



Changement climatique et horticulture



Institut technique de l'horticulture

Changement climatique et horticulture

Changement climatique et horticulture



REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier les différentes personnes qui ont contribué à la réalisation de ce document et tout particulièrement Monsieur Bernard Itier pour sa relecture, les différents conseils formulés sur la rédaction ainsi que pour les compléments d'information apportés. Bernard Itier, directeur de recherche à l'Inra, a collaboré au projet Climator en ayant en charge la thématique « Eau ».

Merci également au GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) d'autoriser la diffusion libre des figures qu'il publie et dont certaines ont été reprises dans ce document. L'auteur remercie enfin Météo France pour avoir autorisé la diffusion de certaines de ses figures dans cette synthèse.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	11
CARACTERISATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	13
1 A l'origine du changement climatique	13
2 Des températures en hausse	14
2.1 Températures moyennes	14
2.2 Températures minimales et maximales	15
3 Des variations saisonnières de précipitations	16
4 Des évènements climatiques extrêmes vers la hausse	17
5 Un rayonnement solaire changeant	17
6 Bilan du changement climatique prévu en France	17
LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	19
1 Sur le niveau de la mer	19
2 Sur les cours d'eau et les nappes	19
3 Sur les propriétés des sols	19
4 Sur la biodiversité	20
4.1 Généralités	20
4.2 Biodiversité végétale	20
4.3 Biodiversité animale et fongique	21
4.4 Vie du sol	22
4.5 Interactions entre espèces, les prévisions	22
5 Sur l'activité agricole	22
5.1 L'influence du CO ₂	23
5.2 L'influence des changements de températures et de précipitations	23
5.3 L'influence des évènements climatiques extrêmes	24
5.4 Fréquence et intensité des attaques parasitaires	25
6 Impact supposé du changement climatique sur les productions horticoles	25
CONCLUSION	27
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	28

INTRODUCTION

Les productions végétales sont fortement dépendantes des conditions environnementales et en particulier des conditions climatiques.

L'**eau**, dont celle apportée par les pluies, est un élément essentiel à l'existence des végétaux. C'est le constituant le plus important d'une plante au plan pondéral et il tient un rôle tant sur le plan physique (agent transporteur) que chimique (solvant) ou biochimique. Il est très important dans la fonction de transpiration qui conditionne la possibilité d'entrée du gaz carbonique nécessaire à la photosynthèse et qui contribue au rafraîchissement des plantes (Chassériaux et Rivière, 1999).

Les plantes ont besoin de **lumière**, dont celle du soleil, qui leur apporte l'énergie nécessaire pour effectuer la photosynthèse et produire des sucres indispensables à leur croissance. La lumière a une forte influence sur la capacité à fleurir des végétaux et par conséquent à se reproduire (Hamrick, 2003).

Les **températures** favorisent ou défavorisent la croissance des parties végétatives et des fleurs, et à chaque plante correspond une plage de températures optimales (Hamrick, 2003).

Les conditions climatiques influencent également les cultures végétales de manière indirecte en ayant un impact sur les populations animales, dont les populations d'arthropodes et de micro-organismes nuisibles ou utiles, et sur les écosystèmes d'une manière générale.

Afin de mieux maîtriser les conditions climatiques, une partie des cultures végétales est actuellement conduite

sous serre. Cet outil permet aux producteurs d'abriter les végétaux des intempéries et de mieux maîtriser les températures et la lumière apportées. Néanmoins, les températures sous la serre sont liées aux températures extérieures et ces structures utilisent le rayonnement naturel fourni par le soleil.

Par conséquent, le changement climatique doit être pris en compte par les producteurs de végétaux en plein air mais aussi sous serre pour maîtriser au mieux les itinéraires de culture.

Cette étude a pour but d'apporter des clés de réflexion aux professionnels de la filière de l'horticulture en particulier aux producteurs et aux expérimentateurs.

Elle s'attache dans un premier temps à caractériser le changement climatique observé et à venir en rappelant d'abord les mécanismes qui régissent le climat sur Terre. Elle présente ensuite les changements de températures, de précipitations et de rayonnement solaire opérés et prévus, à une échelle globale, européenne et française dans la mesure où les données sont disponibles.

Dans un second temps, l'étude indique les impacts du changement climatique sur différents critères tels que l'eau, les propriétés des sols ou la biodiversité, ayant une influence sur les productions végétales. Les impacts sur les activités agricoles ont également été décrits dans la littérature et un point est fait à ce sujet. La dernière partie porte sur les impacts du changement climatique sur les productions ornementales, extrapolés à partir des informations citées dans les paragraphes précédents.

CARACTERISATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

1 A l'origine du changement climatique

Le climat de la Terre est issu du phénomène naturel d'effet de serre. L'effet de serre résulte de la présence dans l'atmosphère de gaz qui absorbent le rayonnement infrarouge thermique émis par la surface de la Terre et qui le réémettent partiellement vers cette surface entraînant son réchauffement (voir figure 1). Ainsi, grâce à l'effet de serre, la température moyenne globale de la Terre atteint en moyenne + 15 °C alors que, sans cela, elle serait de - 18 °C (Seguin et Soussana, 2008).

Les gaz à l'origine de l'effet de serre sont nommés « gaz à effet de serre » ou GES.

Parmi les GES, certains ont vu leurs concentrations augmenter par les activités humaines. Ceux-ci sont (Marland et Boden, 2001 ; GIEC, 2007 ; Seguin et Soussana, 2008) :

- Le dioxyde de carbone ou CO₂. Le CO₂ est naturellement présent dans l'atmosphère et son taux a connu des variations au fil des temps géologiques. Toutefois, les concentrations actuelles ont été fortement influencées par les activités humaines telles que la combustion d'énergies fossiles ou la déforestation. Ainsi le niveau actuel est d'environ 380 ppm¹ de CO₂

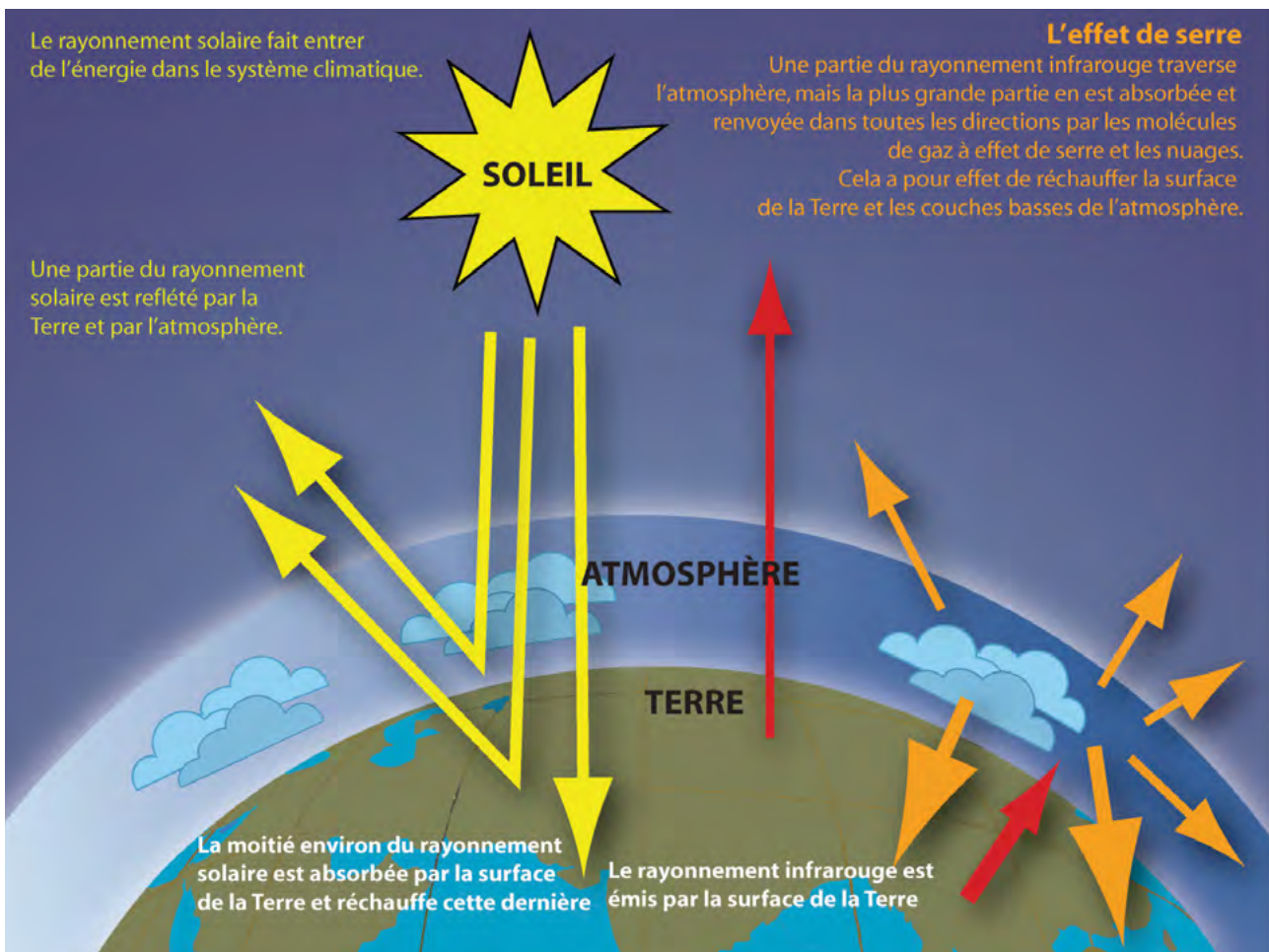


Figure 1 : Représentation simplifiée de l'effet de serre naturel (GIEC, 2007 - Fig 1, FAQ 1.3).

¹ ppm (parts par million) : unité qui fait référence au nombre de molécules de gaz dans un échantillon atmosphérique donné par million de molécules d'air (GIEC, 2007).

alors qu'il s'élevait à 280 ppm environ dans les années 1750, avant la révolution industrielle.

- Le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux ou protoxyde d'azote (N₂O). Les teneurs de ces autres GES ont augmenté notamment par la combustion d'énergies fossiles et par les activités agricoles.
- Les chlorofluorocarbones (CFC) d'origine industrielle. Ils étaient inexistantes avant 1750 et sont par la suite venus allonger la liste des GES.

Les augmentations de concentration du dioxyde de carbone, du méthane et de l'oxyde nitreux dans l'atmosphère sont illustrées sur la figure 2.

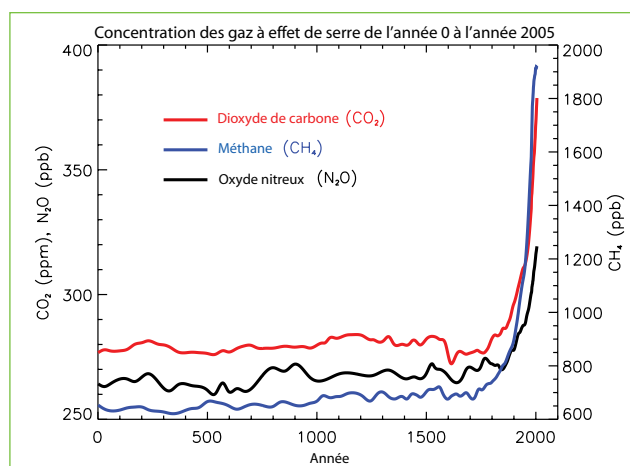


Figure 2 : Concentrations atmosphériques des principaux gaz à effet de serre de longue durée, depuis 2000 ans. Leur augmentation depuis l'ère industrielle (vers 1750) est d'origine humaine. Les unités de concentration sont exprimées en parts par million (ppm) ou en parts par milliard (ppb). Elles indiquent le nombre de molécules de gaz à effet de serre dans un échantillon atmosphérique donné par million ou milliard de molécules d'air, respectivement (GIEC, 2007 - fig 1, FAQ 2.1).

Les gaz à effet de serre ne sont pas les seuls éléments à avoir un impact sur le climat terrestre. L'ozone, les aérosols atmosphériques et les modifications d'albédo² ont aussi une influence :

- D'abord, les activités de l'homme ont une influence sur les taux d'ozone ou O₃ dans l'atmosphère. Elles sont en effet à l'origine d'une destruction de l'ozone dans la stratosphère³ et d'une augmentation d'ozone dans la troposphère⁴. Alors que la destruction de l'ozone amènerait à un refroidissement, sa production contribue au réchauffement climatique. Et, actuellement, la production d'O₃ troposphérique est plus importante que

la destruction de l'O₃ stratosphérique. Ainsi, l'effet de l'activité humaine sur la teneur en ozone contribue au réchauffement climatique.

- Ensuite, les contributions humaines aux aérosols ont plutôt un effet de refroidissement car les aérosols dispersent le rayonnement solaire. Toutefois, cet effet de refroidissement est moins important que l'effet de réchauffement dû aux GES.
- Quant aux modifications d'albédo, leur effet peut aller dans les deux sens : réchauffement par baisse d'albédo (cas de la fonte de la banquise) ou refroidissement par augmentation d'albédo (cas de la désertification).

Tous effets confondus, c'est l'augmentation des concentrations en GES dans l'atmosphère qui est le principal phénomène du changement climatique et qui contribue au réchauffement de la Terre (GIEC, 2007 ; Seguin et Soussana, 2008).

Les experts ont donc étudié ces différents phénomènes et leurs interactions et ont établi des modèles permettant de caractériser le changement climatique pour le futur (Seguin et Soussana, 2008). Les parties qui suivent présentent les évolutions des différentes composantes du climat (températures, précipitations, etc.) observées et prévues par les modèles.

2 Des températures en hausse

2.1 Températures moyennes

Les faits constatés

Concernant les températures moyennes à l'heure actuelle :

- A l'échelle du globe, celles-ci ont augmenté de 0,8 °C depuis 1750 sur les terres et les océans. Cette augmentation est estimée à + 1,0 °C si l'on considère uniquement les terres (Jol *et al.*, 2008).
- A l'échelle européenne, les températures ont augmenté de 1,2 °C sur les terres seules. Ce réchauffement a été plus prononcé dans le sud-ouest, dans le nord-est et dans les zones montagneuses de l'Europe (Jol *et al.*, 2008).
- Sur le territoire français, au cours du XX^e siècle, les

² L'albédo est la part d'énergie solaire réfléchi par un corps par rapport à celle qu'il a reçue. Plus un corps est clair et plus il est réfléchissant : son albédo est fort. À l'inverse, un corps sombre absorbe davantage les rayons du Soleil : son albédo est faible (www.cea.fr).

³ Stratosphère : couche de l'atmosphère située de 18 à 50 km d'altitude, entre la troposphère et la mésosphère (Le Petit Robert).

⁴ Troposphère : partie de l'atmosphère comprise entre le sol et la stratosphère (Le Petit Robert).

températures moyennes ont subi une hausse de l'ordre de 1 °C et le réchauffement s'est accéléré en fin de siècle (Moisselin, en ligne).

Les prévisions pour le futur

Concernant les températures moyennes dans le futur, le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) a travaillé sur l'établissement de modèles climatiques avec la définition de différents scénarios afin d'aboutir à des prédictions sur le changement climatique.

A l'occasion de la sortie du 4^e rapport d'évaluation du GIEC en 2007, les modèles de prédiction ont indiqué une élévation des températures de 1,8 °C (fourchette

de vraisemblance de 1,1 à 2,9 °C) à 4,0 °C (fourchette de 2,2 à 6,4 °C) pour la fin du XXI^e siècle (GIEC, 2007).

Le 5^e rapport d'évaluation du GIEC, publié au cours des années 2013 et 2014, indique que les simulations prévoient, par rapport à la période 1850-1900, une augmentation de température vers la fin du XXI^e siècle qui dépassera 1,5 °C (probabilité forte) et avec une augmentation maximale de 4 °C possible. Après 2100, le réchauffement se poursuivra, il continuera à présenter une variabilité interannuelle et ne sera pas uniforme d'une région à une autre (GIEC, 2013). Le tableau 1 indique les élévations de températures estimées selon les différents scénarios considérés pour l'établissement du 5^e rapport d'évaluation.

Tableau 1 : Evolution projetée de la moyenne de la température de l'air à la surface du globe pour le milieu et la fin du XXI^e siècle par rapport à la période de référence 1986-2005 (d'après GIEC, 2013).

[N.D.L.R. : Le scénario RCP2,6 a été établi selon un contexte socioéconomique vertueux. A l'opposé, le scénario RCP8,5 a été établi selon un contexte socioéconomique particulièrement débridé.]

	Scénario	2046-2065		2081-2100	
		Moyenne	Plage probable	Moyenne	Plage probable
Evolution de la température moyenne à la surface du globe (°C)	RCP2,6	1,0	0,4 à 1,6	1,0	0,3 à 1,7
	RCP4,5	1,4	0,9 à 2,0	1,8	1,1 à 2,6
	RCP6,0	1,3	0,8 à 1,8	2,2	1,4 à 3,1
	RCP8,5	2,0	1,4 à 2,6	3,7	2,6 à 4,8

2.2 Températures minimales et maximales

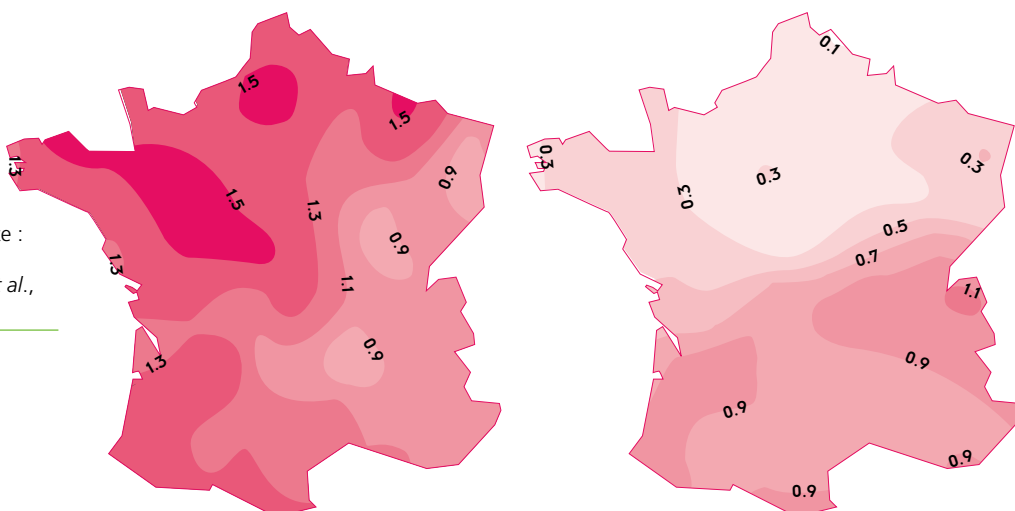
Les faits constatés

Concernant les températures minimales et maximales, elles sont en hausse. Ainsi, la fréquence en jours chauds augmente et la fréquence en jours froids diminue. Jusqu'à présent en France, les températures minimales

ont augmenté 2 fois plus vite que les maximales. Par ailleurs, les minimales ont particulièrement augmenté dans le nord et l'ouest du pays tandis que les maximales ont le plus augmenté dans le sud (voir la figure 3) (Moisselin, en ligne ; Moisselin *et al.*, 2002 ; Seguin et Soussana, 2008).

Figure 3 : Réchauffement observé en France entre 1901 et 2000.

A gauche : les augmentations de températures minimales (°C). A droite : les augmentations de températures maximales (°C). (d'après Moisselin *et al.*, 2002).



Les prévisions pour le futur

Pour le futur, il est très probable que les vagues de chaleur estivales en France soient à la fois plus fréquentes, plus longues et plus intenses. Une façon de caractériser les vagues de chaleur estivales consiste à comptabiliser le nombre de jours où la température estivale dépasse 35 °C. Pour la période 1960-1989, ce nombre n'excédait pas 1 jour par été sur la France. Pour le futur, selon les différents scénarios du GIEC 2007, ce nombre passerait à 7 jours au mieux et à 14 jours au pire (Planton, en ligne).

3 Des variations saisonnières de précipitations

Les faits constatés

Concernant les précipitations annuelles et leur évolution au cours du XX^e siècle :

- Elles ont augmenté de 10 à 40 % dans le nord et l'ouest de l'Europe tandis qu'elles ont diminué de 20 % dans certaines régions du sud (Jol *et al.*, 2008).
- Sur le territoire français, elles étaient globalement en hausse avec des variations saisonnières : moins de précipitations en été et davantage en hiver. Des

contrastes nord-sud tels que ceux observés à l'échelle européenne sont apparus avec des précipitations en hausse dans le nord et le centre de la France et des sécheresses accrues dans les régions méridionales (Moisselin, en ligne ; Seguin et Soussana, 2008).

Les prévisions

Pour le futur, les tendances prévues sont identiques à celles déjà observées :

- A l'échelle européenne, les scénarios prévoient une certaine augmentation de la pluviométrie en Europe du nord, au printemps, à l'automne et en hiver, estimée entre 0 à + 3 % par décennie. Les prévisions pour la saison estivale dans le nord sont plus variables et indiquent une variation de pluviométrie de - 1,8 à + 0,8 %. Concernant l'Europe du sud, la réduction de la pluviométrie semble incontournable avec une baisse allant de - 0,2 % à - 6 % par décennie (Seguin et Soussana, 2008). Les dernières estimations du GIEC (2013) à l'échelle mondiale suivent ces mêmes tendances, mais qui sont plus ou moins marquées selon le scénario envisagé (*figure 4*).
- A l'échelle de la France, l'un des scénarios du GIEC (2007) prévoit que d'ici aux années 2090-99, les précipitations hivernales en France augmentent de 5 à 10 % et que les précipitations estivales diminuent de plus de 20 %. Des différences de précipitations à l'échelle régionale sont également prévues (Planton, en ligne).

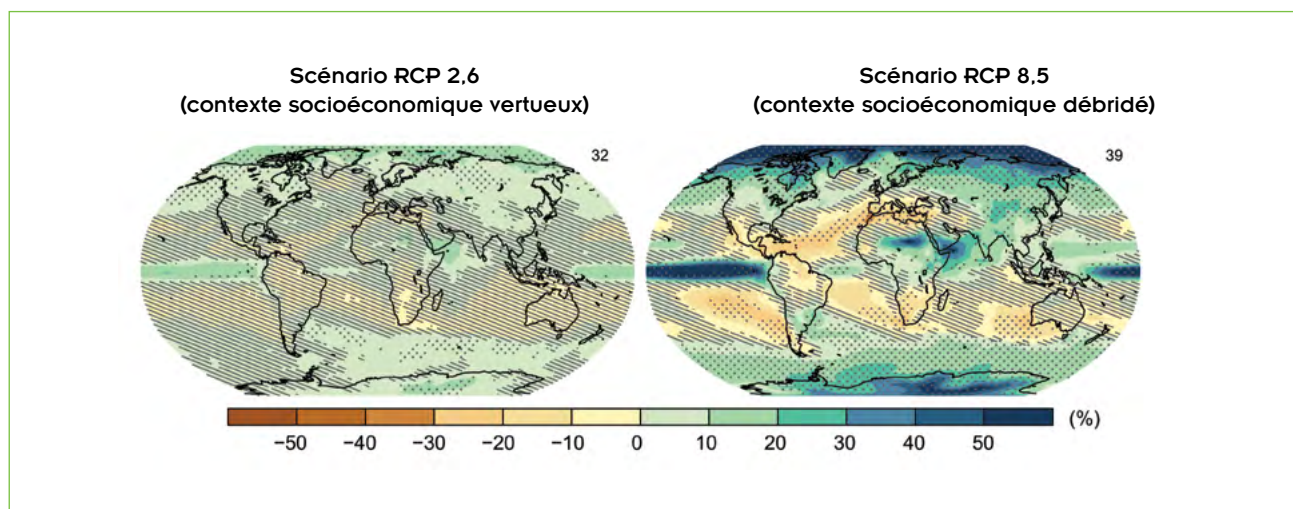


Figure 4 : Evolution moyenne en pourcentage des précipitations moyennes annuelles (entre 1986-2005 et 2081-2100), (GIEC 2013 – Fig. RID.8.b).

D'autre part, une augmentation de la variabilité interannuelle des précipitations moyennes devrait être également constatée (Marbaix et Ypersele, 2004).

4 Des événements climatiques extrêmes vers la hausse

Les précipitations moyennes et les épisodes de précipitations extrêmes ne dépendent pas des mêmes facteurs.

Les faits constatés

Jusqu'à maintenant, la fréquence et l'intensité des épisodes de fortes précipitations ont crû sur la plupart des zones terrestres, même dans les endroits où les quantités cumulées de précipitations ont diminué (GIEC, 2007), informations confirmées par le 5^e rapport d'évaluation du GIEC (2013). Cependant, en France, il n'a pas encore été détecté de changements notables en ce qui concerne les précipitations intenses et les tempêtes (Moisselin, en ligne).

Les prévisions

Dans le futur, les périodes de fortes pluies devraient être de plus en plus fréquentes notamment en hiver. Les périodes de sécheresse devraient augmenter en longueur et en fréquence en particulier sur le bassin méditerranéen ainsi que sur l'ouest et le centre de l'Europe (GIEC, 2007 ; Bates *et al.*, 2008 ; Jol *et al.*, 2008)

En ce qui concerne les tempêtes, aucune tendance ne s'est dégagée pour le moment. Pour le futur, en Europe, les modèles prévoient une légère baisse de la fréquence des tempêtes mais qui seraient en revanche plus intenses (Jol *et al.*, 2008). En France plus particulièrement, les changements concernant les tempêtes ne paraissent pas significatifs (Planton, en ligne).

5 Un rayonnement solaire changeant

Le rayonnement solaire (ou insolation) à la surface de la Terre représente une source d'énergie primaire qui a permis à la vie de se développer sur la planète. Il a

également une influence sur la température globale, l'évaporation de l'eau et les cycles hydrologiques. Sa valeur s'exprime en W/m^2 ou en $J/cm^2/j$.

Le rayonnement solaire parvenant jusqu'à la Terre n'a été mesuré qu'à partir de la fin des années 1950. Ces mesures ont montré que le rayonnement solaire global avait baissé de 6 à 9 W/m^2 entre 1960 et 1990, représentant un affaiblissement du rayonnement de 4 à 6 %. Cependant, depuis 1985, le rayonnement solaire augmente de nouveau. Ce phénomène a été observé à divers endroits à travers les continents et en situation de ciel clair mais aussi en situation nuageuse. Les chercheurs émettent donc l'hypothèse que les aérosols contribuent directement et indirectement à l'augmentation du rayonnement solaire perçu sur terre (Wild *et al.*, 2005).

Au niveau français, une étude menée par Météo France sur des données datant de 1931 à 2000 a décelé une tendance du rayonnement solaire à diminuer dans la moitié nord et à augmenter dans la moitié sud (Seguin et Soussana, 2008).

6 Bilan du changement climatique prévu en France

Ce bilan a été réalisé à partir des données provenant du projet Climator. Ce projet de recherche a été mené entre 2007 et 2010 par 8 organismes de recherche et de développement agricole et le tout a été coordonné par l'Inra. Climator (Brisson et Levrault, 2012) a permis de fournir des méthodes et des résultats sur l'impact du changement climatique sur des systèmes cultivés agricoles et forestiers, à l'échelle de la parcelle, et dans des climats contrastés français. Le tableau 2 de la page suivante reprend les résultats de Climator obtenus pour chacune des 6 régions agro-climatiques définies dans le cadre du projet.



Figure 5 : Logo du projet de recherche Climator (Inra).

Tableau 2 : Changement climatique prévu dans les différentes régions agro-climatiques françaises dans le futur proche et le futur lointain. Les prévisions sont issues des résultats du modèle ARPEGE du CNRM (Centre national de recherches météorologiques) (d'après Brisson et Levraut, 2012).

	Augmentation des températures moyennes (°C)		Variation du cumul annuel des précipitations (mm)		Accroissement moyen de l'ETP (mm/j)	Accroissement moyen du rayonnement (J/cm ² /j)
	FP	FL	FP	FL	du PR au FL	du PR au FL
Centre-nord	+ 1,4 à 1,5	+ 2,8 à 2,9	- 73	- 109 à - 183	+ 0,4	+ 120 à 130
Nord-est	+ 1,4 à 1,6	+ 2,8 à 3	- 37 à - 109	- 109 à -182	+ 0,5	+ 130
Ouest	+ 1,3	+ 1,6	- 37	- 110	+ 0,4	+ 130
Centre-est	+ 1,5	+ 3,0	- 110	- 183	+ 0,5 à 0,6	+ 100
Sud-ouest	+ 1,4	+2,7	- 73 à - 146	- 182 à -219	+ 0,5 à 0,6	+ 150
Sud-est	+ 1,4	+2,7	- 109	- 182	+ 0,5	+ 100

LÉGENDE

Les zones climatiques françaises sont découpées selon les régions administratives :

Centre-nord : Nord-Pas-de-Calais, Haute-Normandie, Picardie, Champagne-Ardenne, Ile-de-France et Centre.

Nord-est : Bourgogne, Franche-Comté, Lorraine et Alsace.

Ouest : Bretagne, Basse-Normandie, Pays de la Loire.

Centre-est : Limousin, Auvergne et Rhône-Alpes.

Sud-ouest : Poitou-Charentes, Aquitaine et Midi-Pyrénées.

Sud-est : Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur.

PR : Passé récent soit la période de 30 années de 1970 à 1999, considérée comme référence pour juger les impacts du changement climatique.

FP : Futur proche soit la période de 30 années de 2020 à 2049.

FL : Futur lointain soit la période de 30 années de 2070 à 2099, qui indique ce qui se passerait si nous ne mettions en place aucune mesure d'adaptation au changement climatique.

ETP : Evapotranspiration potentielle

LES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

1 Sur le niveau de la mer

Les faits constatés

Les observations satellite ont montré que le niveau de la mer avait augmenté de 3,1 mm/an de 1993 à 2008 (Jol *et al.*, 2008).

Les prévisions

Cette montée du niveau de la mer déjà avérée pourrait être à l'origine d'événements néfastes qui sont principalement (Marbaix et Ypersele, 2004 ; Jol *et al.*, 2008) :

- Inondations.
- Erosion côtière.
- Perte de terres proches du niveau actuel de la mer.
- Intrusion d'eau salée à l'intérieur des terres, provoquant la salinisation des sols et des nappes et la perturbation des zones humides et écosystèmes situés en zone côtière.

2 Sur les cours d'eau et les nappes

Les faits constatés

Il a été constaté que les eaux de moyenne et de haute latitudes s'adouciaient tandis que les eaux de basse latitude ont tendance à se saliniser (GIEC, 2007).

Les prévisions

En termes quantitatifs, concernant les cours d'eau, des augmentations du ruissellement annuel moyen⁵ sont prévues en Europe atlantique et septentrionale (au dessus de 47° Nord⁶). Des diminutions sont par contre prévues en Europe centrale, méditerranéenne et orientale. La variation du débit selon les saisons devrait être importante avec des débits plus élevés lors de la saison de débit de pointe (hiver) et plus bas en été (Bates *et al.*, 2008). Des débits élevés en hiver augmentent le

risque d'inondations tandis que des débits faibles en été peuvent entraîner une baisse de la qualité des eaux de surface (Marbaix et Ypersele, 2004).

Par ailleurs, dans le futur lointain, le projet Climator prévoit pour la France, une baisse généralisée des précipitations hivernales. Ce phénomène entraînera des difficultés de recharge des aquifères. Les projets d'accroissement des capacités de stockage d'eau pour l'irrigation devront en tenir compte (Brisson et Levrault, 2012).

En termes qualitatifs, les modèles prévoient une augmentation de la température des eaux de surface des lacs et des rivières encore plus importante que celles de la température de l'air. Ce phénomène va avoir un impact sur les écosystèmes et risque de favoriser notamment le développement de cyanobactéries toxiques (Jol *et al.*, 2008).

3 Sur les propriétés des sols

Les chercheurs s'interrogent sur l'impact du changement climatique sur les sols (surfaces terrestres) car les sols tiennent un rôle important dans le cycle du carbone sur Terre. En effet, les sols sont d'importants réservoirs de carbone car ils sont notamment constitués de matière organique qui contient entre 50 et 60 % de carbone (Commission européenne, 2010). A l'échelle planétaire, la quantité de carbone organique dans les sols représente environ trois fois celle stockée dans la végétation et deux fois celle présente dans l'atmosphère. Ainsi, si la teneur en carbone dans le sol venait à varier à cause du changement climatique, cela pourrait avoir un impact considérable sur le carbone atmosphérique impliquant une accentuation (déstockage) ou une atténuation (stockage) du réchauffement (Brisson et Levrault, 2012).

Les experts cherchent donc à connaître l'importance relative des mécanismes impliqués dans le cycle du carbone dans le sol et l'impact du changement climatique sur ces mécanismes (ex. : comportement des micro-organismes du sol) (Sierra, 2010).

⁵ Le ruissellement annuel moyen correspond à la valeur moyenne du volume annuel d'eau passant dans un cours d'eau (webworld.unesco.org).

⁶ La France se situe entre les latitudes 42° N et 51° N (Dunkerque est situé au niveau du 51° degré de la latitude nord et Perpignan au niveau du 42° degré).

Les résultats du projet Climator ont fait apparaître que 60 % de l'impact du changement climatique sur la dynamique de la matière organique (MO) était dû aux interactions système de culture/site/période/sol. Parmi ces variables, c'est le type de système de culture qui a le plus d'impact sur la dynamique de la MO. D'autre part, il a pu être avancé que la dynamique de la MO était peu sensible aux variations climatiques annuelles et qu'elle reflétait d'avantage les effets des composantes du système à moyen et long terme (Brisson et Levraut, 2012).

Hormis la perturbation de l'effet réservoir en carbone du sol, le changement climatique pourrait avoir les impacts suivants (Bates *et al.*, 2008 ; Jol *et al.*, 2008 ; Dixon, 2009) :

- Une augmentation en température de 1 °C mène à une augmentation de l'évaporation du sol de 2 à 3 %.
- Les pluies alternées avec les sécheresses risquent d'augmenter la sensibilité des sols à l'érosion.
- Des précipitations accrues et un gel réduit pourraient accélérer la perte d'éléments nutritifs des terres cultivées et engendrer une augmentation de la charge en nutriments des nappes et des cours d'eau.
- Ensuite, les changements physico-chimiques du sol risquent d'avoir un impact sur la biodiversité du sol (voir le paragraphe 4.4.).

4 Sur la biodiversité

4.1 Généralités

Les changements de climat ont une influence déjà visible sur les organismes individuels et la composition des écosystèmes. Parmi ces changements, l'élévation de température est le facteur considéré comme le plus important par les experts mais l'on connaît mal l'effet des autres phénomènes tels que les changements de précipitations (Gitay *et al.*, 2002 ; Walther *et al.*, 2009). La biodiversité est également affectée par d'autres facteurs comme le changement d'affectation des terres, la destruction des habitats naturels ou l'émission de substances polluantes, issus des activités humaines. Une fois de plus, les chercheurs ont pour labeur d'établir des modèles de simulation fiables et adaptables à grande échelle (Gitay *et al.*, 2002).

Les faits constatés

A l'heure actuelle, les experts ont pu observer les incidences du changement climatique sur la biodiversité

sur des critères aussi variés que (Gitay *et al.*, 2002 ; Marbaix et Ypersele, 2004 ; Walther *et al.*, 2009) :

- Les densités de populations.
- La migration.
- La disparition d'espèces dans un écosystème.
- La naturalisation (acclimatation) d'espèces exotiques à un écosystème.
- Les périodes de reproduction animale et végétale.
- La durée de la période de croissance et les cycles de développement de manière générale.
- Les relations entre espèces (relations alimentaires, compétitions, occupation de l'espace).
- La fréquence des infestations parasitaires.

Les prévisions

D'après certains experts, en 2050, entre 18 et 35 % des espèces vivantes actuelles seraient condamnées à une extinction progressive (Marbaix et Ypersele, 2004).

Certaines espèces sont plus menacées que d'autres car le risque d'extinction augmente lorsque :

- Les habitats sont limités ou fragmentés et/ou diminuent.
- Les populations sont peu nombreuses et/ou diminuent.
- Leur fourchette climatique est limitée.

A l'opposé, le risque d'extinction est moins grand pour les espèces bénéficiant d'aires de répartition non fragmentées et étendues, de mécanismes de dispersion rapide et de larges populations (Gitay *et al.*, 2002).

Par ailleurs, il est probable que les espèces composant une communauté ne se déplaceront pas en même temps : les espèces réagiront individuellement aux changements climatiques avec des décalages temporels et de longues périodes de réorganisation. Cette tendance perturbera les écosystèmes établis et créera de nouveaux ensembles d'espèces moins diverses et plus prolifératrices (c'est-à-dire des espèces très mobiles, capables de s'établir rapidement) (Gitay *et al.*, 2002).

La plupart de l'information actuellement disponible porte sur les végétaux et les animaux mais très peu de travaux ont été menés sur les micro-organismes et l'invasion de micro-organismes exotiques grâce au changement climatique (Walther *et al.*, 2009).

4.2 Biodiversité végétale

Le climat (températures, mais aussi précipitations) est le principal facteur contrôlant la structure et la productivité végétale ainsi que la composition des espèces végétales à l'échelle mondiale (Gitay *et al.*, 2002).

► Les faits constatés concernant la phénologie⁷

Les cycles de développement des plantes se sont modifiés sous l'effet du changement climatique (Marbaix et Ypersele, 2004 ; Jol *et al.*, 2008 ; Seguin et Soussana, 2008) :

- Le débournement des plantes a lieu de plus en plus tôt au printemps. De 1970 à 2000, ces dates ont avancé de 6 jours en moyenne.
- La floraison et la maturité de plusieurs espèces ont pris jusqu'à 2 à 3 semaines d'avance. Ces plantes s'exposent donc à plus de risques de gel de printemps.
- La saison pollinique a avancé de 10 jours de 1950 à 2000, elle est également plus longue.
- L'époque de jaunissement des feuilles a reculé de près de 5 jours entre 1970 et 2000.
- La saison de végétation est plus longue en général et en Europe, elle a augmenté de 10 jours entre 1962 et 1995.

► Les faits constatés sur le changement de la répartition spatiale des espèces

Ces dernières années, il a pu être observé qu'une grande part des espèces végétales plantées dans les jardins en Europe ont des aires de répartition naturelle situées jusqu'à 1 000 km plus au sud. Il a aussi été constaté que les palmiers tels que *Trachycarpus fortunei* pouvaient être plantés en extérieur et y survivre sans être protégés grâce à l'adoucissement des hivers. La montée des températures n'a pas seulement permis aux espèces de survivre mais également de se reproduire. Pour reprendre le cas de *Trachycarpus fortunei*, grâce aux hivers plus doux, ce palmier a pu développer des populations fertiles sous les latitudes européennes (Walther *et al.*, 2009).

► Les prévisions sur le changement de la répartition spatiale des espèces

Les modèles de prévision indiquent que sur une grande échelle, les zones climatiques adaptées aux espèces de plantes tempérées et boréales pourront connaître un déplacement de quelques centaines de kilomètres vers le nord d'ici 2100 (donnée prédictive pour un réchauffement d'au moins 2 °C) (Gitay *et al.*, 2002 ; Jol *et al.*, 2008).

Les forêts vont se réduire au sud et s'étendre vers le nord. Les changements de climat prévus devraient favoriser certaines espèces végétales et en défavoriser d'autres, menant à des changements dans la répartition de la

végétation. Par exemple, 60 % des espèces végétales de montagne sont en risque d'extinction.

Ces changements de répartition couplés aux changements portant sur les nuisibles et les pollinisateurs vont également affecter l'état des forêts. En effet, les périodes de sécheresse et d'hivers doux vont contribuer à l'augmentation des populations de nuisibles et à une fragilisation encore plus importante des forêts.

Dans le sud et l'est de l'Europe, les forêts sont menacées par un autre phénomène exacerbé par le changement climatique : le risque de feux de forêt (Jol *et al.*, 2008).

En dernier lieu, certains experts se demandent si le développement structurel des sols pourra suivre le rythme des changements climatiques et permettre l'adaptation des végétaux sous de nouvelles latitudes (Gitay *et al.*, 2002).

4.3 Biodiversité animale et fongique

Les espèces animales nécessitent des températures et/ou des précipitations spécifiques et dépendent de la présence continue d'autres espèces nécessaires à leur alimentation (Gitay *et al.*, 2002).

Pour évaluer l'impact du changement climatique actuel sur la biodiversité, le GIEC a passé au crible pas moins de 2 500 études publiées sur le sujet (Gitay *et al.*, 2002). Parmi ces changements, l'on peut s'attarder sur les changements spatio-temporels touchant les animaux en particulier les arthropodes car ils jouent un rôle important concernant les productions végétales.

► Changements phénologiques : les faits constatés

Pour les arthropodes dont la dynamique de population est contrôlée par les températures, il a été constaté que le réchauffement avait les effets suivants :

- Avancement des cycles de développement (Jol *et al.*, 2008). Par exemple, il est prévu que l'apparition des premiers pucerons sur une saison devrait être avancée de 2 à 3 jours à chaque nouvelle décennie. En effet, la phénologie des pucerons indigènes et exotiques est fortement dépendante des variables climatiques (Walther *et al.*, 2009).
- Perturbation du cycle de développement chez les espèces ayant besoin d'hiverner pendant une certaine période de froid (Laštůvka, 2009).
- Développement d'une génération de plus par année.

⁷ Phénologie : étude des variations, en fonction du climat, des phénomènes périodiques de la vie végétale et animale (Le Petit Robert) [N.D.L.R. : migration, hibernation, mue, apparition et chute des feuilles, des fleurs, etc.].

C'est déjà le cas de différents papillons, notamment le carpacse dont une 3^e génération se développe maintenant chaque année en France. Ce phénomène a aussi été observé chez les ips (scolytes à l'origine de dommages sur différentes essences d'arbres) (Seguin et Soussana, 2008 ; Walther et al., 2009 ; Gagnon et al., 2011).

- Meilleure survie hivernale ou survie hivernale rendue possible (Gagnon et al., 2011).
- Changements dans la migration des insectes et des oiseaux : en Europe, les dates de départ sont plus tardives (Gitay et al., 2002).

► Changement de la répartition spatiale des espèces

La hausse des températures influe sur la dispersion de certaines espèces et favorise leur acclimatation vers le nord et/ou en altitude. Par exemple, concernant la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa*, la hausse des températures nocturnes a permis un allongement de la période de vol des adultes et une meilleure survie des larves, leur permettant ainsi de se disperser sur de plus grandes distances, d'élargir leur aire de répartition et de coloniser de nouvelles régions vers le nord et en altitude, déconnectées de leur aire actuelle de répartition (Walther et al., 2009 ; Gagnon et al., 2011).

D'autre part, en Suisse, les cochenilles nuisibles *Diaspidiotus distinctus*, *Coccus hesperidum* et *Icerya purchasi* habituellement cantonnées sous serres ont pu être observées en extérieur. Il en est de même pour des insectes auxiliaires, par exemple au Royaume-Uni, la punaise *Macrolophus caliginosus* et l'acararien *Neoseiulus californicus* ont commencé à s'établir en dehors des serres (Walther et al., 2009). Selon Laštůvka (2009), 5 à 7 % des ravageurs des serres pourraient s'installer à l'extérieur sous l'effet du réchauffement climatique mais ils ne prendraient pas beaucoup d'importance comme ils resteraient dans les limites de leurs besoins environnementaux.

4.4 Vie du sol

Concernant la faune et la flore du sol, il est d'abord peu probable qu'elles soient directement affectées par des variations de température car la majorité de ces organismes ont des plages thermiques relativement étendues (Gitay et al., 2002). Certains experts craignent néanmoins qu'en hiver, des sols plus chauds et plus humides favorisent l'activité microbienne et le maintien d'un certain taux d'inoculum dans les premiers centimètres du sol alors qu'actuellement, les périodes de gelées permettent de faire chuter les populations pathogènes du sol (Dixon, 2009).

La biodiversité des sols sera sûrement affectée indirectement par le changement climatique qui modifie les propriétés physico-chimiques des sols. En effet, l'augmentation des concentrations atmosphériques de CO₂ et les changements de la teneur en humidité peuvent modifier les teneurs en matière organique ou encore la répartition des racines dans le sol. Les micro-organismes associés à une végétation spécifique et qui ne peuvent pas s'adapter au même rythme que celui des changements de la couverture terrestre sont également menacés.

Ainsi les changements des propriétés des sols auront certainement un impact sur la qualité et la quantité de la biodiversité présente mais les connaissances des experts sur ces impacts sont à l'heure actuelle limitées (Gitay et al., 2002 ; Jol et al., 2008).

4.5 Interactions entre espèces : les prévisions

Les changements subis par une espèce animale ou végétale donnée peuvent avoir des conséquences sur l'évolution d'une autre espèce, qu'elle soit animale ou végétale.

Par exemple, entre espèces animales, certaines populations peuvent se démultiplier si les jeunes ne sont plus exposés à une pression de prédation habituelle. D'autres populations animales risquent de s'éteindre si les jeunes naissent avant que leurs sources de nourriture principales (animales ou végétales) ne soient disponibles (Jol et al., 2008 ; Gagnon et al., 2011 ; Sauvion et van Baaren, 2013). Ou encore, des espèces animales peuvent apparaître dans un écosystème suite à l'avancement de la phénologie de végétaux (Seguin et Soussana, 2008).

Le GIEC (2007) cite l'exemple de la chenille tordeuse de l'épinette, *Choristoneura fumiferana*, originaire d'Amérique du Nord dont le développement est favorisé par le changement climatique : la sécheresse provoque une augmentation du nombre d'œufs de chenille pondus ainsi qu'une hausse de la sensibilité des arbres-hôtes. Les infestations peuvent ensuite perdurer en cas d'absence de gel printanier tardif qui détruit habituellement les jeunes pousses des arbres, qui constituent une source alimentaire pour cette chenille.

5 Sur l'activité agricole

L'influence du changement climatique sur les cultures végétales s'exprimera à travers (Tubiello et al., 2007) :

- L'augmentation des concentrations atmosphériques en CO₂.
- La hausse des températures.
- Les bouleversements des cycles de précipitations et de transpiration.

- L'augmentation de la fréquence des températures et des précipitations extrêmes.
- Une pression plus importante de la part des pathogènes et des adventices.

5.1 L'influence du CO₂

L'augmentation du taux de CO₂ dans l'air peut mener à un accroissement de la biomasse des plantes et à des augmentations de rendement (cultures maïs aussi mauvaises herbes).

En effet, d'une manière théorique, le CO₂ atmosphérique stimule la photosynthèse (il augmente sa vitesse et son efficacité) et améliore la croissance des plantes. Ces mécanismes concernent du moins les plantes en C3, soit plus de 90 % des végétaux. Les plantes en C4 comme certaines graminées tropicales ou d'origine tropicale (cane à sucre, millet, maïs, sorgho), ont une activité photosynthétique déjà très performante (Gitay *et al.*, 2002 ; Tubiello *et al.*, 2007 ; Levraut, 2010).

Ensuite, l'augmentation du taux de CO₂ provoque une réduction de l'ouverture stomatique, ce qui permet aux plantes de mieux résister à une dégradation des conditions hydriques (Levrault, 2010).

Enfin, l'augmentation du CO₂ accroît le ratio C/N des plantes, il peut donc modifier la composition chimique des plantes et mener à (Gagnon *et al.* 2011) :

- Une baisse des composés de défenses à base d'azote.
- Une hausse des composés chimiques de défenses à base de carbone.
- Une hausse des concentrations en sucres.
- Une hausse de la production de composés volatils attirant les ravageurs.

Le CO₂ peut donc modifier la physiologie ou la morpho-

logie de la plante hôte et ainsi altérer positivement ou négativement l'interaction plante-agent pathogène (Gagnon *et al.*, 2011). Néanmoins, des interactions entre le taux de CO₂ et les températures et les précipitations peuvent survenir et il est apparu que des élévations de température diminuaient les effets positifs du CO₂. Des interactions entre le CO₂ et la disponibilité en éléments nutritifs ont également été mis à jour : des plantes cultivées dans des sols contenant de forts taux d'azote répondent mieux aux fortes concentrations de CO₂ (Tubiello *et al.*, 2007, Bates *et al.*, 2008).

5.2 L'influence des changements de températures et de précipitations

► Des impacts défavorables mais aussi favorables

Dans la partie 4 sur la biodiversité, il a été vu que les élévations de températures et les changements de précipitations avaient un effet sur les cycles phénologiques des végétaux. Dans certains cas, ces changements seront bénéfiques, dans d'autres cas, ils s'avèreront défavorables.

Concernant les impacts défavorables, le changement climatique amène à un risque accru de baisse de rendement en saison printanière et estivale pour cause de stress hydrique, dû à la baisse des précipitations couplée à l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle. De plus, les jours échaudants⁸ seront plus nombreux (*tableau 3*), et ceux-ci ont également des répercussions physiologiques qui pénalisent le rendement (Levrault, 2010).

Tableau 3 : Prévisions issues du modèle ARPEGE du CNRM (Centre national de recherche météorologique) concernant le nombre moyen de jours échaudants constaté et prévu, publiées dans le Livre vert du projet Climator (d'après Brisson et Levraut, 2012).

	Nombre moyen de jours échaudants (température maximum > 25 °C) d'avril à juin		
	Passé récent	Futur proche	Futur lointain
Centre-nord	7	10	19
Sud-ouest	15	21	35
Sud-est	27	36	48

Légende

Centre-nord : Nord-Pas-de-Calais, Haute-Normandie, Picardie, Champagne-Ardenne, Ile-de-France et Centre

Sud-ouest : Poitou-Charentes, Aquitaine et Midi-Pyrénées

Sud-est : Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur

⁸ L'échaudage thermique est une notion englobant l'ensemble des phénomènes ayant un impact négatif sur le remplissage des grains lorsque les températures, durant cette phase, s'élèvent (dans Brisson et Levraut, 2012).

Les risques augmentent également pour les végétaux qui demandent une période de dormance ou encore les végétaux qui débourrent plus tôt au printemps et qui sont donc plus exposés aux risques de gels et à des pertes de rendement. D'autant plus qu'à long terme, les arbres qui souffrent de pertes répétées de bourgeons risquent de dépérir (Dixon, 2009).

Concernant les impacts favorables, d'une manière générale, avec l'augmentation des températures, les besoins en chaleur nécessaires au développement complet d'une variété seront, en un lieu donné, plus rapidement et/ou plus fréquemment satisfaits. Cela a deux conséquences sur le plan agricole :

- De nouvelles possibilités de culture dans des zones jusque là trop fraîches (ex. : cultures d'été pouvant se développer dans le nord de la France et en moyenne montagne).
- Dans les zones de production actuelles, l'avancement des dates de récolte des cultures annuelles accroîtra les durées d'interculture ou élargira le choix des successions culturales.

En automne-hiver en particulier, du fait du réchauffement et de l'assèchement du climat, les gelées seront plus rares et les problèmes d'excès d'eau seront moins fréquents. Si une augmentation du taux de CO₂ atmosphérique vient s'ajouter, alors une augmentation des rendements des cultures d'hiver pourra être constatée (Brisson et Levrault, 2012).

Enfin, le raccourcissement des cycles culturaux (ex. : raccourcissement du cycle cultural du maïs de 41 jours) permettra « d'esquiver » les stress hydriques et thermiques de printemps et d'été (Levrault, 2010).

Ainsi, sous l'effet du changement climatique, on peut distinguer les cultures menées en hiver de celles menées au printemps (Brisson et Levrault, 2012) :

- Concernant les cultures d'hiver qui se déroulent de l'hiver jusqu'au début de l'été, les modèles prévoient une reprise des cultures plus précoce associée à une fin de cycle plus précoce. Le cycle cultural n'est en fin de compte ni allongé, ni raccourci, il est décalé dans le temps. L'impact du changement climatique est alors peu important.
- Concernant les cultures de printemps et les cultures pérennes dont la récolte est effectuée en automne, les modèles prévoient une reprise précoce des cultures et une récolte encore plus précoce. Le cycle cultural sera par conséquent accéléré et conduira à une baisse du rendement potentiel. En effet, l'accélération phénologique va mener à un déficit de rayonnement reçu par les plantes. Les producteurs auront donc tendance à choisir des variétés plus tardives afin d'éponger ce déficit mais ce choix aura comme conséquence une augmentation

des besoins en eau d'irrigation a une période où les quantités disponibles risquent d'être moins importantes.

► Remarques sur l'adéquation ressource / besoins en eau

La contrainte hydrique s'avère être la principale conséquence négative du changement climatique pour les cultures (Levrault, 2010). Des experts ont calculé qu'à l'horizon 2080, les besoins en irrigation au niveau mondial augmenteront de 20 % à cause de la baisse des précipitations, d'une augmentation de l'évaporation et d'une modification des périodes de croissance due au changement climatique (Bates *et al.*, 2008).

Les zones où les besoins en irrigation sont quasi-inexistants actuellement risquent de voir leurs besoins accrus. Par exemple, en France, de nouveaux besoins en irrigation vont apparaître ponctuellement pour la vigne, la prairie ou pour des cultures annuelles. Les besoins en irrigation des cultures actuellement irriguées vont eux aussi augmenter. (Brisson et Levrault, 2012).

Dans le cas de la France, le projet Climator a montré que le quart nord-est de la France bénéficiera d'une augmentation de températures sans avoir à subir de baisse importante de pluviométrie. Ainsi, des cultures, actuellement limitées pour des raisons thermiques, pourront alors être réalisées dans ces régions.

Par contre, les zones sud-ouest et sud-est de la France connaîtront de fortes diminutions des précipitations auxquelles viendra s'ajouter une hausse de l'évapotranspiration potentielle des plantes due à la chaleur. Le sud-ouest sera certainement la région la plus affectée par ces phénomènes, compte-tenu du fait que c'est une zone qui est sous la dépendance de sa propre aquifère et de la tension sur l'eau qui existe déjà occasionnellement. Ainsi, la question des possibilités futures en termes de cultures irriguées dans les zones déjà fragiles structurellement peut être posée (Brisson et Levrault, 2012).

Globalement, le changement climatique couplé à une augmentation des prélèvements en eau vont probablement provoquer une augmentation de la superficie des terres subissant un stress hydrique prononcé (Bates *et al.*, 2008). Les pratiques agricoles vont donc devoir être adaptées (Jol *et al.*, 2008).

5.3 L'influence des événements climatiques extrêmes

La fréquence en hausse des événements climatiques extrêmes (vagues de chaleurs, tempêtes, gelées, fortes précipitations) pourra mener à une réduction du

rendement moyen et à un accroissement de la variabilité du rendement d'une année à une autre au-delà des impacts du changement climatique global (Tubiello *et al.*, 2007 ; Bates *et al.*, 2008 ; Jol *et al.*, 2008).

5.4 Fréquence et intensité des attaques parasitaires

Les phénomènes prévus

Les changements de températures et de précipitations sont à l'origine d'une activité plus précoce de la part des insectes et de la prolifération de certaines espèces (voir paragraphe 2.4.3.) (Tubiello *et al.*, 2007).

En parallèle, l'avancée des stades phénologiques des végétaux entraînera une apparition des ravageurs et des maladies plus tôt en saison et dont les épidémies peuvent durer plus longtemps et montrer plusieurs cycles au cours d'une seule saison de végétation (Termorshuizen, 2008).

Certaines infestations parasitaires pourront se montrer d'autant plus fortes que la capacité des auxiliaires à combattre les populations de ravageurs risque de diminuer. En effet, le rôle des auxiliaires naturels (prédateurs et parasitoïdes) risque d'être détérioré par les changements climatiques qui peuvent perturber les cycles de développement des auxiliaires et des ravageurs menant à un décalage temporel des populations (Stireman *et al.*, 2005).

Dans le cadre du projet Climator, les pathosystèmes botrytis/vigne, rouille brune/blé et septoriose/blé ont été étudiés. Plusieurs scénarios prévoient une baisse de pression des maladies fongiques, mais d'autres indiquent le contraire. La prévision d'une baisse de la pression des maladies fongiques est expliquée par le fait que la durée d'humectation (durée de présence d'eau liquide sur les feuilles d'un couvert végétal) diminue dans les trois cas considérés. Mais, par exemple, si les sites de productions de la vigne se déplacent, alors la pression de botrytis pourra redevenir très forte (Brisson et Levrault, 2012).

L'efficacité des traitements phytosanitaires

Il sera certainement judicieux de renforcer et de réaliser plus tôt en saison le suivi des ravageurs et de diminuer les seuils d'intervention étant donné que le développement des insectes sera accéléré.

Concernant les insecticides, l'augmentation du taux de CO₂ devrait contribuer à augmenter leur efficacité puisque les insectes consommeraient plus de feuillage,

permettant une plus grande ingestion de matière active. En effet, au vu de leurs besoins en azote, certains experts estiment que les insectes consommeront plus de feuillage en conditions élevées de CO₂ afin de compenser la diminution en azote des tissus des plantes.

Pour ce qui est des insecticides systémiques, une baisse de leur efficacité peut être crainte puisque l'augmentation de CO₂ diminue la transpiration des plantes et contribue à l'épaississement de leur cuticule, ce qui aura comme conséquence de baisser leurs capacités à absorber les pesticides.

En revanche, une hausse des températures entraînera une augmentation de l'activité métabolique et donc une fois le pesticide entré dans la plante, sa translocation ainsi que son efficacité en seront augmentées, ce phénomène sera notamment intéressant pour ce qui est des herbicides (Gagnon *et al.*, 2011).

Une éventuelle augmentation de l'utilisation de pesticides et herbicides en réponse aux nouvelles espèces parasitaires risquerait d'endommager les communautés de faune et de flore, la qualité de l'eau et la santé humaine. Les réponses humaines à l'évolution climatique peuvent donc contribuer à dégrader encore plus la situation en supprimant également de façon non intentionnelle des espèces représentant de bons prédateurs naturels (Gitay *et al.*, 2002).

6 Impact supposé du changement climatique sur les productions horticoles

Cette étude laisse à penser que le changement climatique peut avoir des répercussions sur les productions ornementales. Le changement climatique est en effet à l'origine de phénomènes décrits ci-après qui auront un effet, direct ou indirect, positif ou négatif, sur les cultures d'ornement.

Le changement climatique va être à l'origine d'un « déplacement géographique » des espèces végétales vers le nord. Ainsi, la gamme d'espèces végétales cultivées sera amenée à évoluer avec l'acclimatation facilitée des espèces végétales originaires de climats chauds. Ce même facteur, lié à des problèmes de disponibilité en eau, pourra en même temps contraindre à l'abandon d'autres espèces végétales.

Concernant la ressource en eau, le changement climatique pourra induire une augmentation des besoins en eau (par l'augmentation des phénomènes d'évapotranspiration et la baisse des précipitations).

Ce facteur s'avérera particulièrement problématique dans le sud de la France et nécessitera des adaptations structurelles. Concernant la qualité de l'eau, il peut être craint à long terme une salinisation des sols et des nappes dans les zones côtières. D'autre part, l'augmentation de la température des eaux de surface pourra mener à une dégradation de la qualité de l'eau qui sera moins bien oxygénée et qui sera favorable au développement de micro-organismes toxiques.

Ensuite, la qualité des sols est susceptible d'évoluer mais cet effet est encore mal évalué. La vie microbienne sera peu affectée par les changements de température des sols mais elle le sera plus par les changements de leurs propriétés physico-chimiques. Certains experts craignent un meilleur maintien de l'activité des souches pathogènes grâce à des conditions hivernales plus clémentes.

Le changement climatique aura également un impact sur la croissance des cultures extérieures, qui sera favorable ou non en fonction de la période de l'année considérée. Les productions menées en automne et en hiver bénéficieront de températures clémentes et verront leur cycle de production avancé dans le temps. En période printanière, les cultures bénéficieront également de l'adoucissement des températures, les dates de débourrement des plantes et les dates de floraison sont déjà de plus en plus hâtives. Toutefois, l'avancement des dates de reprise de végétation mène à un plus grand risque d'exposition au gel et donc d'avortement des bourgeons. Les cultures menées au printemps et en été seront plus exposées aux stress hydrique et thermique. Une adaptation des calendriers de culture et de la gestion de l'eau est à prévoir. Enfin, concernant les espèces pérennes, la saison de végétation est déjà plus longue et cela se vérifie notamment par le jaunissement des feuilles qui a lieu de plus en plus tard.

Par ailleurs, les événements climatiques extrêmes qui seront probablement plus brutaux amèneront à des variabilités de rendement ou de qualité d'une année à une autre, en particulier pour les cultures menées en

extérieur. Il sera donc important de prendre des mesures de protection des cultures face à ces événements.

Concernant la protection des cultures face aux organismes nuisibles, il semble que le changement climatique rende la tâche difficile. En effet, les experts prévoient une prolifération et une activité plus précoce de la part des insectes et des micro-organismes.

La prévision des dégâts reste difficile à estimer car il faut prendre en compte les interactions entre espèces, animales et/ou végétales. Par exemple, certains experts craignent que les auxiliaires actuels perdent en efficacité à cause d'éventuels décalages temporels de leurs populations avec les populations de ravageurs. Les décalages des cycles de développement s'avèrent également importants lorsqu'il s'agit des interactions entre une espèce végétale et une espèce animale (insecte).

Il est donc conseillé pour le futur de renforcer la vigilance à propos du suivi des populations de nuisibles et de choisir des cultivars résistants. Etant donné cette évolution, la maîtrise de la stratégie globale de protection des cultures sera très importante. Elle devra faire en sorte d'éviter l'apparition de résistance aux pesticides chimiques et la destruction de la faune utile qui seraient dues à l'augmentation de l'utilisation de tels produits.

Enfin, les phénomènes qui viennent d'être décrits montrent que le changement climatique aura tout particulièrement un impact pour les cultures extérieures mais qu'il influencera également les cultures menées sous abri. Les cultures sous serre et tunnel bénéficieront certes d'une certaine protection face aux intempéries mais l'élévation des températures pourra avoir un impact sur la gestion du climat sous serre. Ces cultures sont également dépendantes de la disponibilité en eau et de sa qualité, qui risquent de pâtir du changement climatique. Enfin, à moins que les abris soient insect-proof, les cultures protégées risquent, comme les cultures extérieures, de subir une pression de plus en plus forte de la part des organismes nuisibles.

CONCLUSION

Le changement climatique est bien réel comme le montrent les observations effectuées ces dernières décennies. Il est maintenant clair que les activités humaines sont la cause principale de ce changement climatique. Selon la prise de conscience et l'évolution des activités humaines, le changement climatique pour les années à venir sera plus ou moins marqué. Des efforts sont faits pour prévoir au mieux l'évolution du changement climatique par la mise en place de modèles. Néanmoins, ces modèles sont souvent perfectibles car les experts sont confrontés à des problèmes d'interactions de facteurs qu'ils ne maîtrisent pas ou même qu'ils ne connaissent pas. En tout cas, il apparaît que, même si les concentrations de GES se stabilisaient, le réchauffement et l'élévation du niveau de la mer dus aux activités de l'homme continueraient pendant des siècles à cause des échelles de temps associées aux processus climatiques et aux rétroactions (GIEC, 2007). Par ailleurs, les changements de la diversité biologique en réponse aux changements climatiques et autres pressions devraient à leur tour influencer sur le climat en modifiant l'absorption et l'émission de GES, ou encore l'albédo et l'évapotranspiration (Gitay *et al.*, 2002). En tout cas, il est fort probable que l'on subisse un réchauffement global d'au minimum 2 à 3 °C d'ici la fin du XXI^e siècle (Seguin et Soussana, 2008).

L'impact du changement climatique sur les cultures végétales, dont les cultures ornementales, est déjà visible avec des périodes de croissance déjà élargies et l'implantation d'espèces d'origine tropicale sous nos latitudes.

Les cultures risquent d'être plus fréquemment soumises aux aléas climatiques et à la pression exercée par les ravageurs mais l'adaptation des pratiques et la mise en place d'outils et de mesures en conséquence tels que le renforcement des réseaux d'épidémiologie devraient permettre de limiter les impacts négatifs.

La demande et la disponibilité de l'eau sont certainement les facteurs les plus critiques et les plus limitants liés au changement climatique. Toute pratique ou technique luttant contre le gaspillage d'eau doit être adoptée. Le travail sur le choix d'espèces et variétés peu consommatrices d'eau s'avère incontournable en particulier pour les zones de production situées dans le sud de la France.

Ainsi, le changement climatique nécessitera que des mesures soient prises dans les exploitations horticoles en particulier en ce qui concerne la gestion de l'eau.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. et Palutikof, J. P. (dir.) (2008). *Le changement climatique et l'eau*. GIEC, Genève, 236 p.
- Bouma, E. (2008). Weather and climate change in relation to crop protection. In : KNPV. *Pest and climate change - Abstracts*. Wageningen, 3 décembre 2008, p. 1-2.
- Brisson N. et Levrault F. (coord.) (2012). *Livre Vert du projet CLIMATOR, Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces*. Ré-édition, Ademe, Angers, 336 p.
- Chassériaux G. et Rivière L.-M. (1999). L'eau et la plante. In : Michelot P. et Chambolle C. (coord.). *L'irrigation en pépinière hors sol*. Astredhor, Paris, p 7-18.
- Commission Européenne (éd.) (2010). *Soil, Climate change and biodiversity – Where do we stand ? Report on the conference*. Bruxelles, 23 et 34 septembre 2010, 28 p.
- Dixon, G. (2009). Climate expectation [en ligne]. *Horticulture Week*, 24 avril 2009. <http://www.hortweek.com/Landscape/article/899983/climate-expectations/> (dernière consultation le 28/05/2014).
- Gagnon, A.-E., Roy, M. et Roy, A. (2011). *Impacts directs et indirects des changements climatiques sur les ennemis des cultures* [en ligne]. MAPAQ, Québec, 80 p. http://www.agrireseau.qc.ca/lab/documents/Revue%20de%20litt%20a9rature%20CC_phyto.pdf (dernière consultation le 28/05/2014).
- GIEC (2007). Résumé à l'intention des décideurs. In : Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. et Miller, H.L. (dir.). *Changements climatiques 2007 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [en ligne]. Cambridge University Press, Cambridge et New York. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/fr/contents.html (dernière consultation le 28/05/2014).
- GIEC (2013). Résumé à l'intention des décideurs. In : Stoker T. F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M. M.B., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V. et Midgley P. M.. *Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [en ligne]. Suisse. http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/docs/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf (dernière consultation le 28/05/2014).
- Gitay, H., Suárez, A., Watson, R. T. et Dokken, D. J. (dir.) (2002). *Les changements climatiques et la biodiversité*. GIEC, Genève, 89 p.
- Hamrick D. (éd.) (2003). *Ball Redbook – volume 2 : Crop production*. 17^{ème} édition, Ball Publishing, Batavia, 724 p.
- Jol, A., Šťasný, P., Raes, F., Lavallo, C., Menne, B. et Wolf, T. (dir.) (2008). *Impact of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 246 p.
- Laštůvka, Z. (2009). Climate change and its possible influence on the occurrence and importance of insect pests. *Plant Protection Science*, vol. 45, special issue, p. S53-S62.
- Levrault, F. (2010). Atouts et vulnérabilités des cultures face au changement climatique. In : Inra, Arvalis (org.). *Actes du colloque Climator*. Versailles, 17 et 18 juin 2010, p. 58-59.
- Marbaix, Ph. et Ypersele, J.-P. van (dir.) (2004). *Impacts des changements climatiques en Belgique* [en ligne]. Greenpeace, Bruxelles, 44 p. <http://www.astr.ucl.ac.be/users/marbaix/impacts/docs/ImpactsGPvF-MR-FR.pdf> (dernière consultation le 28/05/2014).
- Marland, G. et Boden, T. (2001). *The increasing concentration of atmospheric CO₂: How much, when, and why?* Erice International Seminars on Planetary Emergencies, 26^{ème} session, Erice, 19–24 août 2001, 18 p.
- Moisselin J.-M. (dernière consultation le 19/08/2011). Changements climatiques observés en France [en ligne]. In : Climact (coord.). *Changements climatiques : quels impacts en France*. Greenpeace, Paris, p. 25-29 <http://www.greenpeace.fr/impactsclimatiques/webrapportintegral.pdf>
- Moisselin J.-M., Schneider M., Canellas C. et Mestre O. (2002). Les changements climatiques en France au XX^e siècle. *La météorologie*, n° 38, août 2002, p 45-46.
- Planton S. (dernière consultation le 19/08/2011). Changements climatiques futurs en France [en ligne]. In. Climact (coord.). *Changements climatiques : quels impacts en France*. Greenpeace, Paris, p. 48-54. <http://www.greenpeace.fr/impactsclimatiques/webrapportintegral.pdf>

- Sauvion N. et Baaren J. van (2013). Impacts des changements climatiques sur les interactions insectes-plantes. *In* : Sauvion N., Calatayud P.-A. Thiéry D et Marion-Poll F. *Interactions insectes-plantes*. IRD, Marseille et QUAE, Paris, p. 589-620.
- Seguin, B. (dernière consultation le 19/08/2011). Impacts sur l'agriculture [en ligne]. *In* : Climact (coord.). *Changements climatiques : quels impacts en France*. Greenpeace, Paris, p. 100-107. <http://www.greenpeace.fr/impactsclimatiques/webrapportintegral.pdf>
- Seguin, B. et Soussana, J.-F. (2008). Emissions de gaz à effet de serre et changement climatique : causes et conséquences pour l'agriculture et l'élevage. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, n° 55, février 2008, p. 79-91.
- Sierra, J. (2010). Stockage et déstockage de carbone dans les sols. *In* : Inra, Arvalis (org.). *Actes du colloque Climator*. Versailles, 17 et 18 juin 2010, p. 22-23.
- Stireman, J. O., III, Dyer, L. A., Janzens, D. H., Singer, M. S., Lill, J. T., Marquis, R. J., Ricklefs, R. E., Gentry, G. L., Hallwachs, W., Coley, P. D., Barone, J. A., Greeney, H. F., Connahs, H., Barbosa, P., Morales, H. C. et Diniz, I. R. (2005). Climatic unpredictability and parasitism of caterpillars: Implications of global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 102, n° 48, p. 17384-17387.
- Termorshuizen, A. J. (2008). Climate change and bioinvasiveness of plant pathogens: comparing pathogens from wild and cultivated hosts in the past and the present. *In* : KNPV. *Pest and climate change - Abstracts*. Wageningen, 3 décembre 2008, p. 6.
- Tubiello, F.N., Soussana, J.-F. et Howden, S. (2007). Crop and pasture response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, n° 104, p. 19686-19690.
- Valentini, R. (2010). The projected effects of climate change on european carbon stocks. *In* : Commission Européenne (éd.) (2010). *Soil, Climate change and biodiversity – Where do we stand ? Report on the conference*. Bruxelles, 23 et 24 septembre 2010, p. 13.
- Walther, G.-R., Roques, A., Hulme, P. E., Sykes, M. T., Pyšek, P., Kühn, I., Zobel, M. et les membres du groupe ALARM Climate Change (2009). Alien species in a warmer world: risks and opportunities. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 24, n° 12, p. 686-693.
- Wild, M., Gilgen, H., Roesch, A., Ohmura, A., Long, C.N., Dutton, E.G., Forgan, B., Kallis, A., Russak V. et Tsvetkov, A. (2005). From dimming to brightening: decadal changes in solar radiation at earth's surface. *Science*, n° 308, p. 847-850.



Institut technique de l'horticulture

44, rue d'Alésia • 75682 Paris Cedex 14
☎ 01 53 91 45 00 📠 01 45 38 56 72
<http://www.astredhor.fr>



Avec la participation financière de :

