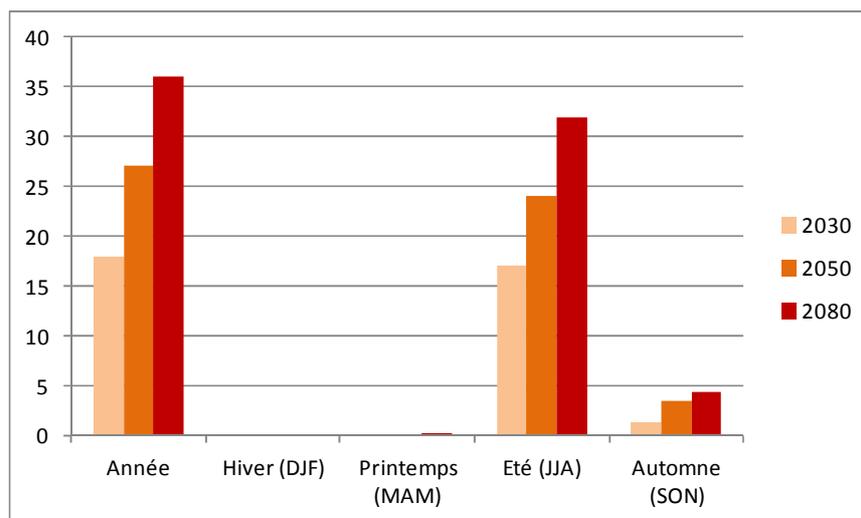


Figure 43 : Evolution de l'indice de vigilance canicule aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections - Ecart (en nombre de jours) à la période de référence 1961-1990 / Données saisonnières

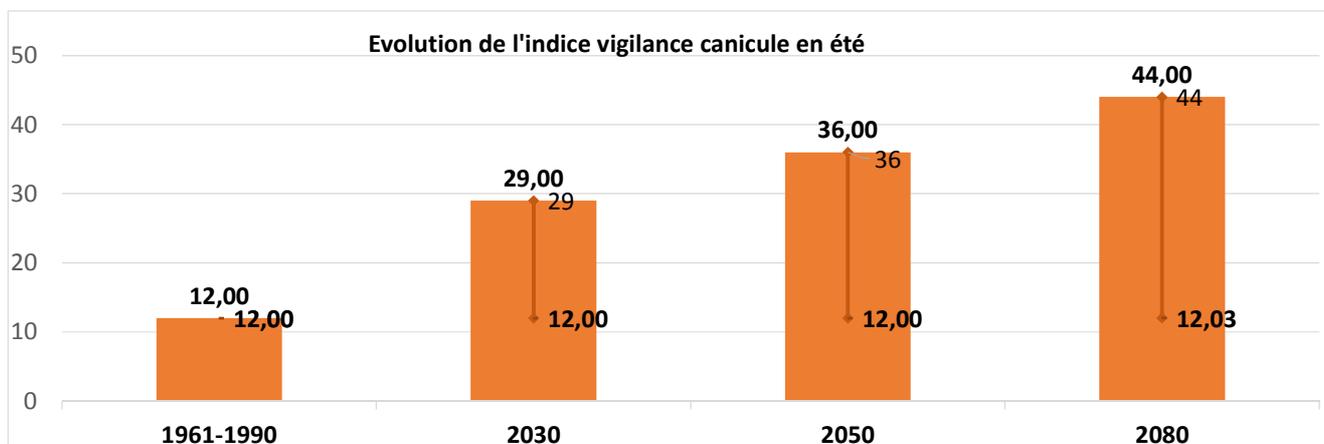
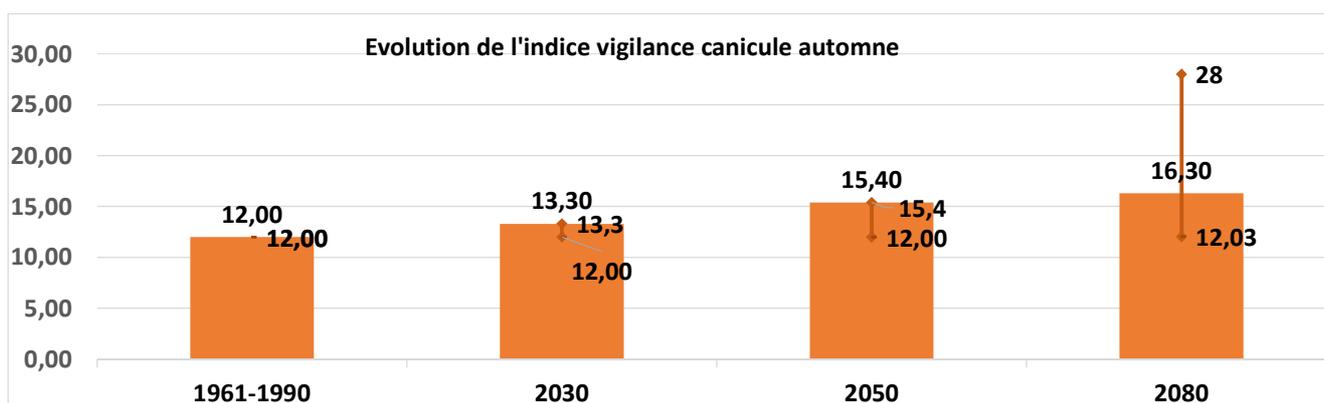


Figure 44 Evolution de l'indice de vigilance canicule aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections - Ecart (en nombre de jours) à la période de référence 1961-1990 / Données saisonnières



### 2.1.3 Des sécheresses plus nombreuses

#### Les sécheresses (nombre de jours secs consécutifs)

Le département est déjà fortement soumis à la sécheresse. La saison estivale est particulièrement touchée par cette dernière.

Hormis la projection de référence qui affiche un signal contradictoire à l'horizon 2030, les autres modèles s'accordent sur une hausse du nombre de jours de secs consécutifs à tous les horizons. En l'occurrence, cette hausse pourrait être très significative selon la projection « chaude et sèche » et ce dès 2030 (jusqu'à 11 jours). A partir de 2050, cette élévation serait comprise entre 3 et 31 jours puis entre 6 et 31 jours à l'horizon 2080.

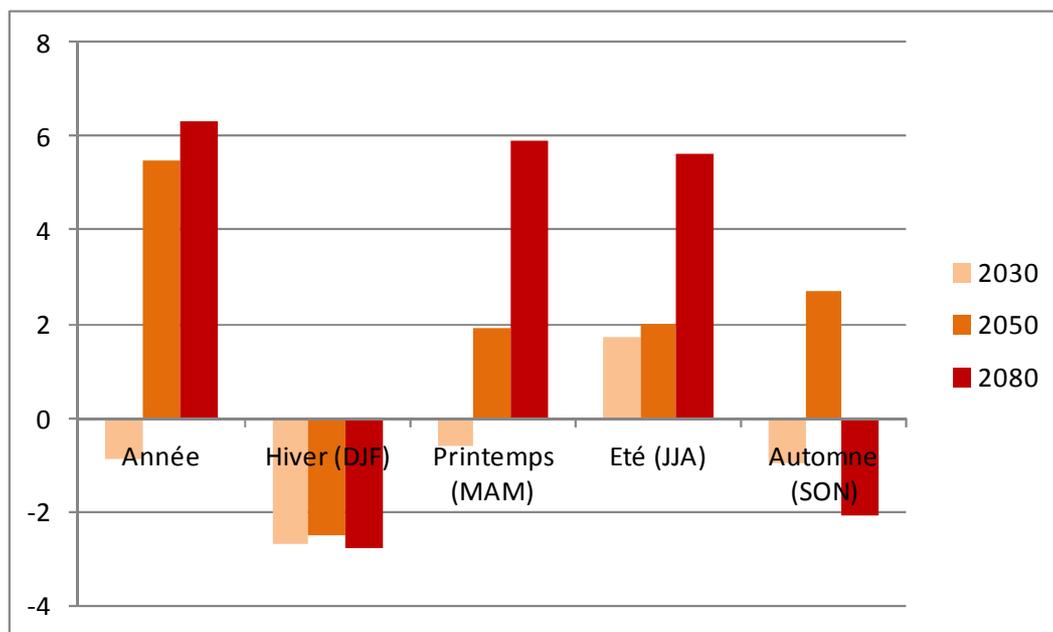
Il n'est pas possible de dégager de réelles tendances sur les saisons hivernales et automnales car les signaux sont contradictoires ou les changements non significatifs.



**C'est en été** que la tendance est la plus nette. L'ensemble des projections s'accorde en effet sur le signal d'une élévation du nombre de jours secs consécutifs à partir de 2050. Entre 1 et 27 jours à cet horizon, 3 et 25 à 2080. L'incertitude demeure donc grande.

**Le printemps** affiche aussi une tendance légère à l'élévation des sécheresses à partir de 2050 mais le signal reste toutefois très faible : +2 jours (0-4) en 2050, + 6 jours (1-6) en 2080.

**Figure 45 : Evolution du nombre de jours secs consécutifs aux horizons 2030, 2050 et 2080, projection de référence**  
Ecart (en nombre de jours) à la période de référence 1961-1990 / Données annuelles et saisonnières



**Figure 46 : Evolution du nombre de jours secs consécutifs aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections**  
Ecart (en nombre de jours) à la période de référence 1961-1990 / Données annuelles et saisonnières

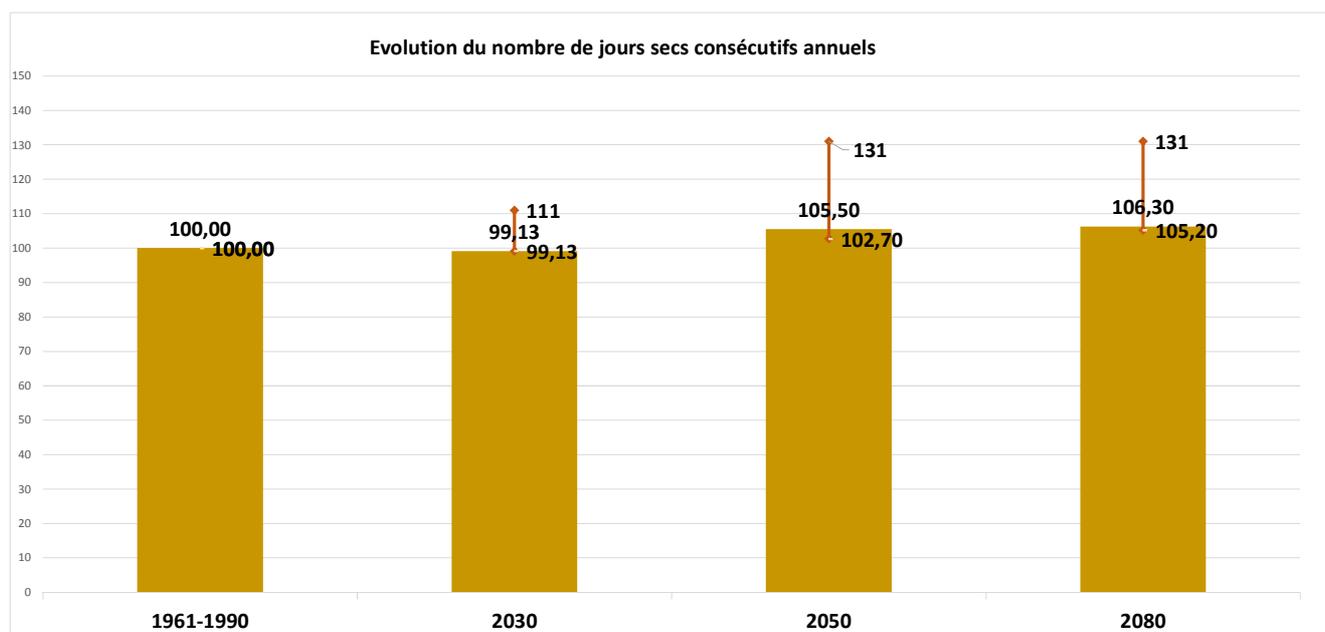


Figure 47 : Evolution du nombre de jours secs consécutifs aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections

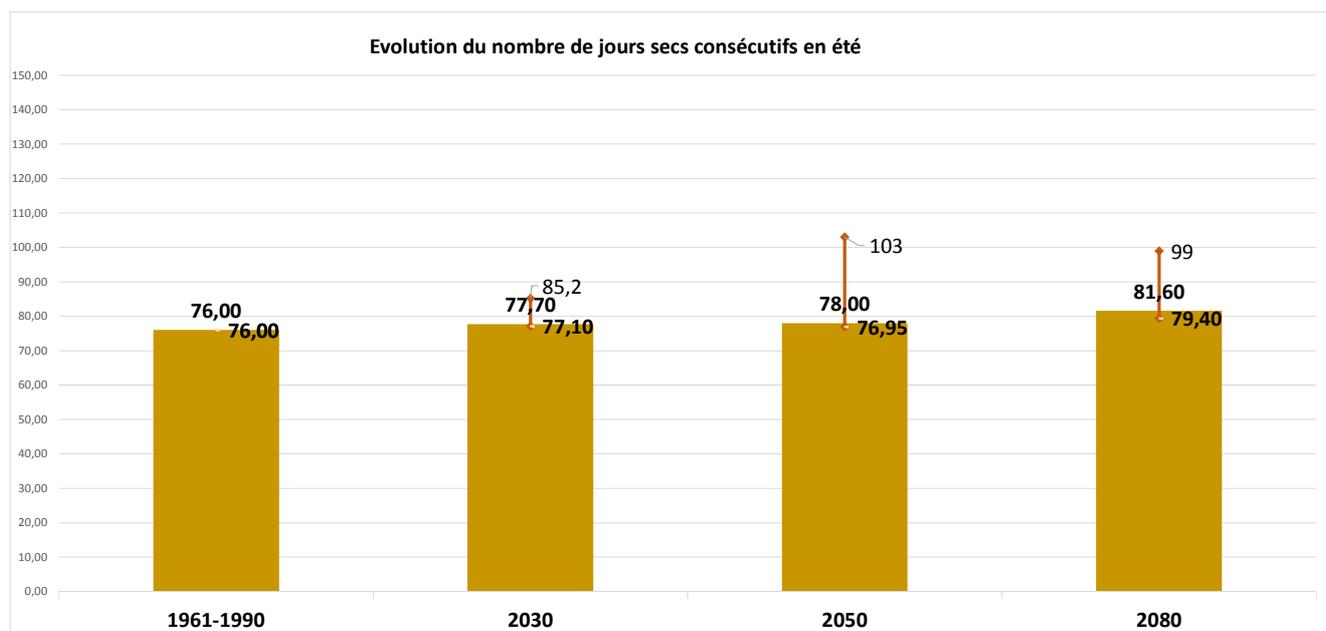


Figure 48 : Evolution du nombre de jours secs consécutifs aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections

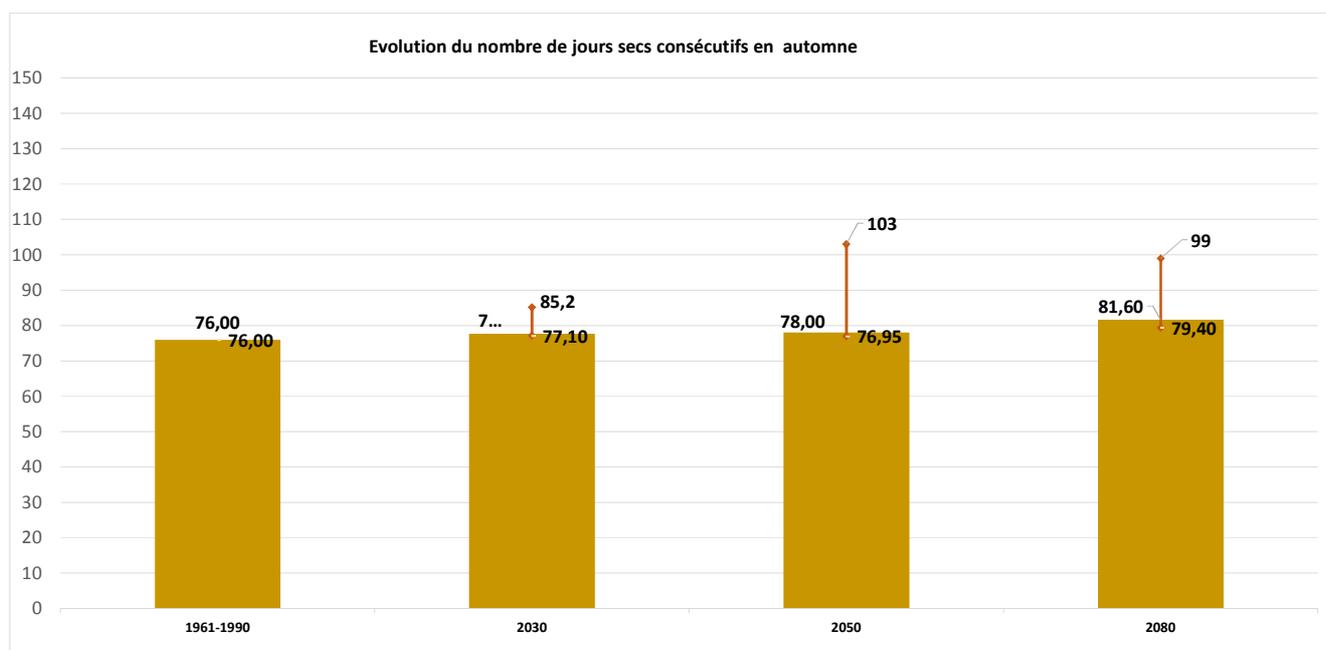


Figure 49 : Evolution du nombre de jours secs consécutifs aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections

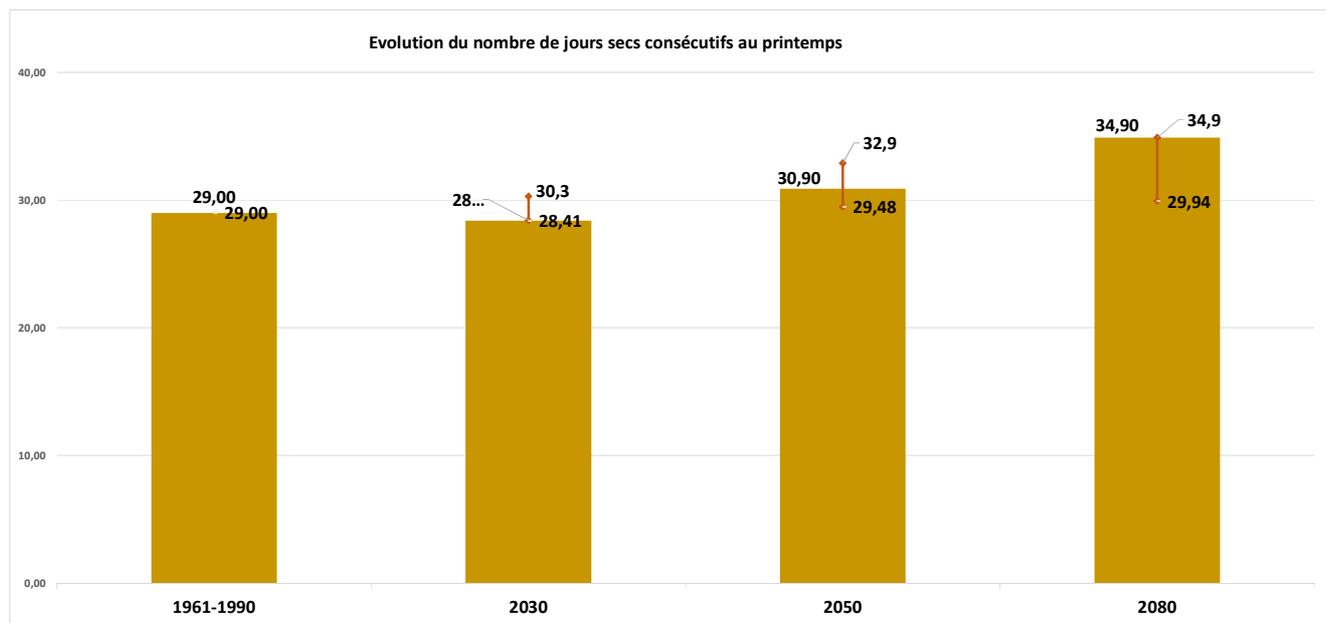
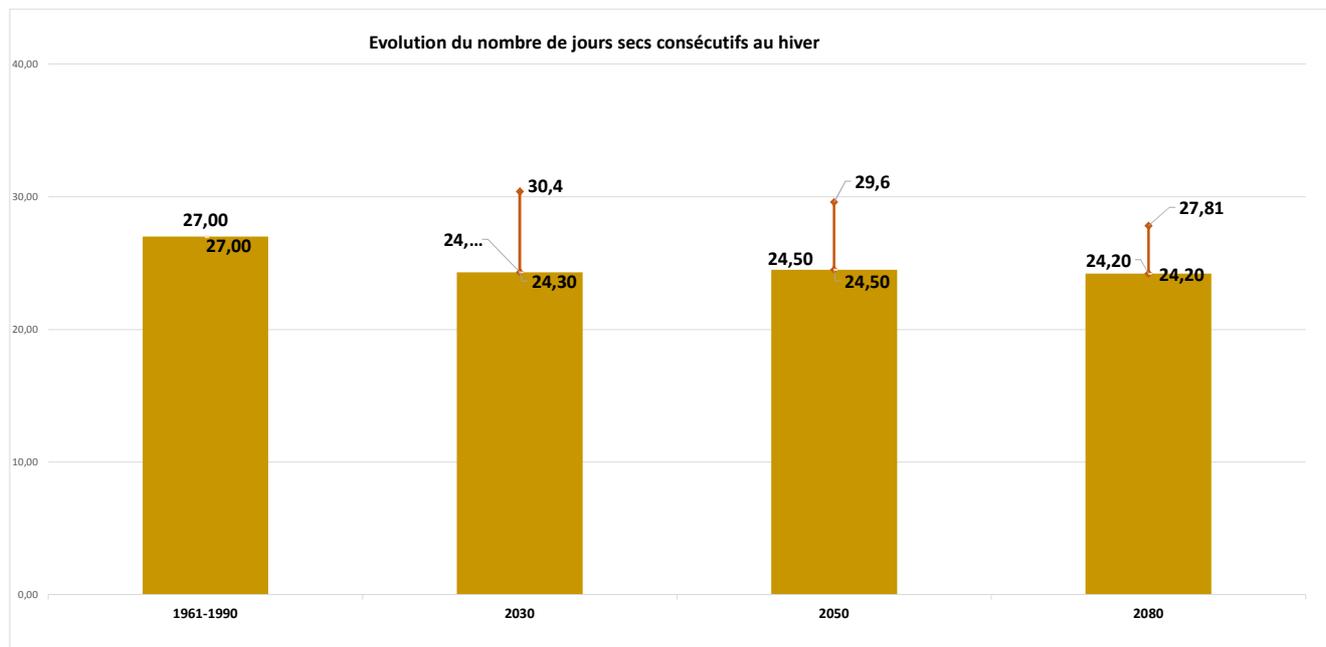


Figure 50 : Evolution du nombre de jours secs consécutifs aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections



#### 2.1.4 Des pluies moins importantes ?

Concernant l'évolution de la pluviométrie, les projections montrent des résultats très disparates.

D'ici 2030, les tendances montrent une dispersion importante allant de - 69mm (-20%) à + 5 mm (1,4%). C'est la projection « réchauffement modéré » qui affiche cette tendance.

**A l'horizon 2050**, l'ensemble des modèles s'accordent sur une baisse des précipitations allant de -6 % à - 14%.

**A l'horizon 2080**, les projections donnent à nouveau des signes de dispersion importante allant de 1% (non significatif) à -23%.

Les modèles affichent des signaux contradictoires sur les saisons où se concentre l'essentiel des précipitations observées, en Hiver et en Automne. **Il est donc difficile et risqué de dégager une tendance sur ces deux saisons.** En revanche, toutes s'accordent sur une diminution des précipitations de printemps : - 10% à -41% à l'horizon 2050 et -3% à -45% à l'horizon 2080. L'incertitude est toujours grande sur ces données.

Enfin, à l'horizon 2080 la quasi-totalité des modèles projettent **une disparition des pluies d'été** déjà rares (8mm en moyenne actuellement selon la climatologie de référence).

#### 2.1.5 Quelles perspectives pour le couvert neigeux ?

Le Pays d'Arles est dépendant du système Durancien lui-même issu de sources nivo-glaciaires Alpines. Plus que la pluviométrie locale, c'est bien l'évolution du changement climatique sur les Alpes qui va le plus conditionner la ressource en eau du Pays d'Arles.

Or, on constate déjà une réduction des glaciers Alpines : les laboratoires de glaciologie et géophysique de l'environnement (CNRS- Université Joseph Fourier, Grenoble) et de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (ETHZ) indiquent que les glaciers alpins connaissent un recul généralisé depuis 1850, notamment à cause d'une diminution des précipitations neigeuses et, depuis la décennie 1980, du fait de l'augmentation des températures en été.

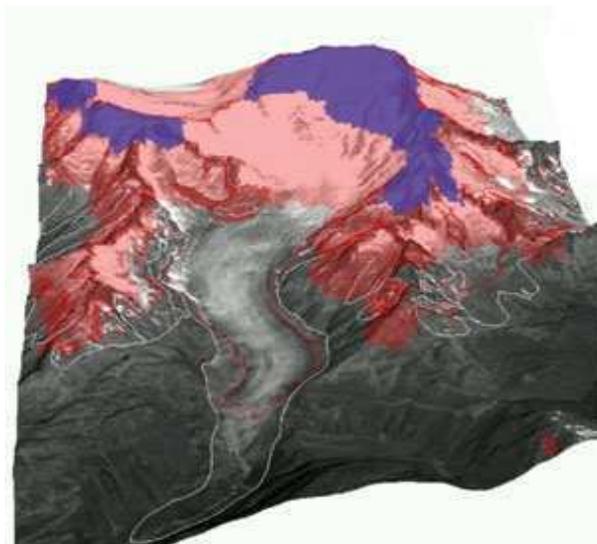


Figure 51 : Modélisation du glacier du Rhône

Source : CNRS, ETHZ, 2006

Les évolutions les plus récentes laissent apparaître une diminution de la surface glaciaire de 5 à 10% depuis la canicule de 2003.

Les simulations de trois modèles climatiques (ALADIN, LMDZ, et MAR) basé sur les scénarios (A2, A1B, B1) sur 3 altitudes : 1200, 1800 et 2400m. Il en ressort que la durée annuelle d'enneigement devrait baisser dès les années 2030 à 1200m avec une baisse plus forte au Sud des Alpes (-40 à -60%) et un bon accord entre modèles et scénarios. A 1800m, l'enneigement baisserait, toujours au sud des



Alpes, de -20 à -50%. A l'horizon 2080 cette baisse pourrait aller de 50 à 65% de durée annuelle d'enneigement dans le scénario moyen du GIEC A1B. (Source : Eau RMC, 2012)

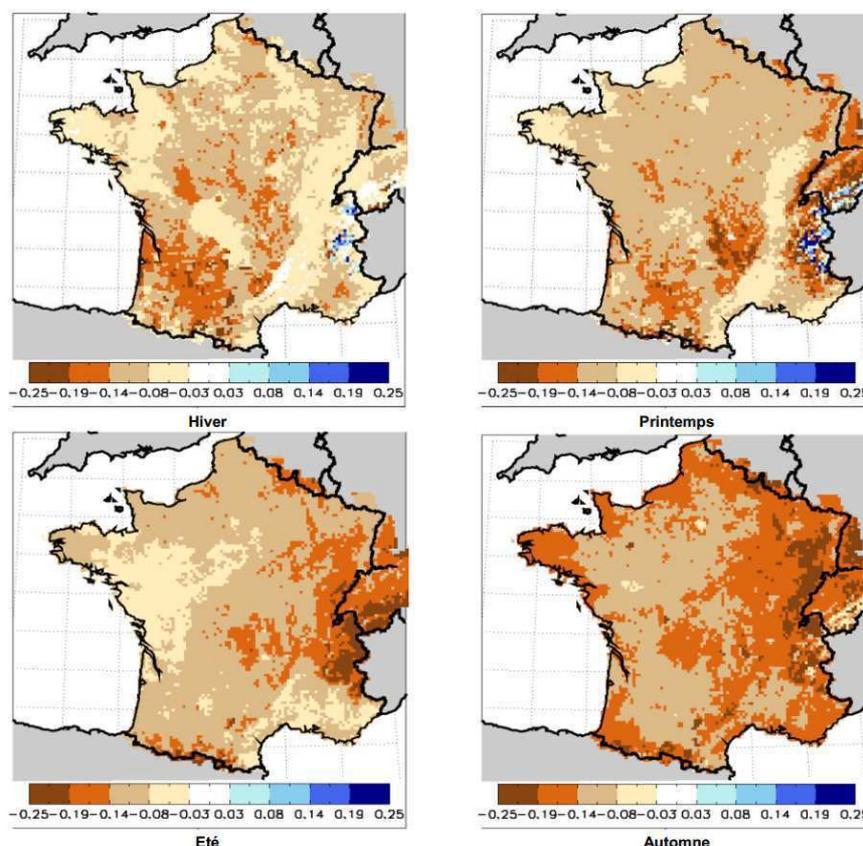
Enfin de récentes recherches (M. Huss, Water Resources Research, 2011) indiquent que plus d'un quart de l'eau du Rhône qui s'écoule dans la Méditerranée résulte de la fonte des glaces. Ce recul des glaciers qui est actuellement observé constitue l'un des facteurs de pression sur la disponibilité de la ressource en eau qui peut potentiellement se retrouver sur le Pays d'Arles.

### 2.1.6 Une évapotranspiration de plus en plus importante

Enfin, un élément qui concerne tout particulièrement le secteur agricole est celui de l'évapotranspiration et par conséquent de l'humidité des sols. En effet cela influe sur la recharge des nappes et sur la transformation des pluies en écoulement et en débits. Les milieux naturels et le secteur agricole sont donc tout particulièrement concernés par cet élément. Or selon Milano (2010), l'ETP (évapotranspiration potentielle) pourra augmenter significativement sur le bassin du Rhône à l'horizon 2100 (jusqu'à + 4 mm/jr en juillet et août).

Par ailleurs, les travaux de Boé (2007), montrent une évaporation réelle qui augmentera à toutes les saisons sauf en été où elle pourrait baisser du fait d'une moindre humidité des sols à l'échelle nationale. L'humidité des sols est représentée ci-dessous par l'indicateur SWI (*Soil Wetness Index*) qui représente le rapport entre l'eau effectivement contenue dans le sol utilisable par le couvert végétal et le maximum d'eau utilisable par le couvert que le sol peut contenir.

Figure 52 Moyennes d'ensemble des changements de l'indice d'humidité des sols (SWI) entre 2046-2065 et 1970-1999, par saison. Tiré de Boé, 2007



En conclusions, les trois paramètres température, évapotranspiration et neige montrent des signes très nets qui annoncent un problème de raréfaction de la ressource sur le bassin



### 2.1.7 Des pluies intenses plus nombreuses et plus fortes

Comme nous l'avons vu dans la partie méthodologique, compte tenu de la forte variabilité de ces pluies (phénomènes localisés et variabilité annuelle), le seuil de mesure de l'intensité des pluies a dû être ajusté. L'indicateur était trop affecté par la moyenne spatiale et temporelle. Pour rendre compte de cumuls journaliers ponctuels de 50 ou 100 mm, il faut considérer des moyennes beaucoup plus faibles. Il a donc été retenu, conformément aux recommandations de l'OMM, les seuils de 10 mm pour les fortes pluies et de 20 mm pour les très fortes pluies. Il convient par ailleurs de préciser qu'il n'y a pas eu de correction des biais systématiques des modèles (de type correction quantile-quantile) dans notre travail pour le CG13. Du coup il s'en suit une sous-estimation des précipitations intenses

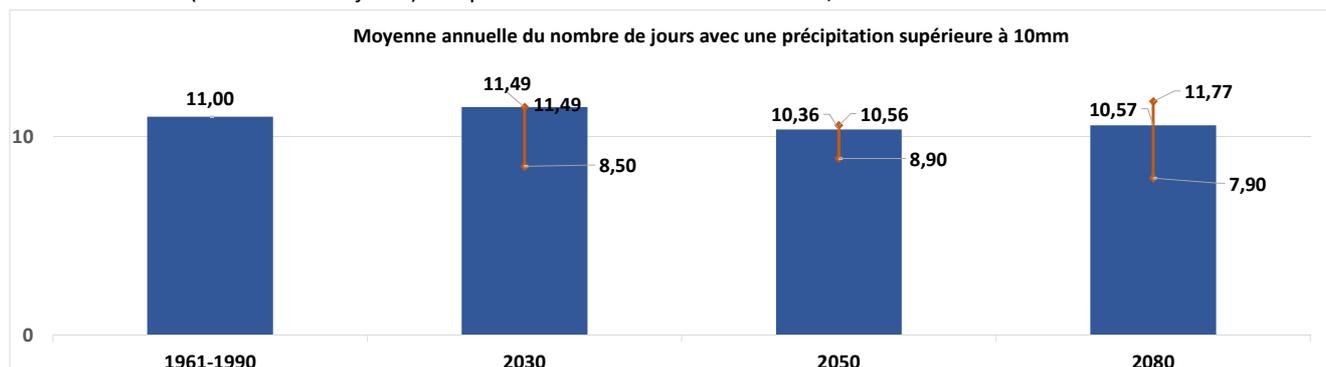
#### *Les fortes précipitations (>= 10 mm)*

Il est difficile de dégager des tendances significatives sur cet indicateur quel que soit l'horizon ou la saison car les projections sont divergentes.

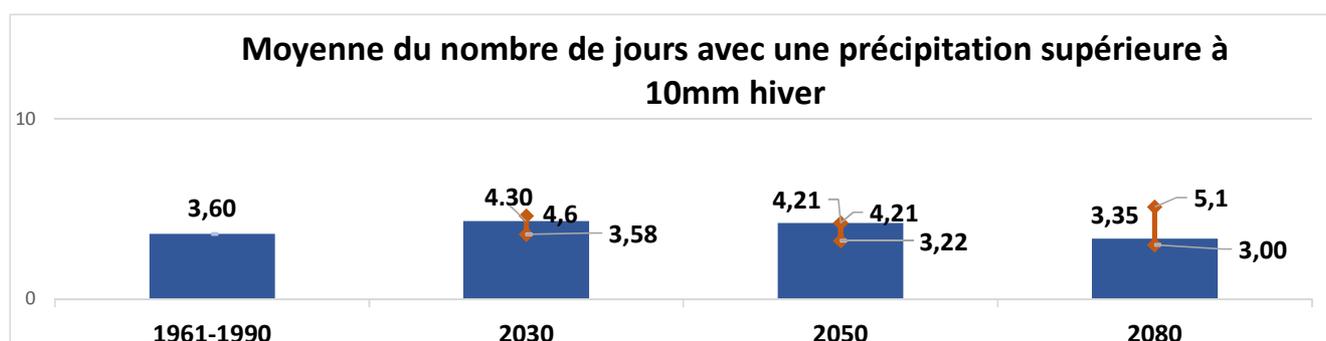
Toutefois, à l'horizon 2080, à l'exception de la projection « froide » l'ensemble des modèles tendent néanmoins à s'accorder sur une légère augmentation de l'intensité des fortes pluies à la **période automnale**, la projection de référence affichant la valeur maximale (+1 jour contre 4,6 selon la climatologie de référence).



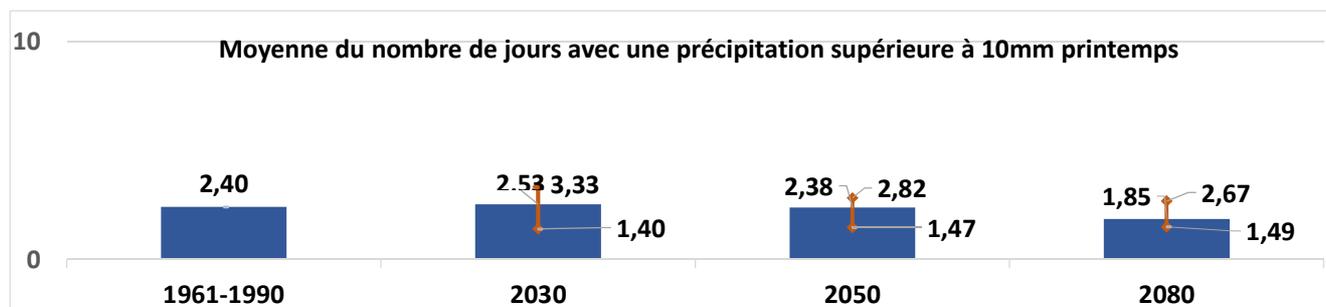
**Figure 53: Evolution du nombre de fortes précipitations aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections**  
Ecart (en nombre de jours) à la période de référence 1961-1990 / Données annuelles et saisonnières



**Figure 54 : Evolution du nombre de fortes précipitations aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections hiver**



**Figure 55 : Evolution du nombre de fortes précipitations aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections printemps**

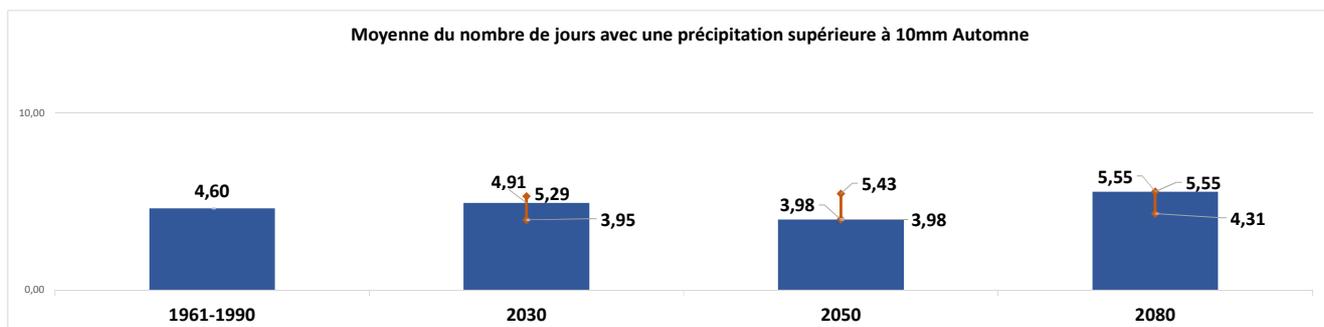


**Figure 56 : Evolution du nombre de fortes précipitations aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections été**



**Figure 57 : Evolution du nombre de fortes précipitations aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections automne**





### *Les très fortes précipitations (>= 20 mm)*

Concernant les très fortes précipitations, il n'existe pas de signal annuel clair sur une élévation ou une baisse. Toutefois, on observe des tendances saisonnières assez significatives notamment à l'horizon 2080.

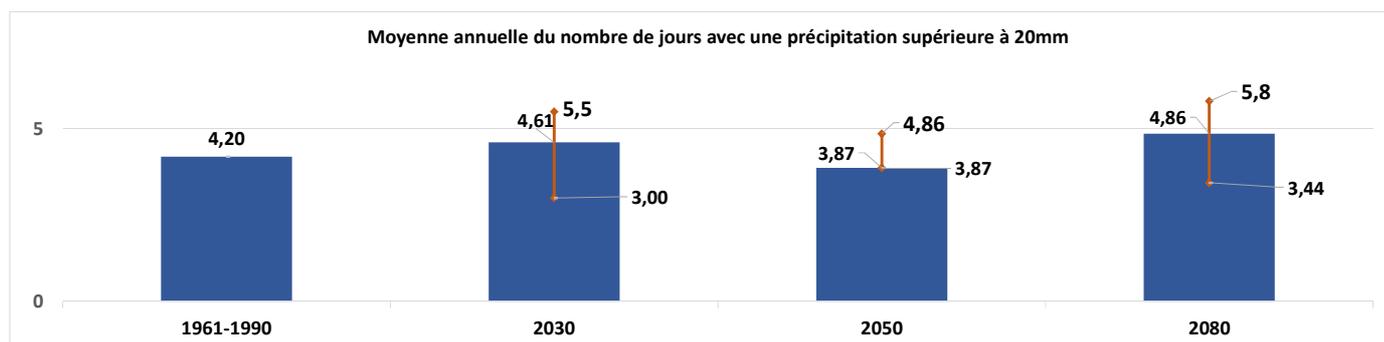
Sur l'été, les modèles s'accordent tous sur le sens de la variation. Notons toutefois que les valeurs (faibles) ne sont pas suffisamment significatives pour en tirer des conclusions.

En revanche, en automne, les tendances sont à la hausse des **pluies extrêmes à partir de 2050 (à l'exception du modèle de référence) mais surtout à l'horizon 2080**. La tendance serait de +1 jour (0,3-1,4 jours) soit presque 50% de plus. Les tendances sont aussi légèrement à la hausse pour le printemps avec toutefois une occurrence qui reste plus faible.

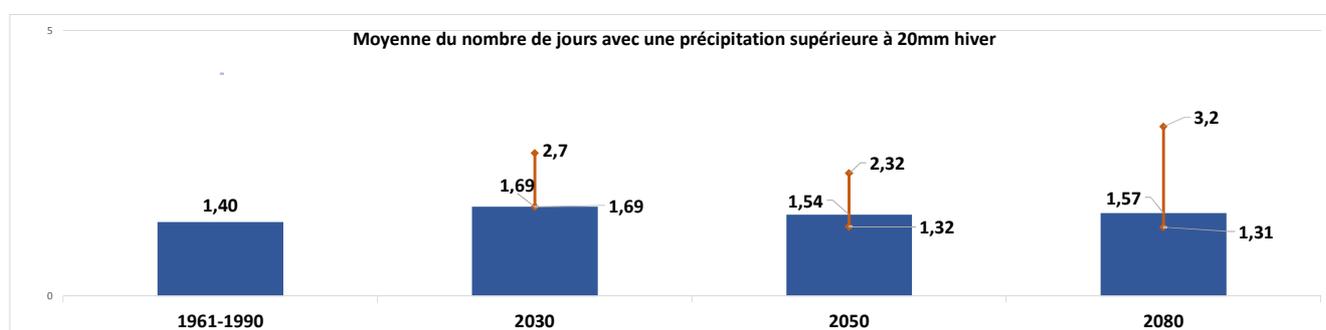
A l'exception de la projection « réchauffement modéré » l'ensemble des modèles envisagent une élévation des épisodes de très fortes pluies en hiver à tous les horizons. La projection « hiver chaud et humide » indique jusqu'à +1,8 jours en 2080 ce qui constitue plus qu'un doublement. Le signal est néanmoins un peu moins robuste que pour l'automne.



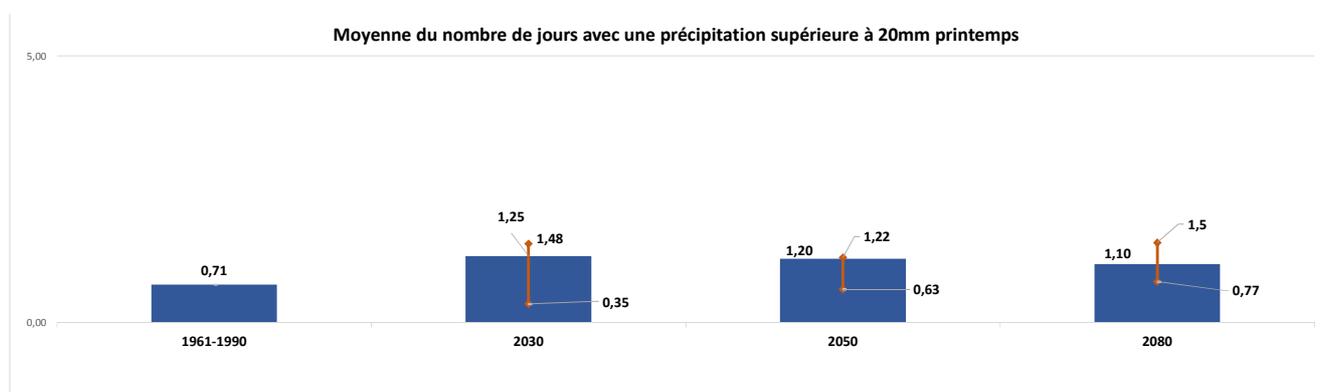
**Figure 58 : Evolution du nombre de très fortes précipitations aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections**  
 Ecart (en nombre de jours) à la période de référence 1961-1990 / Données annuelles et saisonnières



**Figure 59 : Evolution du nombre de très fortes précipitations aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections**



**Figure 60 : Evolution du nombre de très fortes précipitations aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections**



**Figure 61 : Evolution du nombre de très fortes précipitations aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections**



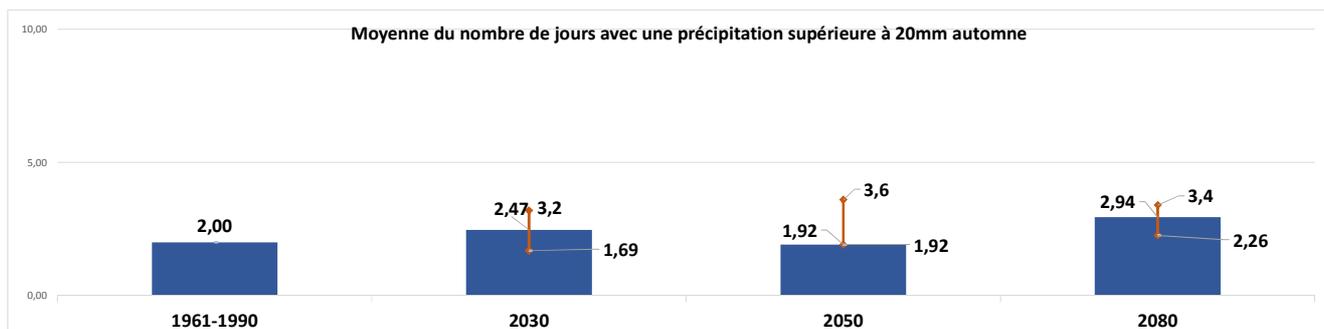
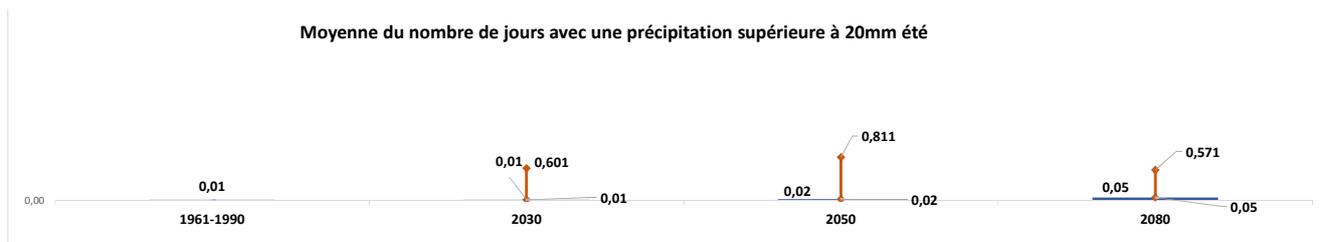


Figure 62 : Evolution du nombre de très fortes précipitations aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections



On peut donc dire que les très fortes précipitations augmenteraient en fin de siècle notamment à l'automne.

Toutefois, compte tenu de la complexité du phénomène des pluies intenses, il convient de rester prudent quant à ces interprétations car la prise en compte des épisodes convectifs dans les modèles globaux doit encore être améliorée.

Dans le cadre du projet de recherche CYMRPIM (Cyclogenèse et Précipitations Intenses en région Méditerranéenne -2005-2007<sup>1</sup>), des simulations climatiques en fin de siècle ont été réalisées à l'aide d'un modèle régional sous le scénario du GIEC A2 et de différentes méthodes de descente d'échelle très fine afin de caractériser notamment l'évolution des phénomènes de pluie intense en région méditerranéenne. Outre une baisse moyenne des précipitations automnales en fin de siècle, les projections montrent une tendance à une augmentation légère des précipitations intenses, sensiblement plus marquée pour les précipitations les plus extrêmes. Ces résultats ont confirmé notamment les résultats du projet Prudence (Boberg et al., 2008).

## 2.2 ...et ceux qui sont plus incertains

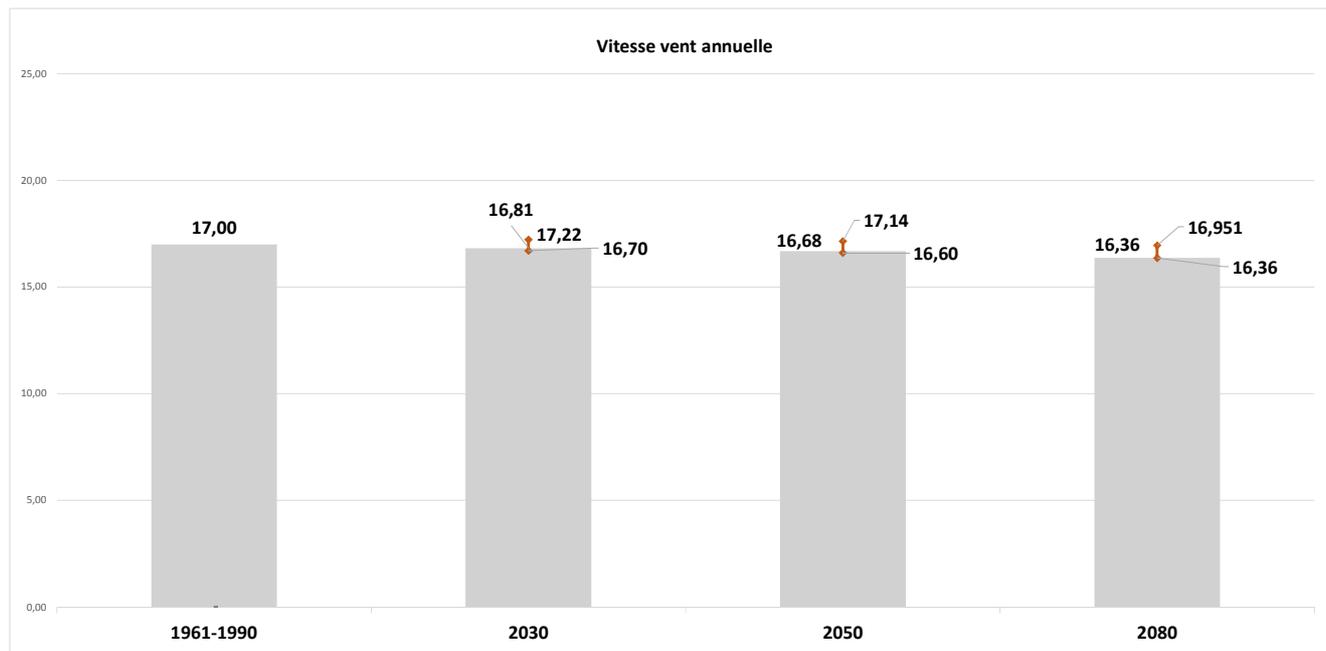
### 2.2.1 Une modification du régime des vents ?

#### *La vitesse moyenne du vent et la vitesse maximale sans les rafales (km/h)*

Selon la climatologie de référence, la vitesse moyenne du vent est de 17 km/h. Quel que soit le modèle et l'horizon, à l'échelle du département, il est difficile de dégager une tendance significative pour le vent hormis pour la projection de référence qui indique tout de même un signal faible à la baisse en fin de siècle. Il n'est donc pas possible d'affirmer un changement très visible même si la tendance semble être toutefois à la baisse de la vitesse du vent.

<sup>1</sup> Projet de recherche pluridisciplinaire associant hydrologues, océanographes et météorologues (CERFACS, CNRM, Météo France etc.)  
TEC, 2013 – Cahier Climat du Pays d'Arles – Réalisation d'une étude de vulnérabilité du territoire au changement climatique et assistance à l'élaboration d'un plan d'adaptation 56

**Figure 63 : Evolution de la vitesse du vent aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections - Ecart (en km/h) à la période de référence 1961-1990 / Données annuelles et saisonnières**



**Figure 64 : Evolution de la vitesse du vent aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections - Ecart (en km/h) à la période de référence 1961-1990 / Données annuelles et saisonnières, hiver**



**Figure 65 : Evolution de la vitesse du vent aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections - Ecart (en km/h) à la période de référence 1961-1990 / Données annuelles et saisonnières, printemps**



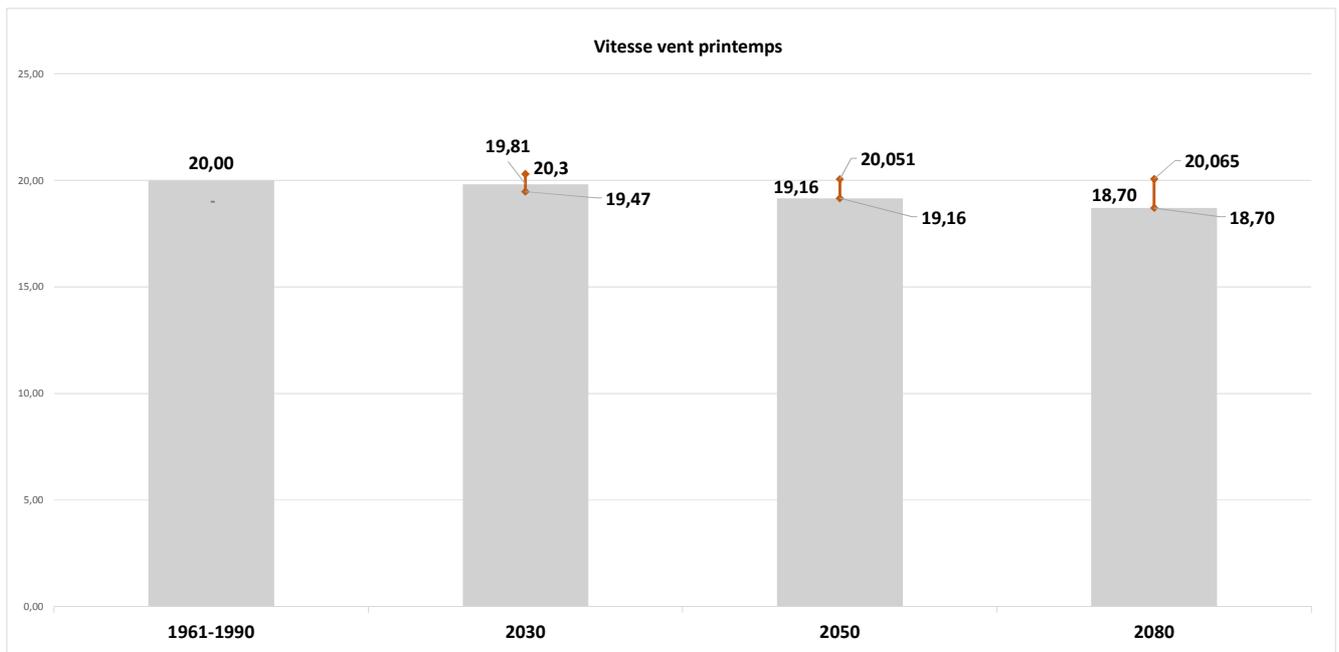
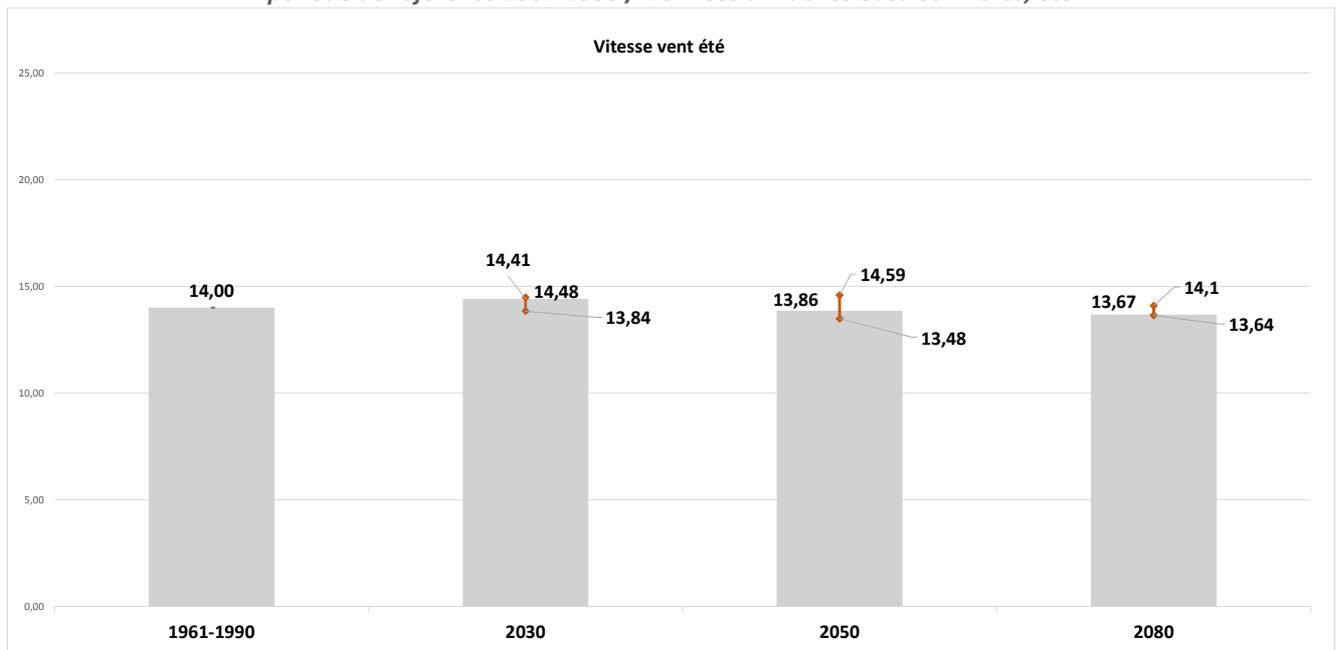
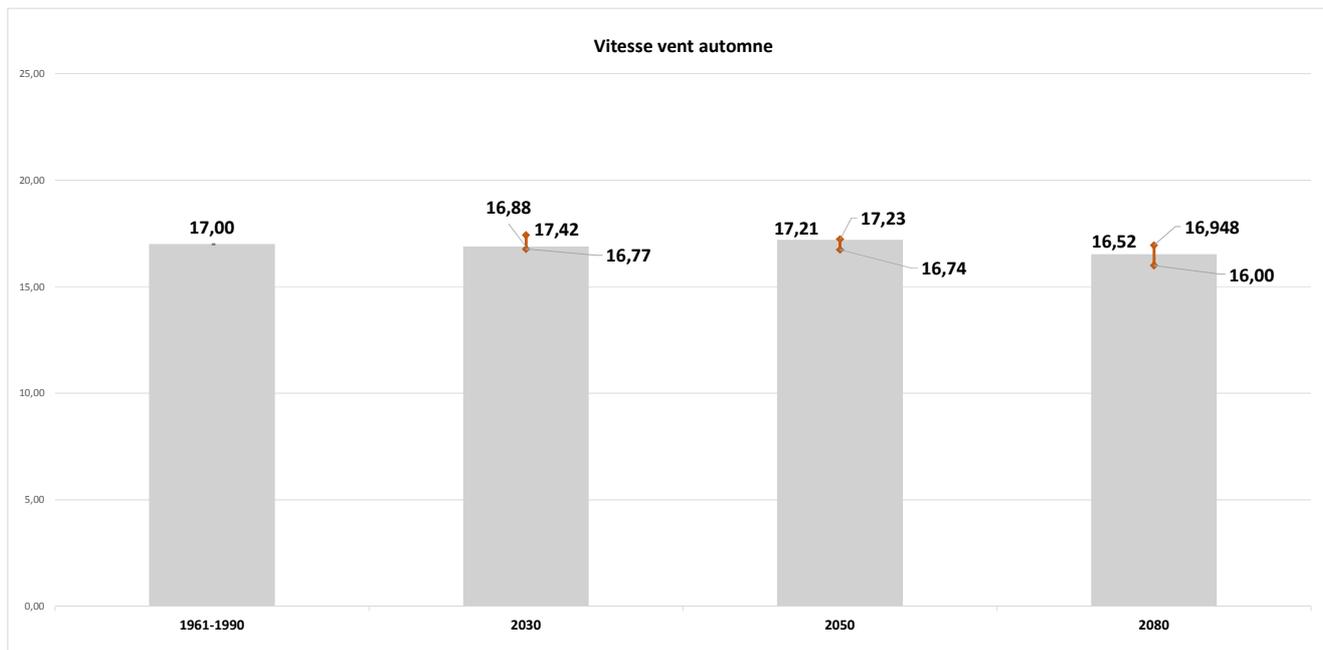


Figure 66 : Evolution de la vitesse du vent aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections - Ecart (en km/h) à la période de référence 1961-1990 / Données annuelles et saisonnières, été



**Figure 67 : Evolution de la vitesse du vent aux horizons 2030, 2050 et 2080, toutes projections - Ecart (en km/h) à la période de référence 1961-1990 / Données annuelles et saisonnières, automne**



Concernant la vitesse maximale du vent, il est également difficile de dégager des tendances car le vent est un paramètre très variable dans l’espace et le temps. Il est donc affecté largement par les moyennes.

**Les travaux du CERFACS**

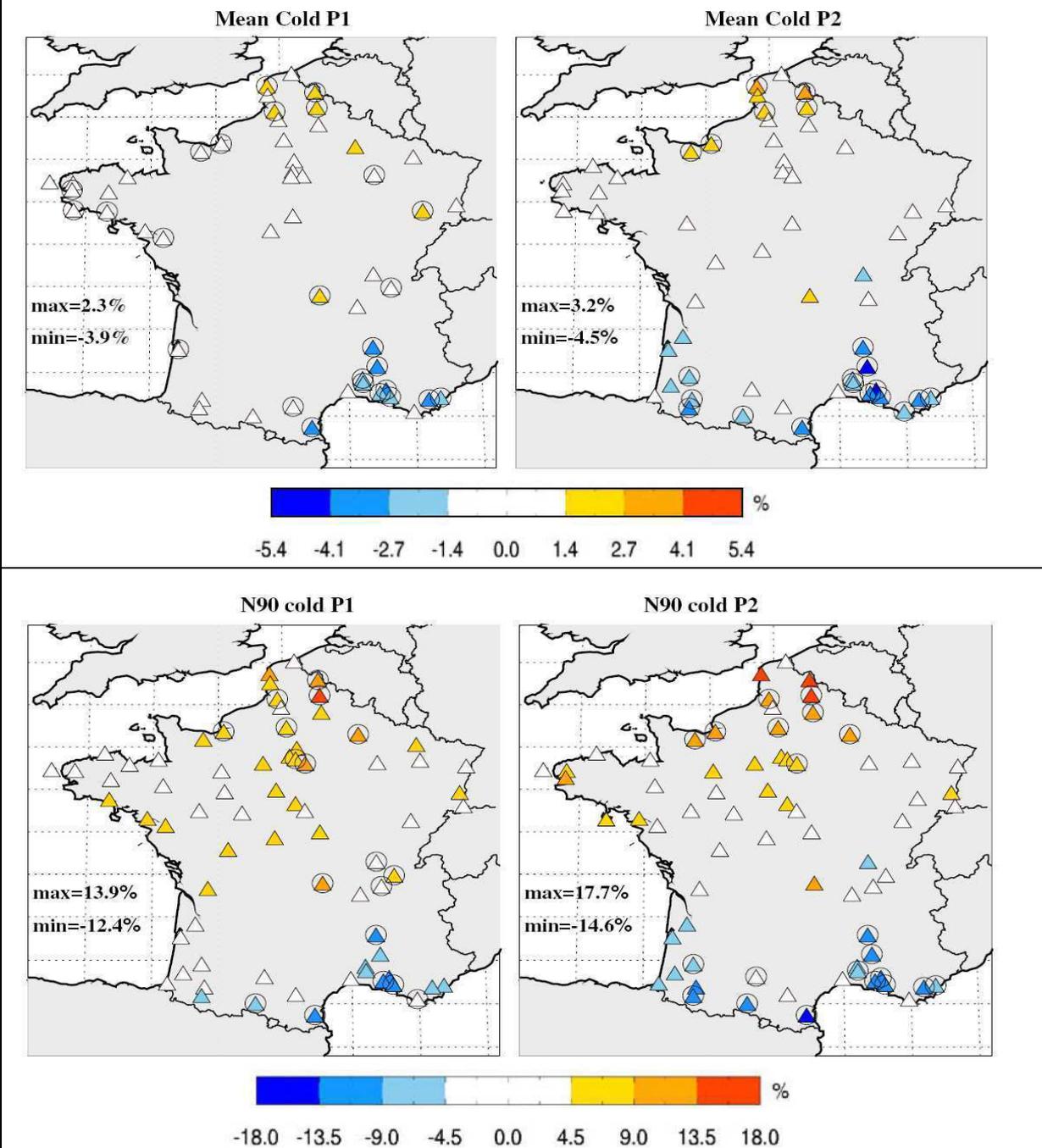
Certains travaux de recherche approfondie tendent à converger vers une diminution du vent, notamment sur la zone méditerranéenne. En l’occurrence, l’approche dite des types ou régimes de temps, développée au CERFACS, a été appliquée à différentes études d’impact et notamment l’évolution du vent sur la France (Najac, Boé et al. 2008). Cette méthode qui a été appliquée au scénario A1B permet de représenter une fraction importante de l’incertitude associée à la dispersion des modèles climatiques globaux utilisés dans l’exercice de modélisation CMIP3 qui a constitué la colonne vertébrale du 4ème rapport du GIEC.

De novembre à avril, les projections indiquent une diminution de la vitesse moyenne du vent dans le sud avec une diminution des flux du nord. De mai à octobre, toutes les projections présentent une diminution de la vitesse du vent sur toute la France avec une augmentation des flux de nord.

En revanche, les travaux de recherche approfondis du CERFACS montrent une convergence vers une diminution du vent de quelques % pour la zone méditerranéenne. En hiver, si l’on regarde les stations du département on constate une tendance à la baisse de la vitesse du vent dès 2050 ainsi qu’une baisse significative des vents forts. En été, une baisse du vent moyen est observable mais reste de faible intensité à partir de 2080.



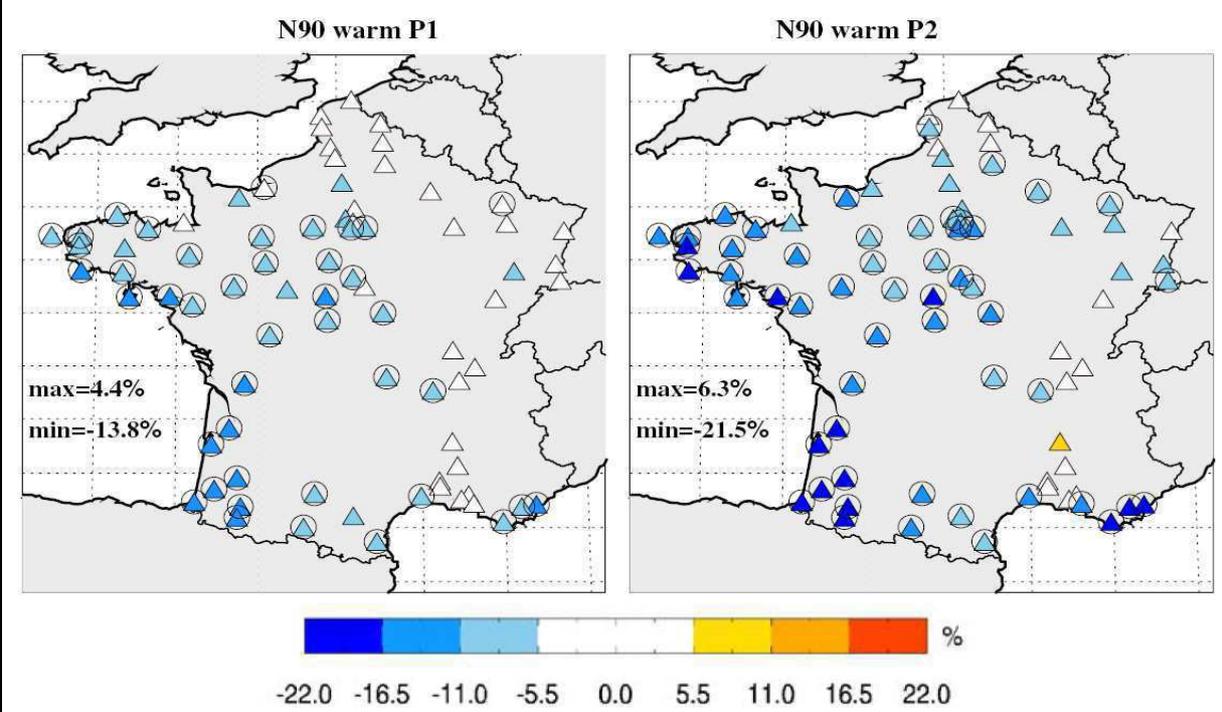
Figure 68 : Evolution du vent à 10 m en saison froide (octobre à mars) Source : travaux du CERFACS réalisé dans le cadre de l'étude de vulnérabilité du CG 13



Pour deux périodes (P1= 2046–2065 à gauche et P2= 2081–2100 à droite), pour 14 modèles globaux du GIEC (scénario A1B), et deux critères statistiques (moyenne du vent en haut, décile supérieure du vent en bas).

Seules les stations avec des différences significatives au niveau 0,05 sont pointées, les cercles entourant les stations indiquent que 80% des modèles produisent des changements du même signe.

Figure 69 : Evolution du vent à 10 m en saison chaude Source CERFACS



(avril à septembre) pour deux périodes (P1= 2046–2065 à gauche et P2= 2081–2100 à droite), pour 14 modèles globaux du GIEC (scénario A1B), et deux critères statistiques (moyenne du vent en haut, décile supérieure du vent en bas).

Seules les stations avec des différences significatives au niveau 0,05 sont pointées, les cercles entourant les stations indiquent que 80% des modèles produisent des changements du même signe.

Si on s'intéresse au département représenté notamment par la station de Marseille, on a les résultats suivants :

- en hiver, des tendances significatives mais relativement faibles à la baisse de la vitesse du vent dès 2050 mais aussi au risque de vent fort ;
- en été, une baisse du vent moyen (quelques pourcents) significative mais de faible intensité à partir de l'horizon 2080.

## 2.2.2 Les tempêtes

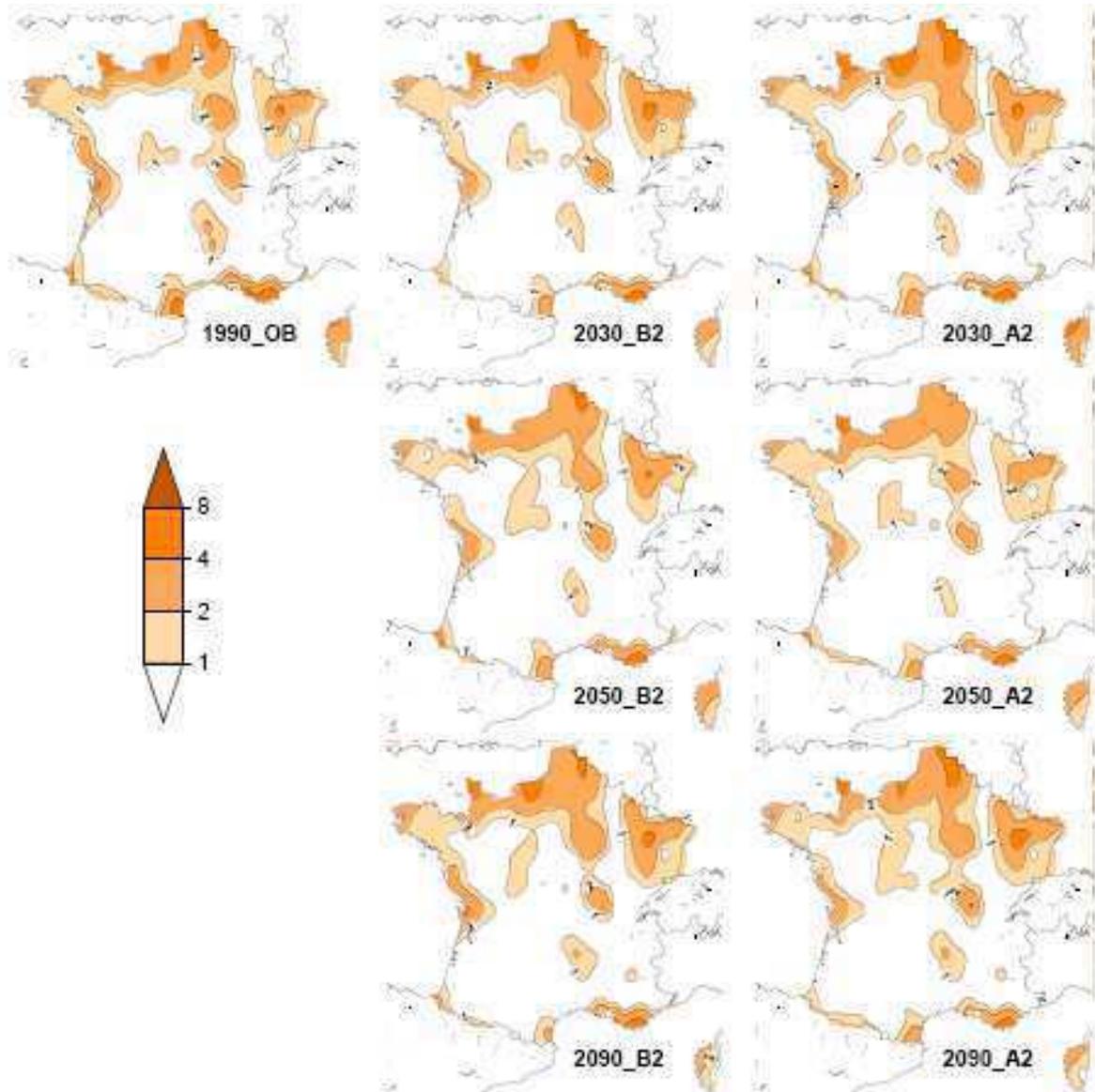
### Les scénarios de l'ONERC

Aucune tendance n'est observée sur les dernières décennies concernant le nombre ou l'intensité des tempêtes.



La notion de tempête est ici définie de manière similaire à celle des compagnies d'assurance, à savoir « un vent dont les rafales ont dépassé 100 km/h au cours de la journée ». L'évolution du nombre de tempêtes annuelles est donnée par les cartes ci-dessous. Sont représentées sur ces cartes les isolignes 1, 2, 4 et 8 (en nombre de jours).<sup>2</sup>

Figure 70: Nombre de jours de tempête



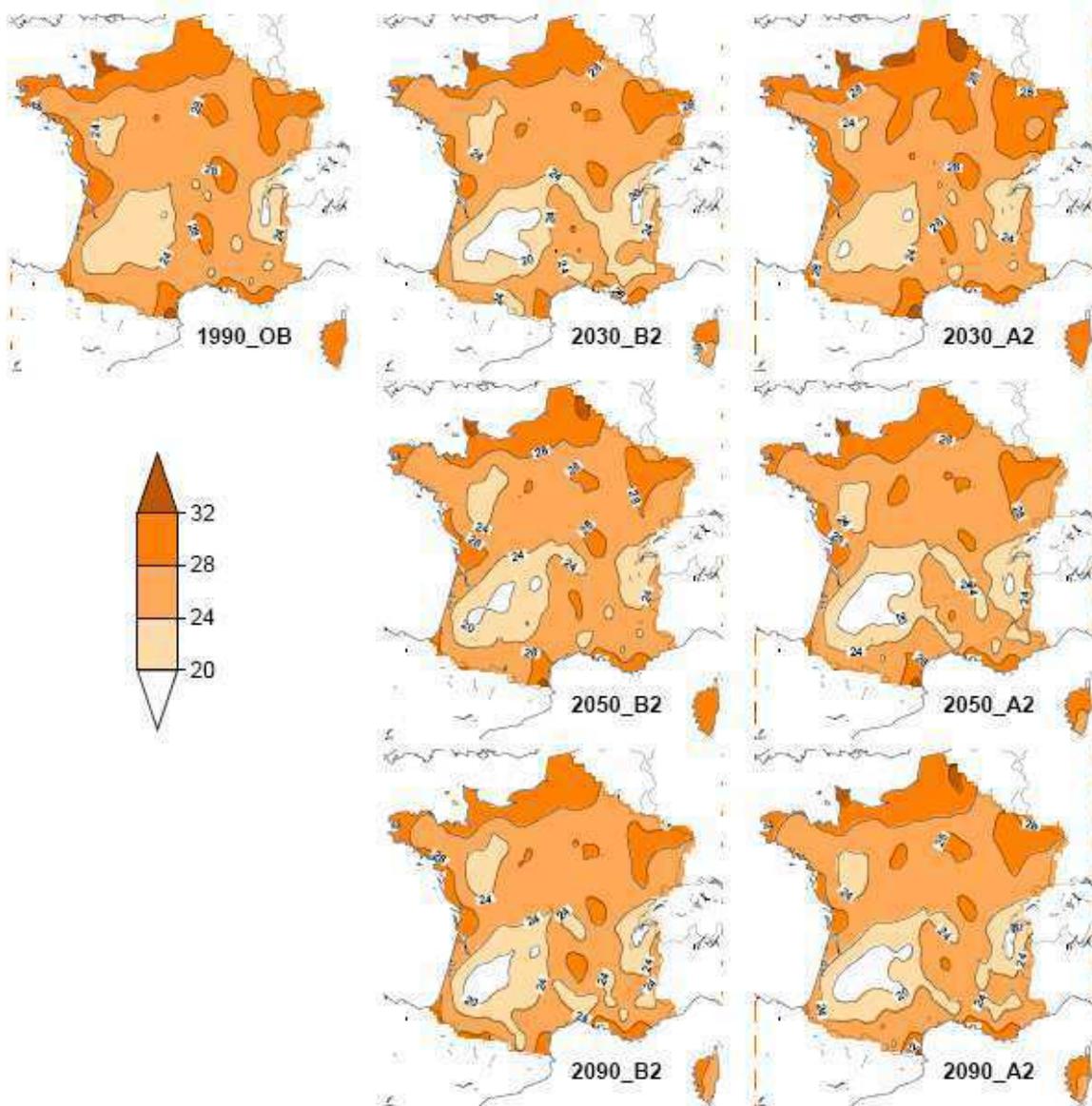
Source : ONERC

Pour les deux scénarios considérés, les évolutions sont globalement peu significatives. **La tendance serait plutôt à une réduction du nombre de jours de tempête.** Cependant, ces cartes indiquent si le nombre de tempêtes diminue ou augmente, mais **ne disent rien des changements d'intensité des plus violentes.** Le maximum saisonnier du vent en rafales est une façon simple et robuste de l'évaluer.

<sup>2</sup> Disponibles sur le site de l'ONERC : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Publications,484-.html>



Figure 71 : Vent maximum par saison (échelle en m/s) ; écart des isolignes 4 m/s



Source : ONERC

Cet exercice ne permet pas de dégager une tendance significative d'évolution des vitesses de vent pour la région méditerranéenne.

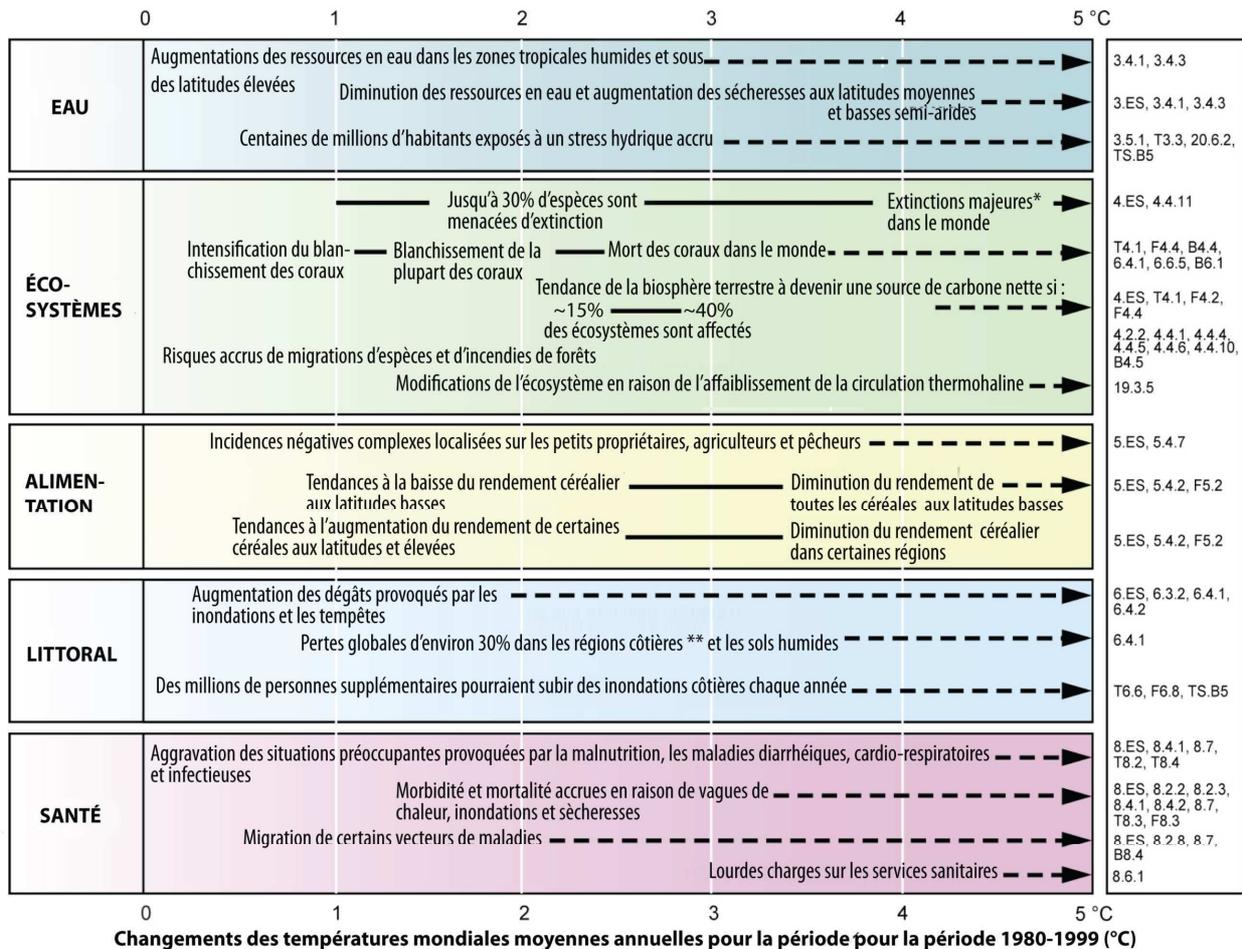


## Comment réagir face à ce constat de changement climatique ?

L'évolution projetée des différents paramètres climatiques autour et sur le territoire du pays d'Arles entraîne des modifications au niveau des écosystèmes dans lesquels les activités anthropiques évoluent.

Le changement de climat affectera également l'ensemble de nos secteurs d'activités à des degrés plus ou moins importants : agriculture, tourisme, bâtiments et infrastructure etc.

Figure 72 Changements des températures mondiales et impact sur les milieux et sociétés d'après le 4e rapport du GIEC (source : 4e rapport du GIEC)



Changements des températures mondiales moyennes annuelles pour la période 1980-1999 (°C)

\* "Majeur" signifie ici supérieur à 40%

\*\* Sur la base d'une élévation du niveau de la mer à un rythme moyen de 4,2 mm/an entre 2000 et 2080.

Devant le coût économique et social qu'induirait une non-adaptation au changement climatique – par exemple la multiplication des canicules comme celle de 2003 sur la période 2080-2100 coûteraient jusqu'à 300 millions d'euros par an pour la seule culture du blé en l'absence de mesures adéquate<sup>3</sup> – il convient de préparer, dès aujourd'hui, les politiques permettant d'adapter nos territoires aux changements climatiques tout en continuant à en atténuer les effets en luttant contre les Gaz à Effet de Serre.

<sup>3</sup> A ce propos, lire le résumé pour décideur de l'étude : Changement climatique, coûts des impacts et pistes d'adaptation, ONERC TEC, 2013 – Cahier Climat du Pays d'Arles – Réalisation d'une étude de vulnérabilité du territoire au changement climatique et assistance à l'élaboration d'un plan d'adaptation

L'adaptation est donc une démarche complémentaire de l'atténuation. Elle doit permettre de contenir les effets du changement climatique aux travers d'actions réduisant la vulnérabilité du territoire et augmentant la résilience du territoire, aussi bien dans sa composante socio-économique que naturelle.

S'adapter nécessite d'abord de disposer d'une vision préalable de la vulnérabilité potentielle du territoire face aux changements futurs. C'est dans ce sens que les données issues des projections climatiques que nous avons décrites dans ce cahier climat seront reprises afin de les confronter aux principales caractéristiques du territoire afin d'en percevoir les principales vulnérabilités. Les cahiers vulnérabilités sont donc réalisés en ce sens.

Figure 72 Schéma des étapes à suivre pour l'analyse de vulnérabilité



## Bibliographie :

Traitement des données :

**Base de données : ENSEMBLES** <http://www.ensembles-eu.org/>

**Traitement des données ENSEMBLES réalisé par le CERFACS/TEC CONSEIL**

Autres documents :

Rapport	Working Group I contribution to the IPCC 5th Assessment Report "Climate Change 2013: The Physical Science Basis" + Résumé à l'attention des décideurs (ONERC)	GIEC	<b>2013</b>
Stratégie	Stratégie Nationale d'Adaptation au changement climatique	ONERC (Sogreah)	<b>2007</b>
Rapport	Bilan 2007 des changements climatiques : Contribution des groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du GIEC	Pachauri et al.	<b>2007</b>
Rapport	Etude de vulnérabilité au changement climatique pour le CG 13	TEC	<b>2012-2013</b>
Publication	Le climat de la France au XXI <sup>e</sup> siècle Volume 2	ONERC, dir. J.Jouzel	<b>Fév.2012</b>
Publication	Mission d'étude et de développement des coopérations interrégionales et européennes - MEDCIE Grand Sud Est: Etude sur les effets du changement climatique à horizon 2030, 2050, 2100 - Phase 1	SGAR Paca (Ecofys)	<b>2008</b>
Présentation à séminaire	Colloque RED 4 décembre 2013, Avignon	CIRAME, Jean Pierre Ramel	2013

# Annexe 1 : méthodologie d'analyse du climat passé et futur

---

## Etude des aléas climatiques passés et futurs

### *Choix des projections climatiques d'intérêt pour le territoire du Pays d'Arles*

Les projections climatiques retenues pour l'étude de vulnérabilité du Pays d'Arles sont celles développées par le CERFACS dans le cadre de l'étude réalisée à l'échelle départementale par le CG 13 à partir de la base de **données multi-modèles ENSEMBLE**.

Est présentée ci-après la méthodologie et la logique qui sous-tendent ce choix au détriment de base de données à plus fine résolution telle que DRIAS.

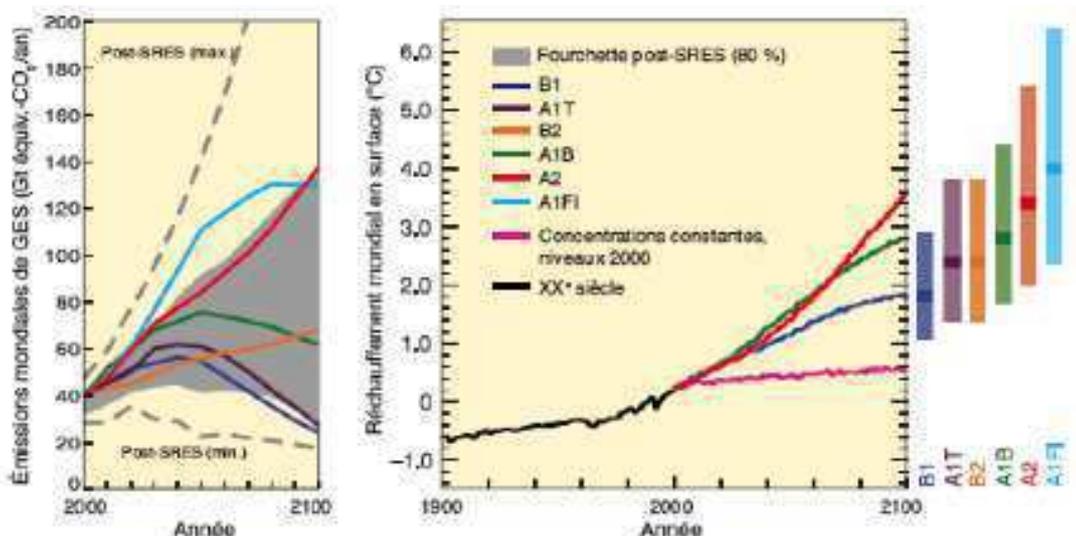
### *La régionalisation du climat : entre acquis et incertitudes*

- **Des scénarios d'émission de gaz à effet de serre à la base des projections...**

L'intensité du changement climatique dépendra de l'évolution de la concentration de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, elle-même conditionnée en grande partie par l'évolution des activités humaines. Pour explorer cet avenir, la méthode d'approche dominante utilisée par les scientifiques est celle des **scénarios**. Elle a pour ambition de fournir des images des futurs possibles en termes d'émissions de GES (GIEC, Rapport Spécial sur les Scénarios d'Emissions – SRES). Elle s'appuie sur les hypothèses qui conditionnent le développement économique futur et les conséquences environnementales : la démographie, la croissance économique, les ressources utilisées et les progrès technologiques. Il résulte de ces scénarios d'émissions une large plage de résultats pour les hausses de température en fin de siècle, de l'ordre de **2 à 6° C** en moyenne sur la France métropolitaine.



Figure 1 : Scénarios d'émissions de GES pour la période 2000-2100 et projections relatives aux températures en surface

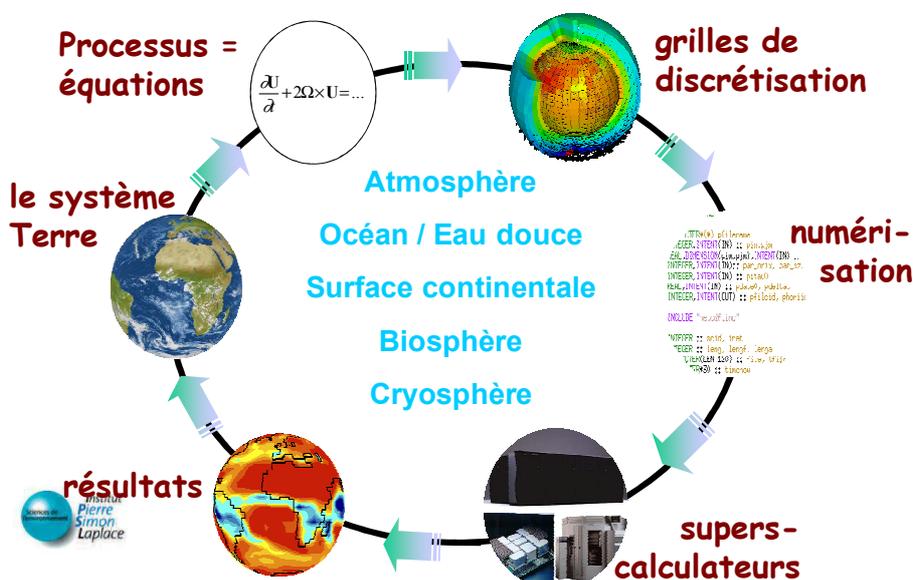


Ces scénarios servent d'entrée dans les modèles climatiques pour le calcul des projections.

- ...couplés à des modèles climatiques globaux et des méthodes de régionalisation de plus en plus élaborés

Ces scénarios sont alors couplés avec des modèles numériques du climat dans le processus de construction des projections. Les modèles se sont nettement améliorés ces dernières années. Ils prennent en compte de plus en plus de paramètres qui conditionnent le climat : vapeur d'eau, relief, nuages, océan en trois dimensions, cycle carbone etc. La résolution des modèles globaux a elle aussi augmenté. Toutefois, malgré ces progrès considérables, les modèles globaux offrent une vision simplifiée de la réalité et la résolution de leur maille reste de l'ordre de 100 à 300 km, trop faible donc pour produire l'information nécessaire aux études régionales et locales, ce qui introduit des biais lorsque leurs résultats sont évalués à une échelle régionale.

Figure 2 : Les modèles du climat

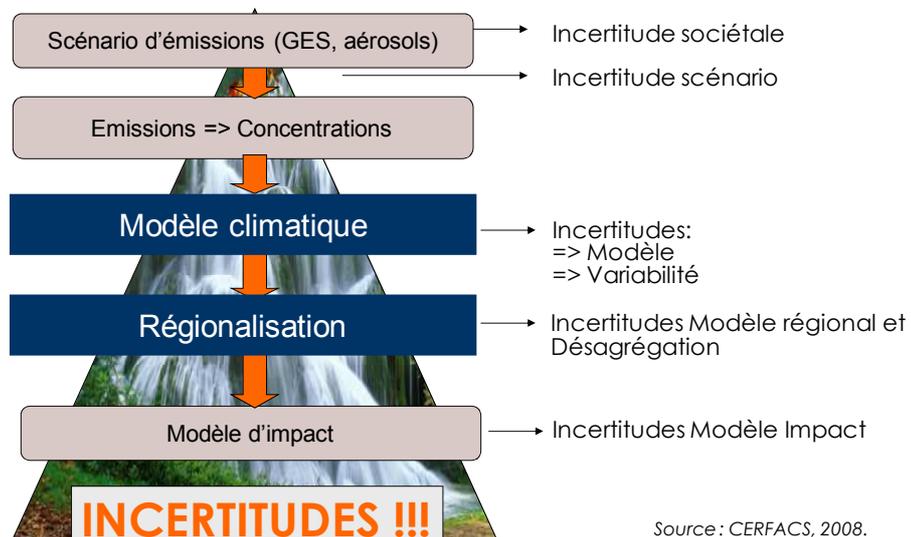


Afin d'établir des études d'impacts et d'adaptation, des techniques de régionalisation ont vu le jour afin de répondre à cette problématique (modèles régionaux du climat, descente d'échelle statistique etc). Ces techniques variées permettent aujourd'hui d'augmenter la résolution spatiale en passant à des grilles à 50 km (PRUDENCE) voire à 25 km (ENSEMBLES) ou 8-10 km pour certaines méthodes statistiques.

- **Une nécessaire prise en compte de l'incertitude**

Si la compréhension du climat s'est nettement améliorée ces dernières années, les projections climatiques ne seront toutefois jamais des prédictions et l'incertitude sur le changement climatique sera d'autant plus grande que l'étude revêtira un caractère local. Plus précisément, de la connaissance du climat à la définition de stratégies d'adaptation, il existe un ensemble de sources d'incertitude qui s'additionnent. On les résume dans le graphique ci-dessous :

*Figure 3 : Une cascade d'incertitudes*

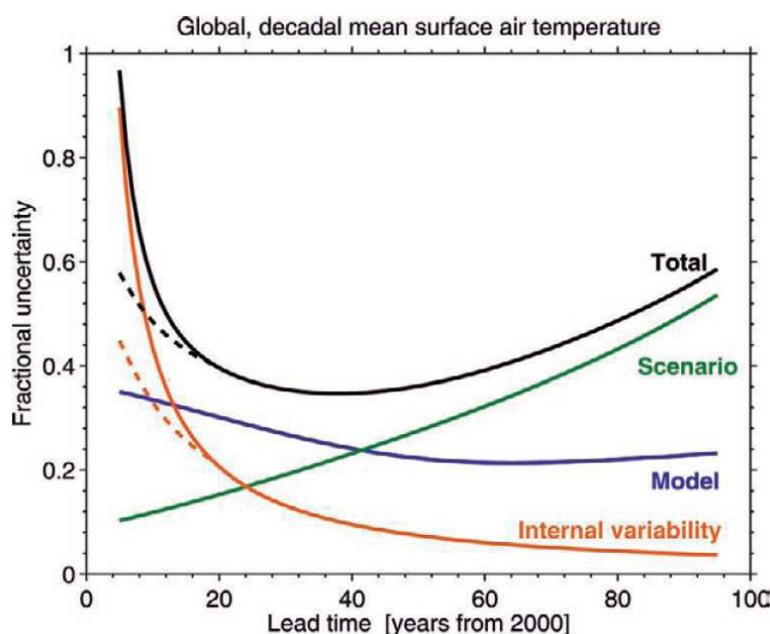


Au final, plus les études d'impact et les stratégies d'adaptation vont être locales et précises, plus leur demande d'information va être sophistiquée, et plus il va exister un risque que les marges d'erreur cumulées dépassent les ordres de grandeur des mesures envisagées. Face à ces incertitudes, toute projection régionalisée doit procurer une analyse détaillée de ses choix et décrire au mieux le champ des incertitudes. Si dans le cadre des stratégies territoriales, cette analyse est encore peu faite, elle est pourtant fondamentale.

De même, une analyse temporelle de l'incertitude permet de mettre en relief les périodes où les incertitudes sont les plus grandes et la part de chacune des incertitudes (inhérentes aux modèles, scénarios, et à la variabilité interne du climat) dans le cumul total en fonction des horizons temporels.



Figure 4 : Importance relative des différentes sources d'incertitude



Source : Hawkins et Sutton, 2009, pour la Grande Bretagne

Ceci-dit, il n'est pas non plus possible de prendre en compte l'ensemble des incertitudes et il faut alors faire un certain nombre de choix qui dépendent à la fois des objectifs du maître d'ouvrage (horizon de décision majeur par exemple) et du territoire lui-même (certaines méthodes de régionalisation sont plus efficaces que d'autres en Méditerranée par exemple).

### **Méthodologie d'élaboration des projections climatiques pour le territoire des Bouches-du-Rhône**

Après avoir nécessairement analysé les différentes sources d'incertitudes, l'étude sur le territoire des Bouches-du-Rhône s'est attachée à sélectionner :

- une projection de référence pour guider l'analyse de vulnérabilités et la stratégie d'adaptation du territoire ;
- plusieurs projections d'encadrement permettant de décrire le champ des possibles en termes d'avenirs climatiques ;
- un ou plusieurs horizons temporels;
- un ou plusieurs scénarios d'émissions de GES;
- Un ou plusieurs modèles climatiques globaux;
- une méthode de régionalisation;



- des indicateurs climatiques pertinents pour les études sectorielles de vulnérabilité.

- **Le choix de l'horizon temporel**

Les horizons de court et moyen termes constituent les horizons prioritaires d'une grande majorité de projets d'adaptation.

Le très court terme (horizon 2020) n'est cependant pas envisageable car la variabilité naturelle du climat y est prépondérante à cet horizon là et ne permet pas de dégager de réels signaux pour le changement climatique. **C'est pourquoi, il est préférable de retenir l'horizon 2030 comme horizon de court terme.**

**L'horizon 2050** est quant à lui très intéressant en tant qu'horizon de moyen terme car c'est l'horizon où les incertitudes sont les plus faibles et où les modèles représentent la plus grande part d'incertitude.

**Choix effectué** : les horizons de travail sont 2030 et 2050 pour le court et moyen terme. Une ouverture a néanmoins été effectuée sur l'horizon 2080 pour donner une perspective de long terme.

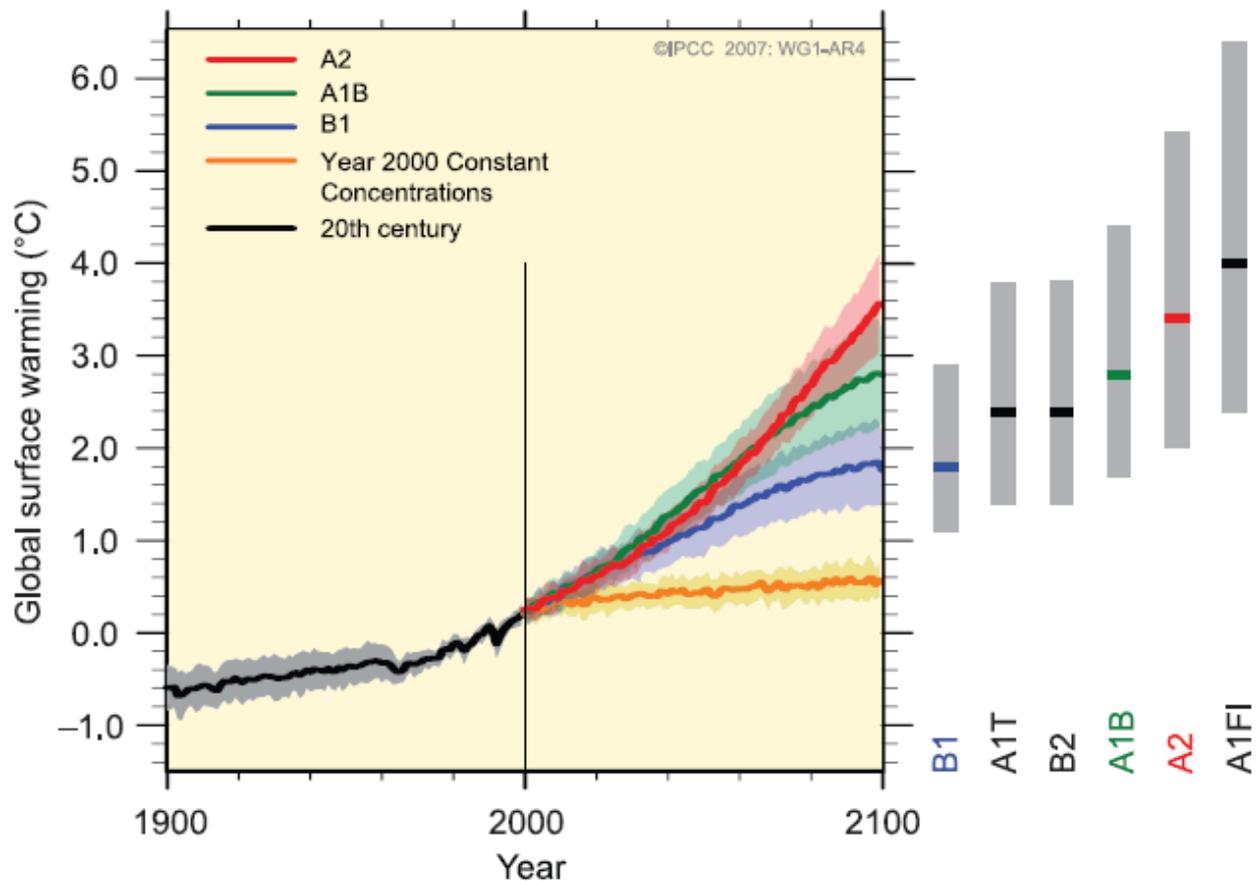
- **Le choix du scénario d'émission de gaz à effet de serre**

**Comme nous l'avons vu, aux horizons 2030 et 2050, ce sont les incertitudes relatives d'abord à la variabilité naturelle du climat puis aux modèles qui prédominent. Le choix du scénario est donc secondaire à ces horizons.** En revanche, les hypothèses relatives aux scénarios d'émissions jouent beaucoup plus aux horizons lointains (2080-2100).

Les meilleures bases de données régionalisées ont tenté de réduire l'incertitude aux horizons 2050, et retiennent alors un seul scénario d'émission pour ces deux horizons, le scénario A1B sur lequel a été conduite l'analyse des 25 modèles régionalisés d'ENSEMBLE. Nous ne disposons pas du même jeu de données régionalisées pour les scénarios extrêmes. Le modèle A1B étant le scénario « moyen » du GIEC il peut être utilisé pour évaluer les évolutions « moyennes » du changement climatique à l'horizon 2100.



Figure 22 Présentation du réchauffement induit par les principaux scénarios socio-économiques du 4e rapport du GIEC



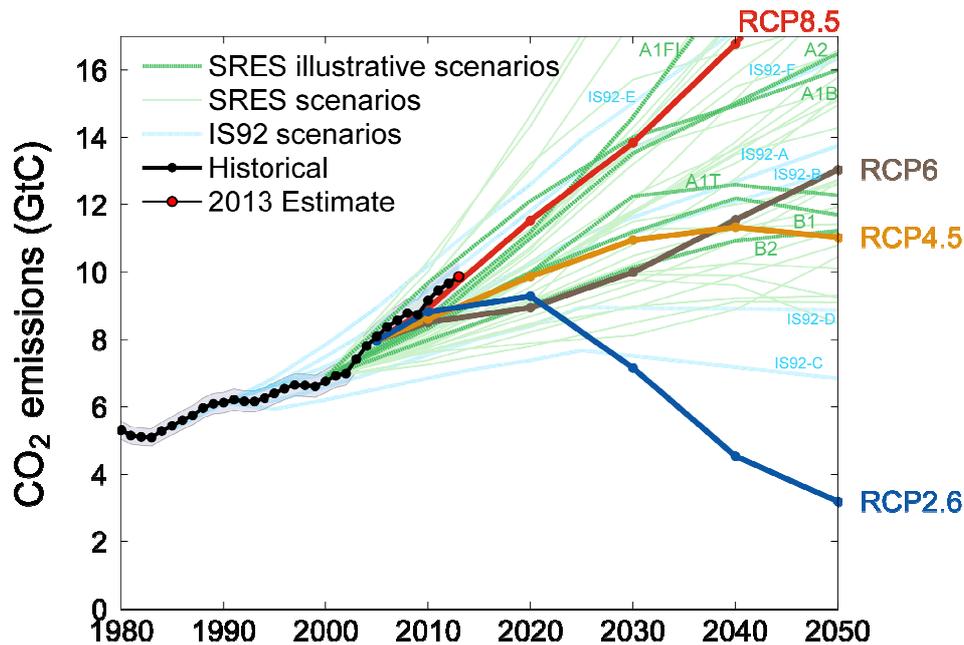
Cependant, il convient de garder à l'esprit pour la suite de l'étude que les résultats donnés dans le cadre d'ENSEMBLE risquent très fortement d'être des « minimas » à l'horizon 2100 dans la mesure où les émissions de GES observées récemment, malgré la crise économique, suivent une « pente » plus forte sur les scénarios entre 3 et 4°C d'ici 2100, les plus importants donc.

Le jeu de courbes ci-dessous compare l'évolution historique des émissions de CO2 comparés aux scénarios. Attention cependant, il s'agit d'une prospective à 2050, le scénario A1B étant sur une pente importante d'ici 2050 – du fait de la forte durée de vie des émissions de GES dans l'atmosphère – décroît ensuite entre 2050 et 2100 pour se situer aux milieux des scénarios (cf. graphique ci-dessus.) Cela montre que les politiques d'atténuation, si elles sont implantées dès aujourd'hui de façon radicale, peuvent encore être efficaces pour limiter le réchauffement climatique.

Pour mémoire, le scénario A1B est celui d'un monde ayant une croissance économique rapide où on observe une convergence entre les différentes régions du monde. Le mix énergétique est équilibré entre fossiles et renouvelables.



Figure 23 Comparaisons des évolutions actuelles d'émissions de CO2 et des scénarios SRES du GIEC. (Source : Source: Peters et al. 2012a ; CDIAC Data ; Global Carbon Project 2013



**Choix effectué :** L'horizon majeur du projet étant à 2050, il apparaissait particulièrement pertinent de s'appuyer sur les derniers travaux de régionalisation du climat (notamment le projet ENSEMBLES) et de retenir par conséquent un seul scénario, le scénario moyen A1B. En revanche, il est possible que les chiffres donnés pour l'évolution à 2100 soient des minimums dans le cas où l'évolution des émissions de GES actuelle continue sur le même rythme.

- **Le choix des modèles et de la méthode de régionalisation du climat**

Pour choisir les projections climatiques relatives à l'étude il fallait alors faire des choix de modèles globaux et de méthode de régionalisation, en explorant au mieux le champ des incertitudes. Deux méthodes principales permettent aujourd'hui de bénéficier des meilleures avancées en termes de régionalisation du climat. Il s'agit des méthodes dynamique (couplage Modèles Globaux du Climat -GCM, Modèles Régionaux du Climat-RCM, résolution 20 km) et des méthodes statistiques type DRIAS (modèle global, descente d'échelle statistique, résolution de 8 km).

Pour la région Méditerranéenne, la méthode statistique apparaît actuellement moins pertinente car les liens statistiques entre la circulation atmosphérique à grande échelle et le climat local sont plus faibles que dans les autres régions en France, et ne permet pas de statuer sur les phénomènes extrêmes. En revanche, la méthode dynamique, dont la résolution est un peu moins performante, représente mieux l'ensemble des processus physiques à l'œuvre dans cette région et couvre bien le champ des incertitudes relatives aux modèles qui prédominent à l'horizon 2050, malgré l'existence de biais causés par la représentation simplifiée des processus atmosphériques ainsi que de la topographie. La base de données ENSEMBLES constitue à ce jour la base la plus récente et la plus performante (beaucoup de modèles globaux et régionaux à explorer) et va permettre d'évaluer au mieux ces incertitudes.



### **Méthode retenue :**

Les deux méthodes de régionalisation ont été analysées dans un premier temps pour explorer le champ des possibles. Puis, afin de sélectionner une projection de référence et 4 projections d'encadrement (qui diffèrent sensiblement sur les paramètres températures et précipitations), il a été choisi de :

- retenir un ensemble de Modèles Globaux désagrégés par une même méthode et de choisir un Modèle Global médian ayant une bonne représentation des paramètres précipitations et températures ;
- choisir à partir de ce modèle et par le biais de la méthode de régionalisation dynamique un modèle régional de référence (le modèle médian) et 4 autres qui décrivent le mieux le champ des possibles (mais pas les plus extrêmes non plus) en termes de précipitations et de températures (ex modèle humide, modèle sec)

- **Le choix d'un mode de représentation**

**La cartographie :** on choisit de représenter le territoire des Bouches-du-Rhône dans un ensemble régional plus large car les méthodes de régionalisation ne permettent pas à ce jour de dessiner avec précision des zones infra-départementales. Il est aussi très utile de situer le département dans un contexte régional. Cela n'empêche cependant pas de mettre en avant les grandes zones à enjeux du territoire sur les cartes produites. Une cartographie dynamique est par ailleurs réalisée.

**Au-delà de la cartographie,** tout un ensemble de méthodes de représentation de l'information climatique a été utilisé dans une optique d'analyse des projections, sans jamais compromettre la finalité de sensibilisation des acteurs : graphiques variés, méthode de représentation de l'incertitude des résultats, autant d'outils d'aide à la décision, etc.

- **Le choix des paramètres**

Des paramètres climatiques ont été choisis en étroite concertation avec les services du CG et experts des sujets et permettent à la fois de dresser les grandes tendances climatiques pour le territoire des BDR mais aussi de mettre en avant les vulnérabilités sectorielles à l'œuvre. Des seuils spécifiques aux Bouches du Rhône ont été définis pour certains paramètres climatiques (indice de vigilance canicule, pluies extrêmes par exemple).

Pour les grandes tendances, des indicateurs moyens et d'extrêmes ont été retenus : températures et précipitations moyennes saisonnières, événements extrêmes de type sécheresse, canicule, pluies intense etc.

Pour les indicateurs sectoriels, certains indicateurs spécifiques ont été retenus (ex : nombre de degrés jours en base 17 pour l'énergie, nombre de jours de gel pour les dégâts pour certaines cultures etc.).

Pour les paramètres non disponibles ou ne donnant pas de signal clair, il a été choisi de se référer à des études ou projets de recherche parfois plus spécifiques sur le sujet (Ex : élévation du niveau de la mer).





## Annexe 2 : Un mot sur le GIEC

### *Un mot sur le GIEC*

L'essentiel de la connaissance actuelle sur le changement climatique est passée au filtre du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC/IPCC). Le GIEC ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)) a été mis en place par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) en 1988. Il est ouvert à tous les états membres de l'OMM et de l'ONU.

Son rôle est d'évaluer d'une manière exhaustive, objective, ouverte et transparente la connaissance scientifique, technique et socio-économique relative au changement climatique. Le GIEC ne conduit pas de recherches mais base son évaluation sur des publications techniques et scientifiques de synthèse strictement validées (principe de la relecture par les pairs).

#### **Organisation du GIEC**

*Le GIEC implique plus de 5 000 scientifiques de toutes origines géographiques et disciplinaires. Il est organisé en trois groupes de travail et une « task force » :*

- *le **groupe 1** évalue les aspects scientifiques du fonctionnement du climat et du changement climatique ;*
- *le **groupe II** évalue la vulnérabilité des systèmes naturels et humains au changement climatique et les mesures d'adaptation possibles ;*
- *le **groupe III** étudie les options de limitation des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) et les autres mesures d'atténuation possibles (stockage du CO<sub>2</sub>, rôle des puits de carbone...);*

*La « **task force** » est responsable du programme d'inventaires nationaux des émissions de GES. Le GIEC produit des rapports d'évaluation périodiques sur l'état de la connaissance sur le changement climatique (1991-1995 – 2001, 4<sup>ème</sup> rapport en 2007, 5<sup>ème</sup> rapport prévu pour 2013), et des rapports techniques sectoriels (sur l'eau par exemple).*

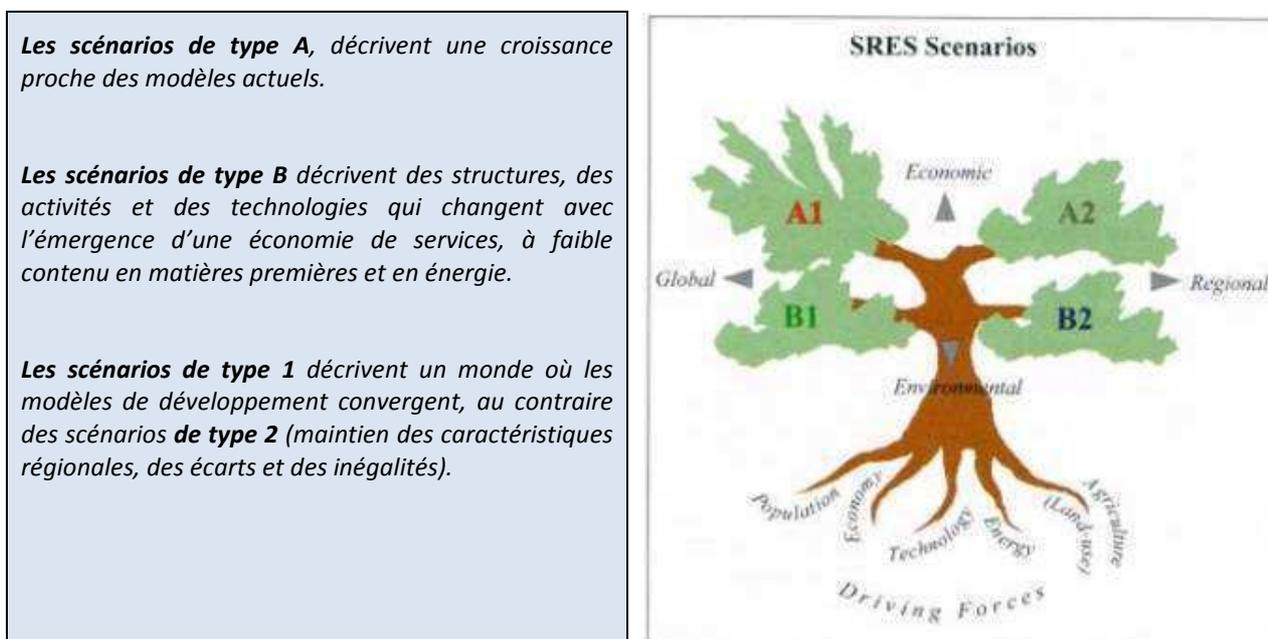


### Des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre à la base des projections climatiques

L'intensité du changement climatique dépendra de l'évolution de la concentration de GES dans l'atmosphère. Celle-ci est elle-même conditionnée par nos émissions passées et actuelles mais aussi futures. Pour explorer cet avenir, la méthode d'approche dominante utilisée par les scientifiques est celle des **scénarios**, qui ont pour ambition de fournir des images des futurs possibles en termes d'émissions de GES. Ces scénarios, proposés par le GIEC dans le cadre de son quatrième rapport, sont contenus dans le Rapport Spécial sur les Scénarios d'Émissions (RSSE/SRES). Ils s'appuient sur les hypothèses qui conditionnent le développement économique futur et ses conséquences sur l'environnement à savoir : la démographie, la croissance économique, les ressources utilisées et les progrès technologiques.

Ils sont regroupés en quatre grandes familles selon qu'ils décrivent un monde de convergence ou de fragmentation dans les deux domaines de la croissance économique et de l'environnement.

Figure 24 : L'arbre des scénarios du GIEC



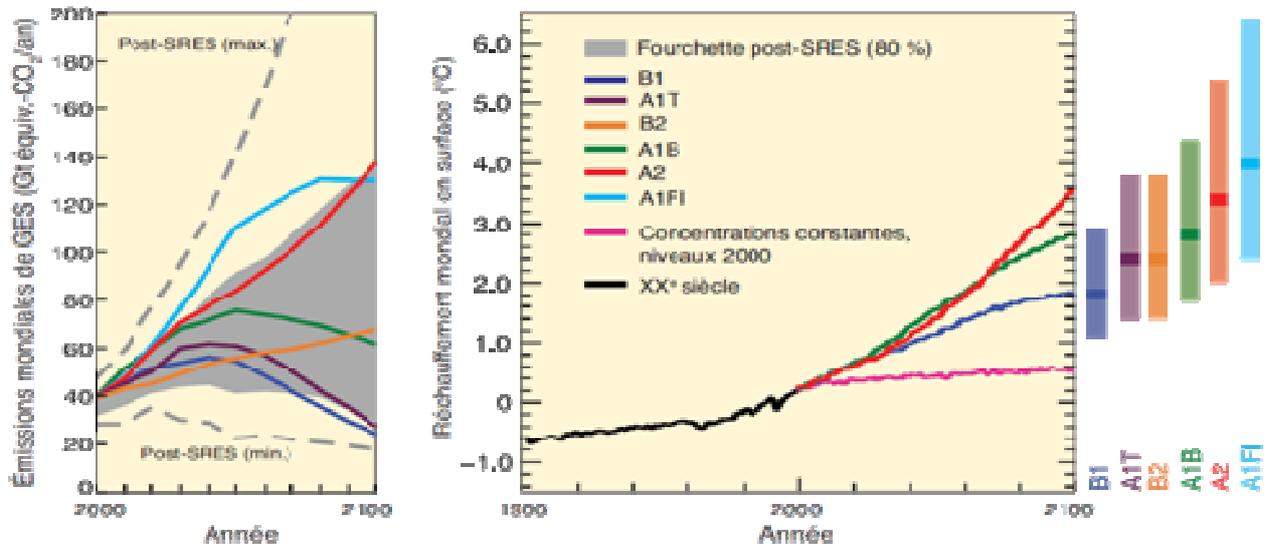
Les scénarios ont pour ambition de fournir des images du futur qui découlent de cet ensemble d'hypothèses sur les forces motrices, cohérentes entre elles à l'intérieur de chaque scénario. **Ils ne se prononcent pas sur la probabilité respective de ces futurs.**

Des scénarios d'émissions découlent alors des scénarios de concentration de GES qui servent d'entrée dans les modèles climatiques pour le calcul des projections (Figure 25).

Ils aboutissent à une large plage de résultats pour les hausses de température en fin de siècle, de l'ordre de **2 à 6° C** :



Figure 25 : Scénarios d'émissions de GES pour la période 2000-2100 (en l'absence de politiques climatiques additionnelles) et projections relatives aux températures en surface



**À gauche :** Émissions mondiales de GES (en Gt équiv.-CO<sub>2</sub>) en l'absence de politiques climatiques : six scénarios illustratifs de référence (SRES, lignes colorées) et intervalle au 80e percentile des scénarios publiés depuis le SRES (post-SRES, partie ombrée). Les lignes en pointillé délimitent la plage complète des scénarios post-SRES. Les GES sont le CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone), le CH<sub>4</sub> (méthane), le N<sub>2</sub>O (oxyde d'azote) et les gaz fluorés.

**À droite :** Les courbes correspondent aux moyennes multimodèles du réchauffement en surface pour les scénarios A2, A1B et B1, en prolongement des simulations relatives au XX<sup>ème</sup> siècle.

Ces projections intègrent les émissions de GES et d'aérosols de courte durée de vie. La courbe en rose ne correspond pas à un scénario mais aux simulations effectuées à l'aide de modèles de la circulation générale couplés atmosphère-océan (MCGAO) en maintenant les concentrations atmosphériques aux niveaux de 2000. Les barres sur la droite précisent la valeur la plus probable (zone foncée) et la fourchette probable correspondant aux six scénarios de référence du SRES pour la période 2090-2099. Tous les écarts de température sont calculés par rapport à 1980-1999.

Source : GIEC, 2007

Le tableau ci-dessous synthétise les fourchettes d'augmentation de températures en 2100 selon la famille de scénarios :

Figure 26 : Les quatre familles de scénarios du GIEC et les prévisions de hausses de températures globales moyennes à l'horizon 2100

	Objectifs plus économiques	Objectifs plus environnementaux
<b>Globalisation</b> (monde homogène)	<b>A 1</b> (groupes A1T /A1B/A1FI) <b>1,4 – 6,4°C</b>	<b>B1</b> <b>1,1 – 2,9°C</b>
<b>Régionalisation</b> (monde hétérogène)	<b>A2</b> <b>2,0 – 5,4°C</b>	<b>B2</b> <b>1,4 – 3,8°C</b>



**Présentation des nouveaux scénarios du GIEC « RCP » :**

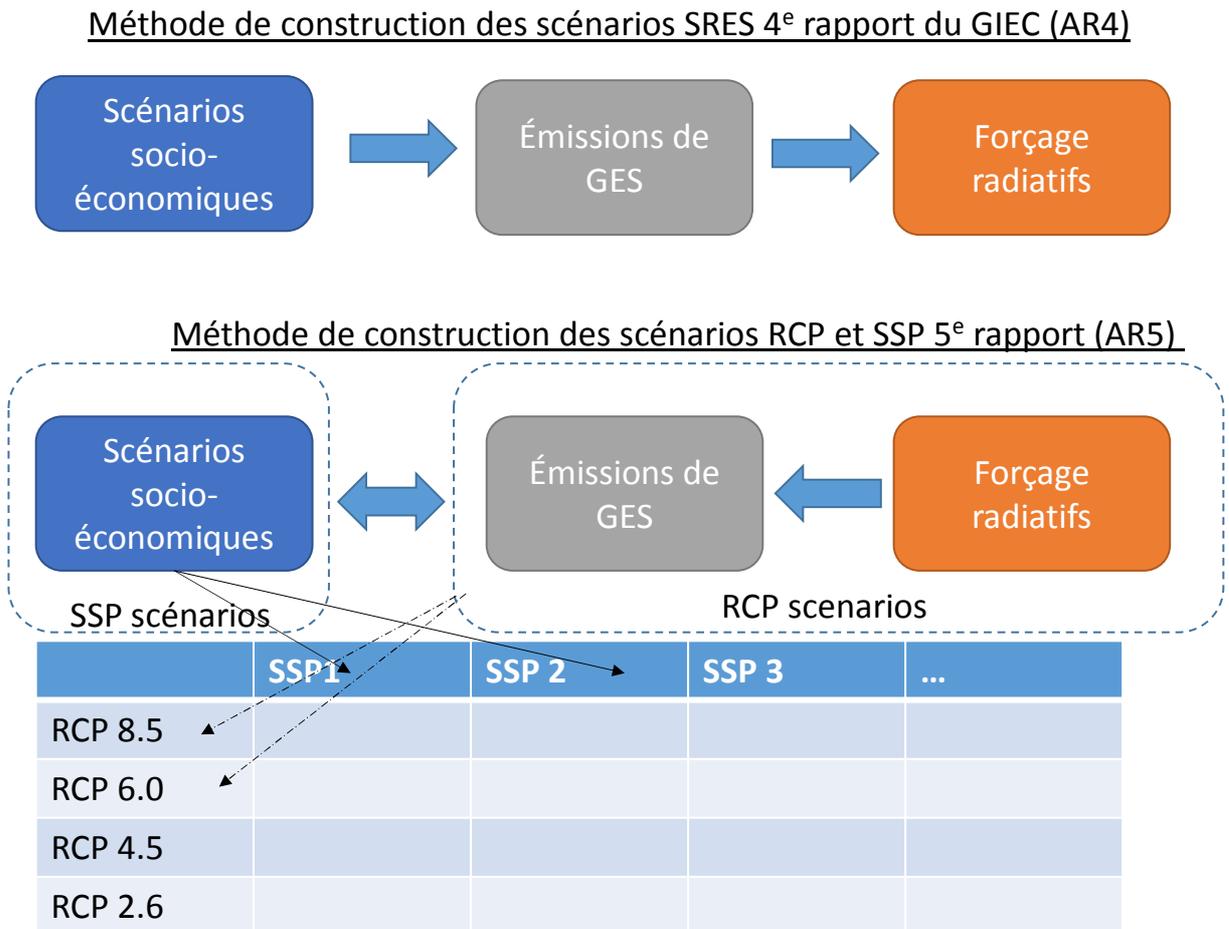
Les projections climatiques sur lesquelles nous basons le présent cahier climat se basent sur les scénarios du 4e rapport du GIEC. Toutefois, le GIEC vient de publier la première partie de son 5e rapport : « Contribution to the IPCC fifth assessment report Climate Change 2013 : The Physical science basis ». Nous proposons une présentation succincte de ces scénarios et des principaux résultats obtenus dans cette sous-partie.

**Le 5e rapport comporte plusieurs innovations :**

Quatre scénarios dit « RCP » (Representative Concentration Pathways)<sup>4</sup> sont développés au lieu des 6 précédents. Le Scénario le plus ambitieux (RCP 2.6 est le seul où un maintien de la température à 2°C est possible. Le Scénario RCP 8,5 est le plus pessimiste et correspond à la prolongation des émissions actuelles.

La méthode de construction des scénarios diffèrent : Les anciens scénarios partaient de représentations des futurs socio-économiques possibles et en concluaient un résultat en matière de GES. Les scénarios RCP fixent des niveaux de déséquilibres énergétiques (forçage radiatif) et des niveaux de concentration en GES compatible avec ces derniers. A partir de ces scénarios sont élaborés des scénarios socio-économiques SSP (Shared Socio-Economic Pathway) (qui correspondent à ces niveaux d'émissions. Le schéma ci-dessous résume cette différence :

Figure 4 : explication de la méthode de construction des scénarios SRES



LES SCÉNARIOS RCP SONT AINSI DÉFINIS :

<sup>4</sup>Trajectoires de concentrations représentatives

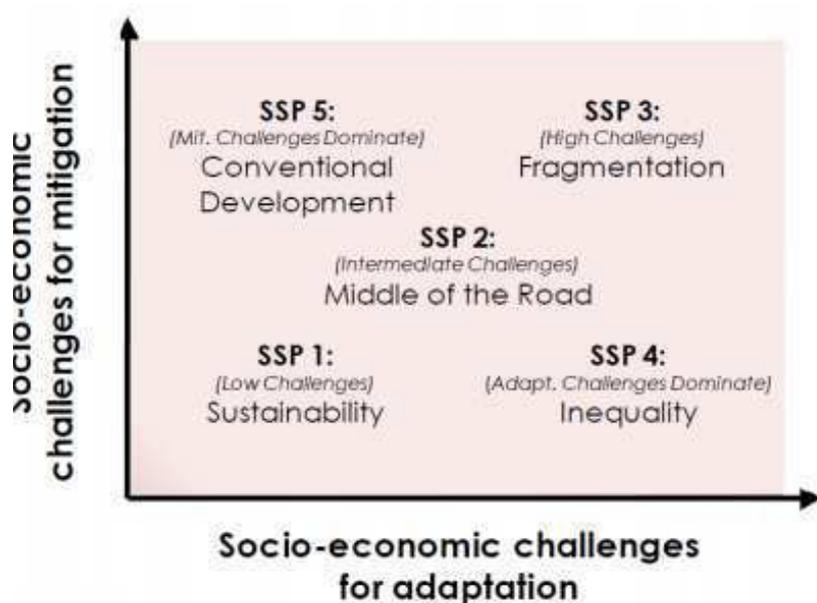


Tableau 10 Présentation des différents scénarios RCP

Nom	Forçage radiatif	Concentration (ppm)	Trajectoire	évolution °C moyenne 2081-2011 par rapport à 1986 à 2005
RCP8.5	>8,5Wm.2 en 2100	> 1370 eq-CO2 en 2100	Croissante	+2,6°C à + 4,8°C <b>Moyenne : + 3,7°C</b>
RCP6.0	6Wm.2 au niveau de stabilisation après 2100	850 eq-CO2 au niveau de stabilisation après 2100	Stabilisation sans dépassement	+1,4°C à + 3,1°C <b>Moyenne : + 1,8°C</b>
RCP4.5	4,5Wm.2 au niveau de stabilisation après 2100	660 eq-CO2 au niveau de stabilisation après 2100	Stabilisation sans dépassement	+1,1°C à +2,6°C <b>Moyenne : + 2,2°C</b>
RCP2.6	Pic à 3Wm.2 avant 2100 puis déclin	Pic 490 eq.CO2 avant 2100 puis déclin	Pic puis déclin	+ 0,3°C à + 1,7°C <b>Moyenne : + 3,7°C</b>

Les Scénarios SSP ont été définis suite à un atelier organisé à Boulder (Colorado) en novembre 2011, les scientifiques ont défini cinq familles de scénarios-types (fig. 5).

- L'axe des abscisses représente le défi en matière d'adaptation des sociétés au changement climatique ;
- L'axe des ordonnées représente le défi en matière d'atténuation des émissions de GES.



Chaque scénario Socio-économique SSP correspond à plusieurs scénarios RCP.



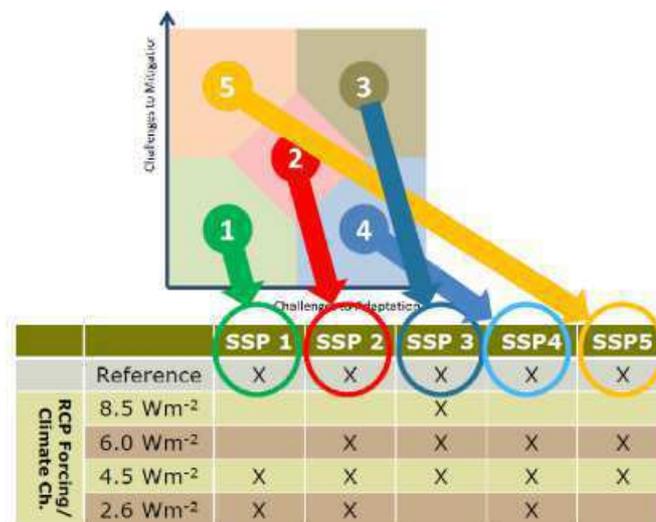


Figure 6 : Relations entre RCP et SSP d'après T. Kram

Ainsi pour limiter au maximum le changement climatique (RCP 2.6 et 4.5) le scénario SSP1 « soutenabilité » est celui qui augmente le plus la probabilité de limiter le réchauffement climatique aux alentours des 2°C.

### Les scénarios Socio-économiques de GIEC

(Source : MEDDE, Découvrir les nouveaux scénarios RCP et SSP utilisés par le GIEC, sept 2013)

- **Le SSP1** (faible défi d'adaptation, faible défi d'atténuation), décrit un monde marqué par une forte coopération internationale, donnant la priorité au développement durable ;
- **Le SSP2** (défi d'adaptation moyen, défi d'atténuation moyen), décrit un monde caractérisé par la poursuite des tendances actuelles ;
- **Le SSP3** (défi d'adaptation élevé, défi d'atténuation élevé) dépeint un monde fragmenté affecté par la compétition entre pays, une croissance économique lente, des politiques orientées vers la sécurité et la production industrielle et peu soucieuse de l'environnement.
- **Le SSP4** (défi d'adaptation élevé, faible défi d'atténuation) est celui d'un monde marqué par de grandes inégalités entre pays et en leur sein. Une minorité y serait responsable de l'essentiel des émissions de GES, ce qui rend les politiques d'atténuation plus faciles à mettre en place tandis que la plus grande partie de la population resterait pauvre et vulnérable au changement climatique.



- **Le SSP5** (faible défi d'adaptation, défi d'atténuation élevé) décrit un monde qui se concentre sur un développement traditionnel et rapide des pays en voie de développement, fondé sur une forte consommation d'énergie et des technologies émettrices de carbone; la hausse du niveau de vie.

Au rang des autres changements, le 5e rapport présente des projections de court terme, à la demande du monde politique (2035). Les négociations internationales étant à échéance courtes. Y sont également développés les résultats de projections d'ici 2300, pour montrer que les effets du réchauffement climatique ne s'arrêtent pas à 2100.

### *Quels résultats ?*

Parmi les résultats obtenus dans le cadre de ce rapport citons les quelques informations ci-dessous :

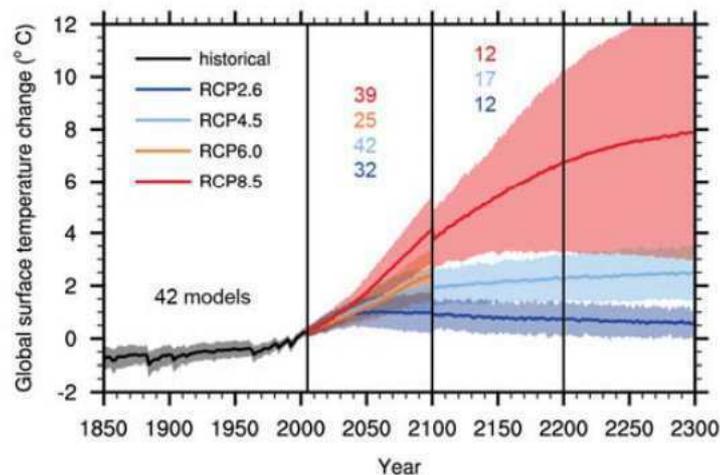
Une certitude croissante du rôle de l'homme dans le réchauffement climatique. Elle est "extrêmement probable" au lieu de « probable » lors du 3<sup>e</sup> rapport du GIEC en 2001 ;

A court et moyen terme, les températures augmentent. Entre 2016 et 2035, la température de l'air devrait probablement augmenter de 0,5°C (+1,2°C par rapport à 1850) ;

**Pour les hausses de températures**, le graphique ci-dessous synthétise les résultats obtenus pour les différents scénarios. Les courbes pleines représentent les moyennes obtenues pour le scénario correspondant. Les surfaces colorées représentent l'écart type (5 à 95%) des données : c'est-à-dire qu'il représente la dispersion des données. Enfin, les chiffres colorés indiquent, pour une période, le nombre de modèles de projections climatiques utilisées pour un scénario ;



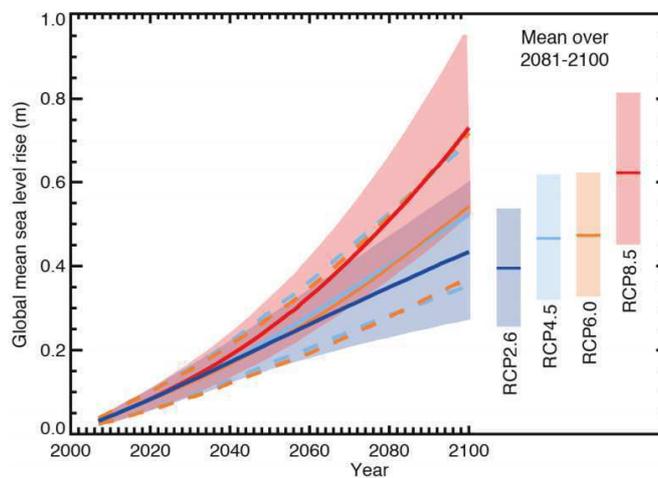
Figure 27 Augmentation des températures



Le rapport prévoit des fréquences et une intensité des précipitations en augmentation.

La hausse du niveau de la mer est plus importante. Tous scénarios confondus, celle-ci est située entre 29 et 82 centimètres d'ici à la période 2081-2100. La fonte du Groenland et de l'Antarctique est en effet revue à la hausse. Notons tout de même qu'un mètre d'élévation du niveau des mers toucherait directement 600 à 700 millions de personnes à l'échelle ;

Figure 28 Augmentation du niveau de la mer



AU niveau des trajectoires : la plus optimiste conduit à un maintien des températures en dessous du seuil de 2°C en 2100 par rapport au niveau de 1850. En revanche, trois des trajectoires étudiées conduisent à une hausse des températures au-dessus de 2°C. Enfin, le scénario le plus pessimiste correspondant à aucune action entreprise en faveur du climat conduit à une augmentation des températures de 5,5°C.

