



Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique

Contribution d'Intercéréales, en association avec ARVALIS

Septembre 2021

1: Quels impacts majeurs, liés au changement climatique, anticipez-vous pour vos filières de l'amont (production agricole) à l'aval (transformation) ?

L'impact du changement climatique sur les grandes cultures est déjà perceptible et documenté depuis plusieurs années, notamment concernant le cycle de production. C'est ainsi que la stagnation de rendement du blé tendre d'hiver constatée depuis le milieu des années 90 en France et en Europe (accompagnée d'un accroissement de la variabilité de ces rendements) a été majoritairement attribuée à l'occurrence accrue « d'accidents climatiques » : températures élevées / stress hydrique. (Gate et al., 2010, Brisson et al., 2010). Les dernières campagnes illustrent clairement l'impact déjà perceptible de ce changement avec une succession de collectes « atypiques », y compris 2021 : déficit de collecte mondiale céréalière, printemps froids retardant les semis, conditions de moisson particulièrement difficiles (pluies estivales) sur la moitié nord de la France...

Au-delà de l'effet direct du changement climatique sur les températures, dont la hausse tendancielle est déjà perceptible, et sur la disponibilité en eau, interagissant directement sur la plante et les filières, des effets indirects sont également majeurs. C'est le cas de l'émergence ou du développement sous nos latitudes de bioagresseurs nouveaux ou plus virulents, ou de l'impact d'un nouveau contexte climatique sur la fertilité des sols (évolution de la matière organique) (CGEDD, CGAAER, 2020). Ces points néanmoins n'entrent pas dans le cadre de la présente note, qui se limite, conformément aux orientations données par l'ACTA, aux effets directs « eau » et « températures ». De la même façon, la présente note traite spécifiquement de l'adaptation des filières au changement climatique, sans aborder la question-clé de l'atténuation, pour laquelle les productions céréalières disposent d'atouts importants (exemple : label bas carbone, approuvé par les pouvoirs publics en août 2021).

Notons cependant que la France possède une surface irrigable de 2,6 Mha environ, alors que la surface effectivement irriguée se limite à 1,6 Mha, dont 60% sur céréales (recensement agricole 2010). Les volumes utilisés par l'irrigation en France sont limités à 3 % environ de la disponibilité globale annuelle (GCAAER 2015). Le pays dispose donc d'une « marge de manœuvre » en matière de gestion de l'eau.

A/ Des impacts variables selon les cultures céréalières, touchant fortement les producteurs

L'étude « Agricultures européennes en 2050 » (INRAE, 2020) souligne la difficulté d'estimer les rendements accessibles à cette échéance, et indique un effet potentiellement favorable de l'accroissement de la teneur en CO₂ de l'atmosphère, intimement lié à la satisfaction des besoins hydriques et azotés des plantes. Dans les faits, ces deux conditions seront de moins en moins souvent remplies, et l'effet délétère des fortes températures et des futurs régimes hydriques domineront. Ce que confirme le rapport annuel 2021 du HCC qui indique « Le changement climatique a des impacts sur les niveaux de production agricole. En France et en Europe, ses conséquences sont le plus souvent négatives ».

Effets du changement climatique sur les principales cultures céréalières

Culture	Facteur/ stade	Conséquences	impact
Céréales à paille (hiver)	Excès d'eau hivernaux (+ 8 à + 16 % de pluviométrie hivernale + accroissement des pluies extrêmes)	Mauvaise implantation des cultures, anoxie	Conséquences négatives sur la levée, le tallage, et la croissance précoce (dont racinaire). Mauvaise interception de l'azote du sol (et risques accrus de pertes d'azote par dénitrification) et difficulté de maîtrise des adventices : altération du potentiel de rendement.
Céréales à paille (hiver)	Sècheresse montaison (- 4 à - 11 % de pluviométrie printanière et estivale)	Déficit du peuplement épis	Perte de rendement, sauf compensation par la fertilité épis et le PMG si conditions ultérieures favorables
Céréales à paille (hiver)	Déficit hydrique montaison (- 4 à - 11 % de pluviométrie printanière et estivale)	Dysfonctionnement de nutrition azotée : mauvaise efficacité de la fertilisation minérale (et organique).	Baisse de rendement, et de teneur en protéines des grains. (risque qualitatif en panification) Accroissement des risques de perte d'azote par volatilisation ammoniacale
Céréales à paille (hiver)	Excès de températures lors du remplissage des grains (Vagues de chaleur : + 10j en 2035, + 20j en 2050)	Risque d'échaudage thermique, aggravé en cas de fort déficit hydrique.	Chaque jour à T° supérieure à 25°C en cours de remplissage fait perdre environ 0,5G de PMG, soit 1,5 q/ha environ, et pénalise le rendement meunier.
Céréales à paille (hiver)	Excès de pluviométrie en fin de cycle	Risques de maladies en fin de cycle. Impact possible sur la qualité	Pluviométrie courant floraison = risque de développement de mycotoxines. Après maturité : perte de PS (blé tendre), risque Hagberg et germination (toutes céréales), risque de mitadinage (blé dur)

Céréales à paille (hiver)	Réchauffement global	Raccourcissement du cycle cultural (avancée des stades et dates de moisson)	Facteur potentiellement favorable (évitement des fortes températures en fin de cycle ; possibilité de double culture)
Toutes cultures	Accroissement de la variabilité climatique	Plus forte variabilité interannuelle des rendements, de la qualité ; difficultés de gestion technique de la culture	Risques commerciaux et insécurité économique liés au niveau de collecte (disponibilité) et aux risques d'inadaptation qualitative aux marchés Renforcement de la nécessité du travail du grain après récolte
Tous maïs	Réchauffement global	Raccourcissement du cycle (A variété équivalente,- 40 jours entre « semis » et « humidité grain 32% » en Poitou Charentes entre 1990 et 2070 sous scenario RGP4.5) . Plus forte évapotranspiration (demande en eau)	Possibilité de glissement vers des maïs plus tardifs. Possibilité de déplacement géographique des cultures. Besoins accrus en eau. Risques accrus de fusariotoxines (impact sanitaire)
Maïs pluvial	Sécheresse estivale	Accroissement des stress hydriques	Baisse de rendement dans les territoires les plus concernés (moitié sud France). Impact sur la compétitivité des filières animales.
Maïs irrigué	Sécheresse estivale	Besoin accru en eau (évapotranspiration) face à une disponibilité réduite (déjà + 40 mm observés sur Toulouse sur les 20 dernières années). Et nécessité de débits plus élevés	Conflits d'usage croissants. Risques forts de contraintes sur l'irrigation et perte de rendement.

Plus que les quantités d'eau ou la température en moyenne, le changement climatique provoque donc des successions d'aléas climatiques plus irréguliers, en termes de périodes de survenance et d'amplitude, qui remettent en cause la régularité des récoltes pour les producteurs, essentiellement en quantité mais parfois en qualité. En conséquence, les revenus des producteurs sont plus aléatoires, sans que les cours mondiaux puissent compenser les déficits de production en France. On a ainsi

constaté de 2013 à 2020 une succession de huit années médiocres en grande partie liées à ces aléas non compensés par des prix plus rémunérateurs.

***En résumé :** le changement climatique (eau et températures) affectera l'ensemble des cultures céréalières à chaque période du cycle cultural. La variabilité des impacts, plus ou moins liés entre eux, rend la prévision des rendements accessibles très aléatoire à l'échelle de temps proposée. En termes d'hypothèses, on peut suggérer qu'à court terme (2035) la tendance observée ces dernières années se poursuivra : stagnation tendancielle des rendements, les impacts négatifs du changement climatique étant globalement compensés par le progrès génétique et technique ; accroissement fort de la variabilité inter annuelle (en quantité et qualité), posant des problèmes vis-à-vis des marchés et renforçant l'insécurité économique des producteurs ; impacts plus marqués en zone méditerranéenne que dans le reste du pays. Au-delà de 2035, les effets cumulés d'accroissement de la demande en eau face à une ressource limitée (étude Explore 2070, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2020), d'occurrence accrue d'accidents climatiques extrêmes (canicules, sécheresse, excès d'eau) ne pourront pas être compensés par la simple poursuite des tendances actuelles de ces progrès génétiques et techniques.*

B/ Impacts au niveau des systèmes de culture et des systèmes de production

En termes de rotation, la réduction de la durée des cycles culturaux ouvre la possibilité de nouveaux systèmes de culture intégrant trois cultures en deux ans (exemple : projet SYPPRE Lauragais) ou d'introduction de cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE) ou « multi service » (CIMS). Cette possibilité contribue à l'atténuation du changement climatique par un stockage de carbone accru de l'ordre de 240 Kg/ha (ARVALIS infos, 2020). Cependant la pratique systématique des couverts, dans les zones les plus affectées par les sécheresses récurrentes, peut s'avérer négative sur la recharge des nappes en limitant significativement le drainage hivernal (Meyer, 2020).

En termes de choix des productions, les agriculteurs vont chercher à limiter la variabilité de résultat et la baisse de performance économique à horizon 2050, surtout dans la moitié sud de la France, plus impactée.

- A titre d'illustration, le projet CLIMASSOL (Conseil Régional Nouvelle Aquitaine) montre que l'assolement représentatif de ce qui se fait actuellement dans la vallée du Lot conduira à une marge nette agricole réduite d'environ 20% en 2040-2060 par rapport à la référence 1960-1980 (scénario RCP 4.5, - 25 % en RCP 8.5). La recherche de productions plus valorisantes, la diversification des productions comme outil de résilience (Lesk et al., 2016) bouleversera les systèmes de production.
- Certaines productions vont se déplacer sur le territoire : le maïs grain pluvial pourrait voir ses surfaces réduites dans les zones à plus fortes contraintes, alors que sa production pourra se développer en nord France (Projet Climator, Brisson et al., 2010). La même évolution devrait se constater sur blé dur. Parallèlement, les céréales à paille tendent à gagner les zones d'élevage périphériques en remplacement de prairies, sur des sols plus sensibles aux aléas climatiques accentuant ces phénomènes de variabilité.

Après une forte montée en puissance des oléagineux au cours de dernières décennies, les difficultés rencontrées par ces cultures (ravageurs) provoquent un retour partiel vers des céréales à paille, notamment dans les zones intermédiaires.

Les aléas climatiques hivernaux provoquent aussi localement des phénomènes de report vers des cultures de printemps plus sensibles aux aléas estivaux. Les phénomènes de sécheresse estivale rendent également plus difficiles le respect des exigences réglementaires

d'intercultures (pièges à nitrates et couvertures des sols pour les GES) et peuvent venir concurrencer les cultures suivantes en matière de ressources en eau.

- Des impacts indirects sur la production céréalière française seront aussi liés aux autres productions touchées par le changement climatique. A titre d'exemple, environ 50 % de la production céréalière est le fait d'exploitations de polyculture-élevage, qui seront affectées par le changement climatique (Projet Climator, Brisson et al., 2010) sur les prairies (excédent de production au printemps, déficit estival) et le maïs fourrage (baisse de rendement lié au déficit hydrique). La part de production céréalière mise en marché par ces exploitations pourrait donc être significativement réduite.

En résumé : *les systèmes de culture et de production devraient évoluer fortement, avec des déplacements de cultures du sud vers le nord (maïs pluvial, blé dur), une diversification croissante des assolements, la généralisation d'un couvert permanent des sols par des cultures de vente (3 cultures en deux ans) ou des couverts multifonctions. Le tout, à échéance 2050, dans un contexte contraint sur les usages de l'eau perturbant les systèmes irrigués. Les résultats économiques des exploitations seront particulièrement impactés dans les zones les plus touchées (sud du pays, zones intermédiaires). L'hétérogénéité inter régionale sera donc accrue.*

C/ Impacts sur l'aval de la production

- **Stockage / conservation des grains.** La conservation des grains sur une longue période implique de maîtriser la température et l'hygrométrie des grains durant le stockage. En France, les blés sont habituellement récoltés à une teneur en eau apte au stockage et l'abaissement progressif de la température est réalisé grâce à une ventilation mécanique des grains à l'air ambiant jusqu'à atteindre une température préconisée de 5°C en début d'hiver (Mortas, 2008). Le climat actuel en France permet de refroidir les grains jusqu'à cette température préconisée, à l'exception toutefois des régions les plus méridionales et surtout des silos de grande hauteur, qui présentent un débit de ventilation par tonne de grains faible (inférieur à 4 m³/h/m³) (Tanguy et al., 2020).

Une diminution significative des heures de froid disponibles pour ventiler les grains est donc susceptible d'avoir pour conséquence une augmentation notable des risques d'infestation des grains stockés par des insectes ravageurs (Cook et al., 2004 ; Estay et al., 2009), soit parce que la température de stockage sera plus favorable au développement des insectes, soit parce que le délai pour réaliser la ventilation des grains sera plus long.

Les modèles développés par le CNRM-CERFACS (Centre National de Recherches Météorologiques – Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique) montrent que, à partir de 2035 par rapport à la période 1978/2005 :

- o La probabilité de ne pas refroidir une cellule jusqu'à 5°C passe de 6% en période de référence pour un débit spécifique de 4 m³/h/m³ à 25 % pour le scénario le plus pessimiste en 2036/2065. Pour un débit spécifique de 16 m³/h/m³, cette probabilité passe de 0 % en période de référence à 2 % dans les scénarios les plus pessimistes.
- o La date de réalisation du deuxième palier (température de grain à 12°C, température à laquelle les insectes ne se reproduisent plus) est repoussée en moyenne de 10 à 18 jours par rapport à la période de référence selon le scénario climatique et le débit spécifique considéré.
- o La conséquence en fin de stockage est une multiplication par 17 à 30 du nombre d'insectes par tonne de grain par rapport à la période 1978/2005, sans mise en place de lutte corrective. (Driscoll et al, 2000).

- **Qualité sanitaire des grains.** Le changement climatique joue aussi négativement sur la qualité sanitaire potentielle des grains stockés. Les mycotoxines sont des métabolites secondaires toxiques produits par certaines espèces de moisissures lors de leur développement (Cano et al., 2016). Leur production est donc étroitement liée aux conditions environnementales dans lesquelles se trouve la souche fongique toxigène. En particulier, la température et l'activité hydrique du substrat sont des paramètres clés de cette production (Passamani et al., 2014 ; Gallo et al., 2016). Des travaux récents ont démontré que, dans les années à venir, un réchauffement climatique de 2 à 5° C pourrait entraîner une augmentation considérable du risque de voir apparaître une contamination des productions européennes par l'aflatoxine B1, en particulier dans la zone sud, incluant la moitié sud de la France (Battilani et al., 2016).
- **La logistique fluviale .** Elle sera également impactée, alors que les grains sont largement concernés par ces types de transport sur le domaine fluvial français et sur le grand export, et que la filière (plan de transformation de la filière, 2017) préconise le développement de ce mode, plus compétitif et au meilleur profil environnemental. Le port de Rouen est approvisionné à près de 25 % par voie fluviale ; Metz est le premier port fluvial français et dessert le Nord Europe (FranceAgriMer 2020). Or les prévisions montrent que les précipitations plus fortes en hiver et plus rares en été vont accentuer les perturbations liées aux inondations et basses eaux de façon significative. Les impacts seront différents selon les bassins (Dayon, 2015) mais tous seront touchés. A titre d'illustration, le débit moyen de la Seine à son exutoire serait en baisse de 28% à la fin du siècle par rapport à la situation actuelle, baisse « déjà largement acquise à l'horizon 2050 » (étude Egis eau, 2010). Les effets sont en effet déjà perceptibles :
 - o en 2020 le niveau du Rhin au moment de la collecte du maïs alsacien a fait peser des inquiétudes sur le coût du transport (K. Floquet 2020).
 - o les crues de la Seine en 2016 et 2018 ont généré une baisse de 20 à 25% du trafic (régulation de trafic, baisse de la vitesse de navigation...) alors même qu'aucune interdiction de navigation n'avait été imposée (PCAET, diagnostic des effets du changement climatique, Juin 2018).
- **Les ports maritimes** sont également vulnérables par exemple aux inondations de plus en plus fréquentes, justifiant des plans spécifiques : Plan National d'Adaptation au Changement Climatique, incluant un volet infrastructures portuaires, travaux d'analyse sur le port du Havre, étude C3E2 sur l'estuaire de la Loire ... Sur un autre plan, l'évolution du bassin hydrique du canal de Panama fait peser un risque de limitation de passage des quelques 12000 navires qui le franchissent annuellement (ISEMAR, 2020).
- **Enfin, le ferroviaire** est également concerné : pour des raisons de sécurité les voies sont sous surveillance dès qu'elles atteignent une température de 45°C. Les canicules annoncées à des températures supérieures à 40°C risquent donc de perturber fortement le système ferroviaire. La ministre Elisabeth Borne a déclaré lors de la canicule de Juin 2019 sur Public Sénat : « Nous vivons une situation totalement inédite (...). Notre réseau ferroviaire n'a pas été conçu dans la perspective de telles températures » (intervention Public sénat, 2019)
- **Le commerce international.** Environ 50 % de la collecte céréalière française de céréales est exportée, et 25 % sur les pays tiers, majoritairement sur les pays du Maghreb. Cet équilibre pourra être remis en cause par le changement climatique sous trois facteurs principaux :
 - o Une baisse de la disponibilité française (assortie selon les campagnes de variabilité qualitative).
 - o Un accroissement des besoins des pays tiers clients historiques de la France, qui subissent plus que l'Europe les conséquences du changement climatique pénalisant

fortement leur production céréalière domestique (El Jihad, 2017 ; Trnka, 2019), tout en faisant face à une démographie toujours active.

- o Une concurrence accrue de pays producteurs potentiellement bénéficiaires du changement climatique permettant la mise en culture de zone jusque-là non travaillée ou à potentiel plus faible : Russie, Canada, Chine (Zabel et al. 2014), même si ceux-ci seront aussi soumis à des effets de variabilité déjà perceptibles (ex. collecte Canadienne 2021) ; il est à noter que les pays amenés à augmenter leur production le feront selon des standards d'efficacité et des préoccupations environnementales très inférieurs à ceux de la France et de l'UE.
- **Le tissu industriel.** Le déplacement de certaines productions (blé dur par exemple), la variabilité des rendements et des qualités auront un impact difficile à quantifier sur l'implantation des entreprises de stockage, de première et de deuxième transformation et sur l'adaptation des process à ce nouveau contexte.

La qualité des céréales est une problématique essentielle pour les industries de la première transformation, notamment le sujet de la teneur en protéines, qui est un des indicateurs majeurs pour ces secteurs. Or les aléas climatiques risquent de détériorer ces teneurs, ce qui impactera fortement les process industriels, et aura une influence directe sur la qualité des ingrédients issus des céréales, par exemple sur le malt issu d'orges brassicoles ou encore sur l'amidon (et ses dérivés) issu du blé

Parmi les adaptations nécessaires, à titre d'illustration, on peut citer :

- o L'augmentation des analyses technologiques et sanitaires à réaliser au niveau des industriels pour vérifier l'adéquation des lots compte tenu de l'accroissement de leur variabilité qualitative.
- o L'ajustement des process (ex. diagrammes meuniers) et recours potentiel à des ingrédients de corrections (gluten, enzymes, additifs) que la filière limite et supprime dès que possible aujourd'hui.

L'accès à une eau de qualité et en quantité suffisante sera un enjeu majeur pour certaines fabrications. Les entreprises anticipent cette question : une enquête auprès des IAA du grand Est (HYDREOS, 2021) montre que 58% d'entre elles ont réalisé ou planifié des investissements visant à réduire leur consommation d'eau, 52% ont fait de même sur le traitement. Ces investissements, et la reconception partielle des process devront se poursuivre d'ici 2035, avec des investissements nouveaux et une montée en compétence sur ces domaines : 71% des entreprises se considèrent insuffisamment compétentes sur au moins un des postes liés à l'eau.

En résumé : *si l'impact du changement climatique touche d'abord la production agricole et le revenu des producteurs (en niveau moyen et en stabilité), c'est l'ensemble de la filière qui est concerné, en premier lieu par la nécessaire adaptation à l'évolution quantitative et qualitative du sourcing, mais aussi, de façon variable selon les produits, par de nouvelles contraintes en particulier sur l'eau. Enfin, les productions céréalières contribuent fortement à la balance commerciale du pays et à la sécurité alimentaire des pays du sud. Sans adaptation forte, cette situation peut être significativement compromise par les conséquences de ce changement climatique, du fait de la disponibilité quantitative de la collecte, et du renchérissement de certains coûts, en particulier logistiques. Les entreprises de la filière représentent 444 000 emplois, 41% à la production, 7,3% au niveau de collecte, stockage, commercialisation, 6,1% au niveau de la 1^{ère} transformation (meunerie, amidonnerie, FAB, etc...) et 45,6% au niveau de la seconde transformation (boulangeries, biscuiteries, fabrication de pâtes...). Les*

maillons de la chaîne sont interdépendants. Une part importante de ces emplois pourrait être impactée.

2: Quels sont les leviers amont (production agricole) et aval (transformation) que vous pensez/souhaitez mobiliser pour y faire face ?

L'interprofession, avec ses partenaires (en particulier ARVALIS), est déjà engagée dans un certain nombre d'actions concourant à cet objectif d'adaptation au changement climatique dans le cadre de l'anticipation des changements globaux, formalisées en particulier dans le plan de transformation de la filière (2017) et dans la démarche RSE (2020).

Les six leviers présentés sont ceux dont l'interprofession et ses partenaires se saisissent ou envisagent de se saisir. D'autres excèdent largement le périmètre de la filière (ex. aménagements fluviaux ou ferroviaires) mais l'interprofession, comme elle le fait déjà, est prête à s'investir dans des groupes de travail pluri acteurs (Schéma National du Fret, projet COESIO...).

Ces six leviers prioritaires répondent à l'objectif d'adaptation au changement climatique, mais avec une vision multi-objectifs : performance économique des acteurs, impact environnemental, préservation de la souveraineté alimentaire....

A/ Réguler l'alimentation hydrique des plantes, en garantissant l'accès à l'eau pour les producteurs

L'irrigation reste aujourd'hui minoritaire en production céréalière : elle concernait en 2017 32% des surfaces en maïs et 3 % des surfaces en blé tendre (AGRESTE 2020). L'irrégularité de la pluviométrie, l'accroissement des déficits estivaux, l'augmentation de l'évapotranspiration induiront de nouveaux besoins, et de nouvelles technologies. L'enjeu, au vu du changement climatique, est de permettre l'alimentation en eau des cultures actuellement irriguées, mais aussi de garantir l'alimentation en eau de territoires aujourd'hui cultivés avec une faible irrigation mais qui, confrontés à l'évolution climatique, en auront besoin.

L'irrigation adaptée et régulée sera l'un des leviers majeurs d'adaptation des cultures et des exploitations : il conviendra de modifier en conséquence les itinéraires techniques et les modalités d'accès à l'eau :

- Renforcement de la ressource disponible pour maintenir les cultures irriguées sur leurs territoires. Ce renforcement s'inscrit dans la logique proposée par le CGAER d'une « irrigation de résilience », cohérente avec les enjeux environnementaux.
- Création de ressources pour des irrigations d'appoint permettant, par exemple, l'installation des cultures d'hiver dans de bonnes conditions, une diversification des cultures, ou la réussite des couverts permanents.
- Développement du pilotage stratégique des assolements (ex. Outil ASALEE) et tactique (ex. Irre-lis, utilisation de sondes connectées ...) en conditions irriguées (choix de l'assolement, recherche d'espèces plus résilientes,...). Bien entendu, le pilotage tactique de l'irrigation est également concerné au premier chef : les travaux en cours permettront d'optimiser les apports à l'année et d'adapter les outils à la gestion de l'irrigation en volume limitant.

- Investissement sur des matériels d'irrigation plus économes en eau, plus modulables permettant une agriculture de précision. L'enjeu d'une « modernisation » des matériels pourrait être de l'ordre de 10 à 20% d'économie d'eau (Serra-Wittling C. et Molle B, 2017).

A noter cependant qu'à horizon 2050 la situation hydrique globale de la France restera plus favorable que dans bien d'autres régions du monde (en particulier le pourtour méditerranéen). En ce sens l'exportation de céréales françaises (largement produites grâce à de « l'eau verte ») vers des pays devenus plus arides et ne pouvant produire que sous une irrigation massive et contrainte se doit de contribuer à une gestion de l'eau performante au plan macro-environnemental. (Flacha et al. 2020 ; Konar et al. 2013).

B/ Valoriser / accélérer l'innovation variétale

Face à ces enjeux climatiques, l'innovation variétale constitue un levier majeur, jouant à plusieurs niveaux :

- Recalage des cycles dans une logique d'évitement des accidents climatiques : exemple, recalage du cycle du blé tendre pour éviter les stress de fin de cycle. (Bogard et al. 2021). Au côté des travaux d'écophysiologie, les travaux d'identification de marqueurs génétiques liés à des stress abiotiques (gel, échaudage) contribuent à l'identification d'idéotypes variétaux adaptés aux différents contextes climatiques probables. Il est à noter que la reconfiguration des cycles de cultures des céréales (en jouant sur les précocités et variétales et/ou les dates d'implantations) présente aussi ses limites et que la recherche des tolérances variétales aux stress abiotiques doit rester une des priorités des schémas de sélection (cf. Gouache et al. 2012 pour un exemple concernant le stress thermique sur blé tendre).
- Meilleure efficacité de l'eau : sur blé tendre, le projet FSOV « sécheresse », montre un écart de rendement atteignant plus de 10 q/ha entre une variété « sensible » et « tolérante » en condition de fort stress hydrique.
- Adaptation du maïs. Les derniers travaux en date semblent indiquer une bonne capacité de la culture à s'adapter aux stress abiotiques futurs, à conditions de pleinement valoriser la variabilité génétique disponible pour adapter les cycles de culture (notamment sur la date de floraison) (Parent et al. 2018).
- Résistance au froid en début de cycle du maïs compatible avec les dates de semis plus précoces.
- Compréhension de l'expression des gènes en interaction avec le milieu. Quelle que soit la culture, la recherche de zones génétiques d'intérêt pour la tolérance aux stress thermiques et abiotiques doit s'accompagner d'une bonne caractérisation des conditions de culture à venir, tant l'interaction avec la nature et l'intensité des stress subits conditionnent l'impact de la présence d'un gène sur la production (cf. Millet et al. 2016 pour un exemple sur maïs). Cela doit pousser encore plus vers l'adaptation des conseils variétaux aux contextes spécifiques de production.
- Résistance aux bioagresseurs.
- Capacité à la fixation de carbone (exsudats racinaires), dans une logique d'atténuation, mais aussi de rétention de l'eau dans le sol.
- ..

La France a investi en ce sens dans le projet Phénomène de phénotypage haut débit, incluant certains impacts du changement climatique. Un effort « amont » renforcé de sélection est nécessaire pour mettre au point des variétés adaptées, qui pourront être évaluées en conditions contrôlées ou réelles. Les travaux réalisés dans les projets investissement d'avenir (PIA) Breedwheat (pour le blé) et

Amaizing (pour le maïs) apportent déjà un certain nombre de réponse et doivent être poursuivies. Toutes les technologies disponibles (NBT, ...) devront être mobilisées à cette fin.

C/ Gérer l'accroissement de la variabilité interannuelle par le développement du numérique au champ

Comme indiqué précédemment, l'impact du changement climatique se traduit non seulement par des évolutions tendanciennes (températures, régime des pluies) mais aussi par une variabilité interannuelle beaucoup plus forte, nécessitant une adaptation permanente et délicate des techniques culturales. L'interprofession et ses partenaires, en premier lieu ARVALIS, sont très engagés dans la mise au point et la diffusion d'outils d'aide à la décision (OAD) et de capteurs, par exemple avec les projets Digiferme®, Unilis Agtech, Digistations, ...

Les nouveaux OAD devront intégrer cette variabilité, par exemple sur le pilotage de la fertilisation azotée, très « climato-dépendant », pour lequel des avancées significatives sont déjà réalisées ou en cours (Ravier 2017). Les développements en cours visent à coupler modèles de cultures informatisés et capteurs plante et sol pour proposer des tactiques de fertilisation azotée plus agiles permettant d'évaluer les besoins de la plante en temps réel et de valoriser des périodes favorables à la bonne valorisation des engrais azotés plutôt que permettant l'atteinte d'un objectif de rendement fixé a priori. La fertilisation est d'ailleurs le premier thème pour lequel les techniciens grandes cultures utilisent le numérique (Observatoire des usages de l'agriculture numérique, 2018).

Il en est de même pour la protection des plantes, où le développement des OAD permettra de piloter plus finement l'usage des produits phytosanitaires en fonction de besoins devenus plus variables car très dépendants du climat. De même, le pilotage de l'irrigation est également concerné au premier chef : les travaux en cours permettront d'adapter les outils à la gestion de l'irrigation en volume limitant, en permettant de déclencher l'irrigation en fonction de la météo, des réserves hydriques du sol et du stade de la culture. Le déploiement de nouveaux matériels permettant une modulation intra parcellaire adaptée aux besoins des plantes, ou l'utilisation des images satellites pour une optimisation encore supérieure ouvrent aussi des perspectives prometteuses.

Le développement global des technologies numériques est d'ailleurs identifié comme un axe fort du plan de transformation de la filière.

D/ Mettre au point des systèmes de production agroécologiques, territorialisés et plus résilients

Le déplacement des cultures sur le territoire, l'attention portée au maintien / à l'amélioration de la fertilité des sols qui constitue également un facteur de résilience face au changement global, la recherche d'une couverture permanente de sols, les objectifs de diversification des assolements perçus comme un outil de sécurisation des revenus, conduisent à une évolution forte des systèmes de culture et des systèmes de production.

Le développement de l'agriculture de conservation des sols contribue à cette évolution, induisant en outre un effet positif sur l'atténuation du changement climatique par la fixation de carbone (Lechat, 2020).

Ces évolutions doivent être accompagnées pour sécuriser les choix des producteurs, au sein de chaque territoire, et induisent des besoins en formation des producteurs comme de leur encadrement technique. Le projet SYPPRE (Systèmes de Production Perforants et Respectueux de l'Environnement), l'outil d'évaluation multicritères SYSTERRE constituent des exemples de travaux nécessaires.

Ces évolutions systémiques complexes ne peuvent pas être appréhendées seulement par l'expérimentation traditionnelle : la recherche participative, l'association des acteurs à la mise au point des innovations s'impose, dans la logique des « laboratoires d'Innovation Territoriale ».

E/ Adapter l'outil de stockage / conservation des grains à la variabilité des rendements et des qualités.

Comme indiqué précédemment, le changement climatique induira deux effets majeurs sur la phase stockage/conservation des grains : une perte d'efficacité de la ventilation de refroidissement à l'air ambiant et une hétérogénéité croissante de la qualité des lots en inter comme en intra-annuel.

L'outil français de stockage/conservation comprend 7500 centres de collecte et de stockage, gérés par 550 coopératives agricoles et négociants. Sur cet ensemble, environ 2000 silos sont soumis à déclaration, et un millier à autorisation. Ce parc devra donc faire l'objet d'investissements majeurs pour évoluer :

- En fonction des évolutions géographiques de production,
- Pour s'équiper en techniques alternatives de lutte contre les insectes (groupes froid ...),
- Pour être à même de mieux segmenter la collecte en fonction de critères qualitatifs plus aléatoires.

L'interprofession a formalisé un projet en ce sens, à l'occasion du « plan de relance 2021 » suite à la pandémie de COVID 19. Il s'agit d'un enjeu majeur pour l'accès aux marchés et la compétitivité globale de la filière.

F/ Gérer la consommation et le traitement de l'eau au niveau industriel

Les besoins en eau sont très variables selon les industries céréalieres. Certaines utilisent de l'eau de process (meunerie, amidonnerie, malterie ...) en quantité variable, alors que pour d'autres (brasserie, ...) l'eau est un constituant du produit fini.

Dans tous les cas, l'accès à une eau de qualité, en quantité suffisante, la nécessité de traiter / recycler ses effluents pour les ré-utiliser en agriculture ou en industrie s'imposera dans une perspective de raréfaction de la ressource et de son coût croissant.

Les industries sont engagées depuis longtemps dans la réduction de leurs prélèvements et dans le rejet d'une eau sûre pour l'environnement. Certaines ont déjà mis en place des indicateurs ambitieux en matière de diminution de leurs prélèvements, avec des investissements importants pour optimiser les procédés. Mais certains volumes d'eau sont incompressibles et restent indispensables pour les process.

Les industries de l'aval de la filière ont ainsi deux leviers pour optimiser la ressource en eau :

- La réutilisation d'eau non conventionnelle (eau usée traitée) en substitution de l'eau potable. Les solutions techniques pour développer de telles solutions existent, mais pâtissent dans leur mise en œuvre de blocages réglementaires concernant les eaux potables. La levée de tels blocages permettrait la multiplication des expérimentations de réutilisation des eaux usées dans les process industriels, permettant une réduction des prélèvements en eau tout en garantissant la meilleure sécurité sanitaire possible pour les produits de nos industries.
- La valorisation des eaux traitées de nos industries pour l'irrigation agricole, en alternative à l'eau prélevée en milieux naturels. L'épandage sur des surfaces agricoles, reconnu comme Meilleure Technique Disponible (MTD) permet en effet une réduction importante des prélèvements d'eau tout en optimisant les avantages agronomiques des effluents industriels.

La réglementation encadrant ces pratiques doit cependant évoluer pour mieux prendre en compte les spécificités des effluents des industries de la première transformation.

En résumé, Il s'agit donc d'un plan global d'adaptation de la filière au changement climatique qui doit être élaboré, en concertation avec tous les acteurs concernés et avec l'appui des pouvoirs publics. L'interprofession y est déjà largement engagée, avec ses membres et partenaires, mais l'enjeu dépasse son périmètre propre et suppose un investissement collectif majeur.

La mise au point et la promotion des outils de gestion des risques, en complément de l'assurance climatique constitue aussi un élément-clef de l'adaptation à la variabilité, de l'épargne de précaution à l'assurance récolte en passant par les outils de gestion des risques économiques proposés par les organismes stockeurs. Les travaux du GT1 du « Varenne » sont donc également fondamentaux.

3: Quels sont les besoins identifiés pour accompagner cette nécessaire transition ?

Trois axes structurent les principaux besoins pour les filières :

A/ Des besoins de recherche

- Sur les thématiques-clefs (amélioration variétale (NBT) / numérique / biologie des sols/réutilisation des eaux recyclées...).
- Induisant des besoins de plus grande fluidité recherche académique / recherche appliquée, et un financement suffisant du maillon appliqué, garant de l'opérationnalité pratique des innovations travaillées.
- Avec des méthodologies adaptées à des questionnements nouveaux, plus systémiques, plus territorialisés... (incluant la recherche participative).

B/ Un accompagnement technique, juridique et financier des entreprises et des exploitations pour les adaptations géographiques et de process

- Gestion, traitement, recyclage de l'eau dans les process industriels : des équipements nécessaires.
Dans les industries de première transformation des matières céréalières (amidon, malt, ...), l'eau est un élément essentiel du process de fabrication lui-même. Les sites de production sont équipés d'unités de traitement des eaux de process. Ces eaux usées ne font pas l'objet, aujourd'hui, de réutilisation industrielle, pour des raisons essentiellement réglementaires. Ce levier d'action pourrait pourtant constituer une piste intéressante pour faire face à l'aléa climatique.
Des systèmes de recyclage des eaux de process sont aujourd'hui expérimentés sur certains sites. Un déploiement à plus grande échelle, qui permettrait une gestion optimisée de l'eau, nécessiterait toutefois de lourds investissements sur lesquels un accompagnement public paraît indispensable.
- Développement des analyses qualitatives, ajustement des process face à l'évolution des matières premières.
- Maîtrise du stockage des grains.
- Stockage de l'eau au niveau de la production
 - o Evolution du cadre législatif afin de placer la production agricole parmi les priorités d'usage de la ressource en eau, dans le cadre d'une politique active et ambitieuse de stockage de l'eau.

- Intégration dans les SDAGE de l'objectif de stockage de l'eau de manière à répondre aux objectifs de l'article L. 211-1 du code de l'environnement, qui définit ce qu'est une gestion équilibrée de la ressource en eau.
- Accès aux technologies : il est nécessaire que les réglementations européenne et nationale donnent à la céréaliculture française l'accès aux nouvelles techniques génomiques (NBT et notamment CRISPR), indispensables pour accélérer l'innovation variétales et déjà en développement rapide hors de l'UE (Royaume-Uni, USA, Argentine...)
- Besoin de contrats prenant en compte le partage des risques climatique entre les producteurs et les opérateurs, à l'image des contrats en semences.
- Refonte du système français d'assurance récolte (en cours)

C/ Un besoin majeur de formation des acteurs

- Agriculteurs (nouveaux systèmes de culture / évolutions stratégique de l'exploitation / nouveaux outils et nouvelles technologies/ OAD tactiques et stratégiques/connaissance des outils de gestion des risques..)
- Opérateurs des filières (maîtrise nouvelles techniques de stockage / conservation, nouveaux process industriels / Gestion des intrants en industrie (eau, énergie ...))

4: Quels risques, menaces, points d'attention ou conditions souhaitez-vous signaler ? Y a-t-il des opportunités à saisir ?

Les principaux risques sont les suivant :

- Contraintes imposées dans la feuille de route Farm to fork qui reposent sur une analyse décroissante et accentuent la fragilisation des systèmes de production face au changement climatique.
- Distorsions de concurrence, y compris intra européenne en fonction des contraintes réglementaires appliquées aux acteurs français, souvent plus contraignantes, induisant donc une augmentation indirecte de l'impact environnemental de notre alimentation si nous importons plus.
- Baisse de compétitivité sur les marchés internationaux, associée à une variabilité qualitative pénalisante par rapport aux attentes des marchés (domestique, européen, pays tiers). Ce risque est accru si la collecte française est affectée significativement en volume, au risque de compromettre la souveraineté alimentaire du pays.
- Risque de baisse de la qualité des produits de la première transformation (malt, amidon, ...) au cas de trop grande variabilité des récoltes de céréales d'une année sur l'autre, liée aux aléas climatiques.
- Absence de consensus politique et sociétal sur l'objectif de maintien/développement de la production céréalière.
- Réticences sociétales, en particulier sur la génétique et les biotechnologies, et sur les aménagements hydrauliques. Ces réticences, si elles ne sont pas levées par une communication concertée et volontariste, peuvent freiner sensiblement l'adaptation de la filière.

5: Quelles orientations envisagez-vous pour la feuille de route de votre filière ?

Les orientations sont déjà largement engagées au travers du plan de transformation de la filière, de sa démarche RSE (et des indicateurs de performance qui y sont attachés), des orientations données à ARVALIS Institut du végétal.

Elles traduisent des ambitions fortes qui mobilisent aujourd'hui l'ensemble de la filière :

- Satisfaire durablement, quantitativement et qualitativement, les marchés français, européens et internationaux
- S'adapter au changement climatique dans une logique d'anticipation, mais aussi contribuer à son atténuation (stockage de carbone)
- Contribuer à une bioéconomie performante (biocarburants, méthanisation, bioplastiques, matériaux de construction,...)
- Grâce aux ajustements de variétés, d'espèces, de techniques culturales, conserver une production céréalière performante dans l'ensemble des territoires du pays.
- Tout en permettant une rémunération satisfaisante des acteurs à toutes les étapes de la filière
- Au final, répondre aux enjeux de souveraineté alimentaire du pays, contribuer positivement à sa balance commerciale, tout en maîtrisant nos impacts

La récente réorganisation de l'interprofession (2021) vise en outre à la rendre encore plus réactive et cohérente dans ses actions. Les réponses au point 2 de la présente note traduisent ces orientations.

Au-delà, quelques points peuvent être soulignés, sur lesquels la filière s'engage :

- En concertation avec les représentants des producteurs, le développement de la couverture des risques pour les agriculteurs et autres acteurs de la filière : dans un contexte de prix volatils et d'accroissement de la variabilité climatique, développer une véritable culture commune de la gestion des risques.
- En concertation avec ARVALIS, la réalisation d'une réflexion prospective sur la quantification de l'impact du changement climatique (mais aussi des évolutions réglementaires, technologiques et économiques) sur l'offre céréalière française, en qualité et quantité, dans la suite des travaux existants (projet « adéquation offre/demande), cette étude ayant vocation à être régulièrement réactualisée.
- Au-delà de la nécessaire adaptation au changement climatique, le déploiement de solutions contribuant à son atténuation, pour laquelle la céréaliculture française dispose d'atouts extrêmement importants.
- La nécessité d'une approche large de la question climatique, au-delà de la thématique « eau/température » : l'évolution des bioagresseurs par exemple devient un sujet majeur de préoccupation.
- L'engagement d'Intercéréales de travailler de plus en plus – même si les collaborations sont déjà fortes - en concertation avec les autres interprofessions, d'abord concernées par les « grandes cultures » (oléoprotéagineux, sucre, pommes de terre, lin..) mais aussi l'élevage, les interactions entre production étant très fortes : près de 260 000 exploitations produisent des céréales en France, alors que l'on ne compte « que » 123 000 exploitations spécialisées grandes culture (AGRESTE, graph'Agri 2020).

Bibliographie

- AGRESTE. 2020. Enquête pratiques culturales en grandes cultures et prairies 2017 Principaux résultats.
- AGRESTE, Graph'Agri. 2020. L'agriculture, la forêt, la pêche et les industries agroalimentaires. <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/GraFra2020Integral/detail/>
- Agromédia, 2020 Industrie agroalimentaire : les grands défis à poursuivre en 2020. <https://www.agro-media.fr/analyse/les-grands-defis-a-poursuivre-de-lindustrie-agroalimentaire-31335.html>
- ANIA, 2015. Energie et changement climatique : quels enjeux et quels leviers de compétitivité pour l'industrie agroalimentaire ? Actes colloque 10 avril 2015 <https://presse.ania.net/actualites/energie-et-changement-climatique-quels-enjeux-et-quels-leviers-de-competitivite-pour-l-industrie-agroalimentaire-a489-53c7f.html>
- ARVALIS Institut du végétal, Idèle, ITB, TerresInovia., 2020. Valoriser la fonction puit de carbone des cultures. ARVALIS Infos [Blé et maïs alimentent le stock de carbone du sol \(arvalis-infos.fr\)](https://www.arvalis-infos.fr)
- BAREIL N., 2016. Lutter par le froid contre les insectes. Perspectives agricole N° 436 septembre 2016 pp 14-18
- Battilani P, Toscano P, Van der Fels-Klerx HJ, Moretti A, Camardo Leggieri M, Brera C, Rortais A, Goumperis T, Robinson T., 2016 Aflatoxin B1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. Sci Rep. 2016 Apr 12;6:24328
- Beauvais F., Cantat O., Madeline P., Le Gouée P., Brunel-Muguet S., Medjkane M., 2019. Quelles conséquences du changement climatique sur le blé tendre en Normandie aux horizons 2050 et 2100 ? - Étude d'impact prospective à partir du modèle ALADIN-Climat. Climatologie, 16 (2019) 129-160
- Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F.-X., Huard, F., 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. Field Crops Research 119, 201–212. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.07.012>
- Bogard, M., Hourcade, D., Piquemal, B., Gouache, D., Deswartes, J.-C., Throude, M., Cohan, J.-P., 2021. Marker-based crop model assisted ideotype design to improve avoidance of abiotic stress in bread wheat. *Journal of Experimental Botany*, Volume 72, Issue 4, 24 February 2021, Pages 1085–1103.
- Bremmer, B., O.N.M. Van Eijk, T.V. Vellinga, C. Te Pas, J. Scholten, C Meerburg, B.G., Verburg, 2021. Kringloopeffecten van het stoppen van import van diervoedergrondstoffen van buiten de EU; Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1299.
- Brisson N., Levraut F., ÉDITEURS. 2010. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces. Le Livre Vert du projet CLIMATOR (2007-2010). ADEME. 336 p.
- Cano P.M., Puel O., Oswald J.P., 2016. Mycotoxines : Fungal secondary metabolites with toxic properties. . In *Progress in Mycological Research* Vol. IV. Fungi and their Applications, Deshmukh SJ and Lucknow JKM (ed). pp 318-371
- CGAAER, 2015. Synthèse eau et agriculture, Tome 1, aspects quantitatifs. Rapport CGAAER n°14062, 32 pages

- CGEED, CGAAER, 2020. Changement climatique, eau, agriculture. Quelles trajectoires d'ici 2050 ? Rapport CGEDD n° 012819-01, CGAAER n° 1, 333 pages
<https://agriculture.gouv.fr/changement-climatique-eau-agriculture-queelles-trajectoires-dici-2050>
- COCERAL, 2021. Impact of the Farm to Fork targets on the Cereals and Oilseeds markets .COCERAL-UNISTOCK's main findings. Rapport COCERAL 21 mai 2021
- Collin y., 2012. Le défi alimentaire à l'horizon 2050. Rapport d'information n° 504 (2011-2012) fait au nom de la Délégation à la prospective, déposé le 18 avril 2012

Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

- Cook D.A., Armitage D.M. and Wildey K.B., 2004. Integrated Protection of Stored Products IOBC/wprs Bulletin Vol. 27 (9) 2004 pp. 1-1
- Dayon G., 2015. Evolution du cycle hydrologique continental en France au cours des prochaines décennies. Thèse de Doctorat à l'Université Toulouse 3 Paul Sabatier
- Deutsh C.A., Tewksburt J.J., Tigchelaar M., Battisti D.S., Merrill S.C., 2018. Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science* 31 Aug 2018: Vol.361, Issue 6405, pp. 916-919 DOI: 10.1126/science.aat3466
- Driscoll R., Longstaff B.C., Beckett S., 2000, prediction of insect populations in grain storage, *Journal of Stored Products Research* 36 (2000), 131-151
- Duviella E., Horvath k., Rajaoarisoa L., Chuquet K, 2014. Modèle intégré de réseaux de voies navigables pour l'étude de leur résilience dans un contexte de changement climatique. MOSIM 2014, 10ème Conférence Francophone de Modélisation, Optimisation et Simulation, Nov 2014, Nancy, France. fffhal-01166670f
- Egis Eau,. 2010. Incidence du changement climatique sur le bassin de la seine ; *synthèse bibliographique*https://cpdp.debatpublic.fr/cdpd-crue-seinebasse/docs/etudes/hydraulique/egis_2010/incidence_du_changement_climati/change_ment_climatique_egis_2010.PDF
- El Jihad M., Taabni M., 2017 L'eau au Maghreb : quel " mix " hydrique face aux effets du changement climatique ?. Zeineddine Nouaceur. Eau et climat en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, Editions Transversal, pp.11-25, 2017, 978-606-605-166-8. hal-02187508
- Estay S.A., M. Lima M. and Labra F.A., 2009. Predicting insect pest status under climate change scenarios : combining experimental data and population dynamics modelling. – *J. Appl. Entomol.* 133: 491–499
- FAO. 2018. The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. Summary version. Rome. 60 pp.
- Flacha R., Skalskyc R., Folberth C., Balkovič J., Jantkea K., Schneider U.A., 2020. Water productivity and footprint of major Brazilian rainfed crops – A spatially explicit analysis of crop management scenarios. *Agricultural Water Management* 233 (2020) 105996
- Floquet K., 2020. Basses eaux du Rhin : un fort renchérissement du fret fluvial à venir. La dépêche le petit meunier. 23 septembre 2020. <https://www.reussir.fr/ladepeche/basses-eaux-du-rhin-un-fort-rencherissement-du-fret-fluvial-venir>
- FranceAgriMer 2020. Réalisation d'une étude sur l'évaluation des coûts de la chaîne logistique céréalière française. Rapport final.

- FranceAgriMer/GNIS. 2013. Prospective filière française semences de blé tendre. <https://www.franceagrimer.fr/content/download/28476/251928/file/nov%202013-Complet%20Fili%C3%A8re%20fran%C3%A7aise%20semences%20 Tome%201B2.pdf>
- Gallo A., Solfrizzo M., Epifani F., Panzarini G., Perrone G. 2016. Effect of temperature and water activity on gene expression and aflatoxin biosynthesis in *Aspergillus flavus* on almond medium. *Int. J. Food Microbiol.*, 217, 162-169.
- Gate P, Deudon O., 2019. Flax crop production and climate change : from diagnosis to solutions for the future. CELC congress
- Gate,P., Brisson N., Gouache D.,2010. Les causes du plafonnement du blé en France : d’abord une origine climatique. Académie d’Agriculture de France, séance du 5 mai 2010
- Gouache, D., Le Bris, X., Bogard, M., Deudon, O., Pagé, C., Gate, P., 2012. Evaluating agronomic adaptation options to increasing heat stress under climate change during wheat grain filling in France. *European Journal of Agronomy* 39, 62–70.
- HCC, 2021. Rapport annuel juin 2021 renforcer l'atténuation, engager l'adaptation https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2021/06/HCC-rapport-annuel-2_2021.pdf
- [HYDREOS 2021. Eau et industries agro-alimentaires dans le Grand Est. https://www.hydreos.fr/news/362/34/Infographie-Eau-et-industries-agro-alimentaires-dans-le-Grand-Est.html](https://www.hydreos.fr/news/362/34/Infographie-Eau-et-industries-agro-alimentaires-dans-le-Grand-Est.html)
- INRAE, 2020. Quelle place pour les agricultures européennes dans les échanges mondiaux à horizon 2050 ? Entre enjeux climatique et défi de la sécurité alimentaire. Rapport de synthèse.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151
- IPCC, 2018. Global Warming of 1.5 °C. Special Report. The Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, Genève. [https://www.ipcc.ch/sr15/\[4.6.19\]](https://www.ipcc.ch/sr15/[4.6.19]).
- IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*.
- ISEMAR, 2020. Note de Synthèse N°219 - Avril 2020 L’adaptation des ports maritimes aux conséquences du changement climatique <https://www.isemar.fr/wp-content/uploads/2020/04/Note-de-synthese-219-Adaptation-des-ports-maritimes-aux-conse%CC%81quences-du-changement-climatique.pdf>
- Jezequel S., Cabeza-Orcel P. 2021.Changement climatique : les transitions à l’œuvre dans la filière céréalière. Perspectives Agricoles. Juillet 2021.
- Konar M., Z. Hussein Z., Hanasaki N., Mauzerall DL., Rodriguez-Iturbe I., 2013. Virtual water trade flows and savings under climate change. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 3219–3234, 2013
- La coopération Agricole. 2021. La souveraineté alimentaire de la France. Tirer les leçons de la pandémie de Covid-19. <https://www.lacooperationagricole.coop/fr/actualites/rapport-sur-la-souverainete-alimentaire-de-la-france-tirer-les-lecons-de-la-pandemie-de-covid-19>
- Lechat G., 2020. Livre blanc : ACS et potentiel de stockage de carbone. Ed. APAD.
- Lesk C., Rowhani P., Ramankutty N.,2016. Influence of extreme weather disasters on global crop production *Nature* volume 529, pages84–87
- Meyer N,. 2020. Evaluation de l’impact des cultures intermédiaires multi-services sur le bilan hydrique des sols : approche par expérimentation et simulation. Application au bassin Adour-Garonne. Thèse PhD, Agrosystèmes, écosystèmes et environnement, Institut National Polytechnique de Toulouse
- Millet, E., Welcker, C., Kruijjer, W., Negro, S., Nicolas, S., Praud, S., Ranc, N., Presterl, T., Tuberosa, R., Bedo, Z., Draye, X., Usadel, B., Charcosset, A., van Eeuwijk, F., Tardieu, F., Coupel-

- Ledru, A., Bauland, C., 2016. Genome-wide analysis of yield in Europe: allelic effects as functions of drought and heat scenarios. *Plant Physiol.* pp.00621.2016. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00621>
- - Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. 2020. Bilan du projet Explore 2070 - Eau et changement climatique. <https://www.gesteau.fr/document/bilan-du-projet-explore-2070-eau-et-changement-climatique>
 - Mortas, N., Penner A., 2008. Méthodes de lutte contre les insectes dans les silos. Montreuil-sous-Bois : Office National Interprofessionnel des Grandes Cultures, 4 p
 - Observatoire des usages de l'agriculture numérique, 2018. Les usages du numérique chez les techniciens grandes cultures. *Agrotic. Dossier N°2.* 16 juillet 2018
 - Parent B., Leclere M., Lacube S., Semenov Mikhail A, Welcker C., Martre P., Tardieu F. 2018. Maize yields over Europe may increase in spite of climate change, with an appropriate use of the genetic variability of flowering time PNAS <https://doi.org/10.1073/pnas.1720716115>.
 - Passamani FR., Hernandez T., Lopes NA., Bastos SC., Santiago WD., Cardoso Md., Batista LR. 2014. Effect of temperature, water activity and pH on growth and production of ochratoxin A by *Aspergillus carbonarius* from Brazilian grapes. *J. Food Prot.*, 77, 1947-52.
 - Passion Céréales, 2021. Céréales et climat. Changement climatique. Les transitions à l'œuvre dans les filières céréalières. Dossier de presse. 7 avril 2021.
 - PCAET. Construire ensemble Grand Paris Seine et Oise. 2018. <https://gpseo.fr/sites/gpseo/files/document/2020-10/DIAGNOSTIC%20VULNERABILITE.pdf>
 - Pixton S. W., Warburton S., Hill S.T., 1976. Long-term storage of Wheat III : some changes in the quality of wheat observed during 16 years of storage. *J. stored Prod. Rex* 1975, Vol. 11, pp. 177-185.
 - Ravier C., 2017. Conception innovante d'une méthode de fertilisation azotée : Articulation entre diagnostic des usages, ateliers participatifs et modélisation. Thèse Sciences agricoles. Université Paris Saclay (COMUE).
 - Serra-Wittling C, Molle B, 2017. Evaluation des économies d'eau à la parcelle réalisables par la modernisation des systèmes d'irrigation. IRSTEA UMR G-eau, 149 pages
 - Soleilhavoup M., Crisan M. 2020. Enquête pratiques culturales en grandes cultures et prairies 2017 - Principaux résultats (Version modifiée). AGRESTE <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Chd2009/detail/>
 - Trnka M., Feng S., Semenov M.A., Olesen J.E., Kersebaum K.C., et al. 2019. Mitigation efforts will not fully alleviate the increase in water scarcity occurrence probability in wheat-producing area, *Science Advances* 25 Sep 2019: Vol. 5, no. 9, eaau2406
 - Zabel F, Putzenlechner B, Mauser W, 2014. Global Agricultural Land Resources – A High Resolution Suitability Evaluation and Its Perspectives until 2100 under Climate Change Conditions. *PLoS ONE* 9(9) : e107522. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.010752>