• VERS UNE ADAPTATION DURABLE DE L'AGRICULTURE EUROPEENNE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE •

A1: Etat des lieux pour les 4 principales régions à risque climatique de l'UE

LIFE15 CCA/DE/000072

Mars 2017

0. Sommaire

0. Sommaire 2

1 Contexte 4

1.1 DEFINITIONS 4

1.2 CONTEXTE MONDIAL 6

1.3 CONTEXTE EUROPEEN 8

1.3.1 Observations du changement climatique 8

1.3.2 Projections de changement climatique et d'extrêmes climatiques 11

1.3.3 Observation et impacts futurs pour l'agriculture 15

1.3.4 Généralités : caractéristiques climatiques, croissance et développement des plantes 15

1.3.4.1 CULTURES ARABLES 18

1.3.4.2 PERMANENT CROPS 21

1.3.4.3 PRODUCTION ANIMALE 22

1.3.5 Ressources en eau et agriculture 23

1.4 SYNTHESE POUR L'EUROPE 25

1.4.1 Principaux impacts observés et projetés 25

1.4.2 Systèmes agricoles en Europe et par régions climatiques 25

1.5 BIBLIOGRAPHIE 27

2 Zone climatique atlantique / France 28

2.1 GENERALITES 28

2.2 SITUATION DE LA FRANCE 29

2.2.1 Stratégie d'adaptation 29

2.2.2 Les outils et services climatiques 29

2.2.3 Scénario climatique pour la France au 21ème siècle 29

2.2.4 Projets en lien avec l'adaptation en agriculture 30

2.2.5 Grilles agro-climatiques 32

2.2.5.1 CULTURES ARABLES 32

2.2.5.2 CULTURES PERMANENTES 34

2.2.5.3 ELEVAGE 36

2.2.6 Bibliographie 38

3 Zone climatique continentale / Allemagne 39

3.1 GENEREALITES 39

3.2 AGRICULTURE ET ENJEUX D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE 39

3.2.1 Cultures arables 39

3.2.2 Cultures permanentes 39

3.2.3 Elevage 39

4 Zone climatique sud / Espagne 41

4.1 GENERALITES 41

4.2 AGRICULTURE ET ENJEUX D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE 41

4.2.1 Cultures arables 41
4.2.2 Cultures permanentes 41
4.2.3 Elevage 42

5 Zone climatique nord / Estonie 43
5.1 GENERALITES 43
5.2 AGRICULTURE ET ENJEUX D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE 43
5.2.1 Cultures arables 43
5.2.2 Cultures permanentes 43
5.2.3 Elevage 43

1 Contexte

1.1 DEFINITIONS

Avant d'aborder les changements climatiques observés et à venir en Europe ainsi que leurs impacts pour le secteur agricole, il est important de s'accorder au préalable sur la définition de certains concepts clés afin d'éviter toutes erreurs de compréhension.

Climat

Au sens étroit du terme, le climat désigne en général le **temps moyen** ou, plus précisément, se réfère à une **description statistique** fondée sur les moyennes et la variabilité de grandeurs pertinentes sur des périodes variant de quelques mois à des milliers, voire à des millions d'années. La période type, définie par l'Organisation Météorologique Mondiale, est de 30 ans. Ces grandeurs sont le plus souvent des variables de surface telles que la température, la hauteur de précipitation et le vent. Dans un sens plus large, le climat désigne l'état du système climatique, y compris sa description statistique (GIEC, 2014).

Changement climatique

Variation de l'état du climat, qu'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des **modifications de la moyenne et / ou de la variabilité** de ses propriétés et qui **persiste pendant une longue période**, généralement pendant des décennies ou plus. Les changements climatiques peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, notamment les modulations des cycles solaires, les éruptions volcaniques ou des changements anthropiques persistants dans la composition de l'atmosphère ou dans l'utilisation des terres. On notera que la Convention-cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC), dans son article premier, définit les changements climatiques comme des «changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables». La CCNUCC établit ainsi une distinction entre les changements climatiques attribuables aux activités humaines altérant la composition de l'atmosphère et la variabilité du climat imputable à des causes naturelles (GIEC, 2014).

Variabilité climatique

Variations de l'état moyen et d'autres variables statistiques (écarts types, extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles spatiales et temporelles au-delà de la variabilité propre à des phénomènes météorologiques particuliers. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne) ou à des variations des forçages externes anthropiques ou naturels (variabilité externe) (GIEC, 2014).

Phénomène climatique extrême

Phénomène **rare en un endroit et à un moment de l'année** particuliers. Même si les définitions du mot rare varient, un phénomène climatique extrême devrait normalement se produire aussi rarement, sinon plus, que le dixième ou le quatre vingt dixième centile de la fonction de densité de probabilité établie à partir des observations. Par définition, les caractéristiques de conditions météorologiques extrêmes peuvent, dans l'absolu, varier d'un lieu à un autre. Lorsque des conditions météorologiques extrêmes se prolongent pendant un certain temps, l'espace d'une saison par exemple, elles peuvent être considérées comme un phénomène climatique extrême, en particulier si elles correspondent à une moyenne ou à un total en lui-même extrême (par exemple une sécheresse ou de fortes pluies pendant toute une saison) (GIEC, 2014).

Vague de chaleur

Période de conditions atmosphériques anormalement chaudes et désagréables (GIEC, 2014).

Projection

Indication de l'évolution **future possible** d'une grandeur ou d'un ensemble de grandeurs, souvent calculée à l'aide d'un modèle. Les projections se distinguent des prévisions en ce sens qu'elles reposent sur des hypothèses concernant par exemple l'évolution des conditions socio économiques ou des techniques qui peuvent ou non se concrétiser (GIEC, 2014).

Résilience

La capacité des systèmes sociaux, économiques et environnementaux **à faire face à un événement, à une tendance ou à une perturbation dangereuse**, à réagir ou à se réorganiser de façon **à conserver leur fonction**, leur identité et leur structure essentielle tout en maintenant leur capacité d'adaptation, d'apprentissage et de transformation (GIEC, 2014).

Risque

Le potentiel de conséquences parmi lequel une chose de valeur est en jeu et dont le résultat est incertain, et reconnaissant la diversité des valeurs. Le risque est souvent représenté par la **probabilité d'occurrence d'évènements ou de tendances dangereuses** multipliée par les impacts, si ces évènements ou tendances se produisent. Le risque résulte de l'interaction de la vulnérabilité, de l'exposition et de la dangerosité (GIEC, 2014).

Vulnérabilité

La propension ou bien la prédisposition **à être affecté négativement**. La vulnérabilité englobe une variété de concepts et d'éléments, y compris la sensibilité ou la susceptibilité de nuisance et le manque de capacité à faire face et d'adapter (GIEC, 2014).

Profils représentatifs d'évolution de concentration (RCPs)

Scénarios comprenant les séries chronologiques complètes des émissions et des concentrations de gaz à effet de serre et aérosols, des gaz chimiquement actifs, ainsi que de l'utilisation des terres et de la couverture terrestre. Ces profils sont représentatifs dans la mesure où ils font partie d'un ensemble de scénarios distincts possibles conduisant à un forçage radiatif aux caractéristiques similaires. On parle de profil d'évolution pour souligner le fait qu'on ne s'intéresse pas seulement aux niveaux de concentration atteints à long terme, mais aussi à la trajectoire suivie pour parvenir à ce résultat (Moss et al., 2010).
En général, les RCP se rapportent à la partie de l'évolution allant jusqu'à 2100, pour laquelle les modèles d'évaluation intégrés produisent des scénarios d'émissions correspondants. Les profils d'évolution de concentration à très long terme (ECP) fournissent une description de ce qui se produit lorsqu'on prolonge les RCP entre 2100 et 2500, ce qu'on calcule en se basant sur des règles simples établies au cours de consultations avec les parties prenantes; ils ne représentent pas des scénarios parfaitement cohérents.
Il a été choisi quatre RCP produits à partir de scénarios publiés, établis par des modèles d'évaluation intégrés, pour les besoins du présent rapport dévaluation du GIEC, comme base des prévisions et projections climatiques présentées dans les chapitres 11 à 14 :

- RCP2.6 Un profil dans lequel le forçage radiatif atteint un pic d'environ 3 W m^{-2} avant 2100, puis décroît (ECP correspondant basé sur des émissions constantes après 2100) ;
- RCP4.5 and RCP6.0 Deux profils de stabilisation intermédiaires, où le forçage radiatif se stabilise à environ 4,5 W m^{-2} et 6,0 W m^{-2} après 2100 (ECP correspondant basé sur des émissions constantes après 2150) ;
- RCP8.5 Un profil haut, dans lequel le forçage radiatif excède 8,5 W m^{-2} en 2100 et continue de croître pendant un certain temps encore (ECP correspondant basé sur des émissions constantes après 2100 et des concentrations constantes après 2250).

1.2 CONTEXTE MONDIAL

Les éléments suivants sont tous issus du Groupe de Travail II du cinquième Rapport d'évaluation (GIEC, 2014), chapitre 7 "Sécurité alimentaire et systèmes de production alimentaires".
Les différentes études documentent une **grande sensibilité négative du rendement des cultures** à des **températures journalières extrêmes** autour de 30 °C. Ces sensibilités ont été identifiées pour plusieurs cultures et régions et existent tout au long de la phase de croissance (confiance élevée). Plusieurs études indiquent que les **tendances des températures** sont importantes pour déterminer à la fois les **impacts passés et futurs** du changement climatique sur les rendements des cultures à des échelles continentales et mondiales (confiance moyenne). A l'échelle d'un pays ou bien plus petite, les **projections de précipitations** demeurent importants mais **incertains** pour évaluer les futurs impacts (confiance élevée).
Pour les principales cultures (blé, riz et maïs) dans les régions tropicales et **tempérées**, le changement climatique **sans adaptation** devrait avoir un **impact négatif** sur la production globale pour des augmentations de températures de 2 °C ou plus au dessus des niveaux de la fin du 20ème siècle, bien qu'individuellement certains lieux puissent en obtenir un avantage (confiance moyenne) (voir Figure 1).
Les projections **d'impacts varient selon** les cultures, les régions et les scénarios d'adaptation, avec environ 10 % des projections pour la période 2030-2049 montrant des gains de rendement de plus de 10 % et environ 10 % des projections montrant des pertes de rendement de plus de 25 % par rapport à fin du 20ème siècle. Après 2050, le risque d'impacts plus sévères sur le rendement augmente et dépend du niveau de réchauffement : la production des cultures sera constamment et négativement affectée par le changement climatique à l'avenir dans les pays à faible latitude, alors que le changement climatique peut avoir des effets **positifs ou négatifs dans les latitudes nordiques** (confiance élevée).

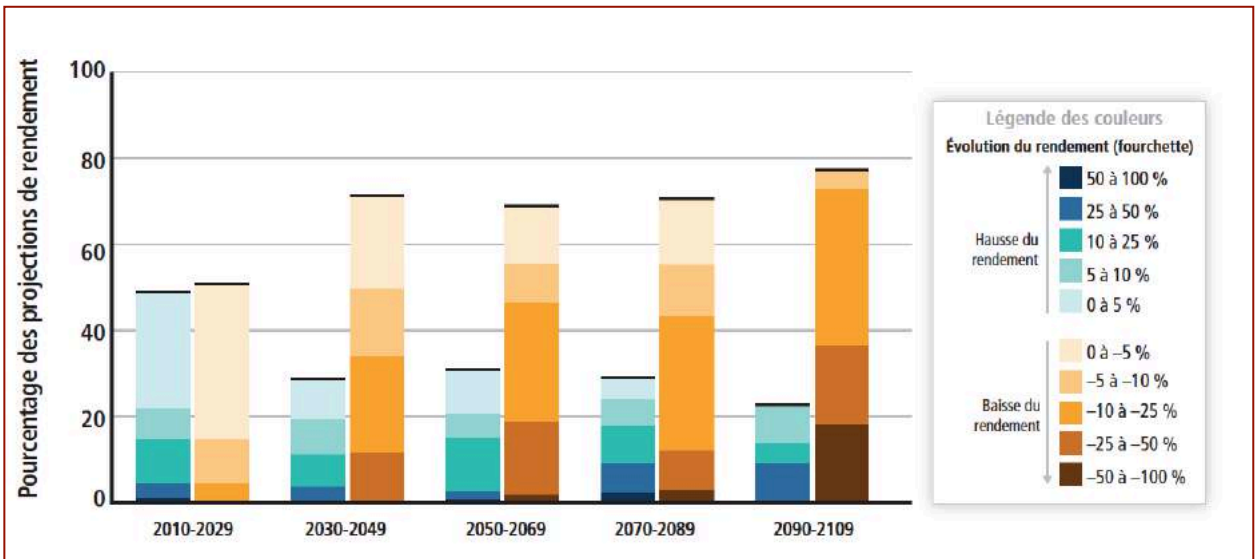


Figure RID.7 | Résumé des changements projetés du rendement des cultures dus au changement climatique au cours du XXIe siècle. Le graphique présente des projections correspondant à différents scénarios d'émissions, pour les régions tropicales et tempérées, et pour des cas combinés d'adaptation et de non-adaptation. Relativement peu d'études ont pris en compte les incidences sur les systèmes de culture de scénarios où les températures moyennes globales augmentent de 4 °C ou plus. Les données (n = 1 090) sont présentées en abscisse en cinq périodes de 20 ans incluant le point médian de chaque future période de projection. Les variations du rendement des cultures sont établies par rapport aux niveaux correspondant à la fin du XXe siècle. La somme des données correspondant à chaque période est de 100 %. [Figure 7–5]

Figure 1 : Changement projetés des rendements des cultures dus au changement climatique au cours du 21ème siècle (GIEC, 2014)

Des floraisons et maturités plus précoces ont été observées (preuve solide, accord élevé) dans le monde entier pour la **vigne et les pommiers**. Pour les cultures permanentes, **l'accumulation de températures froides** nécessaires durant l'hiver, critère important pour de nombreux arbres à fruits et à coques, devrait continuer à décliner.

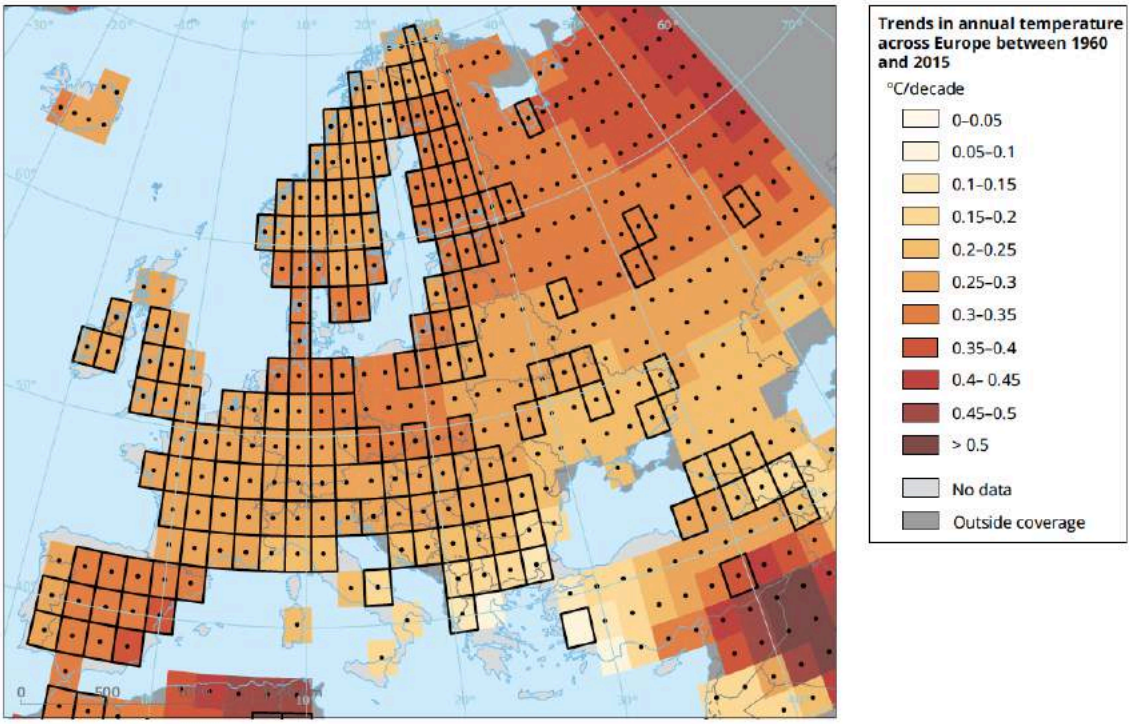
Dans la plupart des régions viticoles, des réductions d'adéquation de **la vigne** à son environnement sont attendues, affectant la **production et la qualité** du vin en Europe, aux Etats-Unis et en Australie.
Comparativement aux productions végétales, beaucoup moins de travaux ont été publiés sur les impacts observés pour d'autres systèmes de production alimentaire, comme par exemple **les animaux**. Le manque relatif de preuves de ces impacts reflète un manque d'étude sur ce sujet, mais pas nécessairement un manque d'impact réel des tendances climatiques observées.

1.3 CONTEXTE EUROPEEN

1.3.1 Observations du changement climatique

Les tendances climatiques observées et les projections climatiques futures montrent des variations régionales de la température et des précipitations en Europe (confiance élevée), en accord avec les conclusions du quatrième rapport d'évaluation (AR4), avec des **augmentations de température** prévues pour toute Europe et des **précipitations croissantes** en Europe du Nord et des **précipitations diminuant** en Europe du Sud (GIEC, 2014).
La température moyenne en Europe a continué d'augmenter depuis le quatrième rapport d'évaluation, les niveaux de réchauffement régionaux et saisonniers étant plus élevés dans les **latitudes élevées en Europe du Nord**. Depuis les années 1980, le réchauffement a été le plus fort sur la Scandinavie, en particulier en hiver, alors que la péninsule Ibérique s'est réchauffée principalement en été (GIEC, 2014).

Selon trois sources d'observation différents de la température moyenne mondiale annuelle proche de la surface (terre et océan), la décennie de 2006 à 2015 était de **0,83 °C** à **0,89 °C** plus chaude que la moyenne préindustrielle. Cela en fait **la décennie** la plus chaude enregistrée. 15 des 16 années les plus chaudes enregistrées ont eu lieu depuis 2000 et 2015 a été **l'année la plus chaude** enregistrée, environ 1 °C plus chaud que la période préindustrielle (EEA, 2016).
Au cours de la décennie 2006-2015, le taux de variation de la température moyenne globale de la surface était entre **0,10 et 0,24 °C** par décennie, ce qui est proche des limites indicatives de 0,2 °C / décennie (EEA, 2016).
La température annuelle moyenne de la superficie européenne, pour la décennie 2006-2015, était d'environ **1,5 °C** au-dessus du niveau pré-industriel. Cela en fait la décennie la plus chaude enregistrée. De plus, 2014 et 2015 ont été les années jointives les plus chaudes en Europe depuis le début des enregistrements climatiques (EEA, 2016).

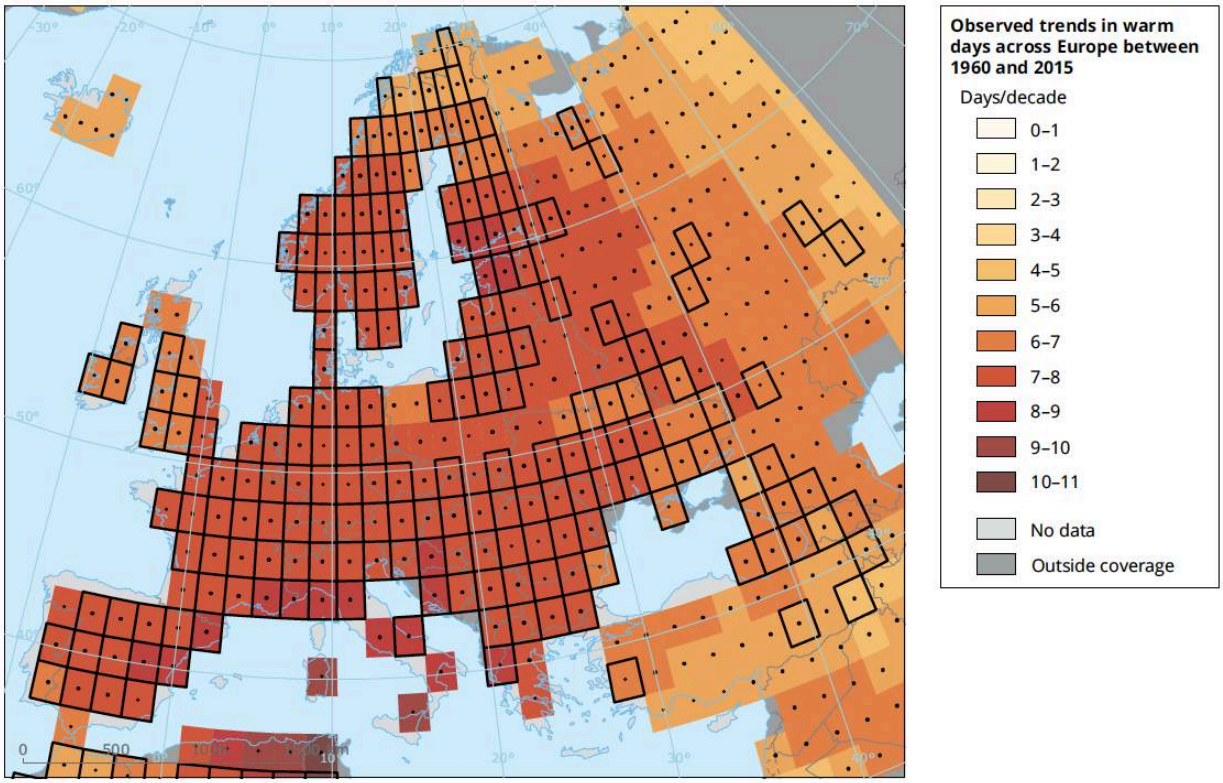


Note: Grid boxes outlined with solid black lines contain at least three stations and so are likely to be more representative of the grid box than those that are not outlined. Significance (at the 5 % level) of the long-term trend is shown by a black dot (which is the case for almost all grid boxes in this map).

Source: EEA and UK Met Office, based on the E-OBS dataset (updated from Haylock et al., 2008).

Figure 2 : Tendances de la température annuelle en Europe entre 1960 et 2015 (EEA, 2016)

Depuis 1950, les **hautes températures extrêmes** (jours chauds, nuits tropicales et vagues de chaleur) sont devenues plus fréquentes, tandis que les **extrêmes de basse température** (vague de froid, jours froids) sont devenus **moins fréquents** (GIEC, 2014).
Depuis 1880, la **durée moyenne des vagues de chaleur en été** sur l'Europe de l'Ouest a doublé et la fréquence **des journées chaudes a presque triplé**. Le nombre de jours chauds (ceux qui dépassent le seuil de 90 percentiles d'une période de référence) **a presque doublé** depuis 1960 dans la zone terrestre européenne (EEA, 2016).

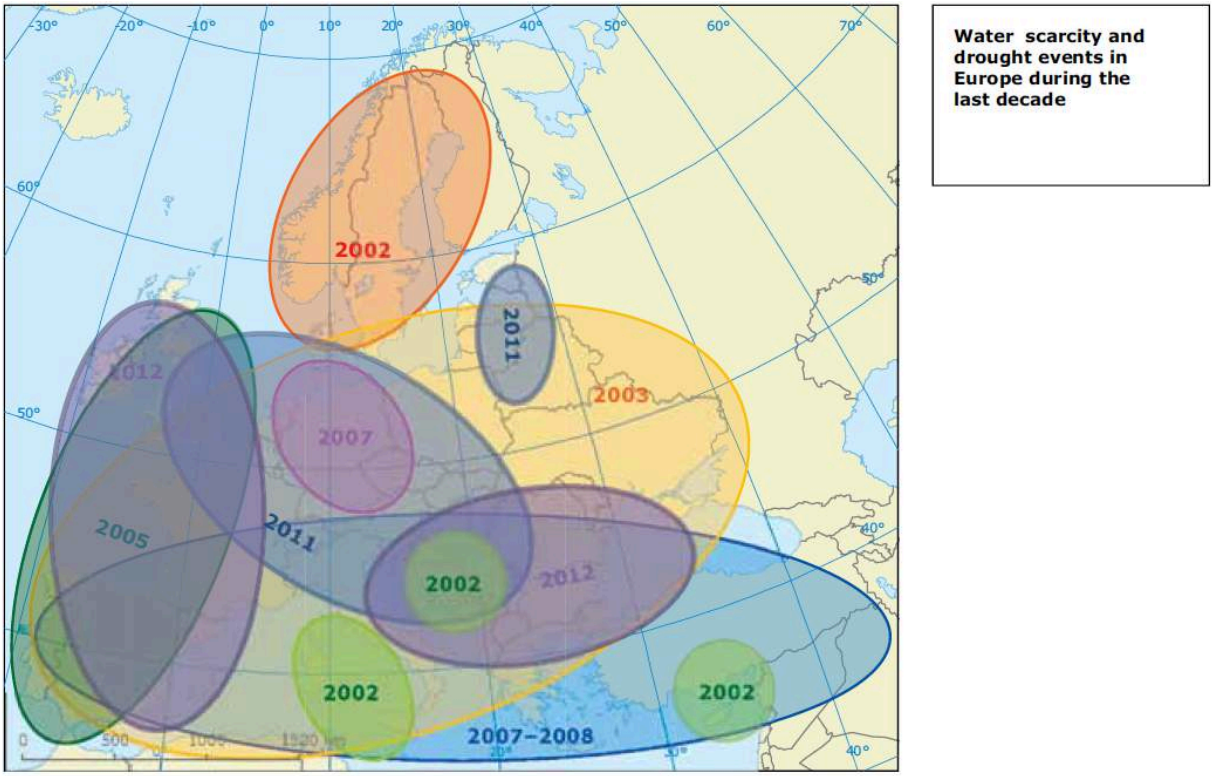


Note: Warm days are defined as being above the 90th percentile of the daily maximum temperature centred on a five-day window for a reference period. Grid boxes outlined with solid black lines contain at least three stations and thus trends are more robust. High confidence in the long-term trend (at the 5 % level) is shown by a black dot (which is the case for all grid boxes in this map). The reference period is 1971–2000.

Source: EEA and UK Met Office, based on HadEX2 (updated from Donat, Alexander, Yang, Durre, Vose, Dunn et al., 2013).

Figure 3 : Tendances observés du nombre de jours chauds en Europe entre 1960 et 2015 (EEA, 2016)

L'Europe a connu **plusieurs vagues de chaleur extrêmes** depuis 2000 (2003, 2006, 2007, 2010, 2014 et 2015), comme la sécheresse catastrophique associée à la vague de chaleur de **l'été 2003** dans les parties centrales du continent et la sécheresse de 2005 pour la péninsule Ibérique. La sévérité et la fréquence des **sécheresses** semblent avoir augmenté dans certaines parties de l'Europe, en particulier dans le sud de l'Europe (EEA, 2012).



Source: ETC-LUSI; Tallaksen (personal communication).

Figure 4 : Pénurie d'eau et période de sécheresse en Europe lors de la dernière décennie (EEA, 2012)

Depuis 1950, les **précipitations annuelles ont augmenté en Europe du Nord** (jusqu'à +70 mm par décennie) et **ont diminué** (jusqu'à 70 mm par décennie) dans certaines régions du **sud de l'Europe**. Les tendances saisonnières des précipitations montrent une augmentation des **précipitations hivernales dans le nord de l'Europe** et une diminution du **sud de l'Europe**, bien qu'avec de grandes variations interannuelles (EEA, 2012). L'intensité des fortes précipitations en été et en hiver a augmenté en Europe du Nord et du Nord-Est depuis les années 1960. Différents indices montrent des tendances divergentes pour le sud-ouest et le sud de l'Europe (EEA, 2016).

La couverture de neige en hiver présente une variabilité interannuelle élevée et une tendance négative non significative sur la période 1967-2007. Dans l'hémisphère nord, celle-ci a diminué de 7 % en mars et de 11 % en avril au cours des 4 dernières décennies. En hiver et en automne, aucun changement significatif ne ressort (EEA, 2012).

La **vitesse moyenne du vent** a diminué en Europe au cours des dernières décennies (GIEC, 2014). L'emplacement, la fréquence et l'intensité des tempêtes ont montré une variabilité décennale considérable en Europe au cours du siècle dernier, de sorte qu'aucune tendance significative à long terme n'apparaît (EEA, 2016).

Les **épisodes de grêle** figurent parmi les événements extrêmes les plus coûteux dans certaines régions européennes, causant par exemple des dommages importants aux cultures. Le **nombre d'épisodes de grêle** est le plus élevé dans les régions montagneuses et préalpines. Depuis 1951, des tendances croissantes d'épisodes de grêle ont été observées dans le sud de la France et en Autriche et des tendances décroissantes (mais non statistiquement significatives) ont été observées dans certaines parties de l'Europe de l'Est (EEA, 2016).

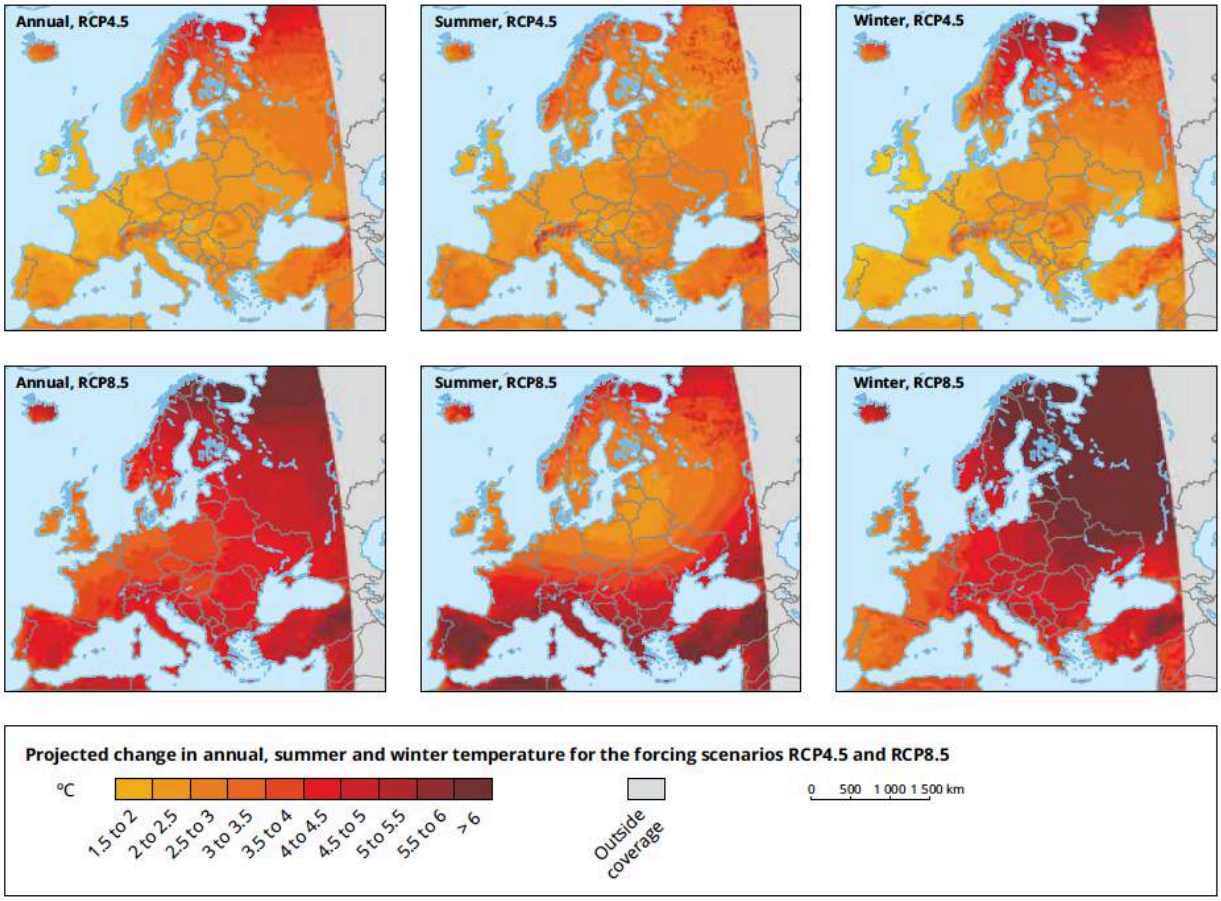
Plus de 325 **inondations** fluviales majeures ont été signalées pour l'Europe depuis 1980, dont plus de 200 ont été signalées depuis 2000. L'augmentation du nombre d'inondations signalées au cours des dernières décennies résulte principalement d'un meilleur système d'enregistrement et du changement d'affectation des sols (EEA, 2012).

L'ozone troposphérique (polluant de l'air) est hautement réactif et donc **nuisible à la végétation**, aux matériaux et à la santé humaine. Les émissions de précurseurs d'ozone en Europe ont été considérablement réduites alors que les concentrations moyennes d'ozone en Europe demeurent stables. La formation d'ozone troposphérique à partir de concentrations accrues de CH_4 peut également contribuer aux niveaux d'ozone subi en Europe (EEA, 2012).

1.3.2 Projections de changement climatique et d'extrêmes climatiques

Changement climatique

Les modèles climatiques montrent un accord significatif pour tous les scénarios d'émission dans le **réchauffement** (ampleur et taux) dans toute l'Europe, avec un réchauffement plus fort projeté en Europe du Sud en été et en Europe du Nord en hiver. Même sous une augmentation moyenne de la température mondiale **limitée à 2 °C** par rapport aux temps préindustriels, le climat simulé pour l'Europe dans **les prochaines décennies** devrait être **significativement différent** du climat actuel (GIEC, 2014).



Note: This map shows projected changes in mean annual (left), summer (middle) and winter (right) near-surface air temperature (°C) in the period 2071–2100 compared with the baseline period 1971–2000 for the forcing scenarios RCP4.5 (top) and RCP8.5 (bottom). Model simulations are based on the multi-model ensemble average of many different combined GCM–RCM simulations from the EURO-CORDEX initiative.

Source: EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014).

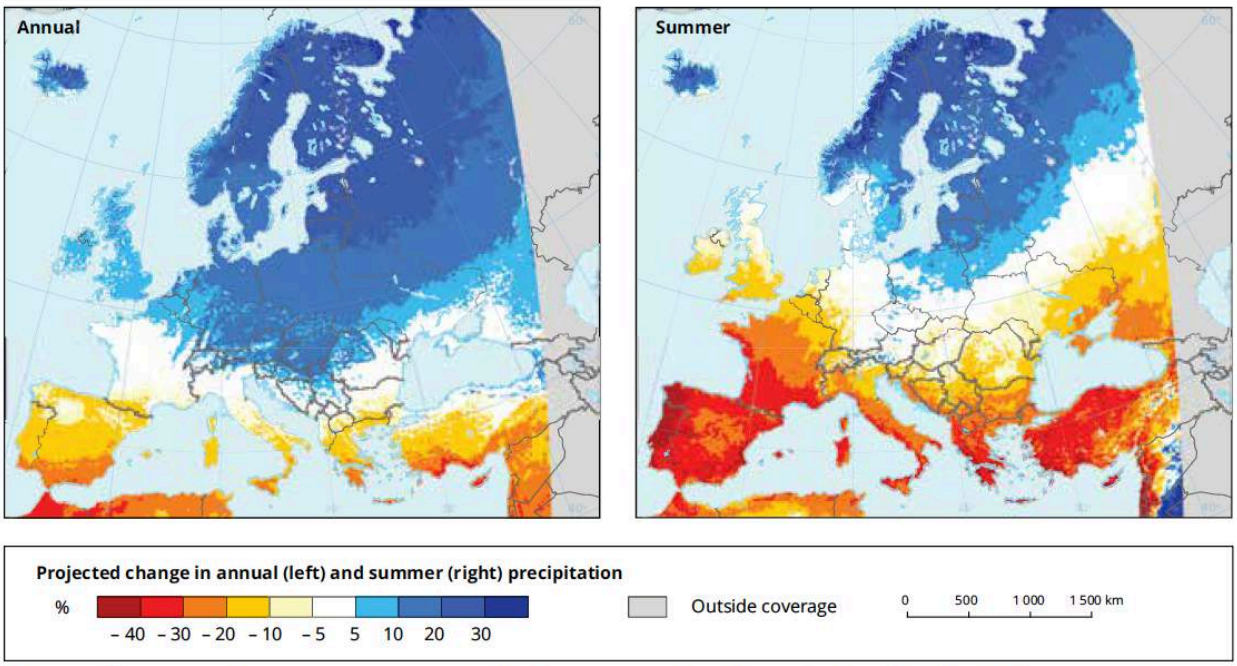
Figure 5 : Projections de changement de la température moyenne annuelle, en été et en hiver pour les scénarios de forçage RCP4.5 et RCP8.5 (EEA, 2016)

Les modèles climatiques projettent une augmentation de la **température moyenne mondiale** au cours du 21ème siècle. Pour la période 2081-2100 (par rapport à 1986-2005), des augmentations comprises entre **0,3 °C et 1,7 °C** sont estimées pour le scénario d'émissions les plus faibles (RCP2.6) et entre **2,6 °C et 4,8 °C** pour Le scénario d'émissions les plus élevé (RCP8.5) (EEA, 2016).

À la fin de ce siècle (2071-2100 par rapport à 1971-2000), la **température moyenne annuelle de la terre pour l'Europe** devrait augmenter de 1 °C à 4,5 °C sous le scénario RCP4.5 et 2,5 °C à 5,5 °C sous le scénario RCP8.5. C'est donc supérieur à la moyenne mondiale. Le réchauffement le plus fort est prévu pour l'Europe du Nord-Est et la Scandinavie en hiver, et en Europe du Sud en été (EEA, 2016).

Les **signaux de précipitation** varient de manière régionale et saisonnière. Les tendances sont moins perceptibles en Europe continentale, avec un accord sur **une augmentation en Europe du Nord** et une **diminution en Europe du Sud** (confiance moyenne).
Les précipitations devraient diminuer pendant les mois d'été jusqu'au sud de la Suède et augmenter en hiver, avec plus de pluie que de neige dans les régions montagneuses. En Europe du Nord, il est prévu une **diminution du manteau neigeux à moyen ou long terme** (bien que les hivers riches en neige demeureront) vers la fin du 21ème siècle. On relève un manque

d'informations sur les changements passés et futurs dans l'occurrence d'épisodes de grêle en Europe. Les changements dans les modèles de circulation futurs et les tendances moyennes de la vitesse du vent montrent des signaux incertains.



Note: This map shows projected changes in annual (left) and summer (right) precipitation (%) in the period 2071–2100 compared with the baseline period 1971–2000 for the forcing scenario RCP8.5. Model simulations are based on the multi-model ensemble average of many different RCM simulations from the EURO-CORDEX initiative.

Source: EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014).

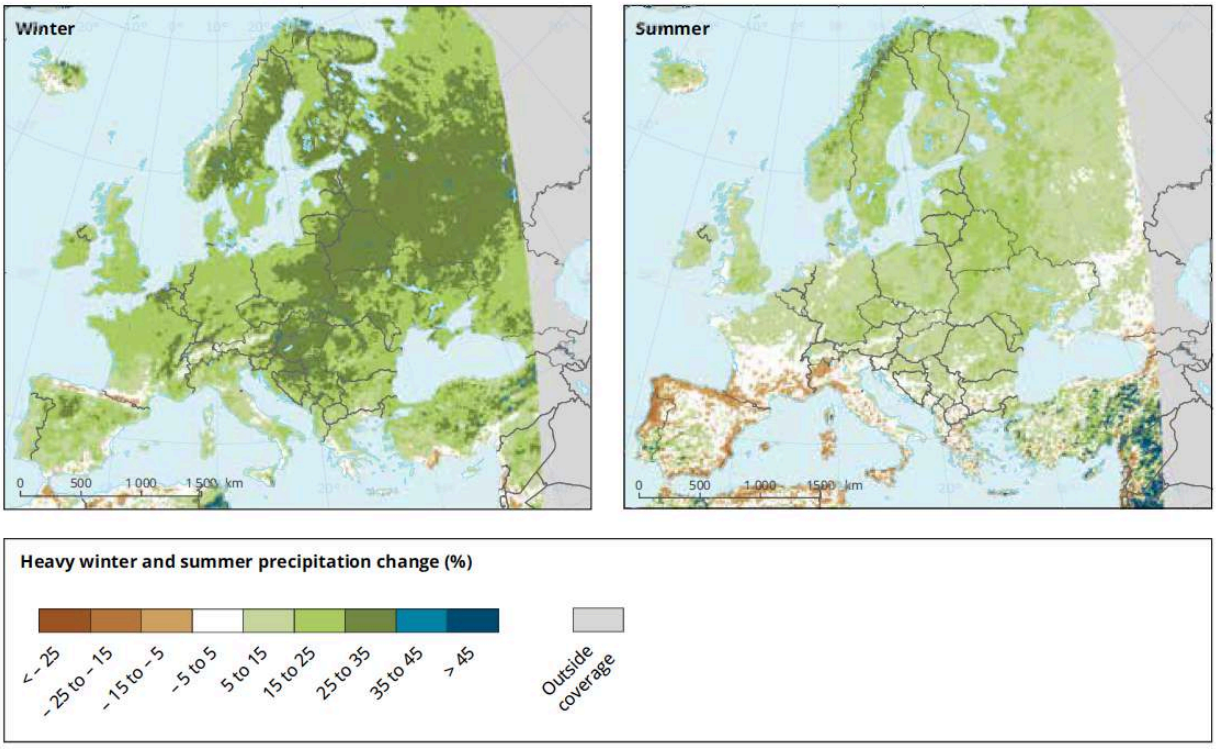
Figure 6 : Changements prévues dans les précipitations annuelles et estivales (EEA, 2016)

Extrême climatique

Les projections climatiques montrent une augmentation marquée des **hautes températures extrêmes** (haute confiance), des **sécheresses météorologiques** (confiance moyenne) et des **épisodes de fortes précipitations** (forte confiance), avec des variations à travers l'Europe, et de faibles voire une absence de changements dans les épisodes de vent extrêmes (faible confiance), à l'exception de l'augmentation épisodes de vent extrêmes en hiver en Europe centrale et du Nord (confiance moyenne) (GIEC, 2014).

Il existe une relative confiance générale concernant les changements **extrêmes de température** (vers un nombre accru de jours chauds, des nuits chaudes et des vagues de chaleur). Les températures extrêmement élevées devraient devenir plus fréquentes et durer plus longtemps dans toute l'Europe au cours du 21ème siècle (EEA, 2012).
Selon un scénario d'émissions élevées (RCP8.5), des vagues de chaleur très extrêmes (aussi fortes qu'en 2000, voire supérieures) devraient intervenir **une année sur deux ans** dans la seconde moitié du 21ème siècle. Les impacts seront particulièrement importants en Europe du Sud (EEA, 2016).

Les projections montrent une **augmentation des fortes précipitations quotidiennes** dans la plupart **des régions d'Europe en hiver**, jusqu'à 35 % au cours du 21ème siècle. En été, une augmentation est également prévue dans la plupart des régions d'Europe, mais aussi parfois des diminutions pour certaines régions du sud et du sud-ouest de l'Europe (EEA, 2016).



Note: This map shows projected changes in heavy daily precipitation (%) in winter and summer for 2071–2100, compared with the baseline period 1971–2000, for the RCP8.5 scenario based on the ensemble mean of different RCMs nested in different GCMs.

Source: EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014).

Figure 7 : Changements prévus dans les fortes précipitations en hiver et en été (EEA, 2016)

Le réchauffement climatique devrait intensifier le **cycle hydrologique** et augmenter l'occurrence et la fréquence des inondations dans de grandes régions d'Europe. **Les inondations rapides et les inondations pluviales,** déclenchées par les précipitations locales, sont de plus en **plus fréquentes dans toute l'Europe**. Dans les régions qui présentent une projection de réduction de l'accumulation de neige pendant l'hiver, le risque d'inondation printanière pourrait diminuer. Cependant, les projections quantitatives des changements dans la fréquence et l'ampleur des inondations demeurent très incertaines (EEA, 2012).

Assèchement de rivières : les régions les plus vulnérables à une augmentation du **risque de sécheresse** sont **l'Europe du Sud et du Sud-Est**, mais les débits minimaux des cours d'eaux devraient également diminuer considérablement dans de nombreuses autres parties du continent, en particulier en été.

Les simulations de changements climatiques montrent des projections divergentes sur les changements dans le nombre de tempêtes hivernales en Europe. Cependant, la plupart des études convergent sur une augmentation du risque de **fortes tempêtes l'hiver** et potentiellement de fortes tempêtes en automne pour l'Atlantique Nord et le nord, le nord-ouest et l'Europe centrale au cours du 21ème siècle (EEA, 2016).
Les projections futures **des épisodes de grêle** sont sujettes à de grandes incertitudes, notamment en raison de la faible surface géographique touchées par ces phénomènes qui ne peuvent pas être directement représentée dans les modèles climatiques mondiaux et régionaux. Cependant, les études basées sur des modèles climatiques pour l'Europe centrale montrent un certain accord selon lequel la fréquence des épisodes de grêle augmentera dans cette région (EEA, 2016).

Le changement climatique devrait affecter les **futures concentrations d'ozone** en raison des changements dans les conditions météorologiques, ainsi que de l'augmentation des émissions de précurseurs d'ozone spécifiques (par exemple l'augmentation de l'isoprène de la végétation à des températures plus élevées) et / ou des émissions de feux de forêt accentuées par des sécheresses de grande ampleur. La plupart des liens entre les facteurs climatiques individuels et la formation d'ozone sont identifiés, mais la quantification des niveaux futurs d'ozone au sol reste incertaine en raison de l'interaction complexe de ces processus.

1.3.3 Observation et impacts futurs pour l'agriculture

Le changement climatique observé en Europe a eu des effets de grande envergure dans toute la région européenne, y compris la distribution, la phénologie et l'abondance des espèces animales, des poissons et des plantes (haute confiance) (GIEC, 2014).

1.3.4 Généralités : caractéristiques climatiques, croissance et développement des plantes

L'objectif de ce chapitre est d'identifier et de caractériser les phénomènes climatiques qui influent sur les rendements des cultures (annuelles ou pérennes). D'un point de vue physiologique, et si l'on considère uniquement les liens entre la culture et l'atmosphère, une culture a besoin pour son développement et sa croissance : de rayonnement, de CO_2, d'une accumulation de températures élevées, d'une accumulation de basses températures (pour certaines plantes) et d'eau.
Le **développement** correspond à l'ensemble des changements qualitatifs qui se produisent pendant la vie d'une culture. Les étapes phénologiques marquent le développement d'une culture.
La **croissance** est définie comme les changements quantitatifs et irréversibles au cours de la vie d'une culture : l'allongement des entrenœuds, la multiplication cellulaire… En agriculture, la croissance peut se résumer à l'accumulation de biomasse.

Besoins en rayonnement

Le rôle du rayonnement est lié à la photosynthèse, au travers d'un apport d'énergie à la culture. Cette énergie est transmise par la lumière sous la forme de photons (capturés par la chlorophylle), qui est ensuite transformée en énergie chimique (par transfert d'électrons et de protons dans les chloroplastes) et accumulée sous forme de sucre.

Besoins en CO_2

Le carbone dans le CO_2 est celui qui sera accumulé dans les plantes sous forme de sucre. Il existe 2 familles de plantes qui ont différentes voies métaboliques de fixation du carbone (via la photosynthèse) appelées plantes en C3 et plantes en C4. La photosynthèse de type C4 est particulièrement répandue chez les graminées tropicales (maïs, sorgho, canne à sucre).
Elle diffère par son mécanisme de fixation du carbone par rapport aux plantes en C3 avec notamment une plus grande efficacité lors de cette étape. Il permet à ces plantes d'absorber tout le dioxyde de carbone (ou CO_2) de l'atmosphère interne de la plante. Le fonctionnement de ce mécanisme de photosynthèse est optimisé par la présence de lumière (rayonnement) et de température élevée.
L'augmentation de la concentration de CO_2 peut favoriser la photosynthèse et augmenter la production de biomasse et donc les rendements de 10 % à 20 % pour les « espèces de type C3 » des régions tempérées. Par contre, cette augmentation de CO_2 sera neutre (pas d'augmentation de biomasse) pour les plantes en C4.

Note : les plantes respirent à travers de minuscules pores appelés **stomates** sur la face inférieure de leurs feuilles. Ces pores permettent l'absorption du dioxyde de carbone et le rejet de l'oxygène (et de l'eau). Les plantes ouvrent et ferment leurs stomates en réponse aux

changements dans leur environnement afin qu'ils puissent obtenir le CO_2 dont ils ont besoin et éviter le dessèchement. L'état d'ouverture des stomates résulte donc **d'un compromis entre la perte en eau et l'assimilation du CO_2 de l'air ambiant**. Par exemple, si l'eau n'est pas suffisamment disponible, la fermeture stomatique qui en résulte affecte également la photosynthèse en empêchant l'échange de gaz. Ce phénomène pourrait être compensé par une augmentation de la concentration de CO_2 dans l'air ambiant.

Besoins en hautes températures

La température est le moteur du développement des plantes. Le **développement** est principalement régi par la température (principe de Degrés-Jours - **DJ***). La température intervient sur la vitesse de développement de la culture et donc sur le cycle cultural (y compris le remplissage des grains et donc le rendement). Chaque plante (et chaque variété) possède ses propres exigences thermiques : un maïs nécessite 1 700 DJ pour atteindre le point de récolte (T base 6 °C), le blé d'hiver nécessite 2 350 DJ (T base 0 °C) pour mûrir.

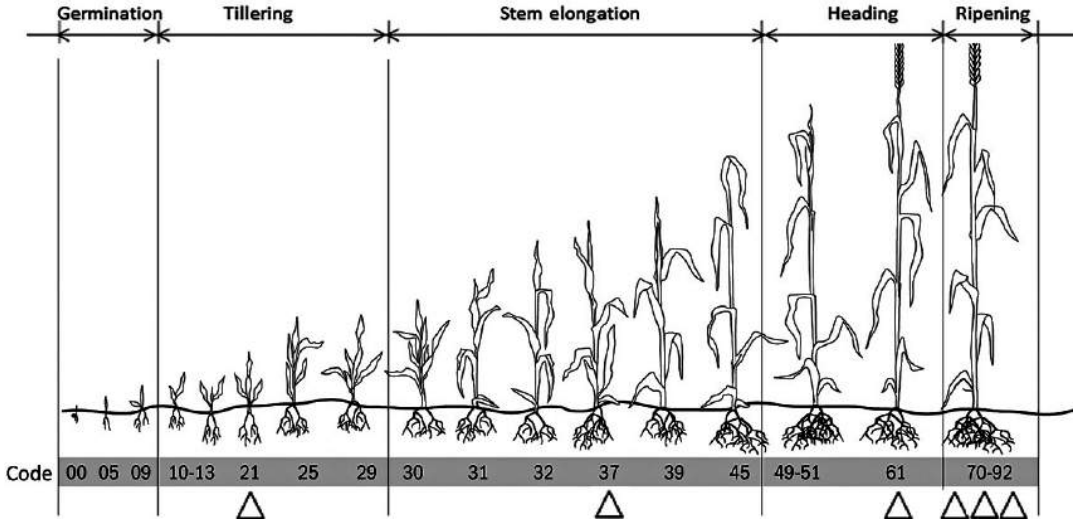


Figure 8 : Les différents stades phénologiques du blé (besoins en DJ : stade épi 1 cm = 1 100 DJ, maturité = 2 350 DJ, T base 0 °C.)

* Les Degrés-Jours de croissance (DJ), est un outil heuristique de la phénologie. Le DJ est une mesure de l'accumulation de chaleur utilisée en agriculture pour estimer la durée de développement des plantes et des animaux, telles que la date de floraison d'une plante, la date de sortie de dormance d'un insecte ou bien la date de maturité d'une culture. Les DJ sont calculés en retenant l'intégralité de la chaleur supérieure à une température de base (T base). Une formulation plus simple, approximativement équivalente, utilise la moyenne des températures minimales et maximales quotidiennes par rapport à une base de T base. L'équation est la suivante :

•

Enfin, il faut noter qu'au-delà d'une température de 30 °C, la plupart des cultures ralentissent leur développement. L'augmentation de la température peut donc conduire à un raccourcissement du cycle végétatif.

Les cultures annuelles semées à l'automne (blé, colza, ...) nécessitent généralement des températures basses pour fleurir au printemps. Le processus physiologique responsable de ce comportement s'appelle la « **vernalisation** ».
Pour passer de l'état végétatif à **l'état floral**, les céréales d'hiver doivent rester à des températures suffisamment basses pendant leur phase juvénile. La phase de vernalisation peut être définie comme l'acquisition ou l'accélération de la capacité à fleurir après avoir subie une

période de froid. Ce processus se réalise sans changement morphologique visible et nécessite des températures optimales entre 3 et 10 °C (température moyenne quotidienne). En dehors de cette plage, ce phénomène est ralenti ou arrêté si les températures descendent en dessous de -4 °C ou dépassent 17 °C.
Pour la plupart des plantes pérennes cultivées sous notre climat, les températures nocturnes plus basses et la photopériode décroissante à l'automne provoquent **une dormance**. L'arrêt de cette période de repos est conditionné par de nombreux facteurs, y compris les températures froides. Cette période de développement aussi appelée «besoin en froid» (pour lever la dormance) est une caractéristique essentielle des espèces ligneuses dans les régions tempérées. Ce besoin est souvent estimé par une somme de froid (somme des températures inférieures à 7 °C).

L'exigence en froid (permettant de lever la dormance) varie d'une espèce à l'autre et d'une variété à l'autre au sein de chaque espèce :
• Pomme : 1 200 - 1 700 heures de froid (< 7 °C) pour rompre la dormance
• Cerise : 1 100 - 1 300 heures de froid (< 7 °C)
• Abricot : 700 - 1 000 heures de froid (< 7 °C)
• Amande : 200 – 500 heures de froid (< 7 °C)
• Figue : 200 heures de froid (< 7 °C)

La hausse des températures peut donc réduire l'accumulation de températures froides et avoir des effets négatifs sur la floraison et / ou les bourgeons des espèces ligneuses.

Besoins en eau

L'eau est le facteur de croissance des plantes. La croissance est régulée par de nombreux facteurs tels que la satisfaction en eau (ou stress hydrique), la régulation stomatique ou l'évapotranspiration.
Le manque d'eau a un impact négatif sur la production de biomasse. L'excès d'eau (pendant une longue période) peut entraîner un phénomène d'étouffement racinaire.

Principaux paramètres climatiques pour les cultures

Afin de simplifier l'approche permettant de classer l'impact du climat sur les plantes, **quatre événements climatiques majeurs** qui affectent directement ou indirectement les rendements des principales cultures (annuelle, pérenne) ont été sélectionnés :

- **Le déficit hydrique (pendant la période de croissance)**
- **L'excès en eau**
- **Les hautes températures**
- **Les basses températures**

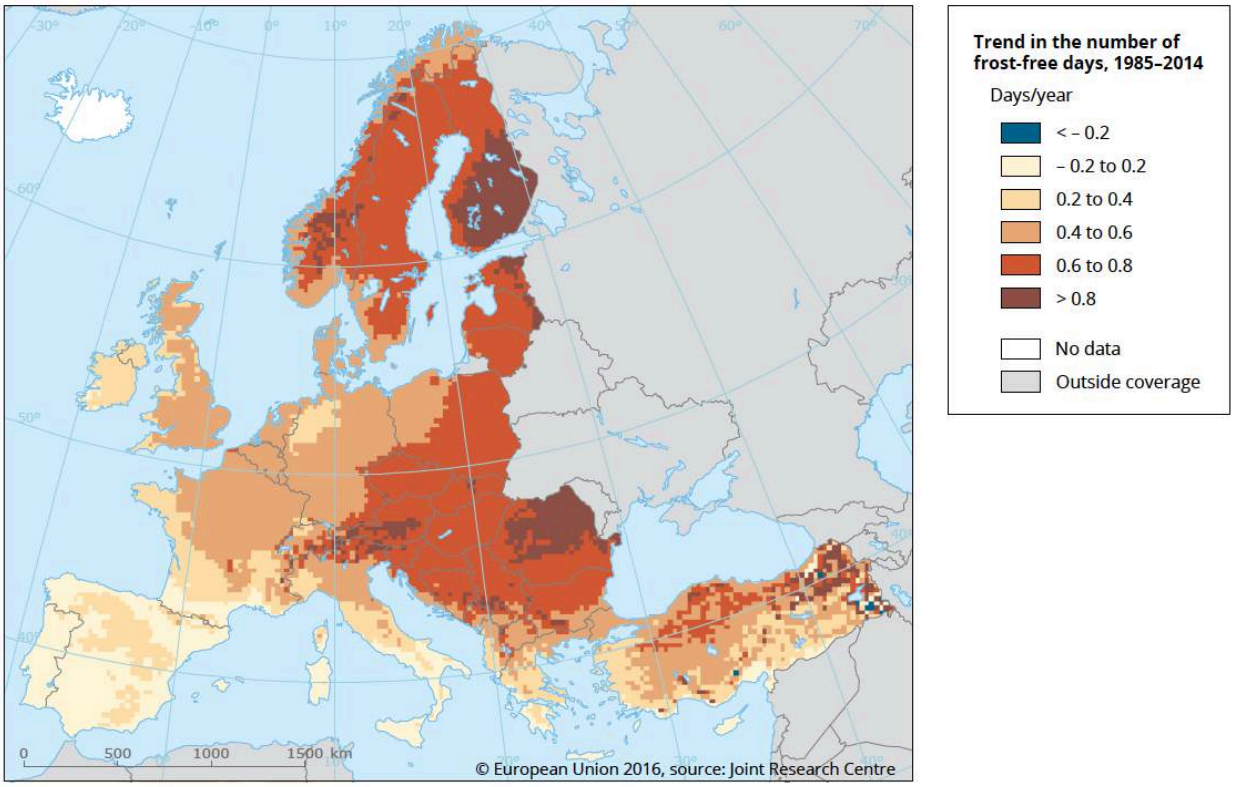
En plus des changements à long terme pour ces quatre événements climatiques majeurs, la fréquence des **phénomènes climatiques extrêmes** (grêle, gel tardif, orage, ...) doit également être considérée.

NB : l'augmentation de la concentration de CO_2 étant considérée comme égale partout sur terre, elle ne fait pas partie des phénomènes à décrire localement (un raisonnement identique s'applique au rayonnement).

1.3.4.1 CULTURES ARABLES

Observations du cycle cultural

La cycle culturale thermique est un indicateur agronomique de base pour savoir où et quand les cultures peuvent potentiellement être implantées, en supposant que les conditions d'eau, de rayonnement et de sols soient appropriées. La durée du cycle culturale est, pour une grande partie de l'Europe, définie par la durée de la période comprenant des **températures supérieures à un certain seuil**. La durée de la **saison sans gel** est considérée comme la période favorable à la croissance de nombreuses espèces végétales (par exemple pour la floraison). Cependant, la croissance active des plantes nécessite des températures plus élevées, et pour la plupart des cultures tempérées en Europe, une **température seuil de 5 °C** peut être retenue (EEA, 2012).
La durée du cycle cultural thermique d'un certain nombre de cultures agricoles en Europe s'est allongée de **11,4 jours en moyenne** de 1992 à 2008.
Le retard en fin de cycle de croissance a été plus prononcé que **l'avancement du démarrage**. La tendance n'est pas uniformément répartie sur l'Europe : les changements les plus élevés (plus de 0,8 jours par an) ont été enregistrés le long des rivages de l'Atlantique, dans les îles britanniques, le Danemark, les régions centrales de l'Europe, l'Italie centrale, le centre et le sud de l'Espagne et en Turquie. Il existe également des régions en Europe qui présentent une tendance apparente à la réduction de la période sans gel. Cependant, ces tendances ne sont pas significatives (EEA, 2012).



Source: MARS/STAT database ([98]).

Figure 9 : Evolution du nombre de jours sans gel par an, 1985 - 2014 (EEA, 2016)

Observations agrophénologiques

Les changements dans la phénologie des cultures fournissent **des preuves importantes des réponses** aux récents changements climatiques régionaux. Bien que les changements phénologiques soient souvent influencés par les pratiques culturales, en particulier la date de semis et le choix de la variété, le **réchauffement climatique récent** en Europe a influencé de manière significative l'avancée du calendrier cultural. Les stades spécifiques de la croissance (par exemple, la floraison, le remplissage des grains) sont particulièrement **sensibles aux conditions climatiques** et critiques pour le **rendement final**. La durée du cycle cultural (agrophénologie) détermine le succès productif de la culture. En général, un cycle cultural plus long est fortement corrélé avec des rendements plus élevés, car il permet une meilleure utilisation de l'énergie thermique disponible, du rayonnement solaire et des ressources en eau.
Les dates de semis ou de plantation de plusieurs cultures agricoles **ont été avancées**, par exemple de 5 jours pour les pommes de terre en Finlande (1965-1999), 10 jours pour le maïs et la betterave sucrière en Allemagne (1961-2000) et 20 jours pour le maïs en France (1974 -2003) (EEA, 2012).
Une analyse des modélisations de dates de floraison pour le **blé d'hiver** en Europe entre 1985 et 2014 montre **une évolution générale et significative**, qui est plus prononcée en Europe du Nord-Ouest, de la date de floraison modélisée qui a progressé de **deux à quatre jours / décennie**. Cette avancée de date de floraison modélisée surestime probablement ce qui est observé dans la réalité, car la réponse des plantes à de la durée du jour et les choix de cultivars par les agriculteurs dont la durée de croissance est plus longue réduiront cette réponse.

Impacts observés

Une analyse globale des **rendements des cultures céréalières** (blé, maïs et orge) a montré des **baisses de rendement** en raison de **l'augmentation des températures moyennes**. Ces observations sont confirmées pour différents pays en Europe. L'augmentation des températures est également identifiée comme l'une des principales causes de **l'absence d'augmentation** du rendement du blé d'hiver en France, et ce malgré une amélioration variétale. Les rendements en grains du maïs ont **augmenté régulièrement dans le nord de l'Europe**, alors que les rendements **dans le sud de l'Europe** semblent **stagner**. Une tendance à l'augmentation de la variabilité des rendements en grain en France et en Italie est observée, liée à l'apparition de vagues de chaleur et de sécheresses.
Ces extrêmes climatiques ont affecté la production végétale dans de vastes régions de l'Europe du Sud et de l'Europe centrale en 2003 et 2007. Contrairement aux céréales et oléagineux, la **pomme de terre** et la **betterave sucrière** semblent avoir réagis **positivement** à la **hausse des températures** par une augmentation des rendements, probablement en raison d'un **cycle cultural plus longue** (EEA, 2012).

Au cours des vagues de chaleur de l'été 2003 et 2010, les pertes de céréales ont atteint **20 %** dans les régions européennes concernées. La production de céréales a diminué en moyenne de **40 %** dans la péninsule Ibérique lors de la sécheresse intense de 2004/2005 (GIEC, 2014).

Les conditions de la chaleur et de la sécheresse de l'été 2003, par exemple, ont causé des dommages importants au secteur agricole en Europe centrale et méridionale par la réduction de la production et des pertes de capital financier (voir Figure 10).

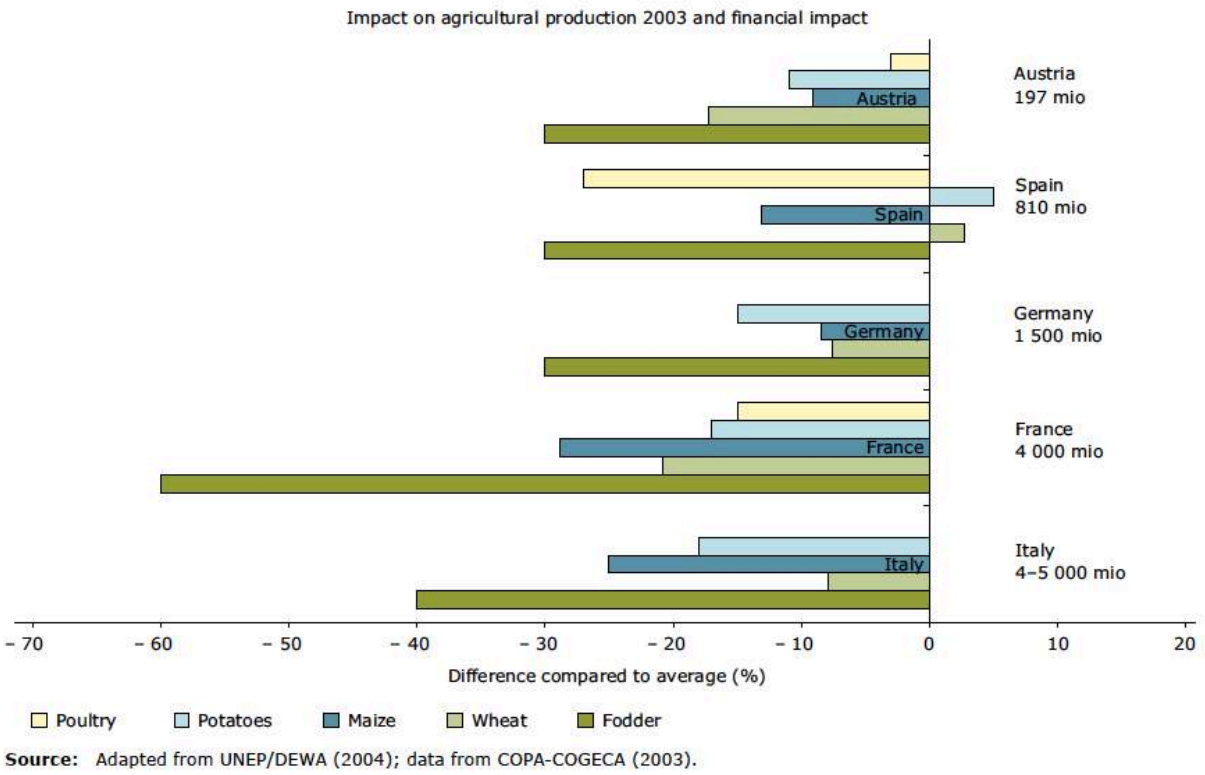


Figure 10 : Impact de la vague de chaleur et sécheresse de 2003 pour l'agriculture de cinq pays européens (EEA, 2005)

La **variabilité induite par le climat** dans la production de blé a augmenté ces dernières décennies en Europe centrale, mais aucune réduction significative n'a été enregistrée dans les régions les plus septentrionales de l'Europe. Les rendements en céréales (en l'absence d'irrigation) à l'échelle des pays sont inférieurs aux potentiels agro-climatiques et les augmentations du rendement du blé se sont stabilisées dans plusieurs pays au cours de 1961-2009. Les **températures élevées et les sécheresses** pendant la période de remplissage des grains ont contribué à **l'absence d'augmentation du rendement du blé d'hiver** en France malgré des améliorations variétales. En revanche, dans l'est de l'Écosse, le réchauffement a favorisé une augmentation des rendements de pommes de terre depuis 1960 (GIEC, 2014).

Projections pour le cycle cultural

Un allongement supplémentaire du cycle cultural ainsi qu'une évolution d'espèces vers le nord est projetée en raison de l'augmentation de la température à travers l'Europe. La date du dernier gel printanier devrait avancer d'environ **5 à 10 jours d'ici 2030** et de **10 à 15 jours d'ici 2050** dans la majeure partie de l'Europe (EEA, 2012).
La prolongation du cycle cultural devrait être particulièrement bénéfique dans le **nord de l'Europe**, où **de nouvelles cultures** pourraient être implantées et où la disponibilité de l'eau ne limite généralement pas la croissance.

Dans certaines parties de la région méditerranéenne, le **passage de cultures d'été à des cultures d'hiver** pourrait intervenir afin de compenser certains des impacts négatifs des vagues de chaleur et des sécheresses de l'été (Minguez et al., 2007). D'autres régions d'Europe, comme **l'ouest de la France** et certaines parties de **l'Europe du Sud-Est**, connaîtront des réductions de rendement dus à des étés chauds et secs sans possibilité de transfert vers des cultures d'hiver (EEA, 2012).

Projections pour l'agrophénologie

Avec le réchauffement projeté du climat en Europe, des réductions supplémentaires **du nombre de jours requis pour la floraison** dans les céréales et **la maturité** peuvent être attendues dans toute l'Europe. Les changements des dates de floraison modélisées tiennent compte des effets attendus de changements dans le choix des cultivars sur les dates de floraison et de maturité. Étant donné que de nombreuses plantes (y compris les céréales) en Europe nécessitent des jours longs pour fleurir, l'effet du réchauffement sur la date de la floraison est amoindri.
La date de floraison du **blé d'hiver** devrait montrer les plus grands avancements dans les régions **occidentales de l'Europe**, mais avec une grande incertitude liée également à l'incertitude dans les projections sous-jacentes du changement climatique. L'avancement de la **date de maturité** est supérieure à l'avancement de la **date de floraison**, entraînant un raccourcissement de la période de remplissage du grain, ce qui affectera **négativement les rendements**. Une étude indépendante ayant recours à un modèle phénologique différent ainsi que d'autres projections de changements climatiques a révélé des avancées similaires en date de floraison pour le blé d'hiver pour l'Angleterre et le Pays de Galles (14-16 jours d'ici 2050) (EEA, 2012).

Impacts projetés

La répartition régionale des impacts du changement climatique sur la production agricole est susceptible de varier considérablement. Ainsi, **l'Europe du Sud** subirait les **plus fortes pertes de rendement** (-25 % d'ici 2080 sous un réchauffement de 5,4 °C), avec des risques accrus d'échec de productions estivales recours à l'irrigation. Des conditions plus chaudes et plus sèches d'ici 2050 entraîneraient des **baisses modérées** des rendements des cultures dans les régions d'Europe centrale. En **Europe de l'Ouest**, l'augmentation du stress thermique autour de la floraison pourrait entraîner des pertes de rendement considérables pour le blé. Pour **l'Europe du Nord**, les signaux sont divergents pour les impacts futurs : les changements de rendement positifs combinés à l'expansion des zones climatiquement adaptées pourraient entraîner une augmentation de la production végétale (entre 2,5 °C et 5,4 °C de réchauffement climatique). Cependant, une variabilité climatique accrue **limiterait l'expansion des cultures d'hiver** et causerait un risque élevé de perte significative du rendement en céréales à des latitudes élevées. Enfin, les cultures de printemps d'origine tropicale, telle que le maïs pour l'ensilage, pourraient être cultivées en Finlande d'ici la fin du siècle (GIEC, 2014).

La **réduction du rendement des céréales due à l'ozone** pourrait atteindre **6 à 10 %** en 2030 pour l'Union européenne sous les scénarios respectifs B1 et A2. En raison de la disponibilité limitée en terres arables et de leur niveau de fertilité en dehors des zones à Chernozem (sols noirs), une mise en culture dans la zone de la forêt boréale ne compenserait pas les pertes de récolte subie en raison de l'aridité croissante dans les régions sud-européennes de la Russie qui présente les meilleurs sols (GIEC, 2014).

1.3.4.2 PERMANENT CROPS

Impacts observés

Des floraisons et maturités plus précoces ont été observées (preuve solide, accord élevé) dans le monde entier pour la **vigne et les pommes** (GIEC, 2014).
En Europe, les changements au niveau des stades phénologiques de plusieurs cultures pérennes, telle **l'avancement du démarrage de la culture** (phase de croissance) **des arbres fruitiers** (2,3 jours / 10 ans), la floraison des cerisiers (2,0 jours / 10 ans) ou la floraison des pommes (2,2 jours / 10 ans), sont en adéquation avec des augmentations allant jusqu'à 1,4 °C de température annuelle moyenne de l'air observées en Allemagne entre 1961-2000 (EEA, 2012).

La production viticole en Europe représente plus de 60 % de la production mondiale et contribue fortement à l'identité culturelle. Dans le nord-est de l'Espagne, le **rendement en raisin** a été amoindri depuis les années 1960 en raison d'un déficit hydrique accru lors des phases de reproduction de la vigne (GIEC, 2014).

Impacts projetés

Pour les cultures permanentes, **l'accumulation de températures froides** nécessaires durant l'hiver, critère important pour de nombreux arbres à fruits et à coques, devrait continuer à décliner. Des réductions d'adéquation climatique de la vigne sont attendues dans la plupart des régions viticoles. La production et la qualité du vin seront affectées en Europe, aux États-Unis et en Australie (GIEC, 2014).
Les changements climatiques changeront la **répartition géographique des cépages de vigne** (confiance élevée), ce qui réduira la valeur des produits viticoles et les moyens de subsistance des communautés viticoles locales dans **l'Europe du Sud et continentale** (confiance moyenne) et **augmentera la production** en Europe du Nord (faible confiance) (GIEC, 2014).
Outre les impacts sur le **rendement de la vigne**, les températures plus élevées devraient également affecter la **qualité du vin** pour certaines régions et variétés de raisins en modifiant le rapport entre le sucre et les acides. En **Europe occidentale et centrale**, les projections futures pourraient bénéficier à la qualité du vin, mais pourraient également délimiter de nouvelles aires de production potentielles (GIEC, 2014).
Les maladies liées aux arthropodes (virus et phytoplasmes), la pyrale de la vigne ou bien le Black Rot pour les arbres fruitiers pourraient créer des **dommages croissants en Europe** sous l'influence du changement climatique. Cependant, d'autres agents pathogènes tels que l'oïdium de la vigne **pourraient être limités** par l'augmentation des températures (GIEC, 2014).

1.3.4.3 PRODUCTION ANIMALE

Les effets du changement climatique sur les animaux sont principalement d'ordre indirects au travers de la production d'aliments pour les animaux (changements de productivité des pâturages et des cultures fourragères). Il existe **peu de preuves directes** des effets du changement climatique sur les animaux, à l'exception de changements dans les maladies (EEA, 2012).

Observation d'impact directs

Le changement climatique peut entraîner des modifications significatives dans les répartitions géographiques et saisonnières de maladies à transmission vectorielle en Europe. Le climat peut affecter les maladies à transmission vectorielle en raccourcissant les cycles de vie des vecteurs et les périodes d'incubation des agents pathogènes transmissibles par ces vecteurs, ce qui pourrait conduire à des populations vectorielles plus importantes et à des risques de transmission plus élevés. À plus long terme, les changements saisonniers pourraient affecter à la fois les vecteurs et les animaux hôtes, ainsi que les comportements humains et les modes d'utilisation des terres, influant ainsi davantage sur la répartition géographique, l'activité saisonnière et la prévalence globale des maladies à transmission vectorielle en Europe (EEA, 2012).
La production animale est affectée par **la chaleur**. Pour des systèmes intensifs d'élevage, le stress thermique diminue **la production laitière** et les performances de croissance des **porcs charcutiers** pour des températures moyennes quotidiennes de l'air supérieures respectivement de 18 °C et 21 °C. En Italie, une température et une humidité de l'air élevées pendant la durée d'élevage augmentent le risque de mortalité bovine de 60 %. Le changement climatique peut affecter négativement la **production laitière en Europe du Sud** en raison du stress thermique chez les vaches en lactation (confiance moyenne) (GIEC, 2014).
L'exposition à un indice de température-humidité élevé peut affecter la production et la qualité du lait, la mortalité, la fertilité et la prédisposition aux maladies, en particulier chez les bovins laitiers intensifs (EEA, 2016).

Projections d'impacts indirects

Etant donné qu'ils dépendent des rendements et de la qualité des cultures dont l'herbe, les systèmes de productions animales sont fortement exposés aux impacts du changement climatique au niveau local (pâturage et fourrage autoproduit) et mondial (importations d'aliments concentrés). Le changement climatique présente donc des enjeux et une stratégie d'adaptation

différenciés selon qu'il s'agit de systèmes d'élevage intensifs ou bien de systèmes d'élevage extensifs (herbagers) (EEA, 2016).
Pour les systèmes ruminants herbagers, les simulations de modèles (scénario A1B) montrent pour la fin du 21ème siècle, une augmentation de la production laitière potentielle en Irlande et en France, avec toutefois des **risques accrus d'échecs de production en été-automne** en **Europe centrale** ainsi qu'en France.

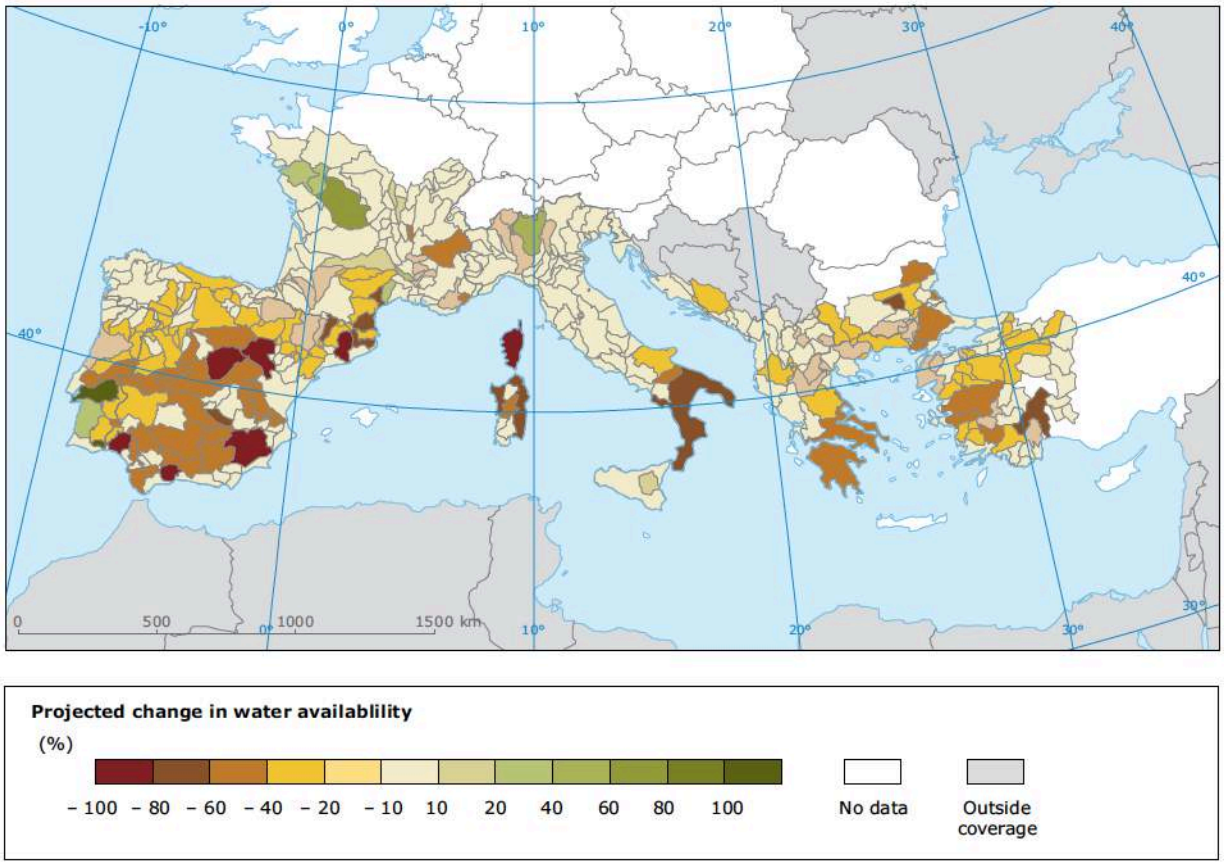
1.3.5 Ressources en eau et agriculture

Observations

L'eau est essentielle pour la croissance des plantes et il existe une relation entre la production de biomasse végétale et la transpiration, l'efficacité de l'utilisation de l'eau (production de biomasse par unité d'eau produite) fonction également des espèces cultivées ainsi que de leur gestion. L'augmentation de la concentration atmosphérique de CO_2 entraînera une plus grande efficacité de l'utilisation de l'eau grâce à des réductions de la transpiration de la plante et à une photosynthèse accrue. Dans les zones sujettes à la sécheresse, l'augmentation des demandes d'eau de la part des industries et des zones urbaines **intensifie la concurrence pour l'accès à l'eau d'irrigation pour l'agriculture** (EEA, 2012).
Dans la période considérée (1975-2010), la péninsule Ibérique et l'Italie ont connu une augmentation du volume d'eau nécessaire pour l'irrigation, maintenant les rendements des cultures irriguées alors que certaines parties de l'Europe du Sud-Est ont connu une diminution de production (EEA, 2012).

Projections

L'augmentation attendue de **l'évapotranspiration** exercera une pression sur l'utilisation de l'irrigation dans les zones sujettes à la sécheresse. En Europe, l'irrigation est actuellement concentrée le long de la **Méditerranée**, où certains pays utilisent plus de 80 % de l'extraction totale d'eau douce à des fins agricoles. La demande croissante d'eau pour l'irrigation augmentera donc encore cette concurrence d'usage, en particulier lorsque la disponibilité totale de l'eau diminue en raison de la baisse des précipitations. En supposant que les **demandes d'eau urbaines** auraient une priorité sur les besoins agricoles, la réduction proportionnelle de la **disponibilité de l'eau** pour l'irrigation dans de nombreux bassins européens est supérieure à la réduction du ruissellement annuel (voir Figure 11). Les projections pour la **région méditerranéenne** montrent un déclin considérable de la disponibilité de l'eau, ce qui, dans certaines régions, rend les pratiques d'irrigations actuelles impossibles dans l'avenir (EEA, 2012).



Note: Relative change in water availability for irrigation as projected under the A1B emission scenario by the HIRHAM (DMI) regional climate model for 2071–2100 relative to 1961–1990.

Source: Iglesias et al., 2012.

Figure 11 : Changements prévu de la disponibilité en eau pour l'irrigation en région méditerranéenne pour la période 2071-2100 (EEA, 2012)

La réduction de rentabilité de la production agricole qui dépend des apports d'eau par les précipitations augmentera la demande d'eau pour l'irrigation des cultures. Cependant, une irrigation accrue peut ne **pas être une option viable**, en particulier dans la **région méditerranéenne**, en raison des baisses projetées des eaux de ruissellement et des eaux souterraines totales.
Dans un certain nombre de bassins hydrographiques, les ressources en eau sont déjà sous limitée et / ou surexploitées et leur fiabilité est menacée par la baisse de recharge des eaux souterraines induite par le changement climatique, et dans une moindre mesure, par l'augmentation de la demande potentielle d'irrigation.
Pour répondre à cette demande, **les coûts des systèmes d'irrigation** pourraient augmenter de 20 à 27 % dans le sud de l'Italie et de nouvelles infrastructures d'irrigation seraient nécessaires dans certaines régions. Toutefois, étant donné que les **avantages économiques** devraient être faibles, l'adoption de l'irrigation nécessiterait des changements dans les politiques et de conjoncture économique (GIEC, 2014).

1.4 SYNTHESE POUR L'EUROPE

1.4.1 Principaux impacts observés et projetés

Les températures plus chaudes de l'air ont déjà affecté la durée du cycle de développement des plantes dans une grande partie de l'Europe. Les dates de floraison et de récolte pour les céréales se produisent plusieurs jours plus tôt dans la saison. Ces changements devraient se poursuivre dans de nombreuses régions (EEA, 2015).

De manière générale, en Europe du Nord la productivité agricole pourrait augmenter en raison d'un cycle cultural plus long et d'une extension de la période sans gel. Les températures plus chaudes et les périodes de croissance plus longues pourraient également permettre de cultiver de nouvelles cultures. Dans le sud de l'Europe, les épisodes de chaleur extrêmes et les réductions de précipitations et de la disponibilité de l'eau devraient pénaliser la productivité des cultures. Il est aussi attendu à ce que les rendements des cultures varient de plus en plus d'une année à l'autre en raison de phénomènes climatiques extrêmes et d'autres facteurs tels que les ravageurs et les maladies (EEA, 2015).

Dans certaines parties de la région méditerranéenne, en raison de la chaleur extrême et du stress hydrique pendant la période estivale, certaines cultures d'été pourraient être substituées par des cultures d'hiver. D'autres régions, comme l'ouest de la France et l'Europe du Sud-Est, devraient faire face à des réductions de rendement en raison d'étés chauds et secs sans possibilité de substitution par des cultures d'hiver (EEA, 2015).

1.4.2 Systèmes agricoles en Europe et par régions climatiques

Afin de caractériser les principaux enjeux agricoles liés au changement climatique de l'UE-28, chaque État Membre a été rattaché à une seule et même région climatique. La liste détaillée des pays par zone climatique figure sous le Tableau 1.

Tableau 1 : Principales données agricoles et par zones climatiques pour l'UE-28 (Eurostat 2013)

	Total UE-28	**Atlantique**	**Continentale**	**Nord**	**Sud**
Nombre de fermes (1 000)	**10 841**	943	6 280	394	3 224
%	**100 %**	9 %	58 %	4 %	30 %
SAU (1 000 ha)	**174 351**	55 701	61 593	10 983	46 075
%	**100 %**	32 %	35 %	6 %	26 %
% Terres arables / SAU	**60 %**	54 %	70 %	81 %	48 %
% Prairies permanentes / SAU	**34 %**	44 %	28 %	18 %	35 %
% Cultures permanentes / SAU	**6 %**	2 %	2 %	0 %	17 %
Main d'œuvre (1 000 UTH)	**9 345**	1 327	5 015	307	2 696
%	**100 %**	14 %	54 %	3 %	29 %
SAU moyenne par ferme (ha)	**16,1**	59,1	9,8	27,9	14,3
Nombre d'animaux (1 000 UGB)	**130 320**	55 568	40 643	4 492	26 196
%	**100 %**	43 %	31 %	3 %	23 %
Production brute standard (million EUR)	**331 568**	122 663	100 883	12 067	95 955
%	**100 %**	37 %	30 %	4 %	29 %

Atlantique : Belgique, Danemark, France, Ireland, Luxembourg, Pays-Bas et Royaume-Uni.
Continentale : Autriche, Bulgarie, République Tchèque, Allemagne, Hongrie, Pologne, Roumanie et Slovaquie.
Nord : Estonie, Finlande, Lettonie, Lituanie et Suède.
Sud : Chypre, Croatie, Grèce, Italie, Malte, Portugal, Slovénie et Espagne.

En raison du nombre important d'exploitations en Roumanie, la zone continentale représente **58 %** du total des exploitations de l'UE-28, suivie de la zone Sud avec **30 %** des fermes.

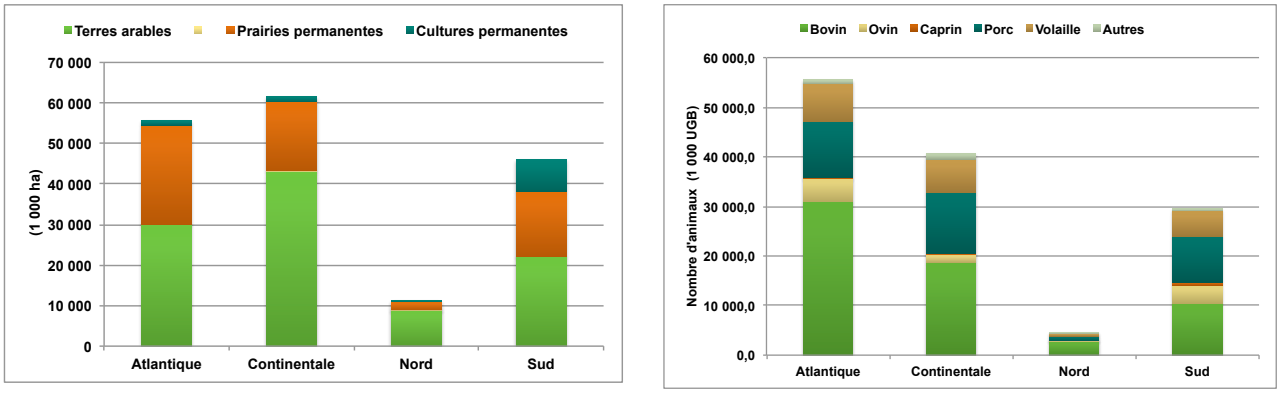


Figure 12 : Superficie Agricole Utile par zone climatique par type d'usages en 2013 (Eurostat) (à gauche), Unités d'élevage par zone climatique et par type d'animaux en 2013 (Eurostat) (à droite).

En considérant le critère de répartition de la SAU européenne, les zones continentale et atlantique sont dominantes, avec respectivement **35 %** et **32 %**, puis on retrouve la zone Sud avec **26 %** et enfin la zone Nord avec **6 %**. En ce qui concerne le nombre d'UGB, la zone atlantique domine avec **43 %** du cheptel, les zones continentale et sud sont intermédiaires en respectant **31 %** et **23 %,** et enfin la zone nord avec **3 %**. A partir du critère de la production brute standard des exploitations agricoles (millions d'euros), la zone atlantique se place en première position avec **37 %**, les zones continentale et sud sont intermédiaires avec respectivement **30 %** et **29 %**, enfin la zone nord avec **4 %**.

1.5 BIBLIOGRAPHIE

EEA, 2005 : Vulnerability and adaptation to climate change in Europe. EEA Technical report No 7/2005, European Environment Agency.

EEA, 2012 : Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012 — An indicator-based report, EEA Report No 12/2012, European Environment Agency.

EEA, 2015 : Agriculture and climate change. Article, signals – Toward clean and smart mobility, European Environment Agency.

EEA, 2016 : Global and European temperature. Indicator assessment, Data and maps, European Environment Agency.

EEA, 2016 : Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report, European Environment Agency.

GIEC, 2014 : Changement climatique 2014 : Impacts, Adaptation, et Vulnérabilité. Partie A : Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.

GIEC, 2014 : Changement climatique 2014 : Impacts, Adaptation, et Vulnérabilité. Partie B : Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 688.

2 Zone climatique atlantique / France

2.1 GENERALITES

La France est principalement dominée par l'influence de la zone climatique atlantique, bien que le sud du pays soit influencé par le climat méditerranéen. Avec environ 50 % du nombre d'exploitations de la zone climatique atlantique et 50 % de la superficie agricole utilisée, la situation en France est assez représentative de la zone de risque climatique Atlantique. Les observations sont identiques pour les animaux, la zone climatique de l'Atlantique représentant 43 % des UGB totaux de l'UE et la France représentant 39 % des UGB de la zone atlantique.

En France, les productions végétales sont relativement diversifiées. Avec 67 % de la SAU française, les terres arables constituent la principale classe de cultures, suivies des prairies permanentes (30 % / SAU) et enfin des cultures permanentes (3 % / SAU). De même, les productions animales françaises sont extrêmement diversifiées, même si les ruminants représente la moitié des UGB totaux.

Tableau 2 : Principales données agricoles (Eurostat 2013) pour l'UE-28, pour la zone climatique Atlantique et pour la France

	Total UE-28	**Atlantique**	**France**
Nombre de fermes (1 000) %	**10 841** **100 %**	943 9 %	472,2 50 %
Surface Agricole Utile (1 000 ha) %	**174 351** **100 %**	55 701 32 %	27 739 50 %
% Terres arables / SAU % Prairies permanentes / SAU % Cultures permanentes / SAU	**60 %** **34 %** **6 %**	54 % 44 % 2 %	67 % 30 % 3 %
Main d'œuvre (1 000 UTH) %	**9 345** **100 %**	1 327 14 %	725 55 %
Surface moyenne par ferme (ha)	**16,1**	59,1	58,7
Nombre d'animaux (1 000 UGB) %	**130 320** **100 %**	55 568 43 %	21 871 39 %
Production Brute Standard (million EUR) %	**331 568** **100 %**	122 663 37 %	56 914 46 %

Atlantique : Belgique, Danemark, France, Ireland, Luxembourg, Pays-Bas et Royaume-Uni.

2.2 SITUATION DE LA FRANCE

2.2.1 Stratégie d'adaptation

L'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC[1]), créé en 2001, matérialise la volonté du Parlement et du Gouvernement de prendre en compte les questions liées aux effets du changement climatique. Cet observatoire collecte et diffuse les informations issues des études et recherches sur des risques associés au changement climatique et aux événements climatiques extrêmes. Il mène dans son domaine de compétence toute action d'information auprès du public et des collectivités territoriales en métropole et outre-mer, et propose des outils afin d'aider les décideurs à mieux appréhender les enjeux et à planifier des actions d'adaptation – indicateurs, simulations du climat futur.

En France, une Stratégie Nationale d'Adaptation (SNA) a été adoptée en 2006[2] (MEDDE, 2011) suivie en 2011 d'un plan d'adaptation national (PNA) dont la période de mise en œuvre est de cinq ans. La France est l'un des premiers États membres de l'UE à élaborer ce type de plan. Celui-ci priorise 240 mesures concrètes couvrant 20 domaines thématiques, dont l'un concerne l'agriculture. Parmi les 5 actions consacrées au secteur agricole, la mesure clé consiste à « promouvoir une agriculture efficiente en eau ». Une évaluation des actions sur la mise en œuvre du PNA a eu lieu en juin 2013 et une évaluation finale du PNA a débuté en juillet 2015. La mise à jour du PNA devrait être menée en 2017, et comprendra aussi les propositions des parties prenantes de chaque secteur économique.

En parallèle, des déclinaisons régionales de mise en œuvre des politiques d'adaptation et d'atténuation des territoires par les institutions. L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) accompagne ces démarches et soutient les initiatives territoriales par la formation, les outils et documentations (exemple de la plate-forme « WIKLIMAT » de partage des connaissances entre les acteurs de l'adaptation au changement climatique).

Au niveau régional, les Schémas Régionaux Climat, Air et Energie (SRCAE) ont été élaborés, incluant des actions et des mesures d'atténuation, d'amélioration de la qualité de l''air et d'adaptation. Enfin, à une échelle encore plus locale, les SRCAE sont traduits en Plan Climat Energie Territorial (PCET) par les collectivités territoriales. Plus de 400 PCET ont été élaborés, en cohérence avec les SRCAE, eux-mêmes en cohérence avec le SRADDT (Schéma Régional d'Aménagement Durable des Territoires.

2.2.2 Les outils et services climatiques

Depuis juillet 2012, les projections climatiques pour la France sont disponibles par le biais du service climatique DRIAS (Fourniture d'accès aux données sur les scénarios climatiques régionalisés français et les impacts sur l'environnement et l'adaptation de la société) développé par Météo-France (service météorologique national). DRIAS facilite l'accès aux données et aux produits climatiques régionaux français permettant la réalisation d'études ou projets en lien avec l'adaptation (Météo-France, 2011). Le projet DRIAS se concentre sur les projections climatiques régionales françaises existantes obtenues auprès de groupes nationaux de modélisation tels que IPSL, le CERFACS et le CNRM.

2.2.3 Scénario climatique pour la France au 21ème siècle

En 2010, le ministère français du l'Environnement et du Développement Durable a lancé une l'expertise scientifique auprès des spécialistes du climat français pour qu'ils réalisent une évaluation des conditions climatiques en France au 21ème siècle (MEDDE, 2014). Cette mission confiée à Jean Jouzel (vice-président du GIEC) a conclu que, selon le scénario B2, décrit comme optimiste, la température moyenne en France augmentera d'environ 2 °C à 2,5 °C entre la fin du

---

[1] http://www.developpement-durable.gouv.fr/observatoire-national-sur-effets-du-rechauffement-climatique-onerc

[2] http://climate-adapt.eea.europa.eu/countries-regions/countries/france

20ème siècle et la fin du 21ème siècle et d'environ 2,5 °C à 3,5 °C sous le scénario A2, plus pessimiste. Le réchauffement climatique est **semblable pour les deux scénarios d'ici 2030 et 2050, soit entre 0,5 °C et 1,5 °C**. Le rapport souligne également:

- Une tendance à la baisse significative du nombre de degrés-jours de chauffage correspondant à des besoins de chauffage inférieurs à l'avenir ;
- Une tendance à la hausse de la durée des sécheresses estivales dans toutes les régions ;
- Une tendance à la hausse du nombre de degrés-jours de refroidissement correspondant à une consommation d'énergie accrue pour le refroidissement en été (climatisation) ;
- Une hausse des canicules et une baisse des périodes de froid intenses ayant des effets respectivement négatifs et positifs sur la santé publique ;
- Une baisse du nombre de jours de neige sans pour autant que ce phénomène disparaisse.

2.2.4 Projets en lien avec l'adaptation en agriculture

Depuis quelques années, certaines études sont maintenant disponibles en France permettant notamment de quantifier les impacts agricoles des changements climatiques. Au niveau de l'INRA, une plateforme de recherche intitulée « métaprogramme ACCAF » rassemble par exemple spécifiquement les projets consacrés aux impacts et à l'adaptation du changement climatique. Celle-ci regroupe aussi bien des projets concernant les productions végétales ou animales.

En France, l'observation de la stagnation du rendement pour les céréales explique probablement l'origine d'études ayant pour objet la quantification des effets du changement climatique. Le projet de recherche Climator publié en 2010 s'inscrit totalement dans cette démarche : il présente les impacts climatiques pour les principales cultures annuelles et pérennes cultivées en France (maïs, blé, colza, tournesol, vignobles, prairies) pour le futur proche (2020-2049) et le futur lointain (2070-2099). Les résultats sont ensuite spécifiés pour 6 sous-régions françaises (voir Figure 13), sur la base de 3 scénarios SRES différents (A1B, A2 et B1) et 5 modèles climatiques.

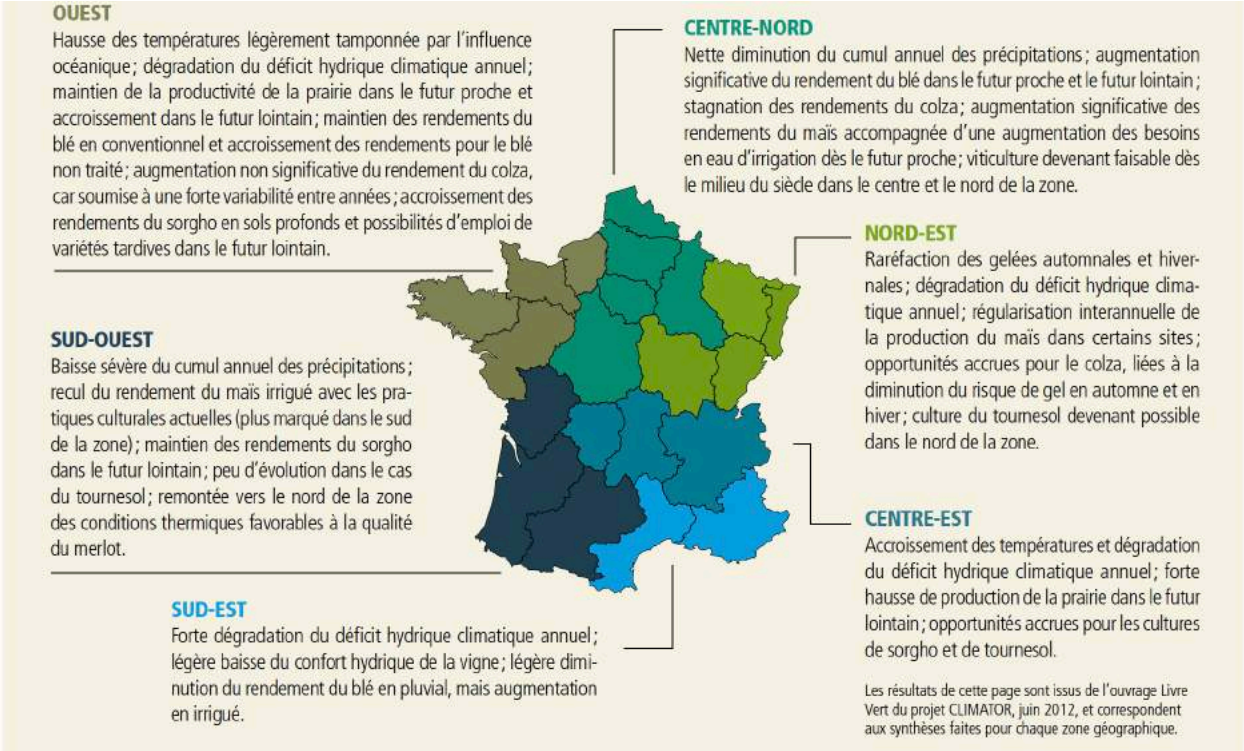


Figure 13 : Régionalisation des impacts du changement climatique pour les cultures principales, projet Climator

Suite à de récurrentes sécheresses au cours des années 2000-2010 entraînant de lourdes conséquences sur les productions fourragères des fermes d'élevage, notamment dans le sud de la France (arc périméditerranéen), des études portant spécifiquement sur les options d'adaptation à l'échelle de fermes d'élevages ruminants ont été mises en place (Climfourel, 2011, IDELE, 2015). En complément de ces approches d'exploitations agricoles, il existe aussi des projets de recherche dédiée à certaines composantes de l'élevage, par exemple le projet Climagie qui se concentre sur les adaptations possibles des prairies face au changement climatique (Climagie, 2015).

En 2013, le ministère français de l'agriculture a mené l'étude prospective AFClim qui étudie la vulnérabilité et les options d'adaptation pour 9 études de cas français sur le territoire métropolitain (c'est-à-dire des exemples de fermes), illustrant ainsi des pistes pour des exploitations de grandes cultures, bovin lait, bovin viande, ovine, viticole ou bien fruitières. Rassemblant une vingtaine d'experts de différents domaines, des options d'adaptation ont été discutées et retenues collectivement en termes de leurs intérêts agronomiques, économiques et organisationnels.

Pour les vignobles et la production viticole, le projet de recherche LACCAVE concentre les apprentissages en matière d'impacts du changement climatique et de stratégies d'adaptation pour l'ensemble du territoire national. Aucune étude semblable n'est pour l'instant disponible pour les productions fruitières.

Enfin, de plus en plus de projets se déploient dans les différents territoires en France, ayant pour trait commun la vulnérabilité et l'adaptation en l'agriculture (AP3C, Oracle, AgriAccept, RICCMAC, ClimAdapt, Optialibio, VIADUCC, etc.), démontrant la réalité actuelle des besoins d'adaptation au changement climatique. Parmi ces différents projets, certains consistent en des observatoires, illustrant les changements observés au travers d'indicateurs climatiques et agro-climatiques adaptés au contexte agricole local.

Tableau 3 : Liste (non exhaustive) de projets en lien avec l'adaptation au changement climatique pour le secteur agricole en France

Projet	Système agricole	Echelle	Contact
CLIMATOR	Grandes culture, prairie Vigne, fruits	6 sous régions nationales	http://w3.avignon.inra.fr/projet_climator/
AFClim	Toutes productions	Nationale	http://agriculture.gouv.fr/afclim-agriculture-foret-climat-vers-des-strategies-dadaptation-0
ACCAF	Toutes productions	Nationale	http://www.accaf.inra.fr/
LACCAVE	Vigne et vin	Nationale	http://www.accaf.inra.fr/Actions-et-Projets/Adaptation-des-productions-vegetales/LACCAVE
Projet ACTA / MIRES	Ruminants	Nationale	
Climfourel	Systèmes fourragers	Arc périméditerranéen	http://climfourel.agropolis.fr/
Climagie	Prairies	National	http://www6.inra.fr/climagie

2.2.5 Grilles agro-climatiques

2.2.5.1 CULTURES ARABLES

Il a été démontré que les impacts climatiques en France sont responsables de la stagnation du rendement pour les céréales, en particulier au travers de sécheresse et de températures élevées plus fréquentes se produisant à la fin du cycle cultural. A partir de la littérature existante et complétée d'interviews d'experts, les principaux risques et opportunités climatiques actuelles des cultures arables principales sont présentées dans le tableau ci-dessous. De manière générale, il ressort que les risques climatiques limitent fortement les rendements des cultures dans le sud de la France, tandis que de meilleurs rendements ou les nouvelles opportunités de récolte semblent apparaître pour le nord de la France (pas uniquement des contraintes).

Tableau 4 : Grille agro-climatique pour les cultures arables en France / climat passé récent et actuel

Cultures arables	Risques climatiques	Opportunités climatiques
Blé tendre	Diminution du confort hydrique au printemps et en été (principalement dans les sols à faible réserve en eau). Augmentation du risque d'échaudage au printemps. Réductions du rendement comprises entre 10 % et 15 % dans le sud ouest de la France.	Augmentation du nombre de jours disponibles pour les emblavements. Valorisation de l'augmentation du rayonnement et de la concentration de CO_2 (culture en C3). Réduction du risque de gel au stade épi 1 cm. Tendance à l'augmentation du nombre de grains produits. Tendance à la réduction des maladies fongiques (réduction du potentiel d'infestation due à une diminution de l'humidité de l'air).
Blé dur	Diminution du confort hydrique au printemps et en été (cependant le blé dur s'avère plus résistant au stress hydrique en comparaison au blé tendre). Augmentation du risque d'échaudage au printemps.	Même opportunités que pour le blé tendre.
Maïs grain	Un raccourcissement du cycle cultural de plus de 20 jours qui : - Augmente les risques climatiques estivaux (déficits hydriques et vagues de chaleur) - Diminue la période de remplissage des grains. Pas de valorisation de l'augmentation de la concentration en CO_2 (cultures en C4). Feuilles larges, très sensibles au stress hydrique et aux vagues de chaleur.	Réduction du risque de températures froides pour le centre et le nord de la France et possibilité d'un semis plus précoce.
Sorgho	Observations identiques à celles du maïs avec toutefois une plus grande capacité à faire face au déficit hydrique et aux vagues de chaleur (indice feuillaire inférieur et système racinaire plus profond).	
Colza	Sensibilité élevée lié à la sécheresse du sol lors des premiers stades (implantation).	Réduction des risques liés aux températures froides en hiver (gel des feuilles < - 4 °C et température létale < -15 °C). Valorisation de l'augmentation du rayonnement et de la concentration de CO_2 (culture en C3).
Tournesol	Un raccourcissement du cycle cultural qui : - Augmente les risques climatiques estivaux (déficits hydriques et vagues de chaleur). - Diminue la période de remplissage du grain. La floraison et le remplissage des grains pourraient être affectés par l'augmentation de la température et des vagues de chaleur (seuil 32 °C) et le stress hydrique en été. Augmentation de la variabilité du rendement interannuel due à la sécheresse pendant la phase végétative.	Réduction des risques liés aux températures froides au printemps (besoin d'un minimum de 4 °C pour la germination). Valorisation de l'augmentation du rayonnement et de la concentration de CO_2 (culture en C3).

Futur proche (horizon 2030)

Les tendances climatiques observées vont s'intensifier dans un avenir proche, ce qui accentuera la réduction du rendement due aux températures élevées et stress hydriques de fin de cycle des plantes. Quatre paramètres principaux sont retenus pour évaluer les risques et / ou les opportunités climatiques pour chaque culture : le type de photosynthèse (C3 ou C4 - capacité à optimiser l'augmentation de la concentration de CO_2), le cycle de la culture (hiver ou été - capacité à réduire les impacts climatiques estivaux par anticipation du cycle de développement), capacité à faire face aux contraintes de satisfaction en eau (haute ou basse), sensibilité aux températures froides.

- **Blé tendre** (C3, cycle hivernal, faible aptitude à affronter le stress hydrique, faible sensibilité aux températures froides) :
  - Augmentation thermique qui réduit la durée du cycle de la plante (de 10 à 20 jours) et réduit les risques climatiques estivaux (déficit hydrique et stress thermique).
  - Le rendement devrait augmenter légèrement de 3 % à 5 % dans le centre et la partie nord de la France.
  - Le rendement devrait diminuer (de 10 % à 15 %) dans le sud ouest de la France.
- **Blé dur** (C3, cycle hivernal, aptitude à faire face au stress hydrique, sensibilité élevée aux températures froides) :
  - Augmentation thermique qui réduit la durée du cycle de la plante (de 10 à 20 jours) et réduit les risques climatiques estivaux (déficit hydrique et stress thermique).
  - Réduction du rendement (de 5 %) dans le sud ouest de la France (sans irrigation supplémentaire).
  - Principalement présent dans le sud de la France, le blé dur pourrait s'étendre dans les zones les plus septentrionales (point de vigilance : température létale -16 °C).
- **Maïs grain** (C4, cycle estival, faible aptitude à faire face au stress hydrique, sensible aux températures froides) :
  - La diminution du rendement peut être supérieure à 25 % dans le sud de la France (même avec un apport d'eau supplémentaire).
  - Légère augmentation de rendement (avec un apport d'eau supplémentaire) pour le centre et le nord de la France.
- **Sorgho** (C4, cycle estival, haute capacité à faire face au stress hydrique, sensible aux températures froides) - impacts identiques à ceux du maïs grain, avec cependant une moindre ampleur.
- **Colza** (C3, cycle hivernal, très sensible au déficit hydrique aux premières étapes du cycle, sensibilité moyenne aux températures froides) :
  - Diminution du rendement (de 15 % à 25 %) dans le sud de la France.
  - Au nord-est et au centre-est de la France, possibilités de mise en culture par la diminution de gelées intenses hivernales.
- **Tournesol** (C3, cycle estival, faible sensibilité au déficit hydrique, sensibilité élevée aux températures froides) :
  - Réduction du rendement (de 5 % à 10 %) dans le sud ouest de la France (sans irrigation supplémentaire).
  - Au nord-est et au centre-est de la France, possibilités de mise en culture par la diminution de températures froides printanières.

2.2.5.2 CULTURES PERMANENTES

Les cultures permanentes, comme la vigne ou les vergers, illustrent remarquablement le changement climatique, notamment au travers de l'avancement constaté des stades phénologiques (date de floraison et date de maturité) : ces évolutions, davantage perceptibles par les agriculteurs, que pour les cultures annuelles, témoignent ainsi des effets du changement climatique. Indépendamment du type de cépage ou bien de la région viticole française, les dates de vendanges ont lieu au moins deux semaines plus tôt qu'en 1988. Bien que la précocité globale

des dates de récolte soit significative et assez irrégulière, les variations interannuelles demeurent importantes. Les préoccupations principales concernent la qualité future du vin et le développement de l'irrigation dans les terroirs du sud de la France.

Figure 14 : Evolution des dates de vendanges en France

La production de fruits est déjà vulnérable aux changements climatiques, en particulier en raison de la forte variabilité interannuelle et des phénomènes climatiques extrêmes (gelée sur les fleurs, hivers doux, retard de levée de dormance, floraison précoce ou tardive, sécheresse, températures élevées en été, etc.). Les risques climatiques sont uniformément répartis sur toute l'année (chaque saison est concernée), que ce soit par des températures élevées au printemps ou en été (impact sur le rendement et le calibre des fruits) ou de basses températures en hiver (dormance). Enfin, l'augmentation du déficit hydrique devrait être résolue avec le développement de systèmes d'irrigation à meilleure efficacité (meilleures pratiques de gestion) et la création de réserves de stockage d'eau.

Tableau 5 : Grille agro-climatique pour les cultures permanentes en France

Cultures permanentes	Risques climatiques	Opportunités climatiques
Vigne	Avancement des stades phénologiques (20 à 40 jours) avec des conséquences négatives sur la qualité du raisin liées aux températures élevées pendant la période de maturation. **Température plus élevée en été :** Réduction de la qualité du vin par une teneur plus élevée en sucre (degré d'alcool supérieur) et faible teneur en acide. Augmentation des ravageurs. **Date de récolte plus précoce :** Déficit hydrique selon le recours ou non à des systèmes d'irrigation. Diminution du rendement et parfois une meilleure qualité.	Progression des vignobles vers le nord. Pour les vignobles déjà installés au nord, comme le Champagne, des conditions climatiques plus optimales sont attendues.
Pommes	**Températures plus élevées :** Date de floraison plus précoce qui augmente le risque de gel pendant la phase de fructification. Augmentation des ravageurs (plus de générations de carpocapse). Certaines variétés de pommes ne sont pas adaptées au climat plus chaud (nécessité de changer les variétés). **Températures froides :** Des exigences en froid plus difficiles à atteindre dans certaines zones. **Déficit hydrique :** production de pommes (quantité et calibres de fruits inférieurs), et peut-être la qualité des fruits (composition). Dépend du type de systèmes d'irrigation. **Événements climatiques extrêmes** (grêle ou tempête de vent, mini tornade) : dommages sur les arbres pouvant affecter l'ensemble d'une parcelle.	Nouvelles variétés ou nouvelles espèces plus adaptées à un (nouveau) climat plus chaud.

Futur proche (horizon 2030)

Pour le futur proche, les impacts du changement climatique pour les vergers et vignobles devraient s'intensifier et les agriculteurs s'adapteraient principalement au travers de modification de leur pratiques agricoles, alors que pour le futur lointain (à l'horizon de la fin du siècle), les options d'adaptation devraient être principalement basées sur de nouvelles variétés et / ou la recherche de nouvelles zones de productions présentant des conditions climatiques plus optimales.

2.2.5.3 ELEVAGE

Impacts directs

Les impacts directs du changement climatique sont principalement liés à la dégradation des performances animales (production de lait ou de viande) en raison de températures élevées et de vagues de chaleur. Cette problématique de températures élevées concerne aussi bien les animaux élevés en bâtiments que ceux élevés en plein air (systèmes pâturant).

Tableau 6 : Grille agro-climatique pour les animaux (impacts directe) en France

Animaux	Risques climatiques	Opportunités climatiques
Tous type d'animaux	**Fortes températures** Animaux en bâtiment : besoins de systèmes de refroidissement et / ou de ventilation pour préserver les performances animales. Animaux à l'extérieur : besoins en ombre au travers d'abris ou de haies qui protègent les animaux du soleil pendant les périodes de pâturage.	

Impacts indirects

Les impacts indirects au travers de la réduction de la productivité des surfaces fourragères sont les risques climatiques les plus importants pour les élevages. Les enjeux climatiques pour ces fermes seront donc étroitement liés au système fourrager sur lequel est basé le système d'élevage, à savoir la proportion de fourrages annuels (ensilage de maïs, sorgho, etc.) ou bien de plantes pérennes (prairies temporaires et permanentes).

Tableau 7 : Grille agro-climatique pour les animaux (impacts indirectes) en France

Cultures fourragères	Risques climatiques	Opportunités climatiques
Prairies permanentes et temporaires	Nouvelle répartition saisonnière de la croissance de l'herbe : production plus précoce au printemps, baisse de la production estivale et augmentation de la production automnale. Production supérieure pour la première exploitation, moindre pour la seconde. Dégradation de l'état hydrique de la prairie.	Allongement de la période de croissance. Potentiel de pâturage hivernal.
Maïs ensilage	Avancement des dates de récolte. Stress hydrique.	

Futur proche (horizon 2030)

Les impacts du changement climatique pour le futur proche seraient donc de faible ampleur et même parfois plutôt positifs, les adaptations à mettre en place seraient relativement marginales et ne rencontreraient pas de contraintes majeures. Cependant, les systèmes d'élevage demeurent davantage vulnérables aux effets du réchauffement climatique dans le sud de la France, au travers d'une plus forte variabilité interannuelle de la production fourragère pouvant fragiliser les fermes d'élevage.
Le contraste est fort par comparaison avec le futur lointain (fin du 21ème siècle), où il sera probablement nécessaire de repenser totalement les systèmes d'élevages actuels.

2.2.6 Bibliographie

CLIMATOR, 2010 : Changement climatique, agriculture et forêt en France: simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010), Nadine Brisson, Frédéric Levrault, éditeurs. 2010. ADEME. 336 p.

Climfourel, 2011 : Adaptation des systèmes fourragers et d'élevage périméditerranéens aux changements et aléas climatiques, un projet tri-régional Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées. INRA.

IDELE, 2015 : Herbivore livestock farming systems and climatic changes in France: conclusions from a series of studies from 2006 to 2009 (the ACTA/MIRES project).

Climagie, 2015 : Adaptation des prairies semées au changement climatique. Actes du colloque présentant les méthodes et résultats du projet Climagie métaprogramme ACCAF), Poitiers, 16-17 novembre 2015.

MAAF, 2013 : Agriculture, Forest, Climate: towards adaptation startegies. Centre d'Etudes et de Prospective, Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, 2013

MEDDE, 2011 : French national Climate Change Impact Adaptation Plan 2011 – 2015. Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie.

MEDDE, 2014 : Le climat de la France au XXIe siècle, Volume 4, Scénarios régionalisés édition 2014 pour la métropole et les regions d'outre mer. Rapports, Direction générale de l'Energie et du Climat, Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie. G. Ouzeau, M. Déqué, M. Jouini, S. Planton, R. Vautard, Sous la direction de Jean Jouzel, août 2014.

Météo-France, 2011 : DRIAS: a step toward Climate Services in France. Advances in Science & Research, 10th EMS Annual Meeting and 8th European Conference on Applied Climatology (ECAC), 2010.

Liste d'experts recensés en France :

- Météorologiste : M. Pigeon (Météo-France)
- Agronomes : M. Levrault (CRANA), M. Gate (Arvalis), M. Gouache (Arvalis), M Leconte (Terres Inovia), M. Justes (INRA).
- Ruminants : M. Moreau (IDELE), M. Duru (INRA), M. Martin (INRA)
- Vigne : M. Touzard (INRA),
- Fruits : M. Jay (CTIFL), M. Loquet (CTIFL), M. Mathieu (CTIFL), M. Legave (INRA)

3 Zone climatique continentale / Allemagne

3.1 GENEREALITES

Environ 35 % des terres agricoles utilisées dans l'ensemble de l'UE sont situées dans la région climatique continentale, qui comprend au total huit pays. Parmi ces surfaces agricoles, environ 27 % sont totalisées par l'Allemagne, ce qui en fait un pays relativement représentatif de la région climatique continentale pour les questions agricoles. En 2014, 15 % des fermes allemandes étaient spécialisées en grandes cultures, 6 % en cultures permanentes (viticulture et production fruitière) et 58 % en élevage. Les fermes restant se partagent entre des systèmes mixtes pour 16 % (il s'agit des fermes où aucun système de production ne génère plus de 50 % du revenu agricole) et enfin les fermes horticoles représentant 5 %.

3.2 AGRICULTURE ET ENJEUX D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

3.2.1 Cultures arables

Des températures plus élevées, des stress thermiques et des excès d'eau (entraînant par exemple le développement de champignons ou bien des difficultés d'accès aux champs pour le matériel de récolte) sont les facteurs climatiques qui représentent les risques majeurs pour les cultures arables en Allemagne, mais aussi à l'échelle du Bade-Wurtemberg (sud ouest du pays). Ces risques climatiques entraînent, dans la plupart des cas, une diminution du rendement et / ou de la qualité des cultures et une augmentation des ravageurs. Des opportunités climatiques sous également à souligner au niveau agricole : l'augmentation de la température permet d'envisager un meilleur développement du maïs, les plantes à tubercules (pomme de terre, etc.) peuvent bénéficier d'une période de végétation plus longue et les ravageurs favorisés par des conditions plus humides pourraient diminuer leur pression.
Les analyses des données météorologiques montrent déjà une augmentation de la sécheresse printanière en mars et avril et une augmentation du stress thermique pendant la phase de floraison du blé d'hiver. Etant donné que les projections climatiques à l'horizon 2030 montrent une augmentation de la température annuelle moyenne, tous les risques associés à une vulnérabilité par des températures plus élevées deviendront plus prégnants, de même que les risques de vulnérabilité associés à des excès d'eau vont s'accroître dans certaines régions d'Allemagne.

3.2.2 Cultures permanentes

Les principaux risques climatiques sont liés à une augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes, notamment les dommages causés par la grêle et les stress thermiques, pénalisant la production et la qualité des fruits. Les opportunités climatiques concernent la mise en place de variétés adaptées aux climats plus chauds. Pour la viticulture, la plupart des risques climatiques sont liés à la qualité du vin et n'ont pas ou peu d'effet sur la vigne elle-même. La vigne peut faire face à des températures plus élevées et des contraintes thermiques plus fortes. Le Riesling, un cépage issu de la région de la région allemande du Rhin, a cependant besoin de nuits fraîches et d'un climat modéré pour produire un vin de grande qualité. Ce cépage sera donc plus la sensible aux aléas climatiques en Allemagne, principalement en raison de températures plus élevées.
Pour le futur proche (horizon 2030), la grêle présente probablement le plus grand potentiel de dommage pour les cultures permanentes, suivie des gelées tardives. Dans le Bade-Wurtemberg, le déficit hydrique représente le second risque climatique par ordre d'importance, se plaçant devant le risque de gel tardif.

3.2.3 Elevage

Le principal impact direct du changement climatique provient du stress thermique en raison de températures ambiantes plus élevées (diminution de la production de lait chez les bovins laitiers,

taux de mortalité plus élevés chez les porcs et les volailles). Pour les cultures fourragères, un déficit hydrique pendant la phase végétative entraîne des rendements plus faibles et peut modifier la composition des espèces des prairies permanentes. L'excès d'eau est aussi un risque de contrainte potentiel, compliquant la réalisation du pâturage ou bien l'accès aux parcelles des machines de récolte des fourrages. En cas de retard de récoltes liés à des excès d'eau, cela peut entraîner une réduction de la qualité des fourrages. Pour le futur proche (horizon 2030), une capacité de stockage de fourrage plus élevée pour l'ensilage et le foin sera nécessaire pour faire face aux périodes de manques.

4 Zone climatique sud / Espagne

4.1 GENERALITES

La production agricole espagnole représente 12 % de la production agricole de l'UE. Les productions les plus significatives, qui contribuent à 50 % de la production agricole nationale, sont les fruits et légumes, les vignobles, les oliviers et les céréales. La production de céréales occupe jusqu'à 40 % des terres agricoles espagnoles, soit 75 % des terres arables. Les cultures permanentes, qui ne sont pas toujours significatives pour d'autres pays de l'UE, représentent environ un tiers de la surface agricole espagnole. Toutefois, ces proportions ne sont pas forcément représentatives du poids économique de ces sous-secteurs. Dans ce sens, les terres irriguées (en particulier pour la production de légumes et les cultures industrielles, et certaines cultures permanentes) concentrent les bénéfices économiques.

4.2 AGRICULTURE ET ENJEUX D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

4.2.1 Cultures arables

Les céréales constituent l'une des principales productions agricoles, et le changement climatique les impactera considérablement (stress thermique, sécheresses). La productivité des céréales, par comparaison à celle de l'UE, est fortement conditionnée par la disponibilité de l'eau et l'aptitude agronomiques des sols.
Les tendances climatiques décrites et les conséquences agronomiques identifiées ci-dessus vont s'intensifier dans un avenir proche. La réduction des rendements, la dégradation des conditions agronomiques et la perte des zones agricoles constituent les principales conséquences générales. Les événements climatiques extrêmes joueront également un rôle majeur, en particulier dans les systèmes agricoles dont la productivité est faible et irrégulière (céréales sans apport d'eau d'irrigation), avec des niveaux de compétitivité des fermes devenant insoutenables.
Pour certaines cultures irriguées, la disponibilité de l'eau sera essentielle pour l'avenir, sachant que la concurrence d'usages va s'accentuer (demande d'eau pour d'autres secteurs, définition de priorités nationales, etc.).

4.2.2 Cultures permanentes

L'Espagne est le pays dont la surface viticole est la plus importante (près de 1,2 million d'hectares), soit 14 % de la superficie mondiale. La production est cependant très variable en raison des conditions géographiques et climatiques, ainsi que d'une importante variabilité interannuelle. Le vignoble traditionnel (sans irrigation) coexiste maintenant avec de nouvelles plantations irriguées (expansion de 40 % au cours des 15 dernières années) associées à des problèmes environnementaux (sur-utilisation et salinisation des eaux souterraines) qui vont encore s'étendre à l'avenir (vignobles irrigués dans les zones où le climat changera).
La seule perspective positive pour le futur proche est qu'à l'horizon 2050, les zones de montagne méditerranéenne atteindront un indice de Huglin adapté à la production de vin, certaines zones de production plus au nord pourront ainsi produire de nouvelles espèces et variétés qui ne peuvent actuellement être produites en raison du froid.
Les conséquences les plus importantes affecteront les zones de production fruitières et les vignobles récemment installés dans des conditions semi-arides, avec des investissements récents et significatifs dans l'irrigation pour des raisons de recherche de compétitivité. La perte de conditions agronomiques appropriées (perte d'hiver, températures élevées lors de la maturation, etc.) ajouté à la pénurie d'eau, pourrait rendre ces nouvelles zones agricoles clairement inadaptées au moment où elles devraient atteindre leur niveau de productivité optimal.

4.2.3 Elevage

L'élevage contribue à hauteur de 40 % de la production nationale, avec des systèmes de production très diversifiés. Environ 30 % du territoire national (50 millions ha) est dédié aux zones de pâturage. L'influence du changement climatique sur le secteur de l'élevage est complexe en raison de la diversité des systèmes de production et des multiples facteurs qui influencent ce secteur tels que la disponibilité des ressources en eau, les types de sol ou de productions agricoles.

5 Zone climatique nord / Estonie

5.1 GENERALITES

Les surfaces agricoles sont principalement dédiées aux terres arables (81 %) et prairies (18 %), les cultures permanentes couvrant moins de 1 % de la SAU. En 2016, les grandes cultures représentaient 673 000 hectares dont plus de la moitié affectées pour les céréales (blé d'hiver 28 %, seigle 4 %, orge de printemps 37 % et blé de printemps 21 %). Les oléagineux (colza, etc.) représentaient 70 800 hectares, 5 800 hectares de pommes de terre, 3 100 hectares de légumes de plein champ et 6 600 ha de vergers dont la moitié sont des pommiers. En ce qui concerne les productions animales, l'Estonie compte 90 600 vaches laitières, 304 500 porcs, 90 900 petits ruminants (ovins, caprins) et 2,1 millions de volailles. La production moyenne de lait par vache augmente régulièrement, atteignant 8 400 kg lait par vache et par an en 2015.

5.2 AGRICULTURE ET ENJEUX D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

5.2.1 Cultures arables

Les risques climatiques sont liés aux températures élevées et / ou le déficit intervenant durant les stades phénologiques les plus sensibles (germination, remplissage du grain, etc.), pouvant entraîner une perte de rendement direct ou une perte de qualité notamment en cas d'excès d'eau lors de la période de précédent la récolte. Pour le futur proche, les modèles climatiques ne montrent pas de changements significatifs dans les conditions climatiques, déjà caractérisé par des variabilités interannuelles extrêmes. Ainsi, les évènements climatiques poursuivront les tendances actuelles. Néanmoins, le risque d'événements climatiques extrêmes peut devenir critique à certains endroits du pays. Une augmentation notable du rendement des cultures peut être une conséquence positive du changement climatique.

5.2.2 Cultures permanentes

Les risques climatiques les plus fréquents pour les cultures permanentes sont liés à une augmentation des phénomènes climatiques extrêmes, notamment les dommages causés par la grêle et le stress thermique (diminution de la qualité). Des opportunités climatiques apparaissent avec la mise en place de cultivars adaptés aux climats plus chauds. Pour la viticulture, il existe plus d'opportunités climatiques que de risques dans le futur proche. Aujourd'hui, la teneur en sucre est trop faible et la teneur en acide trop élevée pour faire du vin, mais l'élévation de températures attendue peut permettre d'envisager l'atteinte des niveaux requis. En parallèle, l'apparition de ravageurs et de maladies augmentera probablement le recours aux pesticides.

5.2.3 Elevage

L'impact direct du changement climatique sur les systèmes d'élevage intensifs de type hors-sol tels que les volailles et les porcs sera probablement moindre par comparaison à des systèmes d'élevage herbagers et mixtes, en raison de la possibilité de contrôler et réguler les conditions ambiantes des bâtiments d'élevage. Cependant, des investissements accrus seront nécessaires pour améliorer les systèmes de refroidissement. Au fil du temps, le stress thermique peut accroître la vulnérabilité aux maladies et diminuer la consommation alimentaire, la fertilité, la production du lait et la croissance des animaux engraissés. Des hivers et début du printemps plus chauds pourraient favoriser la survie de certains parasites et agents pathogènes.
Des températures plus élevées, des précipitations accrues et une réduction de la couverture de neige favorisent les pratiques traditionnelles d'élevage. Les prairies pourraient verdir plus précocement au printemps et leur sénescence être retardée à l'automne, mais celles-ci souffriront aussi de périodes de sécheresses durant la phase de développement. L'incidence de sécheresses estivales peut compliquer la production de bétail en raison de pénurie de fourrages.

En Europe du Nord, il est attendu un risque accru de dégâts de gel hivernal (due à une forte réduction du nombre de jours comprenant une couverture de neige isolante, exposant ainsi les plantes), notamment pour les régions de à Jokioinen (Finlande) et de Tartu (Estonie).