Agroécologie :

quelles orientations, quels traits pour la sélection végétale ?

dans le domaine des grandes cultures

Philippe GATE

Membre correspondant de l'Académie

Co-président du Conseil Scientifique de l'ASF

Ancien Directeur scientifique d'Arvalis

ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE

AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT

Définition « officielle » de l'agro-écologie

« Projet agroécologique pour la France »

publié par le ministère de l'agriculture en 2013, constitue la première étape de l'inscription de l'agroécologie dans les politiques agricoles françaises.

JO république Française - 19/08/2015

1.agro-écologie, n.f.
Domaine : Agriculture-Environnement.
Définition : application de la science écologique à l'étude, à la conception et à la gestion d'agrosystèmes durables.
Voir aussi : agriculture durable.
Équivalent étranger : agroecology.

2.agro-écologie, n.f.
Domaine : Agriculture-Environnement.
Définition : ensemble de pratiques agricoles privilégiant les interactions biologiques et visant à une utilisation optimale des possibilités offertes par les agrosystèmes.
Note : l'agro-écologie tend notamment à combiner une production agricole compétitive avec une exploitation raisonnée des ressources naturelles.
Voir aussi : agriculture biologique, agroforesterie.
Équivalent étranger : agroecology.

→ Maximiser la régulation biologique tout en garantissant la compétitivité : notion de multi-performance (économique, environnementale et sociale)

Agroécologie

On part d'un système simple, universel pour un système plus complexe

Produire pour vendre : valeurs et financement de ces nouvelles agricultures

Obligation de combiner les leviers à une échelle plus locale,
liens avec les situations culturales, le climat (contraintes-opportunités)

Travailler aux interfaces,mécanismes d'interactions, différentes échelles

L'innovation est aussi dans les champs

Reconsidérer, explorer des disciplines scientifiques émergentes ou nouvelles

changement climatique et dérèglement climatique

Tout va très vite…

Le Changement climatique : tout va très vite !

Ce qui est vrai aujourd'hui le sera-t-il encore ? Ce qui était faux (inutile) hier peut-il devenir vrai (nécessaire) aujourd'hui ?

- ✓ *Dans les années 90, le pois allait rejoindre le blé (70q/ha)...*
- ✓ *Jusqu'en 2015, la betterave était encore l'espèce la mieux adaptée...*
- ✓ *L'offre française en blé est garantie : « climat tempéré béni des dieux »...*
- ✓ *Le département qui aujourd'hui cultive le plus de sorgho est ?*
- ✓ *Faut-il fleurir tôt pour éviter les stress de fin de cycle ?*
- ✓ *La floraison a lieu après l'épiaison ?*
- ✓ *La profondeur idéale d'un semis de blé est 2 cm,*

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

- Vers une <u>cartographie dynamique et prospective</u> de la localisation géographique optimale des espèces au sein des territoires, et des pratiques adaptées

Renforcer l'autonomie territoriale

Permettre la diversification et sécuriser la production

Valoriser et développer l'accès à l'eau

Développer la ressource : stocker l'eau mobiliser de nouvelles ressources

- Stocker l'eau **en excès** (P-ETP automne-hiver positif)
- Flux transitoire sol-plantes-atmosphère : « rien ne se perd »
- Voir notamment le projet Bhungro (Inde puis pays africains)

Recycler les eaux usées

- France 2%, Italie 8%, Espagne 14%... Israël 80% : des marges de progrès !
- Les expériences sont concluantes
- Irrigation « cyclique » : ex des eaux de laiterie → fourrages → animaux → lait → eau (ex : projet Perel, Herbignac, 44)

→ *Rôle écologique, sociétal de l'irrigation*

→ *Trajectoire : vers des exploitations « eautonomes »*

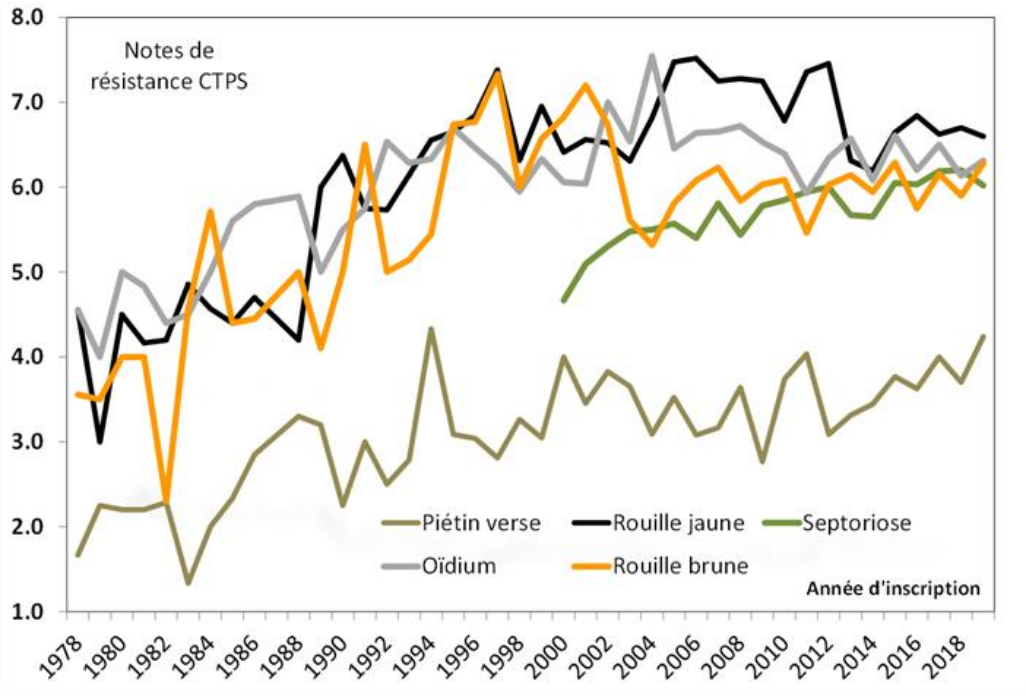
Augmenter et sécuriser la production

Les leviers de l'agroécologie

Les leviers de l'agroécologie

Les variétés cultivées et de demain

Evolution de la note de résistance aux maladies



D'après P. du Cheyron (ARVALIS), Rencontre Filière 2021

En 15 ans, le progrès génétique a permis

Résistance aux maladies et à la verse

- ✓ ↗ R. piétin verse: + 15 % de surfaces avec var. résistantes
- ✓ →RJ, RB, Oïdium
- ✓ ↗ R. septoriose : + 1 point
- ✓ ↗ R. fusariose (DON) : + 0,7 point
- ✓ ↗ R. verse : - 15 % de surfaces avec var. sensibles

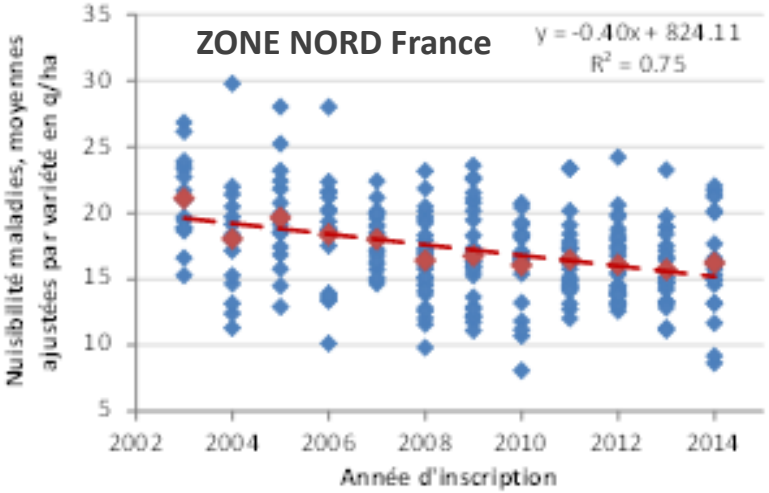
Qualité technologique

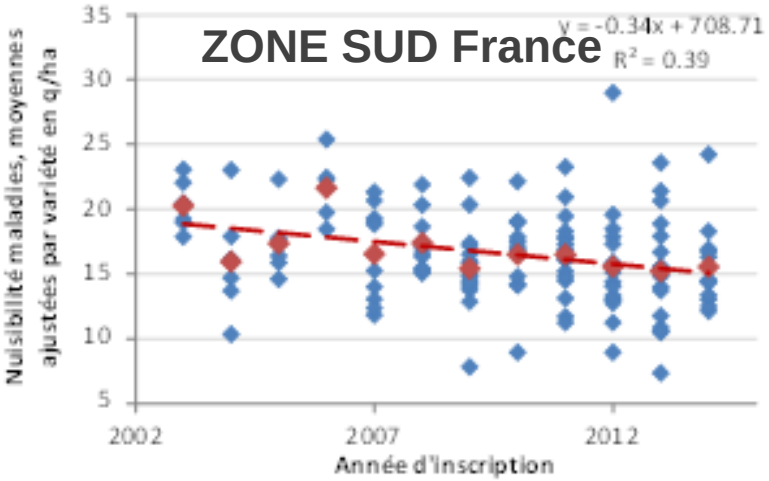
- ✓ ↗PS : + 1 kg/hl
- ✓ ↗Protéines (GPD) : dilution des protéines limitée malgré la progression des rendements (0.4 au lieu de 0.8)
- ✓ Maintien à 90 % de BPS ou BPMF

Productivité

↗ du rendement : +0,5 à +0,6 q/ha/an

Réduire les consommations de fongicides sur blé (maladies)





variété Moyenne par année d'inscription

(d'après Du CHEYRON et LORGEOU J, 2015).

→Si les efforts de sélection se poursuivent, égalité des performances en situations traitées et non traitées... en 2057

→ Apparition récente de variétés multirésistantes

Réduire les consommations de produits phytopharmaceutiques en grandes cultures

bilan mitigé du colloque national sur les fermes DEPHY (novembre 2018)

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.

Variétés et consommation d'azote

Vers de nouveaux traits, à combiner :

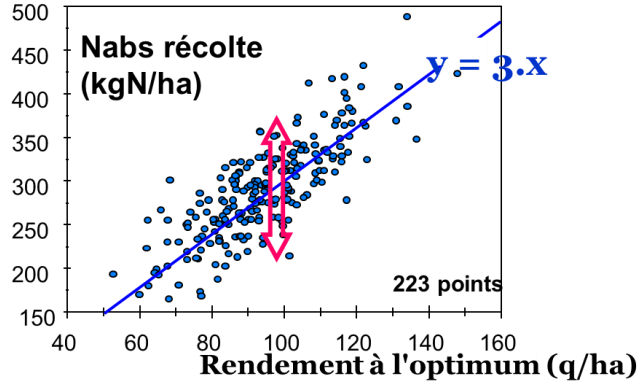
→ *sobriété, efficience, faibles pertes de rendement en conditions suboptimales*

→ *qualité des protéines plutôt que quantité pour réduire les besoins*

Combiner

efficience, sobriété avec qualité (teneur en protéine)

Nitrogen use efficiency for yield



Varietal efficiency : de 2.7 à 3.5

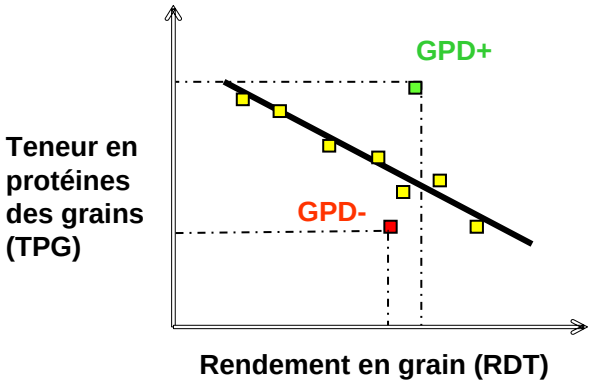
- *Enjeu max : 60 kgN/ha à 72q/ha*
- *Enjeu max : 80 kgN/ha à 90q/ha*

Remarque : augmentation moyenne d'un peu plus de 2 grains par épi se traduit par une diminution de 0.1 de la valeur du besoin en azote (D. Gouache, 2011)

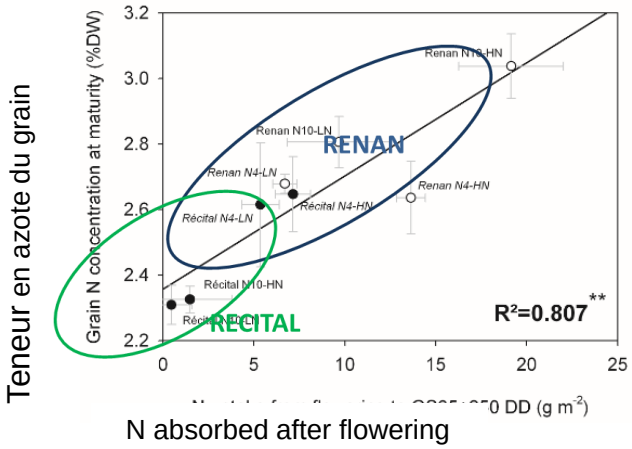
Theorically, reduction of about 20-25% of the total N needs

Less because reduction efficient varieties has generally higher yield

« Reconcile » yield and quality »



Related to higher absorption after anthsesis (genetic control) → **specific breeding**



NB : only **+ 12 kgN in the grain = 1 point of protein**

ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS
ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT

Sortir du carcan à “l’optimum de fertilization ”

- A l’optimum
- En dessous
- Au delà

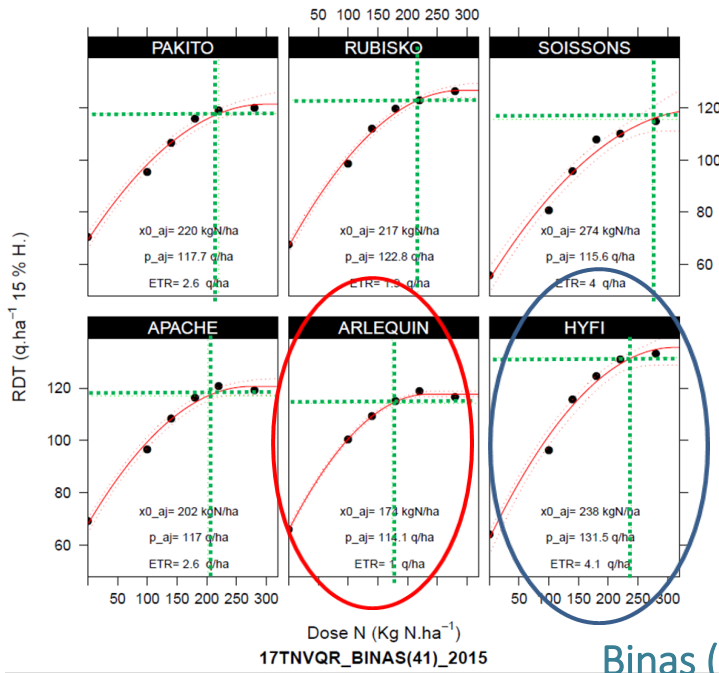
Dose optimale :
De 175 à 275 kg/ha entre les variétés

Pertes de rendement variables à X-50

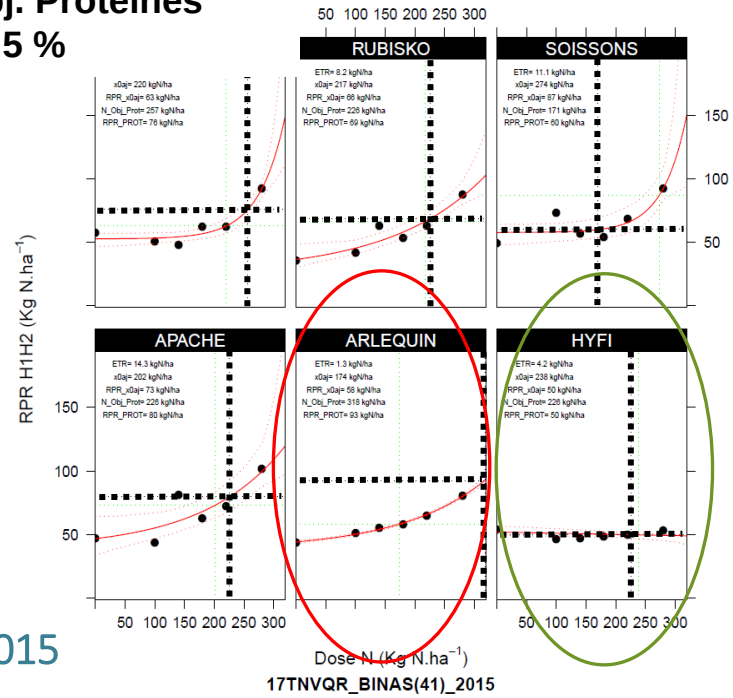
1.5q/ha de perte at X-50 avec augmentation de l’efficience de 2.9 to 2.4 q/ha

Certaines variétés laissent très peu d’azote dans le sols après récolte même à fortes doses

notion de ”carence utile temportaire” (RAVIER C. et al.,2018



Obj. Protéines 11.5 %



Binas (41) 2015

D’après BONNEFOY M. et al., 2016)

Mélanger des variétés différentes au sein d'une même parcelle

- **des effets positifs, jamais négatifs**
- **qui peuvent être variables**
  - **conduites proches de l'optimum ou bas intrants ?**
  - **variétés récentes ou anciennes ?**
  - **« taille » des parcelles (microparcelles, parcelles d'agriculteurs) ?**

Remarque : forte progression des mélanges (17% en 2020, multipliée 2 en 2 ans)

Conduite proches de l'optimum, micro-parcelles : peu (pas) d'intérêts à réduire les fongicides en mélangeant les variétés

			Rendement traité*			Ecart T-NT*		
Année	Nombre d'essais	Lieu	Mono	Asso	S/NS	Mono	Asso	S/NS
1997	7	France				16.8	17.8	NS
2010	7	Sud	87.9	89.5	NS	11.5	10.3	NS
2010	27	Centre - PC	89.5	89.1	NS	8.9	7.6	NS
2010	13	Nord	106.3	108	NS	11.3	9.4	NS
2010 / 2011	17	Sud (synthèse tous les essais)	82.1	83.3	S	6.8	6.7	NS
2010 / 2011		Sud >= 5q/ha				10.7	9.1	S
2010 / 2011 / 2012	64	Centre - PC (synthèse tous les essais)	87.8	87.5	NS	3.7	3.5	NS
2010 / 2011 / 2012		Centre - PC >= 5q/ha				10.3	8.9	NS
2010 / 2011	36	Nord (synthèse tous les essais)	98.2	99.8	S	7.2	7	NS
2010 / 2011		Nord >= 5q/ha				12	10.7	NS
			BILAN SYNTHESE 103 exp			**5.3**	**5.02**	NS
2006	5	Champagne - Autres mélanges	90.6	90.3	NS	5.1	5.2	NS
2009	5	Marne - Hte Marne - Autres mélanges	94.8	95.6	NS			
2010	4	Marne - Hte Marne - Autres mélanges	93.3	95.8	NS			
2012	4	Bretagne	104.7	103.7	NS	17.9	14.7	S
2009 / 2010 / 2011		Champagne Crayeuse - Mélange 1	88.3	86.8		15.6	15.5	
2009 / 2010 / 2011		Champagne Crayeuse - Mélange 2	99.9	98.4		27.8	24.5	

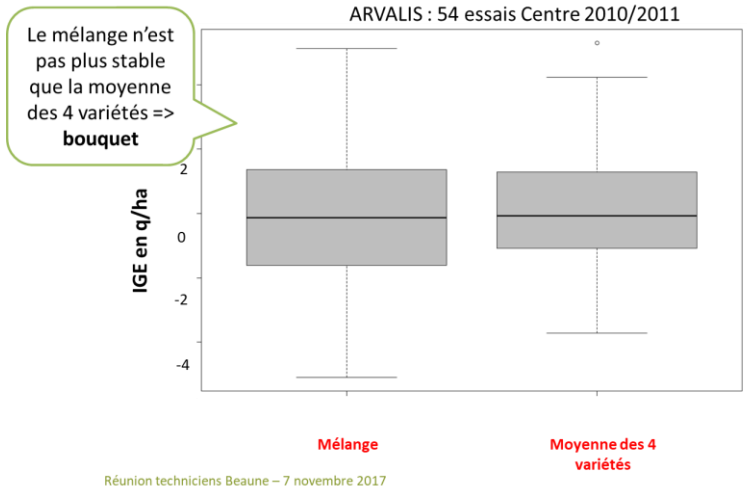
ARVALIS : mélanges définies par Bioger en 2010 et 2012, 151 essais au total, variétés post-inscription

VIVESCIA

S/SN : Significatif / Non significatif

* q/ha - Traité/ Non traité

Pas d'augmentation de la stabilité en mélangeant

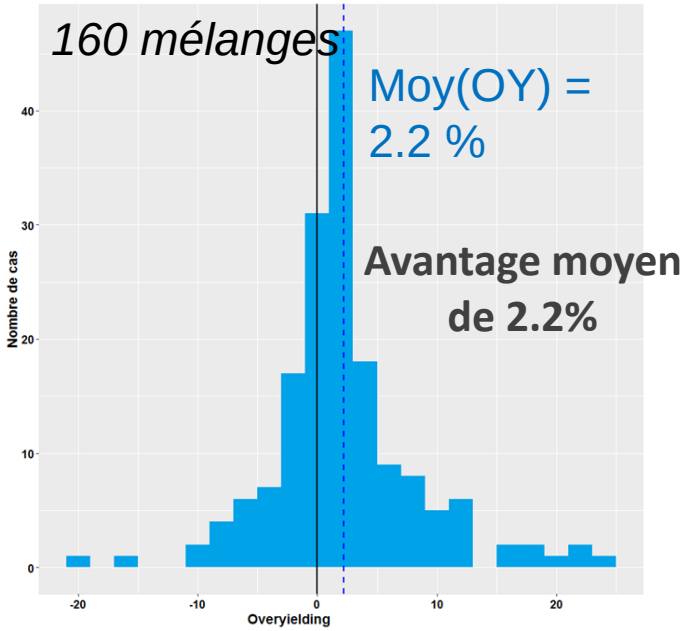


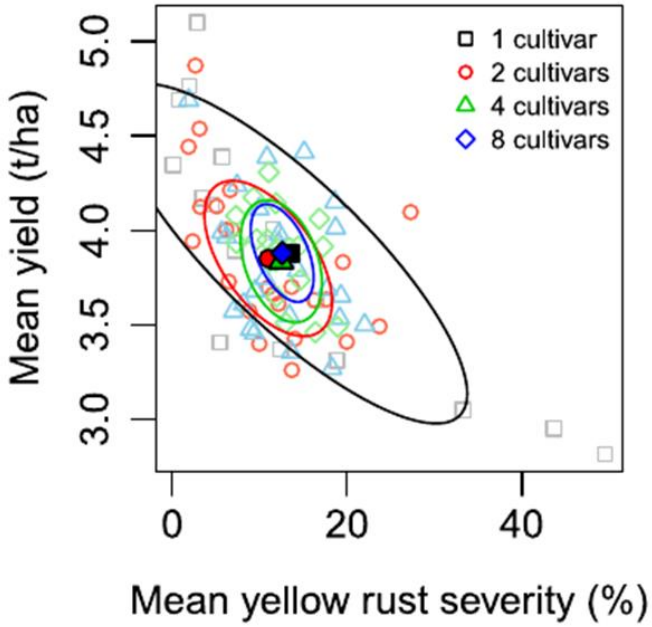
- ✓ Meilleure **performance des mélanges les mauvaises années (2016) ou dans les conduites moins intensives**
- ✓ Meilleur rendement en protéines
- ✓ Légère baisse de TP
- ✓ Très bonnes qualités de panification

Vidal et al. 2020

➢ Ces connaissances peuvent être mobilisées dans des règles d'assemblage avec les agriculteurs pour concevoir des mélanges de variétés avec les agriculteurs (ex. Optimix: Enjalbert et al. 2017)

➢ Ici, **fort effet sur la stabilité** des ellipses. Mais rendements moyens faibles, autour de 38q/ha (le rendement national français est de 73q/ha)
→ **Références acquises avec des variétés anciennes**





Réseau de **parcelles agricoles**

Associations variétales de blé panifiable supérieur

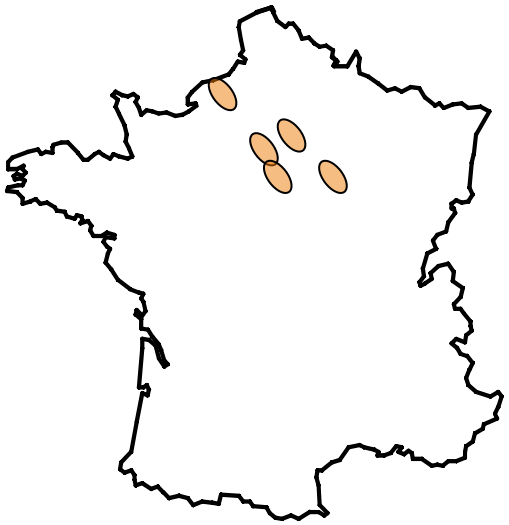
INRA Grignon : Epidémiologie végétale & Agronomie

Meunerie

Chambres d ’agriculture de l’Aube, l’Eure, l’Oise

12 agriculteurs dans 5 départements

28 parcelles : 250 ha en 3 ans



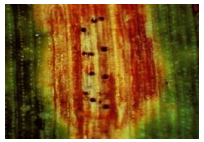
3 associations de 4 variétés en 2000,
1 association en 2001 et 2002,
cultivées selon un système de protection intégrée

(Belhaj Fraj, 2003)

des effets encore plus positifs, et sur davantage de critères

Cultures monovariétales et association de 4 variétés

(2 années, 19 parcelles, 190 ha, 1 traitement fongicide)

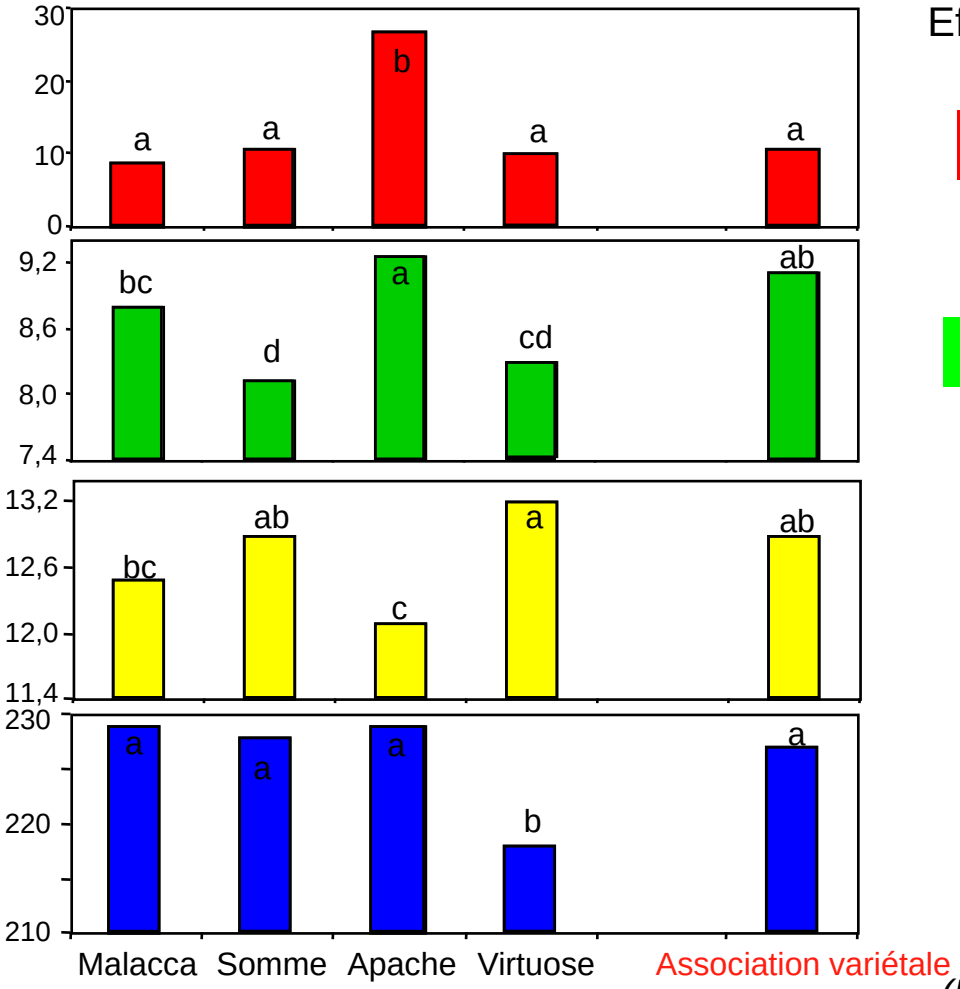


Sévérité de la septoriose (%)

Rendement (t ha^{-1})

Teneur en protéines (%)

Note de panification (0- 300)



Effet association

- 6 %

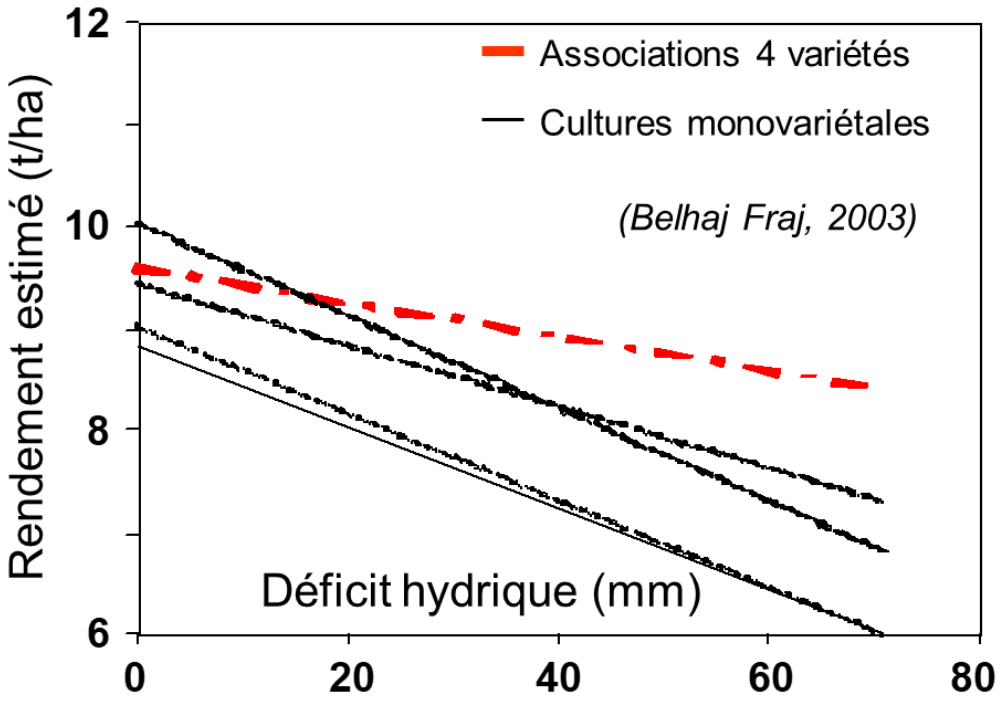
+ 0,32 t ha^{-1}

+ 0,54 %

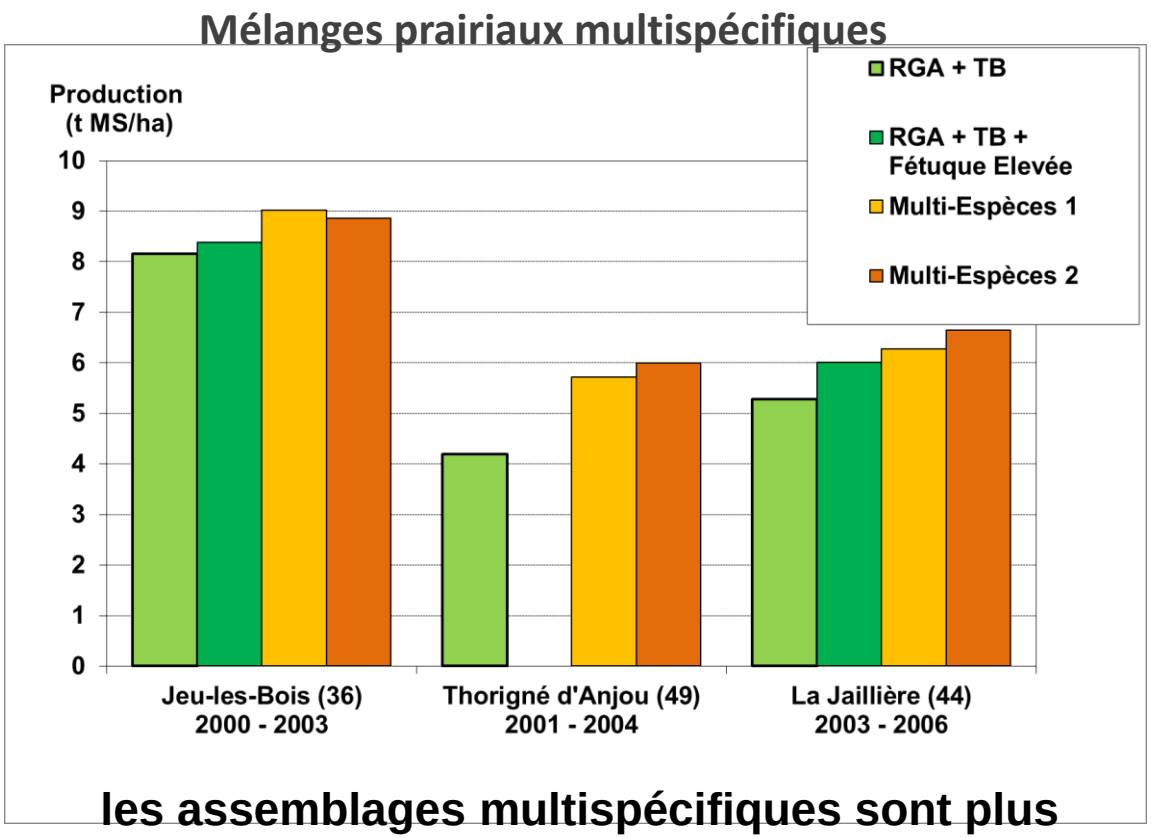
NS

(Belhaj Fraj, 2003)

Intérêt des mélanges vis-à-vis des stress abiotiques



les associations de variétés sont moins pénalisées en situations de déficit hydriques (Belhaj Fraj, 2003)



les assemblages multispécifiques sont plus productifs et plus stables (notamment sécheresse) (PROTIN P.V. et al., 2014)

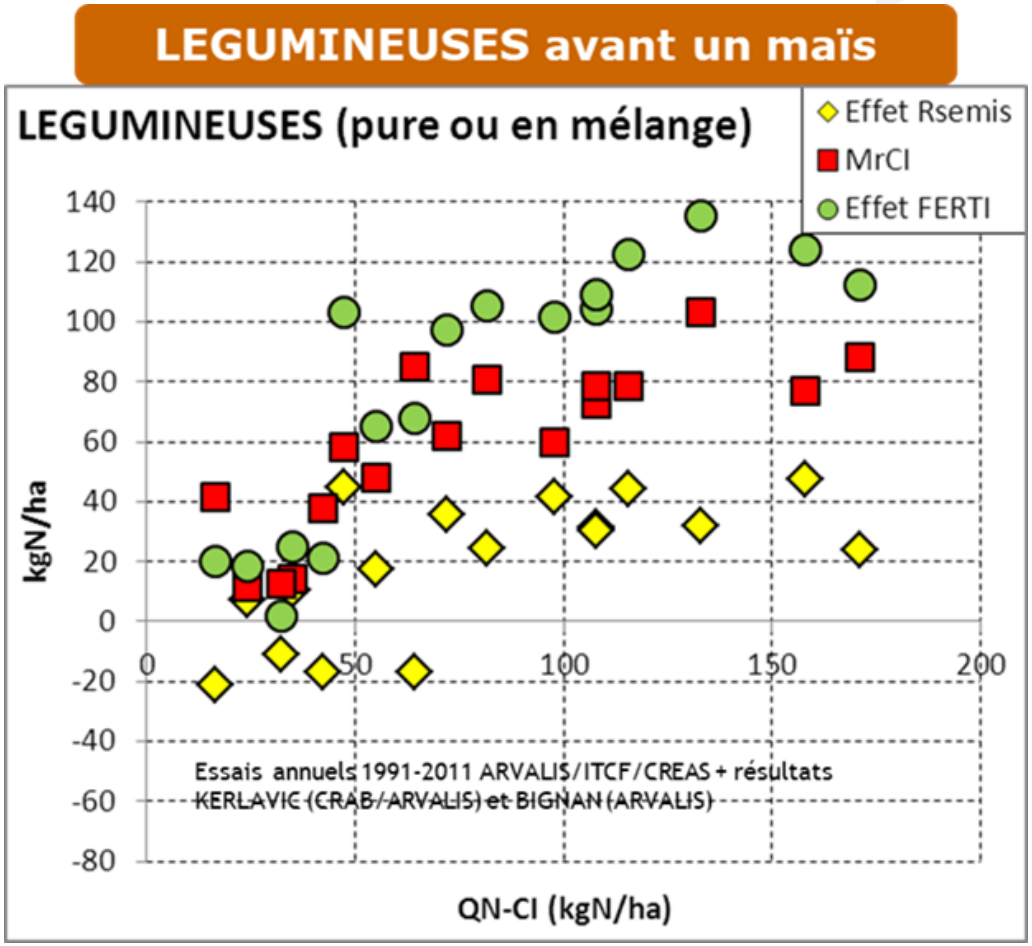
Les leviers de l'agroécologie

Interface agronomie et génétique

Intérêt des légumineuses en couvert intermédiaire pour réduire les consommations d'engrais

- En moyenne 40 kgN/ha restitué par la culture intermédiaire (légumineuses seules ou en mélange)
- Très forte variabilité : de 0 à 140 kg ! fonction de la croissance du couvert

→ *Pratiques agronomiques et traits génétiques pour réduire cette variabilité*



D'après ARVALIS

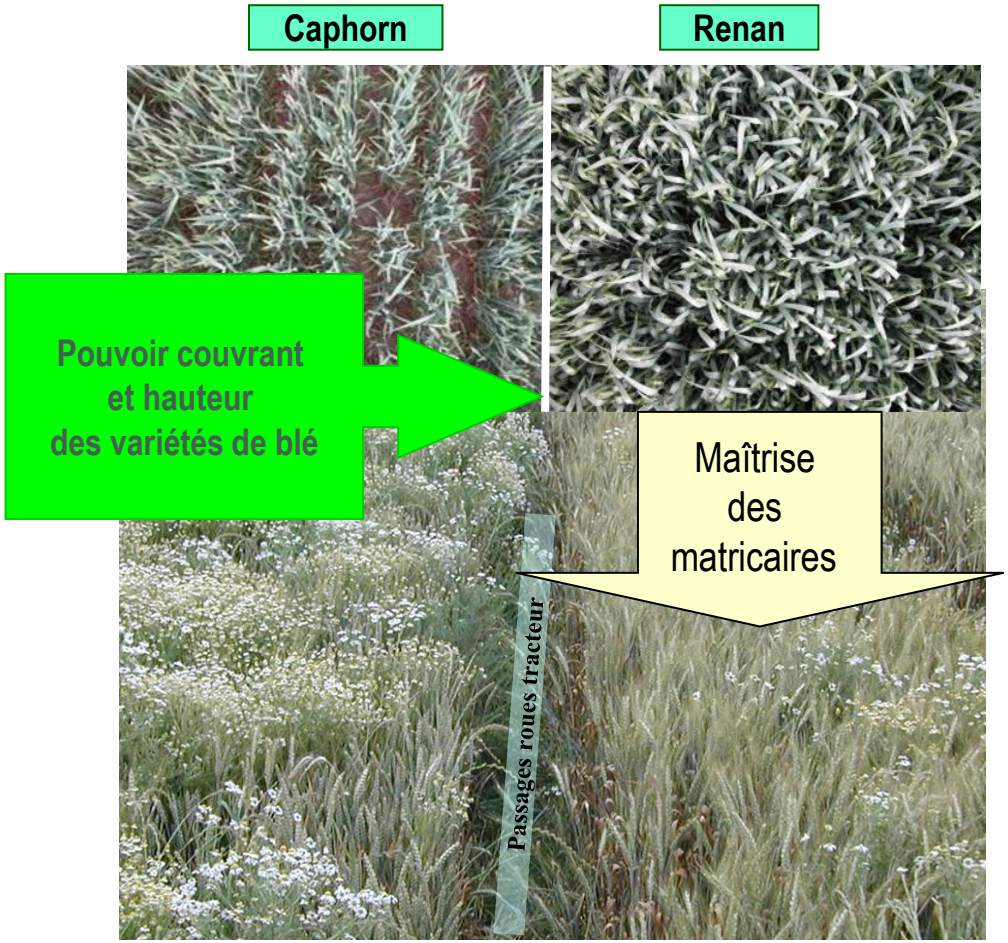
Gestion des adventices : une priorité (1)

- **Pouvoir couvrant** (compétition par effet d'ombrage)
  - ***Traits : germination, croissance : vitesse et stabilité de comportement, architecture de la plante***
- **Adaptation à des semis d'automne plus tardifs**
  - Changement Climatique = opportunité / multicible
  - ***Traits : Pas lié uniquement à la précocité ; indice de récolte, besoin en azote (ex Trémie) ; variabilité de la vitesse de sortie des feuilles*** *(cf : travaux de B Andrieu, INRAE, thèse de M. Abichou, 2016)*
- **Propriétés allélopathiques : émission par une plante de substances télétoxiques pour une autre plante**
  - **Existence d'une variabilité génétique** mais **pertes au cours de la sélection**
  - **Couverts** : les études portent généralement **sur 1 seul cultivar…**
- **Accroître la présence d'espèces de printemps dans les rotations**
  - ***Explorer de nouvelles espèces*** **adaptées aux conditions futures** (millet, fonio, pois-chiche…), à de nouveaux débouchés / ***Réinvestir la selection de céréales à paille de printemps*** avec ***des précédents légumineuses***
  - **Cas du maïs, du tournesol… : imaginer des plantes nouvelles**

Pouvoir couvrant des variétés et gestion des adventices

Pertes de rendement relatives dues aux adventices en % des situations bien désherbées (moyennes 5 essais 2007)

Variétés	Pertes relatives de rendement	groupes homogènes à 5%)					
GRANDVAL	-15	A					
LD76B	-21		B				
PEGASSOS	-23		B	C			
APACHE	-26		B	C	D		
SATURNUS	-28		B	C	D	E	
RENAN	-29		B	C	D	E	
CF99102	-31			C	D	E	F
LD269	-33				D	E	F	G
QUEBON	-36					E	F	G
CAPHORN	-38						F	G
GLASGOW	-38						F	G
SANKARA	-40							G



Bernicot et al., 2011, restitution FSOV 2011

Gestion des virus et des ravageurs

- **Leviers** (complémentaires de la résistance génétique) :
  - **Semis tardifs** (céréales automne), semis précoces (colza) / **Composés Olfactifs Volatils** (COV)
    - **écologie chimique** (ex de la brûche de la féverole avec des COV deposés sur des pièges) et **amélioration génétique**
  - **Agencement spatial des espèces** :
    - **Association d'espèces** : ex colza-féverole, reduction jusqu'à 50% des altises
    - **Mosaïques d'espèces hétérogènes, taille** (< 3 ha) → effets aussi significatifs sur la biodoversité *(Clélia Sirami et al., 2019)*
    - Zones refuge aux bords des parcelles

Les leviers de l'agroécologie

Interface agronomie et génétique

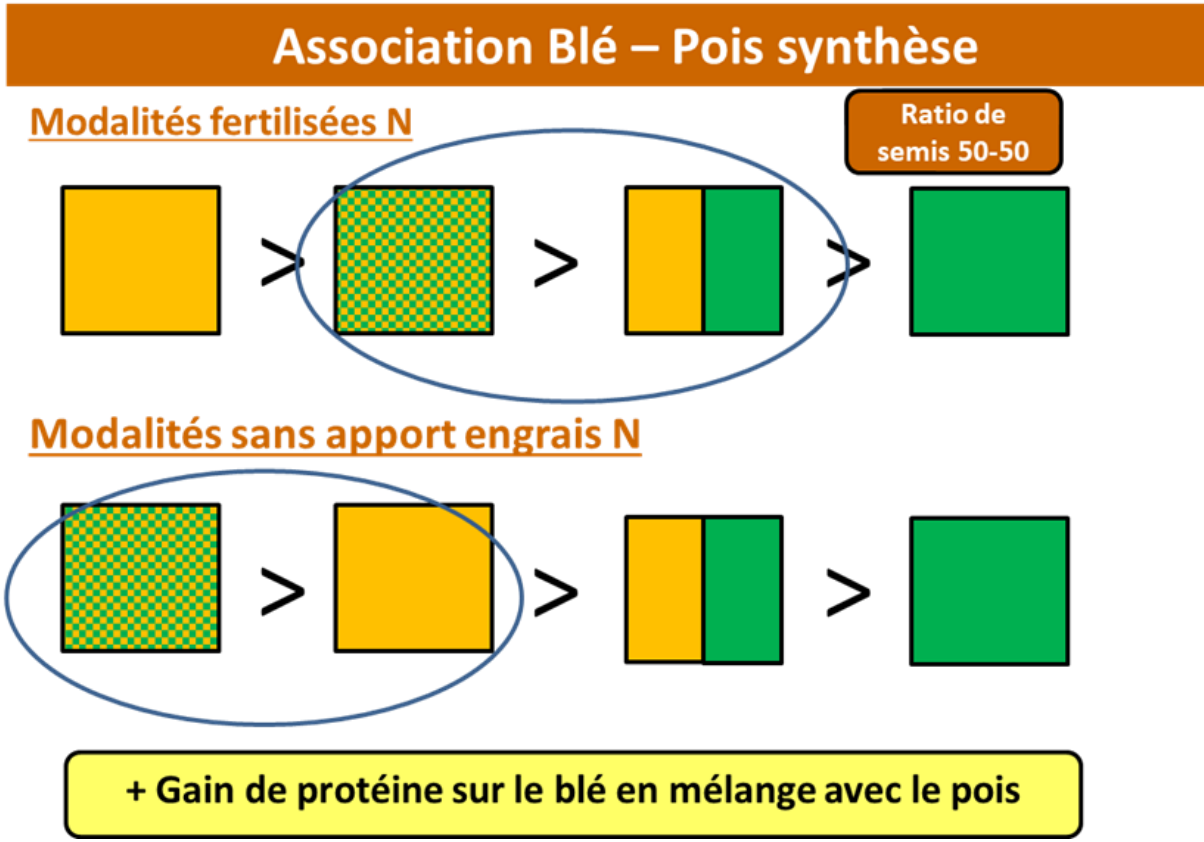
Association d'espèces

Azote et protéine : associer les espèces pour favoriser les complémentarités fonctionnelles

Comparaison du rendement du blé et du pois seul sur 0.5 ou 1 ha ou en mélange sur 1ha.

Un mélange 50-50% blé-pois permet :

- **1. en agriculture conventionnelle, de produire sur la même surface, plus de de blé avec plus de protéine (et moins d'engrais)**
- **2. en AB, 50% de blé mélangé avec du pois produit plus que 100% de blé sans pois**



Synthèse pluriannuelle d'après COHAN JP., 2014)

Les leviers de l'agroécologie

Interface agronomie et génétique

Systèmes sous couverts permanents

Blé dur sous sainfoin

Parcelle de Daniel Brémond

Blés sous luzerne

Maïs sous luzerne

Maïs sous sainfoin

ASSOCIATION DES SÉLECTIONNEURS FRANÇAIS

ACADÉMIE d'AGRICULTURE de FRANCE
AGRICULTURE ▪ ALIMENTATION ▪ ENVIRONNEMENT

Les agriculteurs identifient une variété mieux adaptée :

P0725 de chez Pioneer, caractérisée par la meilleure note de vigueur au départ (notations essais Arvalis, 2013),

Agriculture de conservation : systèmes sous couverts « permanents »

Effets attendus:

- Augmentation de la MO des sols
- Erosion, portance des sols, excès d'eau
- Diversification, biodiversité
- Moindre dépendance aux intrants (engrais, fongicides) mais systèmes sensibles aux herbicides (glyphosate)

- **Resultats sur blé 2009-2016 / système de référence**

En moyenne, mêmes performances (rendement, protéine) mais très forte variabilité max = 125%, min = 45%

- **Concurrence des couverts**
- **Espèces et variétés inadaptées à ces pratiques**
- ***Bénéfices des effets « long terme »***

- **Nouveaux traits**
- **Culture de rente : pouvoir couvrant, absorption précoce, précocité adaptée/ absorption racinaire tardive pour valoriser l'azote minéralisé par le couvert**
- **Couverts : importance de la dynamique de croissance (complémentarité sans concurrence) ; autres fonctions : gestion des adventices, phosphore…**

- Broyage de precision (RTK) du couvert en épargnant la culture → utilisable aussi en AB
- ***Sélectionneur : variétés (culture et couvert) adaptées aux semis intercalés → captation de l'énergie lumineuse***

Des corridors solaires pour stimuler la photosynthèse du maïs et introduire un plus grand nombre d'espèces de couverts

écartements très larges (ex : 154 cm dans le cas du maïs)

→ stimulation de la photosynthèse du maïs (KREMER RJ. Et DEICHMAN CL., 2014).

→ possibilité de semer un grand nombre de couverts (plus de lumière)

→ pertes de rendement du maïs seulement les premières années

Des traits nouveaux : plasticité de la photosynthèse, nombre d'épis par tige…

Opaline Lysiak, http://agriculture-de-conservation.com/Du-mais-en-corridors-solaires.htm

Méthodologie d'acquisition des références en agroécologie

Transition agroécologique: intérêt de combiner les leviers

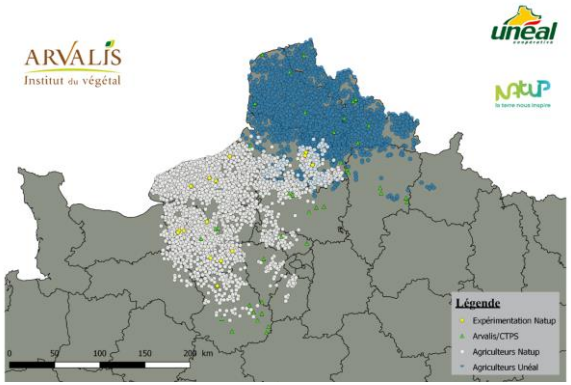
ex: pyrale du maïs

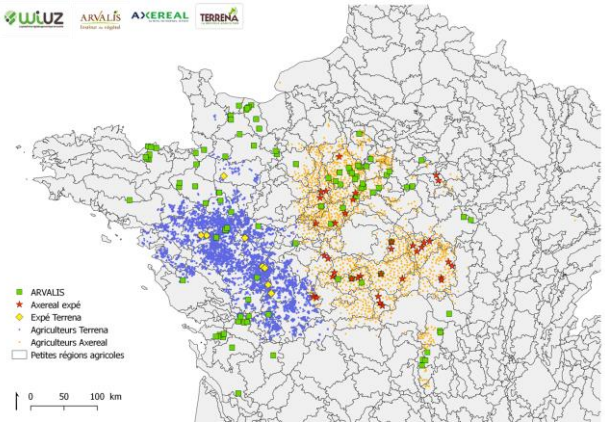
(d'après G. Espagnol, Symposium ARVALIS 2018)

	Efficacité
1. Champignon entomopathogène Met 51	30%
2. Biofumigation Brassica carinata	50%
3. Tolérance variétale	30%

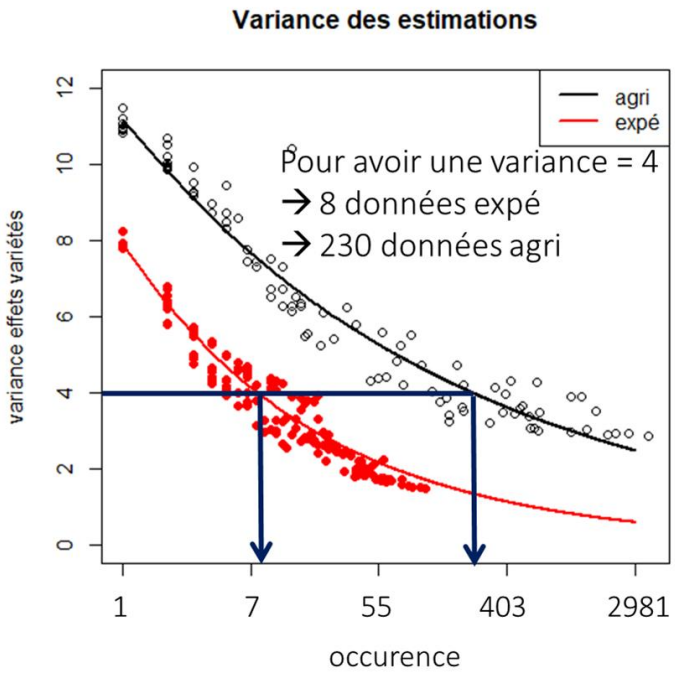
- **Quelle est l'efficacité globale ? : 30+50+30 = ?**
- **Faisabilité, variabilité, coût ?**
- **Qui (acteur) combine ? Faut-il évaluer les innovations unitaires dans des dispositifs où les autres leviers ont été actives en amont ?**

Acquérir des données chez les agriculteurs





D'après F. Piraux 2020, Phloeme et CASDAR Multipass



Selon les situations géographiques, il faut de 8 à 25 fois plus de données agriculteurs pour obtenir le même niveau de précision.

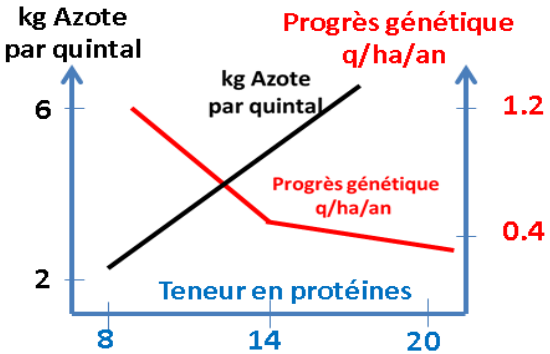
→ différences de classement variétal entre les deux types de données, que le nombre de données ne peut pas compenser

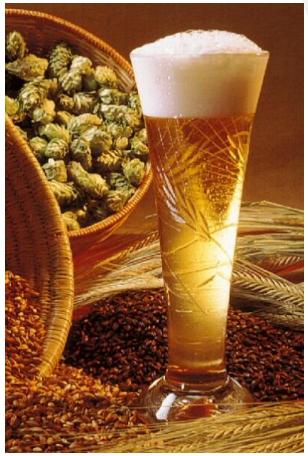
Biais compris entre 12 à 23% d'écart : pas les mêmes environnements ? Pas les mêmes conduites ? Pas le même matériel ?

Les leviers de l'agroécologie

Interface amont - aval pour trouver des degrés de liberté

Trouver des degrés de liberté : dialogues amont – aval



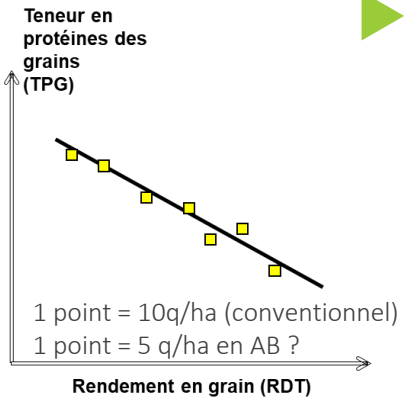


Blé tendre

- Quasiment que des blés panifiables (98%)/Quantité de protéines
- Pas le seul marché (45% alimentation animale)
- Fardeau génétique et donc pour les producteurs

Blé dur

- Teneur de 14% exigée en France / Italie 12%
- Impacts sur les dose d'engrais (sur-fertilisation N), les performances



Orges brassicoles

- Toutes sensibles aux maladies car choix monocentré sur la qualité brassicole !

Efforts à porter sur la <u>qualité</u> des protéines, utiles aussi pour l'AB

Quelle grille de lecture pour prioriser ?

- 1. Degré de régulation biologique
- 2. Enjeux sur la production, compétitivité
- 3. Combinable avec d'autres leviers
- 4. Effets multicible (ex: adventices, bioagresseurs, elts minéraux… fertilité du sol, etc…)
- 5. Effets sur des fonctions écosytémiques (bouclage des cycles, biodiversité…)
- 6. Ratio délai / efforts de recherche

Evaluation - quels dispositifs : autres leviers activés en amont, avec ou sans changement de systèmes de culture, de niveau d'echelle

A remplir collectivement pour avancer

Traits	1	2	3	4	5	6
Tolérance génétique bioagresseurs						
Sobriété X GPD+						
Pertes de rendement sub opti						
Profil protéique VS quantité						
Bouquets variétaux						
Mélanges variétaux						
Aptitude semis tardifs						
Pouvoir couvrant						
Céréales de printemps derrière leg						
Espèces de printemps semées très tôt						
Légumineuses en CI stables						
Allélopathie (adventices, ravageurs) COV (bioagresseurs)						
Microbiote (maladies, ravageurs, nutrition)						
Association espèces (mélanges)						
Association espèces (intercalées)						
Association espèces (relay cropping)						
Association espèces (couverts permanents)						
Associations espèces (corridors lumineux)						
Association d'espèces (agroforesterie)						
Agencement et dimension spatiaux des espèces						
Complémentarité des systèmes de production						

- 1. Degré de régulation biologique
- 2. Enjeux sur la production, compétitivité
- 3. Combinable avec d'autres leviers
- 4. Effets multicible
- 5. Effets sur des fonctions
- 6. Ratio délai / efforts de recherche

A remplir collectivement pour avancer!

Traits	1	2	3	4	5	6
Tolérance génétique bioagresseurs	A	B	A	C	E	B
Sobriété X GPD+	B	A	B	B	C	B
Pertes de rendement sub opti	C	C	B	D	C	C
Profil protéique VS quantité	B	B	B	C	C	C
Bouquets variétaux	D	B	B	C	D	B
Mélanges variétaux	C	B	B	B	C	C
Aptitude semis tardifs	C	B	B	B	D	B
Pouvoir couvrant	C	C	B	B	D	A
Céréales de printemps derrière leg	B	B	C	B	B	C
Espèces de printemps semées très tôt	D	A	B	C	C	B
Légumineuses en CI stables	B	C	B	B	C	C
Allélopathie (adventices, ravageurs)	B	C	B	D	C	D
COV (bioagresseurs)	B	C	B	D	C	D
Microbiote (maladies, ravageurs, nutrition)	B	D	A	D	B	E
Association espèces (mélanges)	B	C	C	B	B	D
Association espèces (intercalées)	C	C	B	B	C	B
Association espèces (relay cropping)	C	B	C	B	C	B
Association espèces (couverts permanents)	B	C	B	B	A	C
Associations espèces (corridors lumineux)	C	C	B	B	B	C
Association d'espèces (agroforesterie)						
Agencement et dimension spatiaux des espèces	A	B	B	B	A	C
Complémentarité des systèmes de production	A	B	B	B	A	C

- 1. Degré de régulation biologique
- 2. Enjeux sur la production, compétitivité
- 3. Combinable avec d'autres leviers
- 4. Effets multicible
- 5. Effets sur des fonctions
- 6. Ratio délai / efforts de recherche

Conclusion, Synthèse

Mots Clés

- Nouveaux fronts de science, nouveaux métiers, approches pluridisciplinaires et systémiques

- Mécanismes spécifiques aux interactions : amont-aval, entre systèmes, entre leviers, plante-plante, racines etc...

- Comment s'organiser collectivement ?
  - Priorités ?
  - Procédures et dispositifs d'évaluation ?

- Attractivité de l'agriculture !