



**Suivi de la diversité génétique du blé tendre
à l'échelle des territoires Français
au cours du 20ème siècle**

I Goldringer*, P Montalent*, I Bonnin*, R Goffaux°, C Bonneuil S
*UMR de Génétique Végétale, Le Moulon, INRA
° Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité
S CNRS Centre Koyre, IFRIS SenS INRA

Pourquoi mesurer l'évolution de l'état de la biodiversité cultivée ?

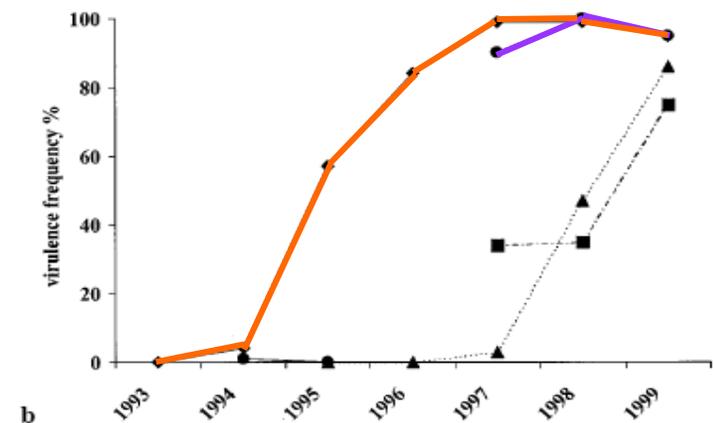
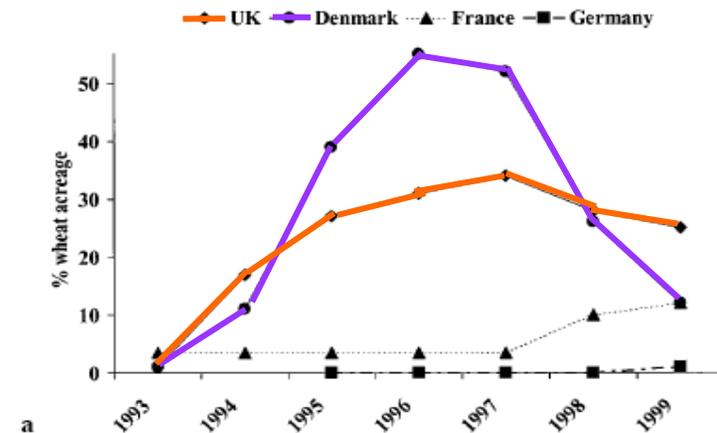
- **Ressources génétiques végétales:**
 - Matériel utilisable par l'Homme pour faire face aux enjeux tels que le changement climatique ou le développement d'une agriculture plus durable.
- Autres services écosystémiques liés à la mise en culture des **ressources génétiques** sur un territoire:
 - Interagissent avec toutes les composantes de la biodiversité sauvage = > contribuent aux **services de régulation biologique** dans les agro-écosystèmes
 - **Service culturel**

Biodiversité cultivée

- **Biodiversité** = pas seulement un stock, un réservoir d'allèles, mais plutôt un ensemble de processus : génétiques, écologiques, sociaux...

=> Résulte des **interactions** dans l'espace et **dans le temps** entre plantes cultivées, avec la biodiversité sauvage, avec l'environnement, avec l'homme.

- Surfaces cultivées avec des variétés comportant le gène de résistance **Yr17** au Danemark, France, Allemagne et UK entre 1993 et 1999.
- Fréquence des **virulences sur Yr17** dans les populations de *P. striiformis f. sp. tritici* au Danemark, France, Allemagne et UK entre 1993 et 1999.



Biodiversité cultivée

- **Biodiversité** = pas seulement un stock, un réservoir d'allèles, mais plutôt un ensemble de processus : génétiques, écologiques, sociaux...

=> Résulte des **interactions dans l'espace** et dans le temps entre plantes cultivées, avec la biodiversité sauvage, avec l'environnement, avec l'homme.



Variété sensible pure



Association variétale

Rouille jaune chez le Blé
(de Vallavieille-Pope et
Goyeau, 1995)

Tendance pour la diversité génétique des plantes cultivées

“**Loss of genetic diversity** through the disappearance of locally adapted varieties and landraces of crops and livestock breeds is widely reported but difficult to quantify” (Global Biodiversity Outlook 2, 2006)

TABLE 2.1 | Status and trends of biodiversity-related parameters according to the 2010 Indicators

Arrows indicate the direction of trends (broad arrows indicate a high level of confidence about the trend; narrow arrows indicate low confidence; red arrows indicate a trend that is negative for biodiversity; green arrows indicate a trend that is positive for biodiversity). The quality of the data and indicators are shown by the stars at the right hand side.

★★★ good indicator methodology with globally consistent time course data;

★★ good indicator, but no time course data;

★ indicator requires further development and/or limited data.

FOCAL AREA: Status and trends of the components of biological diversity

	Trends in extent of selected biomes, ecosystems, and habitats	★★★
	Trends in abundance and distribution of selected species	★★★
	Change in status of threatened species	★★★
	Trends in genetic diversity of domesticated animals, cultivated plants, and fish species of major socio-economic importance	★
	Coverage of protected areas	★★★

LES INDICATEURS AU NIVEAU EUROPEEN

Streamlining Biodiversity Indicators for 2010

Thèmes de la CDB	indicateurs clés de l'AEE	indicateurs proposés par le Sebi 2010
Etat et évolution des éléments constitutifs de la diversité biologique	Evolution de l'abondance et de la répartition de certaines espèces	1-a) Indice paneuropéen des oiseaux communs
		1-b) Papillons européens
	Modification de l'état des espèces menacées et/ou protégées	2) Indice Liste rouge de l'IUCN pour les espèces européennes
		3) Changement de statut des espèces d'intérêt européen
	Evolution de certains biomes, écosystèmes et habitats	4) Evolution de l'étendue et de la composition de certains écosystèmes européens
		5) Changement de statut d'habitats d'intérêt européen
	Tendance de la diversité génétique des animaux domestiques	6) Nombre de races par pays *
	Etendue des aires protégées	7) Tendances concernant la création d'aires protégées
8) Sites classés selon la directive Habitats et de la directive Oiseaux		

*“should be supplemented with information on crops, trees and fish genetic diversity in the near future”.

LES INDICATEURS AU NIVEAU Français

Stratégie nationale pour la Biodiversité - 2004

Tableau 2 : Les indicateurs de biodiversité de la Stratégie nationale pour la Biodiversité Française.

Diversité génétique	Nombre de variétés végétales et de races animales, enregistrées et certifiées aux fins de commercialisation, dans les principales catégories de plantes cultivées et d'animaux d'élevage (MAAPAR).
Diversité spécifique	Indice de diversité spécifique des oiseaux communs (MNHN).
	Richesse spécifique des poissons (MNHN).
	Statuts des espèces des listes rouges nationales (MNHN).
Diversité des habitats	Etat de conservation des habitats d'intérêt communautaire des sites Natura 2000 (MNHN).
Trame écologique	Carte de la diversité des types d'occupation du sol peu artificialisée au niveau local (Ifen, Corine Landcover).
	Dominance, dans le paysage, des milieux peu artificialisés (Ifen, Corine Landcover).
Fonctionnement des écosystèmes	Défoliation des arbres (Département de la santé des forêts, Maapar).
	Indice biologique global normalisé des cours d'eau (Réseau national des Données sur l'Eau).

Source : Medd, 2004

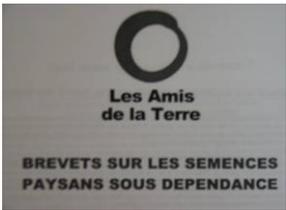
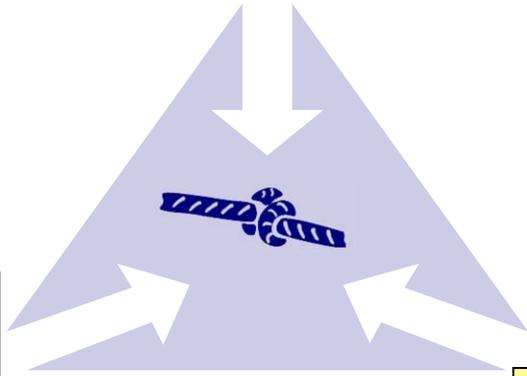
Contexte du développement des études et indicateurs de diversité cultivée

“loss of genetic diversity through the disappearance of locally adapted varieties and landraces of crops and livestock breeds is widely reported but difficult to quantify” (Global Biodiversity Outlook 2, 2006)

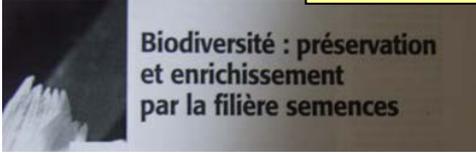


Des politiques en transition

Ecologisation des politiques agricoles (2e pilier de la PAC, 1999): volet « préservation des ressources végétales menacées de disparition » des MAE (mesure 214) du Programme de Développement Rural Hexagonal (2007-13 du Ministère de l'agriculture)



Une controverse sociale qui s'intensifie



Des méthodes scientifiques non stabilisés

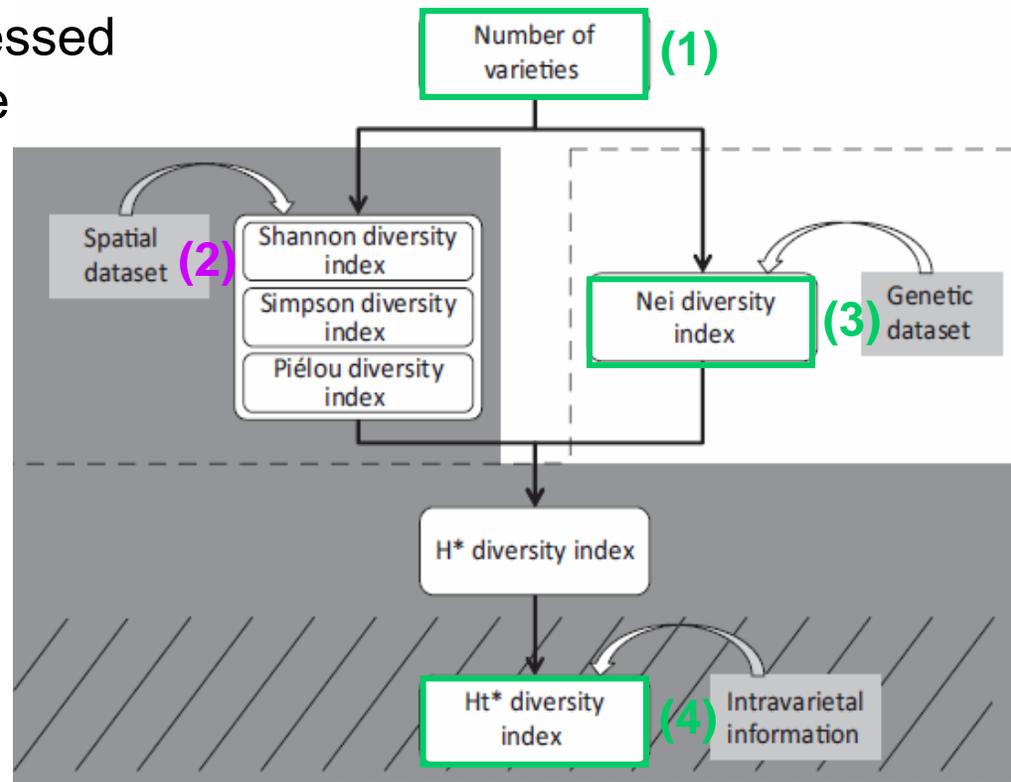
Indicators to assess temporal genetic diversity in the French Catalogue: no losses for maize and peas

Genetic erosion – examples from Italy^{1,2}

Temporal trends in the diversity of UK wheat

Construction de l'indicateur de biodiversité cultivée

- Méthodologie de construction d'un indicateur pour mesurer la diversité génétique dans les paysages
- "Genetic diversity can be assessed when three different facets are combined (CBD 2004):
 - (1) number of different entities
 - (2) evenness of the distribution of these entities,
 - (3) the extent of the difference between the entities"
- Nous avons ajouté :
 - (4) diversité intra-entité



FRB - Goffaux et al. (2011)

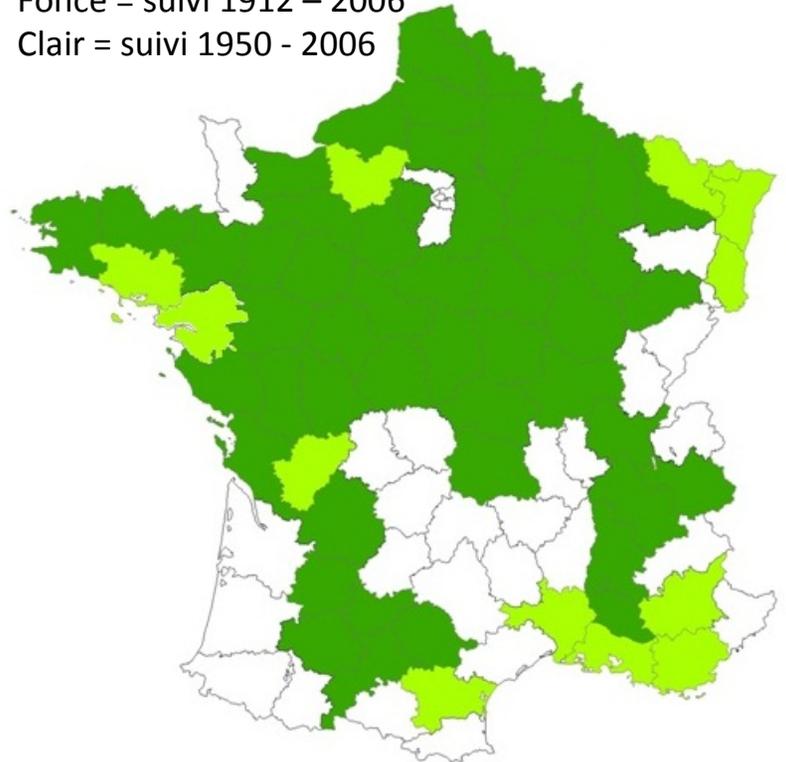
Bonneuil et al. 2012

Mise en œuvre de l'indicateur

Base de données:

- 80 départements
- 64 dates entre 1912 et 2006
- 1104 variétés génotypées

Foncé = suivi 1912 – 2006
Clair = suivi 1950 - 2006



Données biblio
diversité intra-
variétale

35 marqueurs SSR

nom	cfd17h8acfd17h8d	gwm11	gwm120
AARON	N/A	202	N/A
ABBONDANZA	156	200	199
ABEL	156	188	195
ABO	156	200	195
ABBONDANCE			
LEPEUPLE	162	198	195
ABOUKIR	156	188	203
ACIENDA	156	188	197
ACIER	156	212	195
ADAM	156	194	193
ADMIRAL	156	206	199

Données
génétiques



Données
d'archives

L'indicateur

Diversité génétique (inter-variétale)

Indice de diversité de Nei

$$H = \sum_j (1 - \sum_i p_{ij}^2) / J$$

p_{ij} : fréquence de l'allèle i au locus j
 J : nombre total de locus considérés

Répartition variétale

$$H' = \sum_j [1 - \sum_i (\sum_k \alpha_k g_{ijk})^2] / J$$

g_{ijk} : variable indicatrice qui, pour chaque variété k indique la présence (1) ou non (0) de l'allèle i au locus j
 α_k : proportion de la variété k dans le territoire donné

Diversité génétique intra-variétale

Prise en compte de la diversité intra-variétale

- Pour la **diversité intra-variétale**: très peu de données disponibles pour les variétés françaises de pays
- Estimation à partir de variétés de pays (landraces) cultivées dans d'autres pays (Europe Sud)
- Correction prenant en compte une information caractérisant la part de la variabilité totale due à la **diversité entre populations ou variétés** (G_{ST})
- Diversité totale = **Diversité entre variétés** + **Diversité intra-variétale** ($H_T \sim H + H_S$)
- $G_{ST} = (H_T - H_S) / H_T$
- On obtient donc: $H_T = H / G_{ST}$

L'indicateur

Diversité génique (inter-variétale)

Indice de diversité de Nei

$$H = \sum_j (1 - \sum_i p_{ij}^2) / J$$

p_{ij} : fréquence de l'allèle i au locus j
 J : nombre total de locus considérés

Répartition variétale

$$H' = \sum_j [1 - \sum_i (\sum_k \alpha_k g_{ijk})^2] / J$$

g_{ijk} : variable indicatrice qui, pour chaque variété k indique la présence (1) ou non (0) de l'allèle i au locus j
 α_k : proportion de la variété k dans le territoire donné

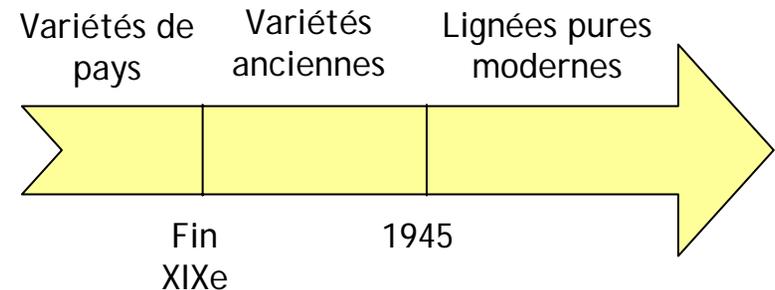
Diversité génique intra-variétale

$$H_T^* = [\sum_j [1 - \sum_i (\sum_k \alpha_k g_{ijk})^2] / J] / G_{ST}$$

Estimation de la diversité intra-variétale

- Données historiques:

3 grands types de variétés cultivées au cours du temps



- Très peu de données disponibles pour les variétés françaises de pays

- Bibliographie: estimation à partir de variétés de pays cultivées dans d'autres pays (Europe Sud)
- Estimations sur quelques variétés de pays Françaises

	G_{ST}
Variété de pays (VP)	0.4
Lignée pure ancienne (LA) (< 1945)	0.94
Lignée pure moderne (LM) (> 1944)	1



L'indicateur

Diversité génique (inter-variétale)

Indice de diversité de Nei

$$H = \sum_j (1 - \sum_i p_{ij}^2) / J$$

p_{ij} : fréquence de l'allèle i au locus j
 J : nombre total de locus considérés

Répartition variétale

$$H' = \sum_j [1 - \sum_i (\sum_k \alpha_k g_{ijk})^2] / J$$

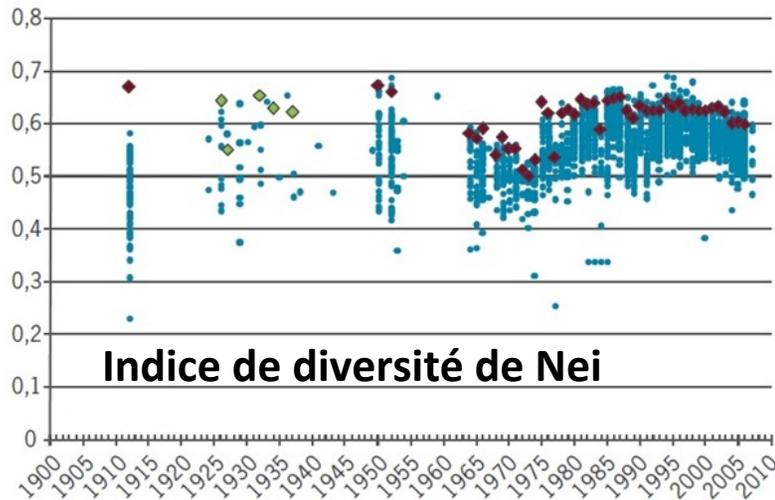
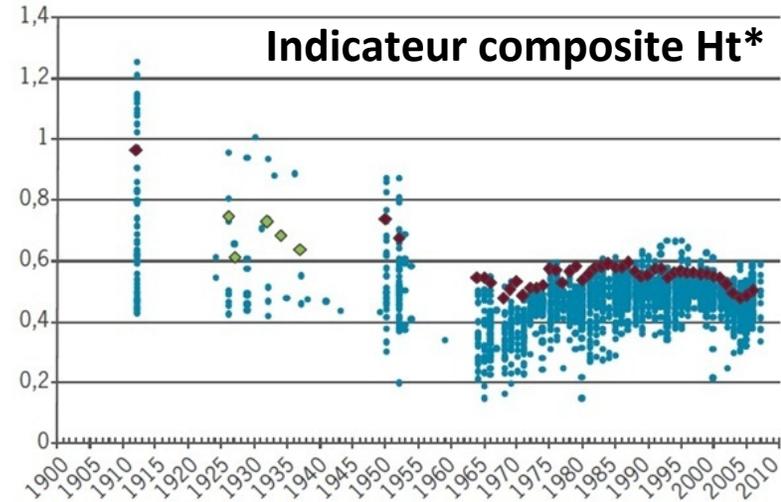
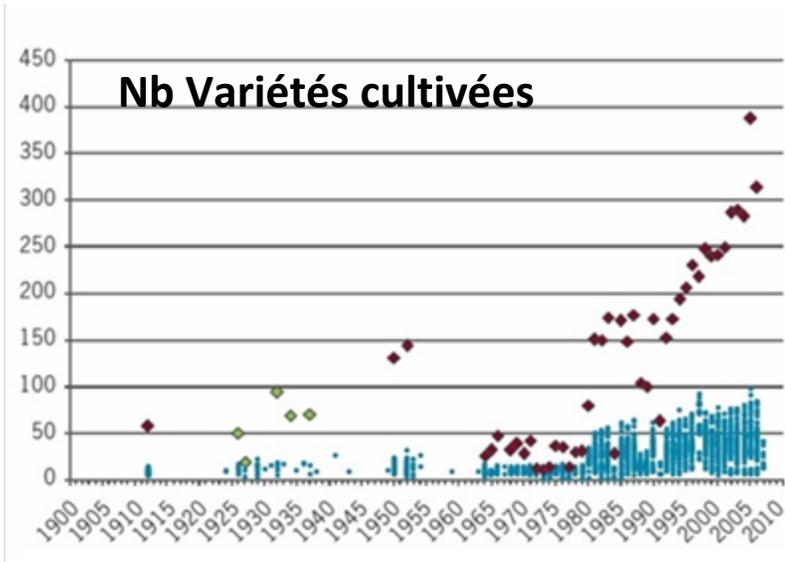
g_{ijk} : variable indicatrice qui, pour chaque variété k indique la présence (1) ou non (0) de l'allèle i au locus j
 α_k : proportion de la variété k dans le territoire donné

Diversité génique intra-variétale

$$H_T^* = \frac{\sum_j [1 - \sum_i (\sum_k \alpha_k p_{ijk})^2]}{J \times (0,4x\%VP + 0,94x\%LA + 1x\%LM)}$$

Période	Type d'enquête	Localisation
XIXe s	Articles dans revues de sociétés savantes	-BN - archives départementales
1900-1963	Monographies départementales antérieures à 1929 et rapports des DSA.	- bibliothèque INA-PG - archives départementales
	Monographies dép. post enquête agricole de 1929	- bibliothèque INA-PG - archives départementales
	1950 Monogr. dép. ONIC	- archives ONIGC
1964-2007	Enquête variétale annuelle (pour des dizaines de départements) opérée par le SCEES, 1964-1978 (financement ONIC), puis par l'ONIC (1979-2007)	- archives SCEES, ONIGC et CAC Jusque 1987 par enquêteurs vacataires (coût 1M fcs) par échantillonnage d'env. 250 exploitations dans 4 catégories de producteurs. Puis extrapolation 'à la main' par département. Après 1989 questionnaire voie postale à 500 agric.

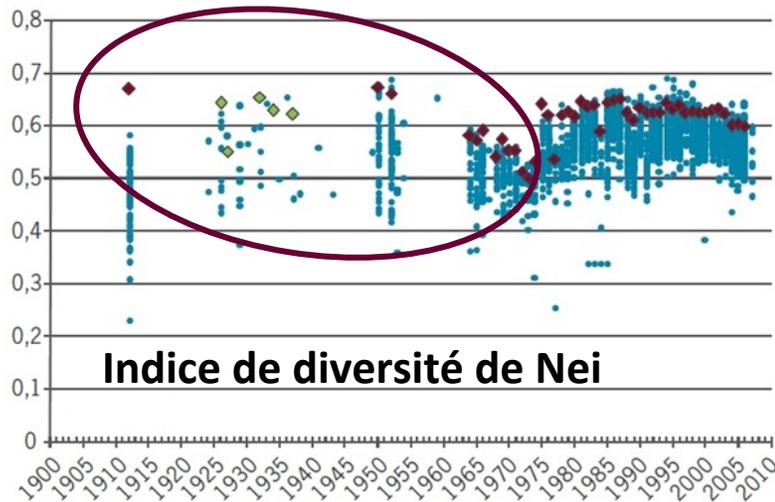
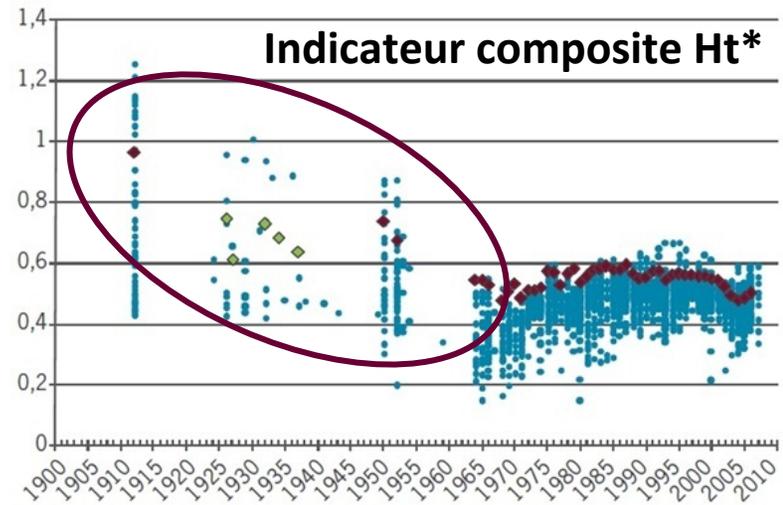
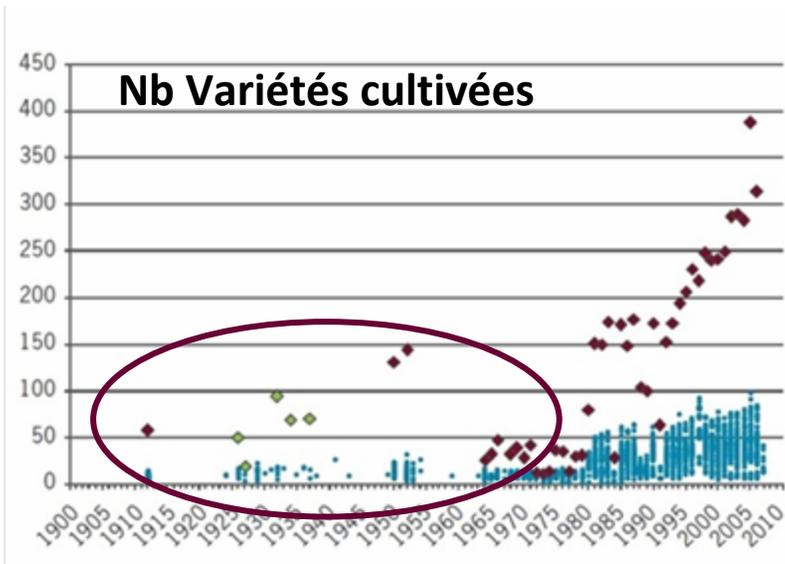
Tendances observées au cours du 20ème siècle à l'échelle du territoire



Evolution au cours du 20ème siècle dans 80 départements Français (bleu) et au niveau national (noir / vert)

=> Les tendances révélées par les 3 indicateurs sont différentes

Trois périodes



De 1912 aux années 70s:

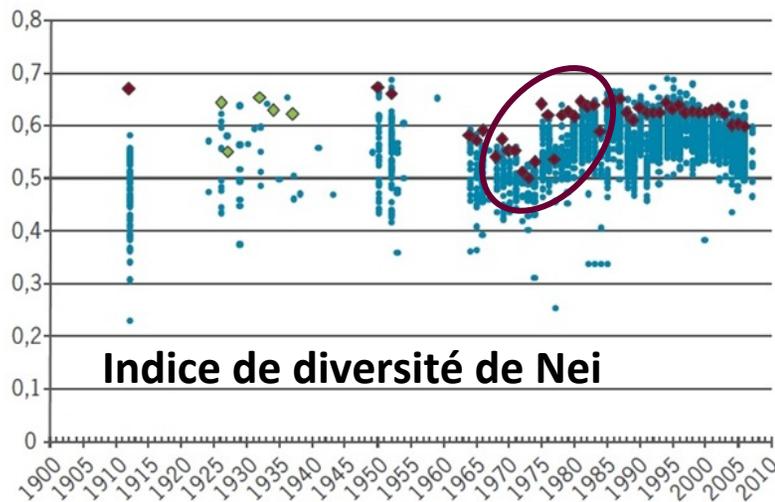
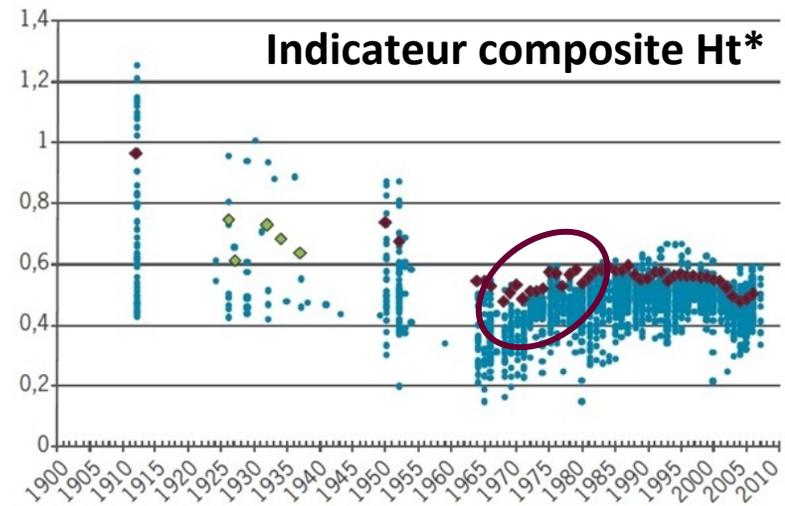
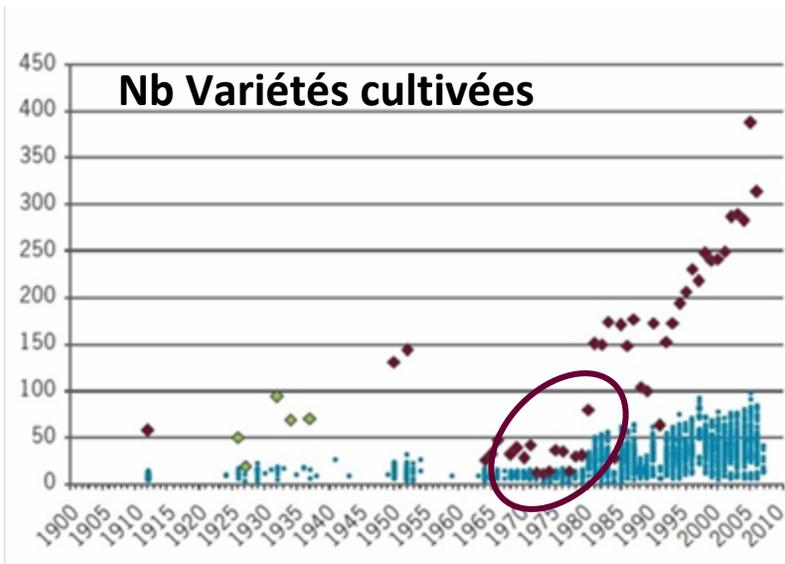
=> la diversité diminue drastiquement

*** Remplacement des variétés de pays par les variétés modernes homogènes**

*** Augmentation de la similarité génétique entre variétés (Nei)**

*** Dominance dans le paysage de quelques variétés majoritaires.**

Trois périodes

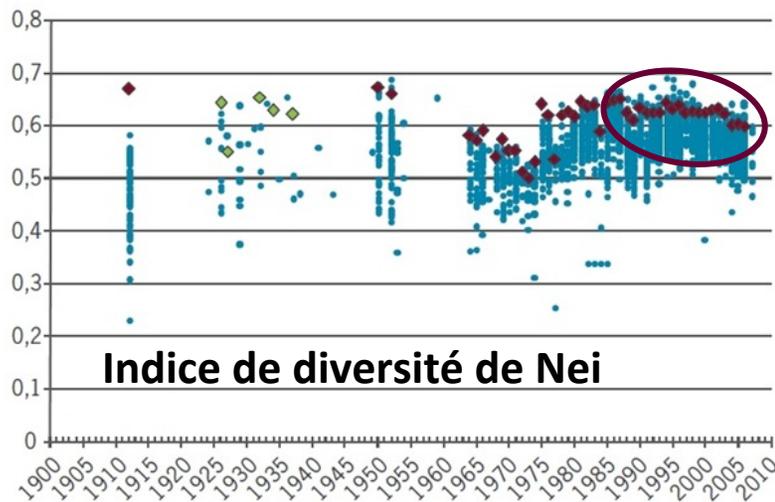
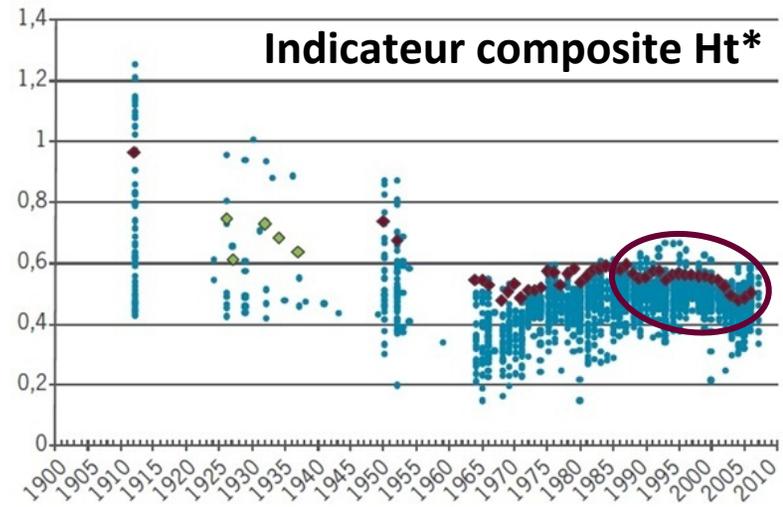
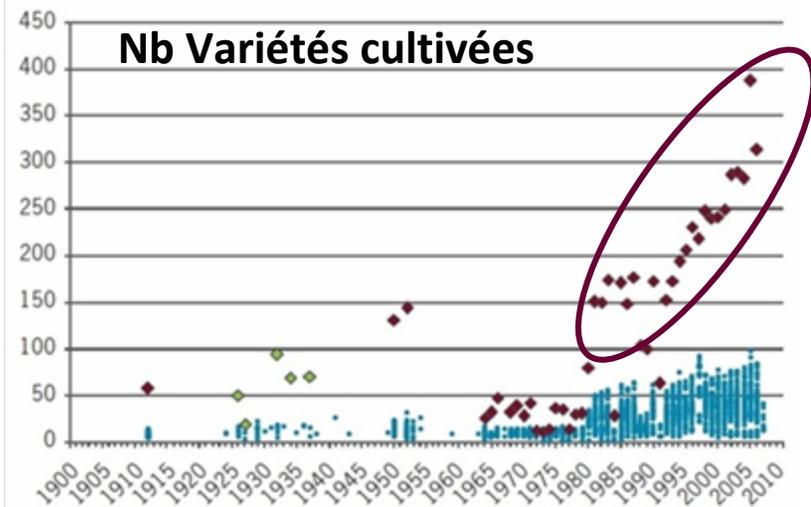


Après les années 70s:

=> Ht*, le nombre de variétés et l'indice de Nei augmentent sensiblement

* Nombreuse variétés développées à partir de ressources génétiques plus variées renouvelant le pool génétique utilisé en sélection.

Trois périodes



Fin des années 80s jusqu'en 2006:

=> Ht* stagne puis amorce une décroissance dans les années 2000 tandis que le nb de variétés augmente considérablement.

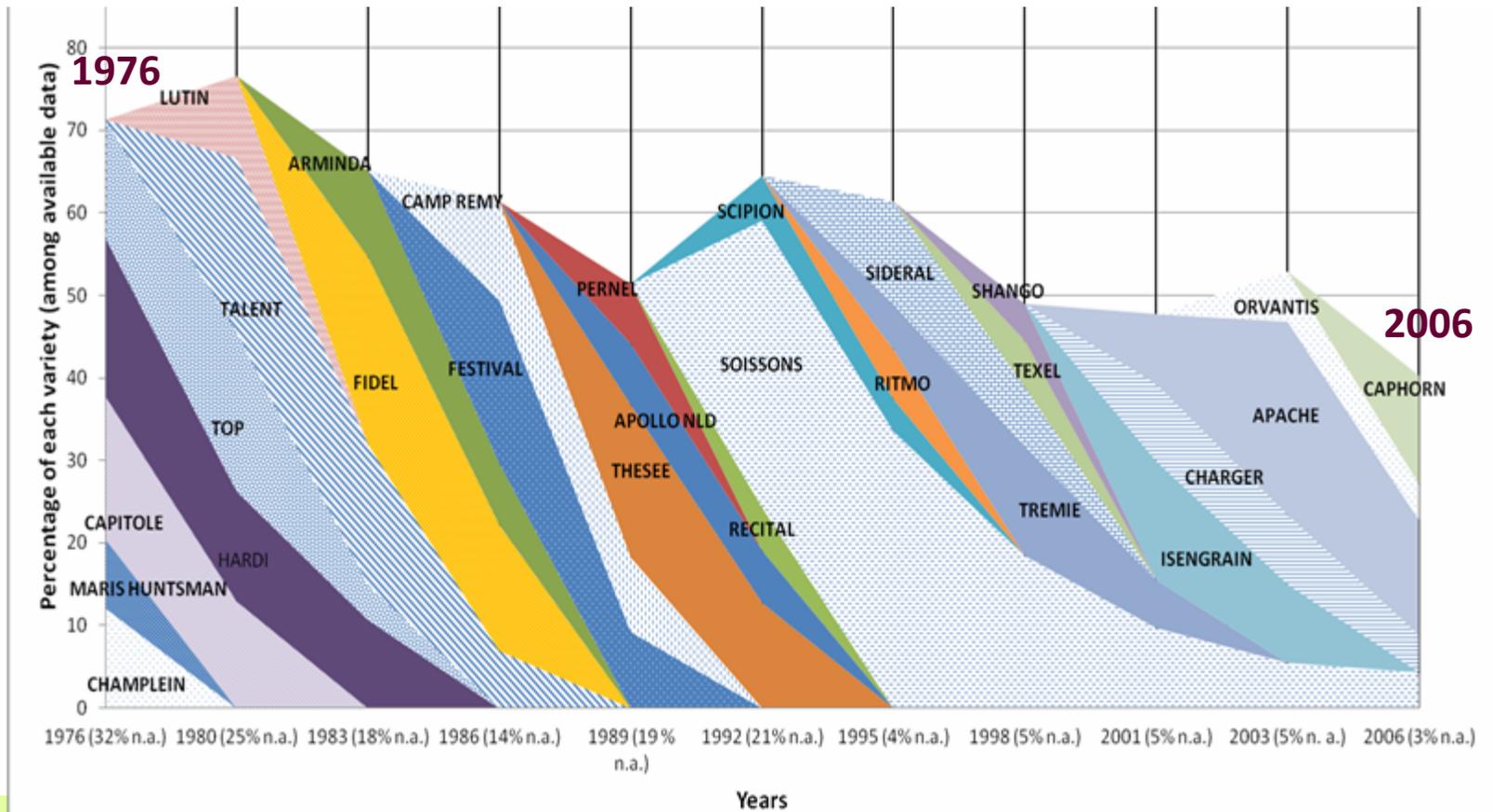
* Homogénéisation génétique entre départements

* Les variétés les plus fréquentes deviennent plus apparentées génétiquement (cf Nei 5 ou 10 premières variétés).

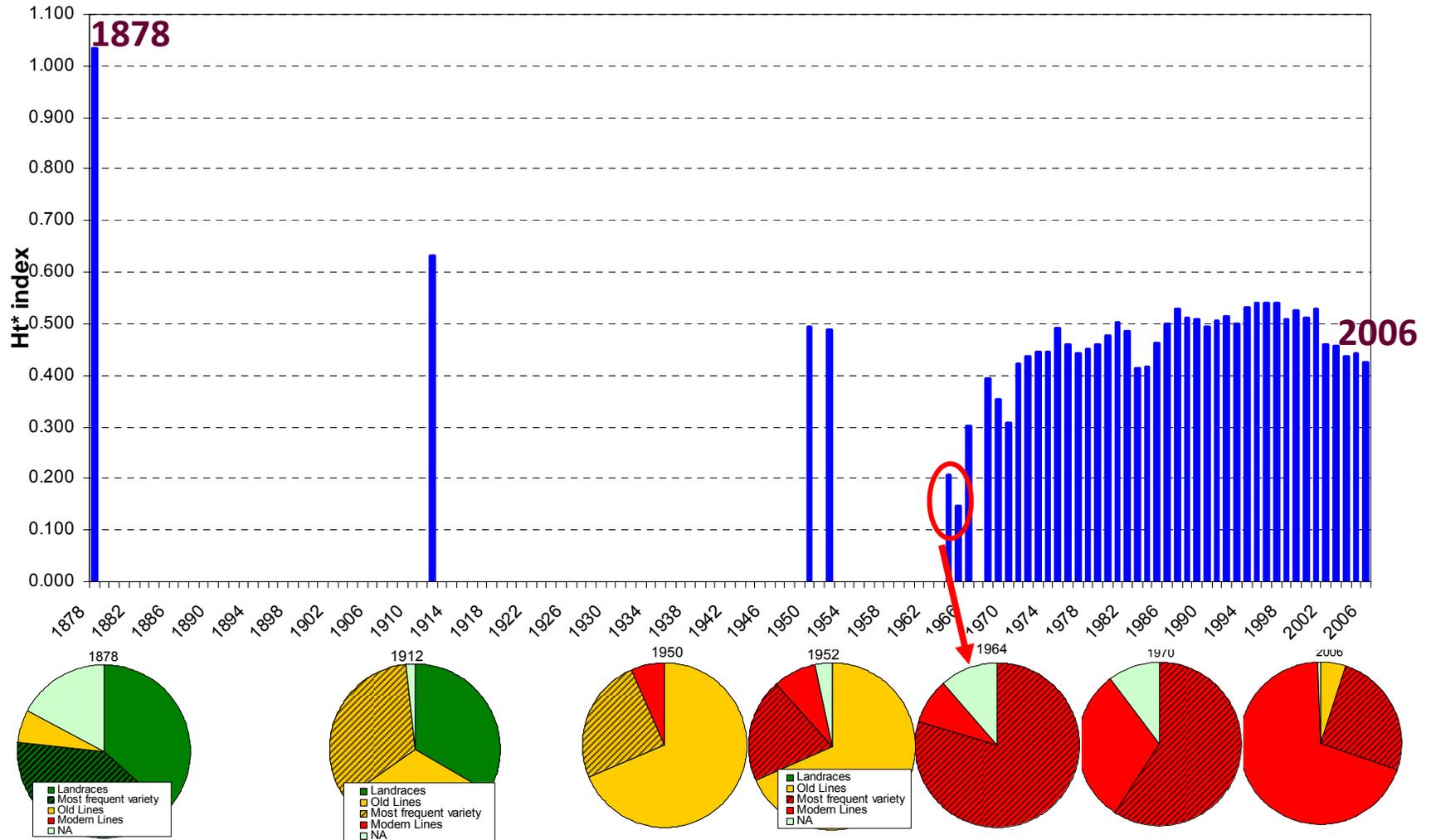
Période récente

Diversité de Nei sur (a) les 5 variétés, (b) les 10 variétés les + fréquentes
(Bonnin et al. en préparation)

Années	1976	1980	1983	1986	1989	1992	1995	1998	2001	2003	2006
(a)	0.483	0.470	0.470	0.488	0.422	0.491	0.505	0.473	0.449	0.414	0.418
(b)	0.516	0.514	0.546	0.567	0.522	0.536	0.533	0.481	0.518	0.486	0.434

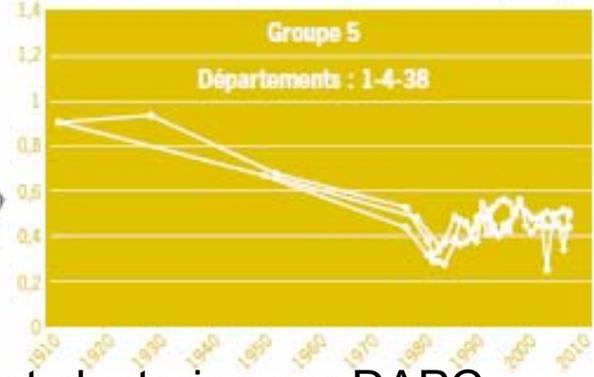
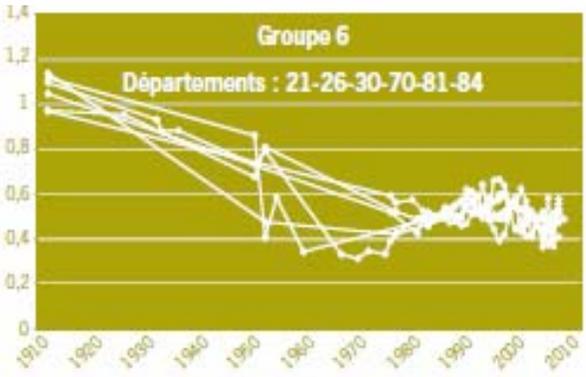
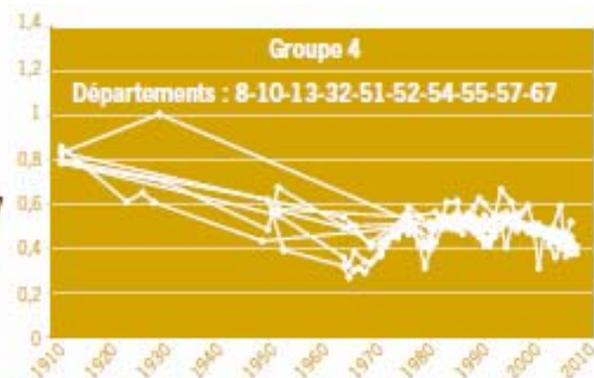
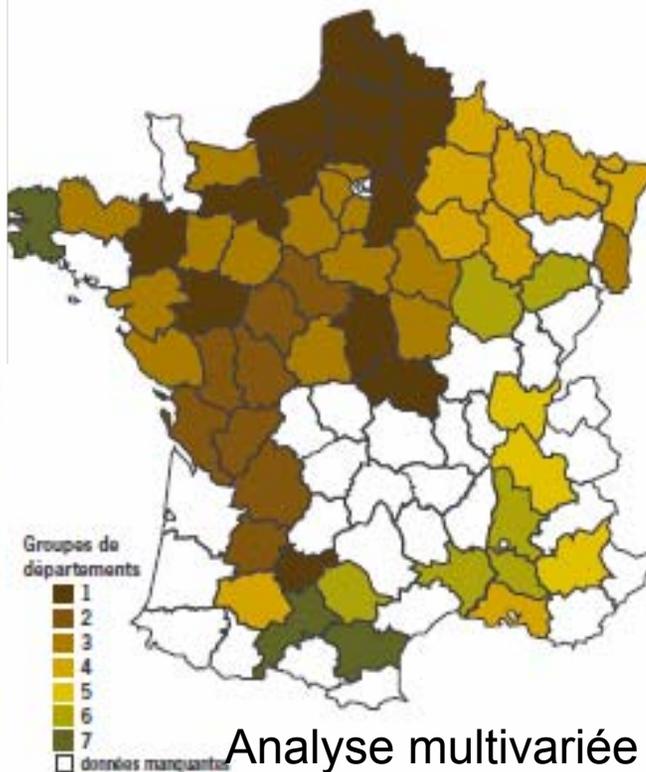
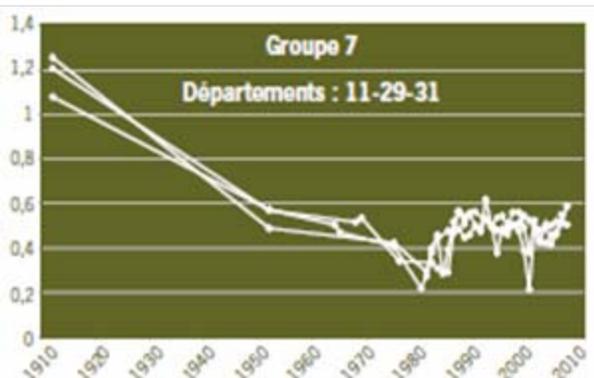
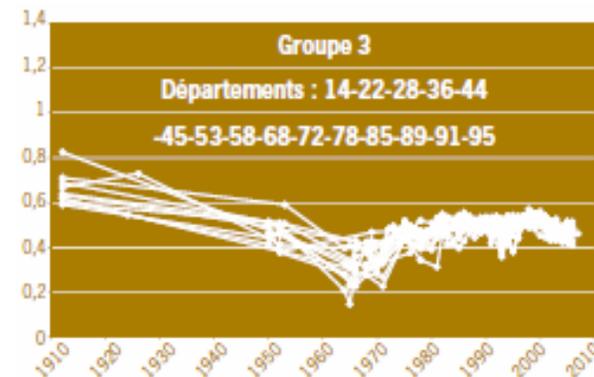
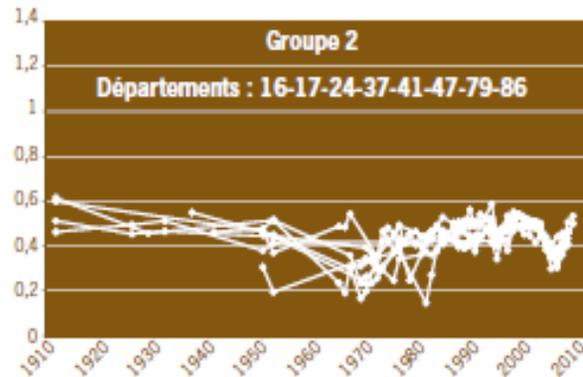
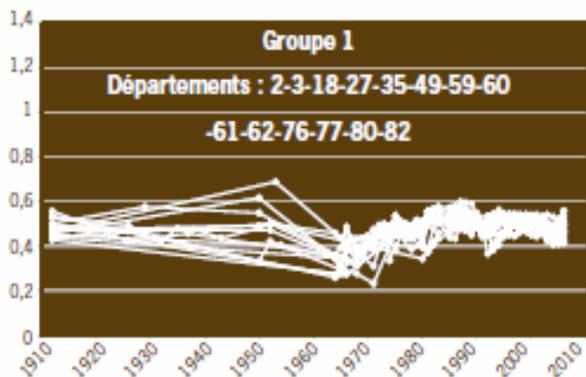


Focus sur un département phare de production de blé : l'Eure-et-Loir



Bonneuil et al. 2012

Régionalisation des tendances



Analyse multivariée et clustering par DAPC

Goffaux et al 2011

Conclusion - perspectives

- **L'indicateur Ht***

=> Un apport méthodologique:

- Le nb de variété, bien que fréquemment utilisé, est l'indicateur le plus divergent
- L'indicateur le plus intégratif révèle des variations non détectées par les indicateurs plus simples

=> Identification d'étapes-clé dans l'uniformisation des culture

- Une **forte homogénéisation génétique, majoritairement due à la perte de diversité intravariétale**, et, dans une moindre mesure, à **l'homogénéisation génétique intervariétale entre variétés leader**, malgré une forte hausse du nombre de variétés cultivées au XXème siècle
- Une **homogénéisation spatiale entre les départements**, ceux-ci étant fortement marqués par **leur histoire agricole**

Conclusion - perspectives

- **L'indicateur Ht***

- => Un outil pour l'évaluation a posteriori (connaissance historique, impact des transformations agricoles,...)

- => Un outil au service des politiques de soutien à la biodiversité agricole et aux services écosystémiques associés

- => Généralisation à d'autres pays et d'autres espèces (maïs, vigne, arbres,...)

- **Etude de l'organisation spatio-temporelle de la diversité => mieux la valoriser, la préserver et la renouveler**

Merci de votre attention

