

Compte rendu de la rencontre débat du mardi 5 novembre 2024

Quelle Agriculture pour demain face au changement climatique.

animée par **Philippe GATE,**

ancien Directeur Scientifique de Arvalis (), Institut Technique agricole, membre de l'Académie d'Agriculture*

(*) La mission d'ARVALIS cofinancé par tous les agriculteurs est de « permettre l'émergence de systèmes de production conciliant sur tout le territoire, compétitivité économique, adaptation aux marchés et contribution positive aux enjeux environnementaux »

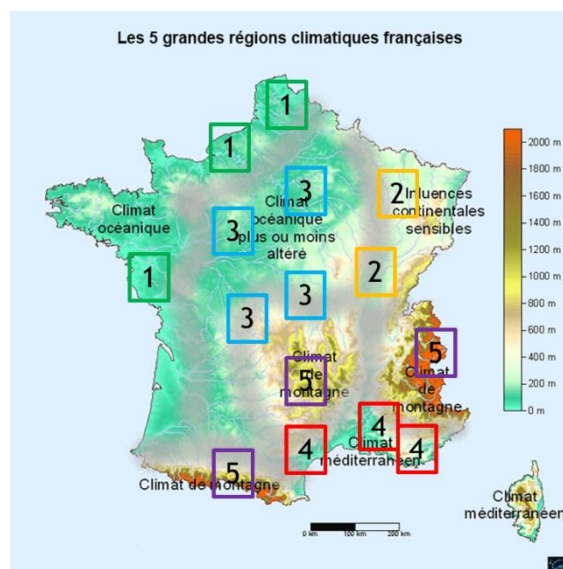
La production agricole a toujours été fortement conditionnée par le climat.

La France possède 5 zones climatiques bien distinctes : le climat maritime (1), le climat continental (2), le climat Intermédiaire (au centre) (3), le climat méditerranéen (4) et le climat d'altitude (montagnes) (5)

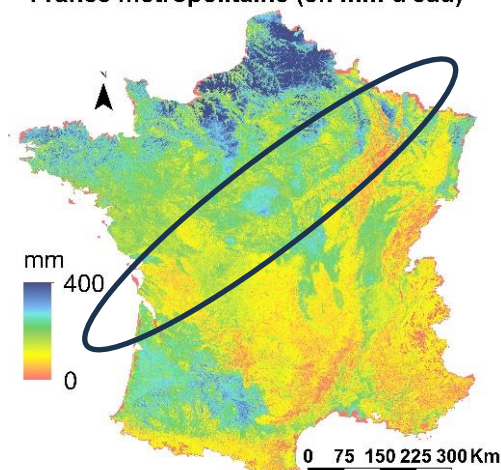
Elles sont caractérisées par des hautes températures selon un gradient NE-SE, par du froid dû à l'altitude et à la distance à la mer, et des grandes différences de disponibilité en eau (plus favorable dans le nord et le nord-ouest avec plus de précipitations et des sols plus profonds.

Variabilité spatiale de la profondeur des sols

Au contraire des régions NO les zones céréalières de la diagonale NE-SO (ellipse) est caractérisés par des sols a faibles réserves en eau (< 80 mm) et sans irrigation (ou peu). Ce sont des zones vulnérables où les rendements sont variables en fonction de la pluie. Il y a peu de diversification d'espèces et les espèces de printemps sont peu représentées à cause des risques de sécheresse. Il y a un lien très étroit entre conditions climatiques et production. Pour le blé tendre, il varie de 90 quintaux/ha dans le nord-ouest à 40 quintaux/ah dans les régions méditerranéennes+



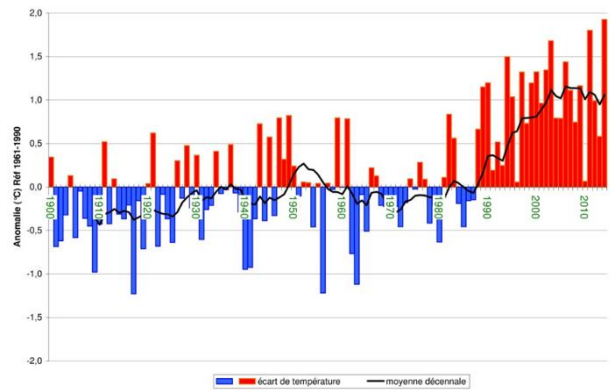
Réservoir en eau utile (RU) des sols de France métropolitaine (en mm d'eau)



Le Constat sur le réchauffement et le dérèglement climatique

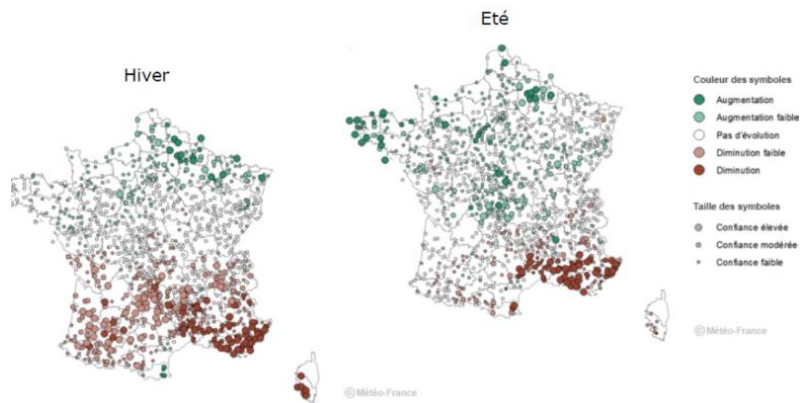
1. Températures : les années les + chaudes sont les + récentes

- + 1°C par rapport à 61-90)
- Effet région : gradient nord-ouest → sud-est
- Futur : accentuation avec le même gradient et plus grande variabilité inter annuelle



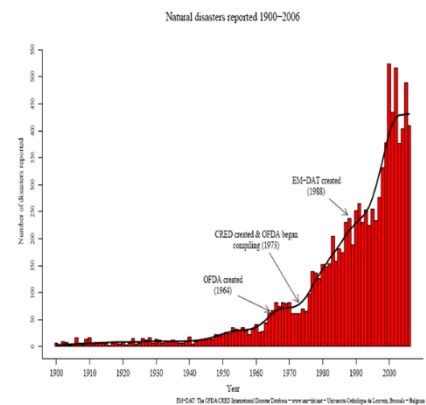
2. Pluies : c'est la répartition saisonnière plus que quantité qui a changé à l'exception du sud (sécheresse plus marquées) et nord (plus pluvieux)

- Effet sur l'évaporation en conséquence les sols s'assèchent plus vite
- Dans le Futur, on prévoit au moins autant d'eau avec plus de variabilité, et de conditions extrêmes



3. Autres conséquences du dérèglement

- Le changement climatique s'accompagne d'une augmentation des événements extrêmes
- Le réchauffement s'accompagne d'une plus forte variabilité interannuelle
- **A cause d'une grande variabilité interannuelle**, le risque moyen diminue et le risque réel peut augmenter !
- **Co-existence de** plus de sécheresse avec davantage de pluies extrêmes >200mm

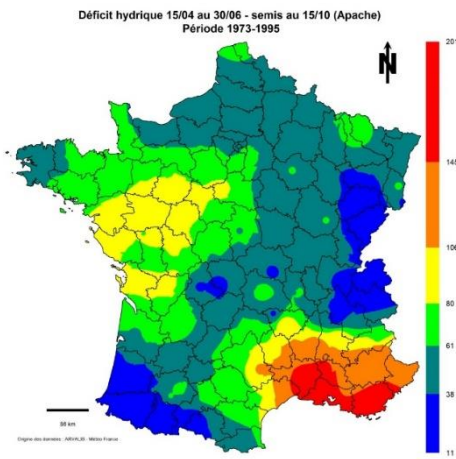


Désastres naturels 1900-2006

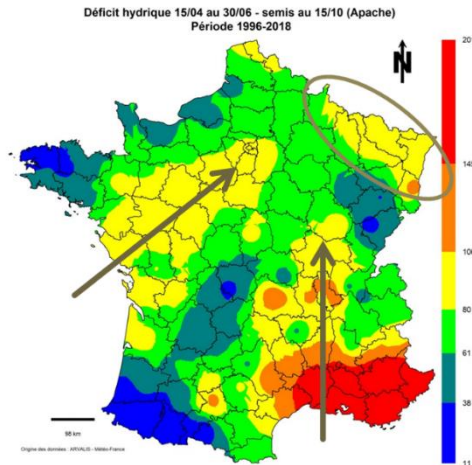
Conséquence sur la végétation de l'Évolution du climat en France : avant et après 1995.

Le déficit hydrique progresse vers le nord-est et les pays de Loire après 1995

Déficit hydrique Période 1973-1995

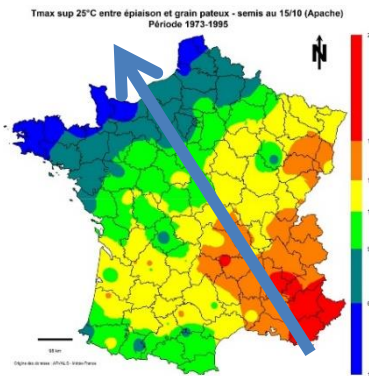


Déficit Période 1996-2018

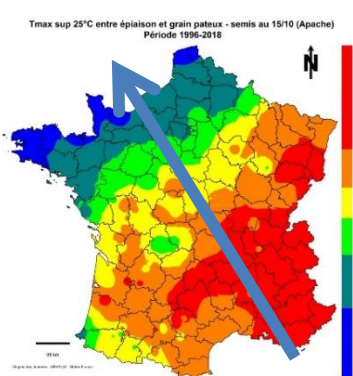


Le risque d'échaudage des céréales augmente fortement dans le sud-est après 1995 (flèches gauche et droite)

Avant 1995

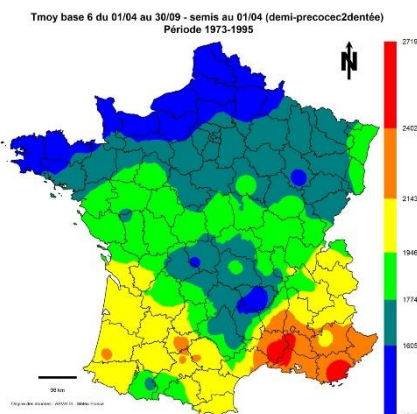


Après 1995

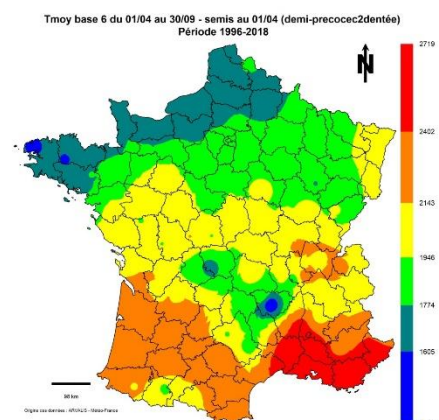


Pour le maïs dates de semis de plus en plus précoces et cycle, plus courts après 1995

Avant 1995



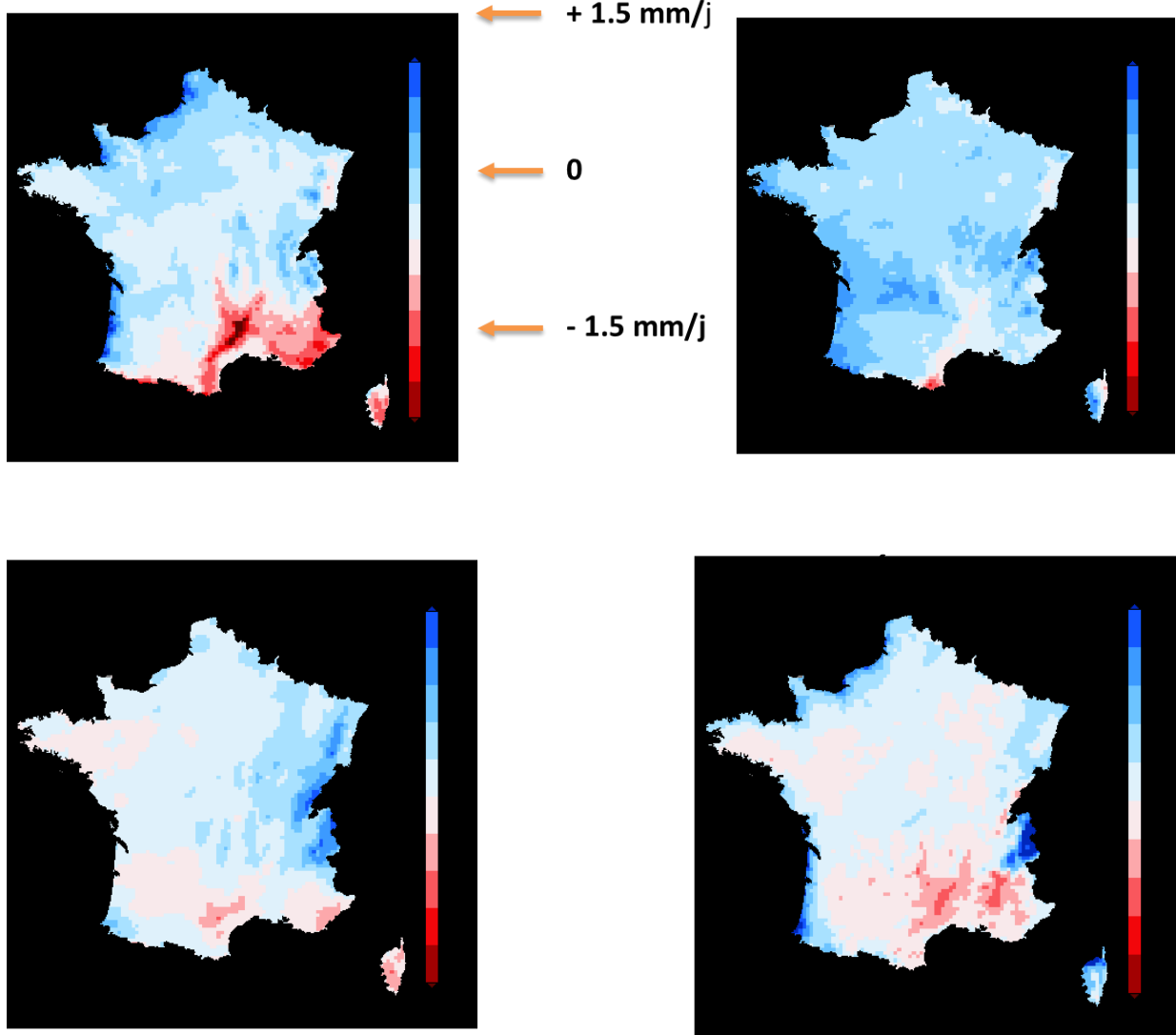
Après 1995



Quel futur pour (2021 - 2050) :

=> En tendance, plus d'eau en automne hiver, quels que soient les modèles climatiques, les scénarios d'émission

Différences de pluies en mm par jour d'après Institut Pierre Simon Laplace RCP 8.5 2021 - 2050



Conséquences sur les rendements

Pour le blé Stagnation des rendements

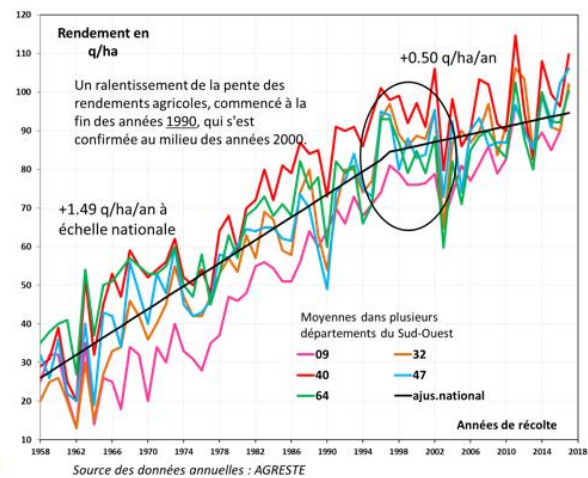
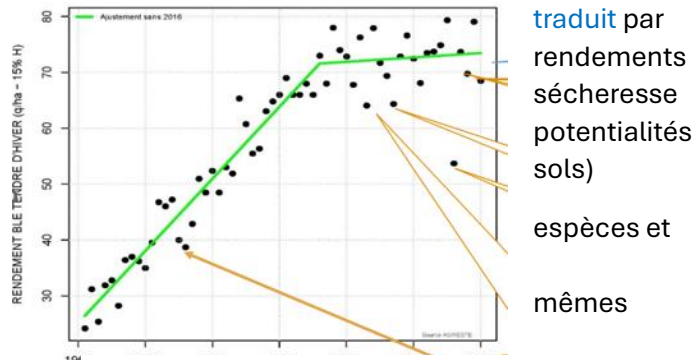
La stagnation (depuis 1995) se traduit par une plus forte variabilité des rendements entre les départements. En cause, la sécheresse extériorise les différences de potentialités régionales (climat, profondeur des sols)

L'effet est variable selon les espèces et mêmes les milieux. Les rendements diminueraient plus si on cultivait les mêmes variétés qu'il y a 25 ans.

Pour le maïs : infléchissement des rendements depuis 1995 environ mais grain plus secs à la récolte ce qui est favorable

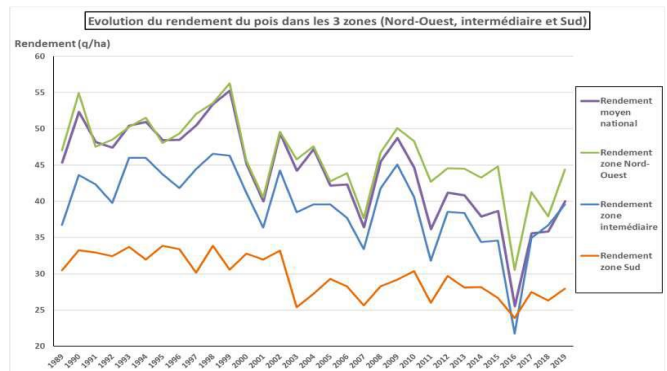
Les conditions deviennent plus favorables en zone Nord Loire : bonnes opportunités

Le progrès génétique chez le Maïs continue en favorisant une meilleure adaptation au stress hydrique. Le progrès génétique est de +1 q/ha/an dans tous les scénarios climatiques



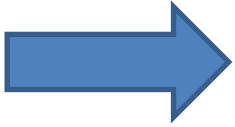
Des rendements qui diminuent pour certaines espèces : par exemple le pois protéagineux

Les légumineuses sont très sensibles à la sécheresse (enracinement) et aussi aux excès d'eau (fonctionnement des nodosités) et aux fortes températures



Avec le changement climatique : tout va très vite !

- Ce qui est vrai aujourd'hui le sera-t-il encore demain ?
- ✓ Dans les années 90, le pois allait rejoindre le blé (70q/ha)...
- ✓ Dans les années 2000, le maïs était voué à décliner...
- ✓ L'offre française en blé est garantie : « climat tempéré béni des dieux »...
- ✓ Le département qui aujourd'hui cultive le plus de sorgho est ?



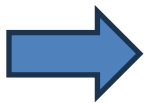
Remise en question de nos référentiels, de nos modèles...

Soyons des apprenants plutôt que des sachants

Avoir une vision prospective et dynamique pour anticiper les solutions

Plus de CO₂ dans l'atmosphère veut dire plus de variabilité du rendement et de la teneur en protéine

- ✓ 330 ppm en 1976, 416 ppm en 2022... plus de 500 en 2070
- *En conditions favorables à l'entrée du CO₂ (peu de stress) → déplafonnement des rendements au détriment de la teneur en protéine*
- *En conditions défavorables, plutôt une augmentation de la teneur en protéine*



Il faudra trouver des solutions : stratégie de fertilisation, génétique adaptée, process de transformation

Quelles solutions pour s'adapter au dérèglement climatique

1) Minimiser les risques climatiques par les pratiques culturales

- Choix des espèces : déplacements, extension, réductions géographiques
 - saisir les opportunités de l'offre thermique supérieure
 - Progression vers le nord des plantes en C4 (Maïs/Sorgho) et du tournesol (les températures deviennent optimales)
 - Stratégies d'esquive : semis + précoces des espèces de printemps, orges de printemps semées à l'automne (risque de gel marginal)
 - Relay-cropping : on sème avant la récolte de la culture précédente (2 récoltes/an)
 - Création de nouvelles filières : exemple, le quinoa (Anjou, appellation géographique)
 - Réduction des espèces les plus sensibles au changement climatique

- Exemple : les protéagineux (enracinement limité, plante et nodosités sensibles aux stress) en faveur des espèces semées à l'automne ou plus tolérantes (tournesol, sorgho)
- Améliorer l'accès à l'eau pour permettre une plus grande possibilité de diversification

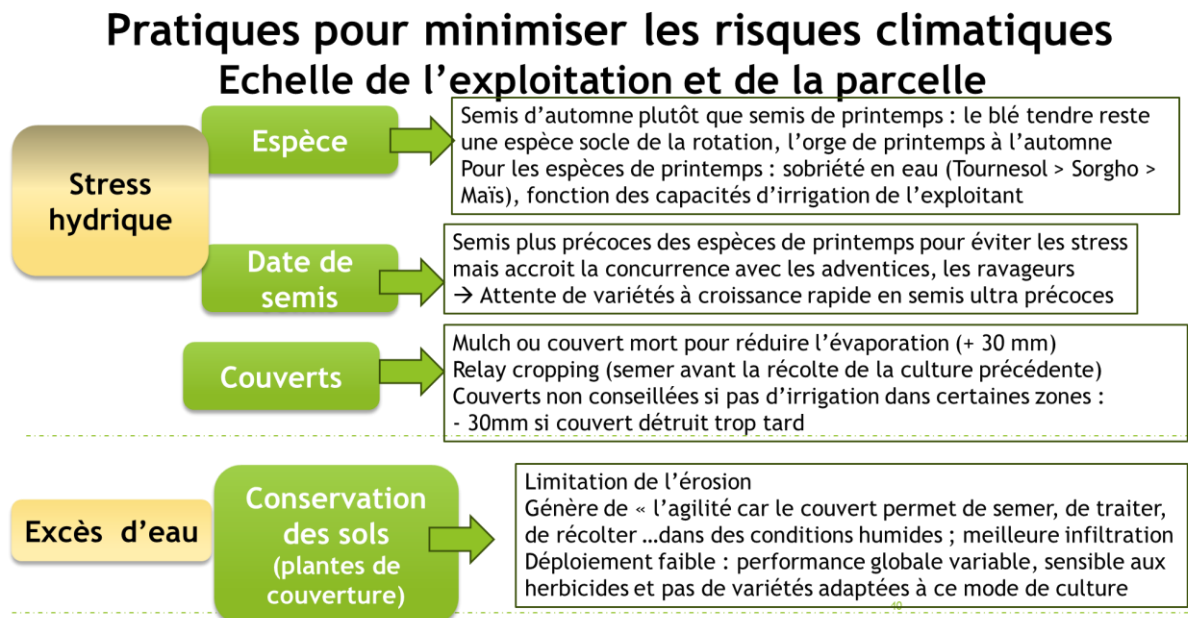
2) Le levier génétique

rappel : le rendement diminuerait en France sans l'amélioration génétique des plantes

Pour les plantes cultivées en France

- **Améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau, azote, du rayonnement**
 - Sensibilité de la croissance foliaire, retard à la sénescence
 - Efficience de la transpiration (conductance stomatique)
 - Efficience de l'utilisation de la lumière (photosynthèse)
 - Extraction racinaire
- **Améliorer la tolérance vis-à-vis des maladies**
- **Caler le cycle de la plante en semant plus tôt pour éviter la saison sèche au moment du remplissage des grains. Cet objectif oblige à améliorer la tolérance au froid de certaines espèces pour accepter de tels semis ultra précoces**

Explorer, améliorer(*) des espèces déjà adaptées à des stress climatiques sévères et porteuses de débouchés : Exmple Quinoa, Mil, Fonio, Manioc



3) S'adapter au dérèglement climatique par les pratiques et le pilotage des cultures

L'adaptation doit se faire dans le cadre d'une réglementation

- Plan Ecophyto
- Directive Nitrate
- Loi sur l'eau
- Bas carbone

Avec :

- des concurrents, des prix de marché
- des cahiers des charges ou des labels : HVE, AB, 0 résidus, bas Carbone ...

L'évaluation multicritère des systèmes de production: agroécologiques, Bio et agriculture de conservation (avec couvert végétal) montre que aujourd'hui tous les modes de production progressent mais aucun atteint simultanément toutes ces fonctions (Synthèse pluriannuelles issue d'exploitations agricoles)

- ▶ Agroécologie : amélioration environnementale au détriment de la rentabilité et de la production
 - ▶ car nouvelles espèces moins rentables, pratiques plus coûteuses et moins efficaces
- ▶ BIO : fonction nourricière défavorisée, durabilité agronomique pas assurée
 - ▶ performance environnementale et efficacité énergétique mais production divisée par 2 (protéines 50%, énergie 70%), réduction de la matière organique des sols, [dépendance des subventions](#)
- ▶ Agriculture de conservation des sols : sensibilité aux herbicides, forte variabilité et technicité
 - ▶ performance économique, charges [de mécanisation](#), temps de travail, érosion, fertilité biologique des sols

Conclusion : Aucun système n'est [actuellement](#) parfait

Comment atténuer du dérèglement climatique en diminuant les émissions de CO₂ ?

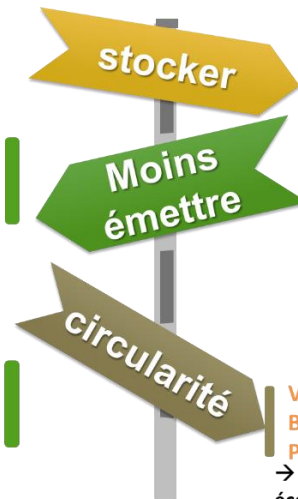
Bilan actuel : L'agriculture c'est 18% des émissions totales France (50% Productions végétales, 50% Productions animales)

Les solutions en cours :

L'urgente atténuation : les solutions en cours



- RÉDUIRE LES ÉMISSIONS**
- **N₂O** : réduction des engrais, efficacité des apports, innovations engrais (jusqu'à -50%), tendre vers N₂. *Rappel: un sol nu non drainé émet plus qu'un sol drainé fertilisé à l'optimum ; Rappel : Emission = 3.2% +/- 70% de la dose d'engrais (GIEC)*
 - **Energie consommée** : semis sous couverts..
 - **CH₄** : rations (ex : rôle du lin) → -14% ; mais phénomène surtout, lié au nombre d'animaux et à l'espèce



STOCKAGE NATUREL DE CARBONE
➤ **Dans les sols**
émissions totales = 9 milliards et les sols du monde contiennent 2400 milliards de T de C (9 ≈ 4‰x 2400)

➤ **Les grandes cultures représentent 85% du stockage additionnel possible** (cf rapport INRAe juillet 2019)
→ 5.2 ‰ possible/an (-47% des émissions agricoles)

➤ **Dans la biomasse (photosynthèse)**
▪ Les cultures (ex : 18teqCO₂ captées/ha/an) et les prairies

VALORISATION DE LA BIOMASSE, DES MATIÈRES PREMIÈRES VÉGÉTALES

→ **Production d'énergie, Bio-économie au sens large** « Une passion : Connaître, Une ambition : Transmettre », depuis plus de 250 ans !

Protection intégrée des cultures : la lutte chimique en dernier recours

Bilan mitigé de la réduction des consommations de produits phytopharmaceutiques en grandes cultures dans le cadre du plan ECOPHYTO

- ▶ en 7 ans, en mobilisant les pratiques de l'agroécologie dont la diversification, la réduction moyenne de l'utilisation des pesticides en grandes cultures et de 14%
- ▶ avec 41% des fermes ayant pu descendre à 25%,
- ▶ mais avec un quart des exploitations qui ont connu des pertes de rentabilité,
- ▶ avec parfois un accroissement de la charge de travail.

Le biocontrôle (sans pesticide de synthèse) progresse mais le nombre de solutions proposées est en encore insuffisant.

Les progrès de la génétique permet l'apparition de variétés multiresistante depuis 2010

Comment accélérer la transition agroécologique ?

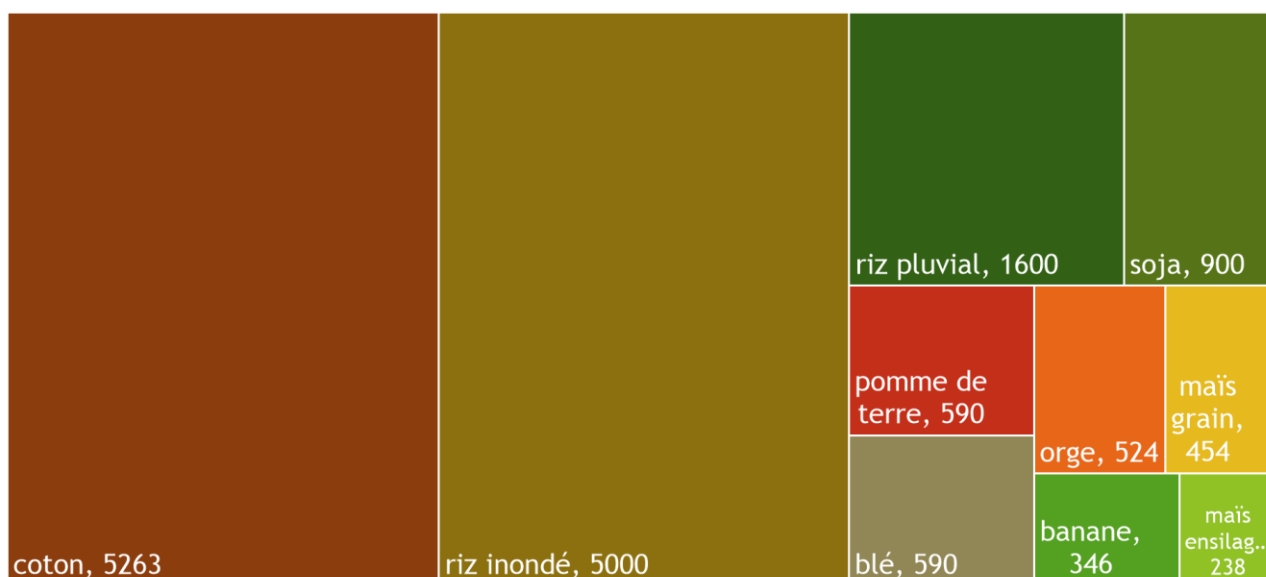
Définition de l'agroécologie :

C'est l'ensemble de pratiques agricoles privilégiant les interactions biologiques et visant à une utilisation optimale des possibilités offertes par les agrosystèmes.

1-Levier génétique pour

- augmenter le nombre de variétés multiresistantes
- utiliser plus efficacement l'azote
- adapter les plantes à la cohabitation d'espèces différentes dans les cultures mixtes (exemple maïs-luzerne) en agriculture de conservation.

2- Meilleure gestion quantitative de l'eau



Des écarts de besoin considérables selon les cultures

Ordres de grandeur des leviers de la gestion quantitative de l'eau Gains ou pertes en mm d'eau

La figure ci-dessous que le recyclage de l'eau (utilisation des eaux usées, eau de laiterie et de l'industrie agroalimentaire) a un potentiel d'amélioration de 20% alors qu'il n'est que 2% actuellement. Cela représente 200 mm d'eau sur 500 000 ha. A noter qu'en Espagne le recyclage de l'eau est 15% et de 80 % en Israël.

Un autre levier important est la réserve utile du sol mais elle dépend principalement de la profondeur du sol qui est très variable d'une régions à l'autre

3- Créer des réserves de substitution ? La question des (« mégabassines »)

- ▶ Ouvrage artificiel visant à substituer des volumes d'eau prélevés en saison d'étiage par des volumes prélevés et stockés en saison de hautes eaux.
- ▶ Il s'agit ainsi de stocker l'eau quand elle est abondante pour l'utiliser en période où les besoins sont les plus élevés.

*D'après la Simulations du modèle du BRGM (sur 10 ans)

« faible impact des réserves sur les débits, impact positif sur le niveau de nappes en été et absence d'impact négatif en hiver, à l'exception des hivers secs »

- Une évaporation raisonnable : « sur la période d'utilisation, pertes nettes estimées entre 3 et 8% du volume maximal stocké »

Avis de l'académie d'agriculture (2024) basé sur le cas de la réserve de Mauzé-sur-le-Mignon (prélèvement en nappe, 10 ans de suivi) : OUI SI

A CONDITION DE :

- *Suivi dynamique des débits et des niveaux, pour garantir la ressource et le cas échéant interdire les prélèvements,*
- *et évolutions des pratiques culturales (sobriété, donc diminution des consommations)*
- ***L'appui financier à la création de réserves doit être conditionné: développement d'indicateurs assignés à l'évolution des systèmes agricoles économes de la ressource en eau***

Autres solutions :

Associer les plantes pour plus de résilience

⇒ Cultiver une combinaison de variétés car [la variété qui résiste à tout n'existe pas !](#)

minimise un ensemble d'aléas climatiques :

variétés complémentaires à l'échelle d'une exploitation

Associer des espèces différentes au sein d'une même parcelle, par exemple l'association blé

– pois 50-50 permet :

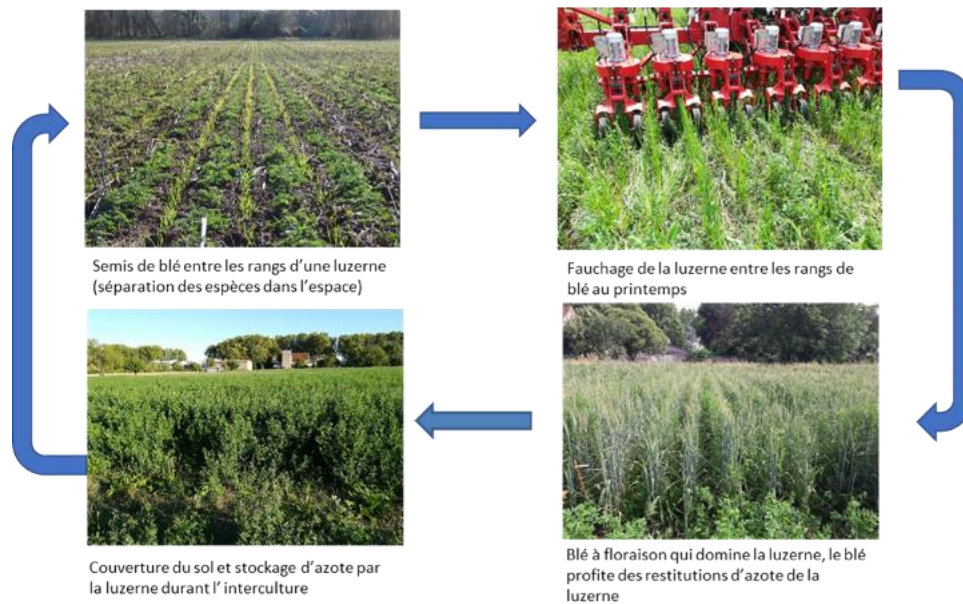
- En conventionnel de produire plus de blés avec une teneur en protéines supérieure
- En BIO : 50% de blé dur mélangé fait mieux 100% !

Associer différemment les espèces cultivées dans l'espace ?

Restaurer la biodiversité sans retirer des terres de la production agricole. [Cet objectif peut effectivement être atteint en cultivant des unités d'espèces différentes de l'ordre de 3-4 hectares. Les agroéquipements pour semer, traiter, récolter ne permettent pas aujourd'hui d'envisager ce type de configuration spatiale. Mais c'est une piste intéressante à concrétiser en levant certains verrous.](#)

Les Cultures intercalées permettent une pratique sans herbicides des couverts (AB et Agriculture de Conservation des Sols. [Effectivement, les plantes de service, qui sont souvent des légumineuses pour faciliter la croissance des plantes que l'on récolte peuvent être régulés si besoin dans leur croissance grâce à un broyage de grande précision par géo-référencement GPS-RTK. Ainsi, ces couverts permanents ne sont jamais concurrentiels des récoltes tout en offrant leurs services agroécologiques.](#)

Exemple des semis de Blé intercalés entre les rang de luzerne



En Résumé ce qu'il faut retenir

- ▶ **Changement climatique** : tout va très vite, il faut anticiper en optant pour une vision prospective, être des apprenants plutôt que des sachants et saisir **les opportunités**
- ▶ Une agriculture compétitive et agroécologique est une agriculture qui **produit beaucoup** pour assurer tous les usages :
 - ▶ fonction nourricière, fonction rémunératrice : augmenter les rendements en réduisant la dépendance aux intrants
 - ▶ stocker du C, améliorer fonctionnement des sols, bioéconomie, régulation naturelle : exporter et enfouir des résidus, diversification et association différentes des espèces
- ▶ Aujourd'hui **tous les modes de production progressent** mais **aucun atteint simultanément toutes ces fonctions**
- ▶ **Financer différemment** l'agriculture et **promouvoir la recherche** nécessaire pour pallier le déficit d'innovations

Discussion

Q. Pourquoi y-a-t'il une perte de matière organique dans les sols en agriculture biologique

R. La restitution de matière organique après récolte est souvent insuffisante compte tenu du rendement plus faible (50%). Sans apport important de résidus organiques, le bilan est négatif. Pour corriger ce problème, il faut donc des apports organiques issus notamment de l'élevage. Mais la forte segmentation et spécialisation spatiales des systèmes de production en France reste un frein à de tels échanges. On peut mentionner le cas local d'un agriculteur de Chevreuse qui s'est associé à un éleveur.

Par ailleurs, l'agriculteur en AB est contraint de labourer pour diminuer le stock de mauvaises herbes (il n'est pas autorisé à utiliser un herbicide). La pratique du labour nuit aux activités microbiennes biologiques des sols.

Q. Quelle est l'importance de l'augmentation de la teneur en matière organique vis-à-vis de la teneur en CO₂ dans l'atmosphère ?

R. On pourrait neutraliser les émissions de GES par une augmentation du stockage du carbone dans les sols. A l'échelle mondiale, cet enrichissement nécessaire correspond à une augmentation de 3 pour mille de la teneur en carbone des sols. Une expertise récente menée par l'INRAE a montré que cela était possible en France notamment dans les cas des grandes cultures car la teneur en C est loin d'être saturée, ce qui est moins le cas des prairies et des forêts. Atteindre cet objectif serait possible à condition d'activer tous les leviers (mise en place de couverts, introduction de légumineuse, recours à l'agro-foresterie...).

Q. Peut-on corriger l'émission de méthane par les vaches

R. Sur une échelle de 1 à 176, l'éructation des vaches est à 176. Elle liée à la rumination où des bactéries méthanogènes participent à la digestion. En jouant sur l'alimentation on peut réduire **actuellement** l'émission de 15% au plus. Le remplacement des vaches par les chèvres qui éructent bien moins de méthane s'avère **irréaliste au regard** de la quantité de lait produit.

Q. Les mégabassines : pouvez-vous expliciter le « oui-si » de l'Académie d'Agriculture ?

R. Dans le cas la Vendée qui est en débat, la nappe phréatique est très peu profonde elle est donc saturée rapidement par les précipitations. L'excès d'eau part à la mer, il est donc logique de garder cette eau dans des retenues. Toutefois ce prélèvement doit être étroitement contrôlé et en continu pour s'assurer que l'on ne prélève pas trop sur les nappes. **Ce oui si est donc conditionné par des actions de contrôle continues (grâce à des capteurs) pour estimer en permanence le volume que l'on peut prélever tout en préservant la ressource .**

Q Quelles sont les arguments des opposants ?

R. Outre ceux de nature purement politique **qui sortent de mon domaine de compétence**, une critique essentielle souvent mise en avant est que cela favoriserait l'agriculture dite intensive, en particulier la monoculture du maïs. Or l'expérience montre qu'au contraire les agriculteurs qui bénéficient des mégabassines diversifient les espèces qu'ils cultivent avec plus de luzerne et de pois, plus de légumes et 50 % de maïs en moins. Leur revenus **sont de ce fait par ailleurs** augmentés **et ils peuvent envisager des projets sur plusieurs années**

Q. Pourquoi ne pas revenir à des variétés anciennes qui consommeraient moins d'eau ou des espèces mieux adaptées au climat sec, le sorgho par exemple

R. Comme indiqué dans l'exposé à plusieurs reprises, les pertes de rendement au fil des années sont plus importantes avec **des** variétés anciennes de blé ou de maïs. Les meilleures performances des variétés nouvelles sont dues au progrès génétique qui a permis d'introduire **des** gènes procurant une meilleure tolérance au déficit hydrique. En revanche, la culture du sorgho se développe en France, **notamment dans les situations à faibles disponibilités en eau**. **Un autre exemple emblématique** est celui de l'introduction de la culture du **quinoa qui développe des mécanismes physiologiques d'adaptation insolites**, grâce à un jeune agronome. **Mais dans tous les cas, il est indispensable de créer une filière avec des débouchés suffisamment rentables et durables pour intégrer ces cultures dans les exploitations.**

Q. Pour le désherbage ne peut-on pas remplacer l'usage des herbicides par des méthodes manuelles ?

R. **Les méthodes manuelles ne sont applicables que sur de très petites échelles car elles sont très coûteuses en temps !** Le retour aux méthodes anciennes d'arrachage manuel n'est **donc** pas envisageable faute de main-d'œuvre qui accepterait de faire le travail à un coût supportable pour l'agriculteur.

Dans les exploitations, le désherbage sans herbicides est fait par des machines : soit par la charrue avec le labour, avec des semoirs (on effectue des faux-semis pour faire germer et pousser des mauvaises herbes que l'on détruit après par un travail superficiel du sol), aussi avec des outils spécifiques de désherbage mécanique (des herbes notamment). Ces pratiques sont plus coûteuses qu'appliquer un herbicide car il faut investir dans du matériel spécifique avec une augmentation très significative du temps de travail. De telles pratiques sont réalisées dans le cadre de l'agriculture biologique car les herbicides sont interdits. Le même problème se pose en agriculture de conservation où au contraire on ne labore pas (ou le moins possible) avec dans ce cas un recours à des herbicides totaux pour réguler les mauvaises herbes ou un couvert devenu trop concurrentiel. Des solutions plus innovantes consistent à mettre en place des cultures intercalées avec, par exemple, un rang de blé et un rang de luzerne et l'utilisation de machines qui broient spécifiquement les rangs de luzerne après le semis du blé de telle sorte que les blés en croissance supplantent les luzernes (voir la dernière figure de l'exposé). A la récolte, les luzernes reprennent de l'importance et forment un tapis végétal jusqu'à la prochaine saison. La présence d'un couvert permanent est importante car un sol nu respire, donc émet du CO₂. De plus les racines des plantes couvrantes **réduisent le lessivage des produits minéraux dans les nappes phréatiques, les nitrates en particulier.**

Q. Quelles est la proportion de cultures sans labour, en France

R. Environ 30% pour le sans labour avec travail superficiel et probablement autour de 3% pour l'agriculture de conservation avec le maintien de couverts permanents ou pluri annuels.