



HAL
open science

Les apports de la génétique pour la compréhension et la gestion des forêts

Francois Lefèvre

► **To cite this version:**

Francois Lefèvre. Les apports de la génétique pour la compréhension et la gestion des forêts. La variation pour comprendre la permanence de la vie – 20. anniversaire de la section des Sciences de la vie de l'Académie d'agriculture, Académie d'Agriculture de France (AAF). FRA., Apr 2017, Paris, France. 40 p. hal-01594650

HAL Id: hal-01594650

<https://hal.science/hal-01594650>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

Les apports de la génétique pour la compréhension et la gestion des forêts



1) contexte et enjeux, directions et moteurs de l'avancée des connaissances

2) les apports de la génétique sur deux questions :

- l'origine et l'organisation de la variation
- les processus évolutifs

3) exemples de mises en applications directes

4) les défis de l'interdisciplinarité

5) conclusion

Un grand nombre d'espèces, beaucoup sont exploitées mais très peu sont domestiquées (domestication récente)

	Nb d'espèces (*)
Monde	7905
France entière	3528
dont métropole	137 (natives)
70% commerce de plants	5 (dont 2 exotiques)
amélioration avancée	4

FAO 2014

Des spécificités biologiques, longévité et taille des génomes

	Taille de génome
<i>Arabidopsis</i>	0,12 Gb
<i>Populus</i>	0,48
<i>Eucalyptus</i>	1,13
<i>Quercus</i>	1,14 - 2
<i>Pinus</i>	21 - 37
<i>Picea</i>	31 - 40
<i>Pseudotsuga</i>	37

Neale & Kremer 2011

France métropolitaine : ~13 % de la surface est gérée par plantation

études génomiques : quelques centaines de chercheurs
quelques dizaines d'espèces

De nouveaux enjeux dans le contexte des changements globaux

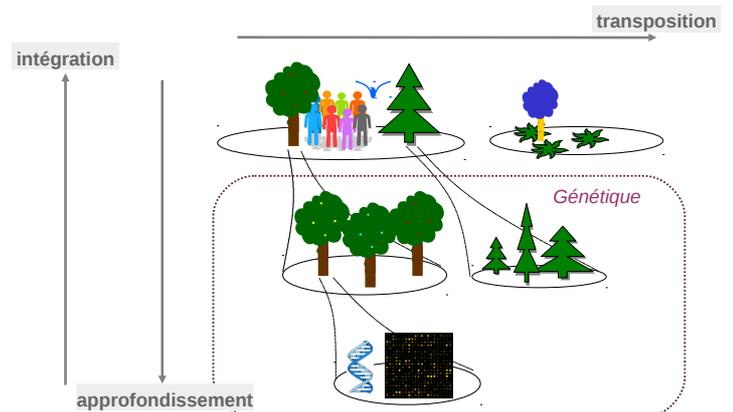
- des forêts pour l'adaptation <=> adaptation des forêts
- prendre en compte les incertitudes

=> la variation est un levier pour l'adaptation des forêts et une ressource à préserver pour la gestion des incertitudes

=> raisonner en bénéfices / risques des décisions, à court et à long terme

Comment les sciences de la vie contribuent-elles à la connaissance pour comprendre et gérer la variation dont dépend la permanence des forêts ?

3 directions d'avancées des connaissances

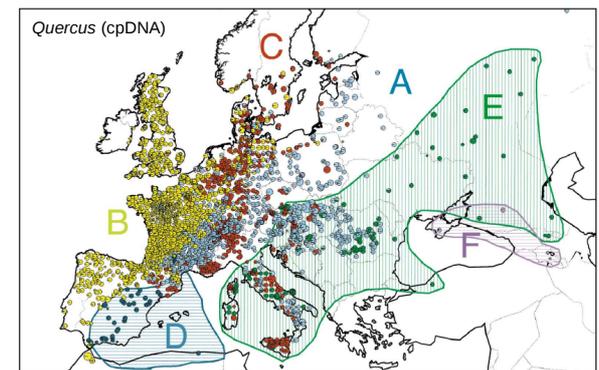
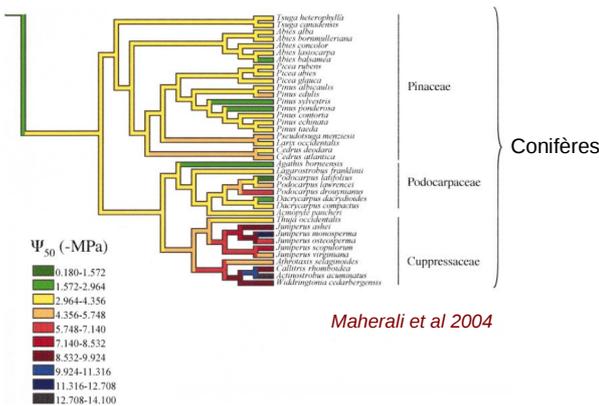


3 directions d'avancées des connaissances
soutenues par 5 domaines d'innovation

- (1) la **théorie** dans chaque discipline des sciences de la vie
- (2) les **technologies** (séquençage, génotypage, phénotypage, ...)
- (3) les **mathématiques appliquées** et les outils d'analyse
- (4) les **interdisciplinarités**
- (5) les stratégies de **mise en application**

- 1) contexte et enjeux, directions et moteurs de l'avancée des connaissances
- 2) les apports de la génétique sur deux questions :
 - l'origine et l'organisation de la variation
 - les processus évolutifs
- 3) exemples de mises en applications directes
- 4) les défis de l'interdisciplinarité
- 5) conclusion

La diversité des capacités adaptatives s'appuie sur un héritage phylogénétique ancien

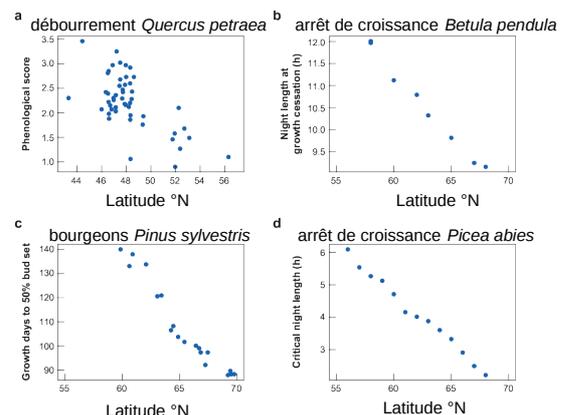


Une forte diversité « neutre » et une faible différenciation

	Nb espèces	Diversité		Différenciation
		H _S	H _T	
Espèces végétales	669	0,224	0,302	0,228
Annuelles	226	0,196	0,322	0,335
Herbacées pérennes	30	0,228	0,307	0,278
Ligneux longévifs	196	0,253	0,283	0,084
Gymnospermes	121	0,255	0,281	0,073
Angiospermes	102	0,248	0,287	0,102

Prat et al 2006

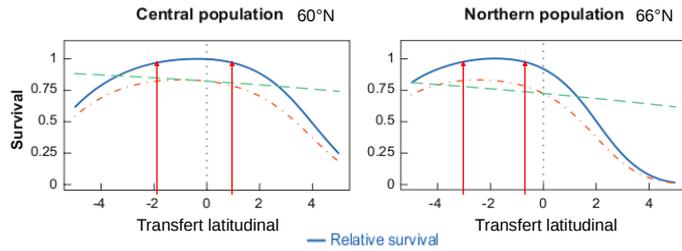
Des adaptations locales développées depuis la recolonisation...



Savolainen et al 2007

Des adaptations locales développées depuis la recolonisation...
mais les populations ne sont pas toutes à l'optimum requis par
l'environnement local

Pinus sylvestris: 69 provenances dans 21 sites de test en Suède.

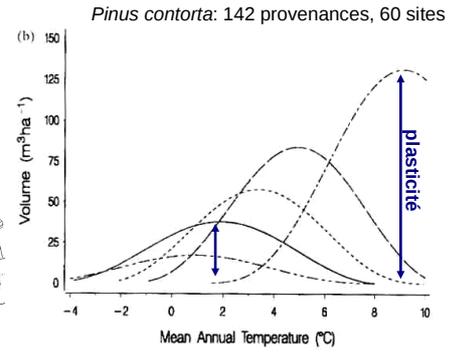
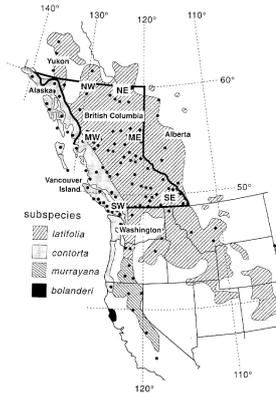


Savolainen et al 2007



XXe anniversaire de la section sciences de la vie, 25 Avril 2017

Des adaptations locales développées depuis la recolonisation...
et une diversité génétique de la plasticité phénotypique



Rehfeldt et al 2001



XXe anniversaire de la section sciences de la vie, 25 Avril 2017

Des adaptations locales développées depuis la recolonisation...
tout en préservant une grande diversité adaptative intra-population

Trait	Category	Mean Q _{ST}
Dark respiration	Ecophysiology	
Leaf mass per area	Ecophysiology	0.022
Net assimilation	Ecophysiology	0.045
Nitrogen leaf content	Ecophysiology	0.042
Photosynthetic capacity	Ecophysiology	0.101
Stomatal conductance	Ecophysiology	0.061
Stomatal density	Ecophysiology	0.028
Water use efficiency (A/gS)	Ecophysiology	0.075
Water use efficiency (δ ¹³ C)	Ecophysiology	
Fall frost hardiness	Frost hardiness	0.581
Spring frost hardiness	Frost hardiness	0.126
Winter frost hardiness	Frost hardiness	0.170
Growth rate per day	Growth	0.284
Height increment	Growth	0.324
Root allocation	Growth	0.340
Bud flush	Phenology	0.249
Bud set	Phenology	0.392
Germination	Phenology	0.521
Senescence	Phenology	0.108

Alberto et al 2013



XXe anniversaire de la section sciences de la vie, 25 Avril 2017

On observe aussi des patrons d'adaptation micro-locale intra-population

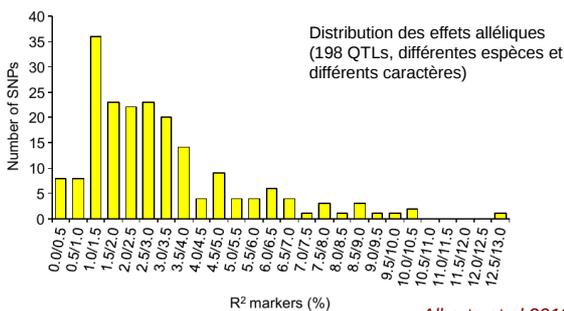
Species	Genetic marker	Phenotype	Environmental factor	Scale (km)
<i>Eperua falcata</i>	-	Functional traits	Soil moisture	<0.5
<i>Eperua grandiflora</i>	-	Functional traits	Soil moisture	<0.5
<i>Pinus edulis</i>	Isozymes	Functional traits	Temporal soil moisture variation	<0.1
<i>Pinus edulis</i>	Isozymes	Stomatal size	Soil moisture	<0.6
<i>Picea engelmannii</i>	Isozymes	-	Drought stress	<0.1
<i>Betula pendula</i>	AFLPs	-	Temperature at seedling establishment	<0.2
<i>Fagus sylvatica</i>	AFLPs	-	Elevational gradient and temperature at seedling establishment	<3
<i>Fagus sylvatica</i>	AFLPs	-	Moisture	<0.5
<i>Eperua falcata</i>	SNPs	-	Soil moisture	<0.4
<i>Eperua falcata</i>	AFLPs	-	soil moisture	<0.4
<i>Pinus pinaster</i>	SNPs	-	Elevational gradient	<1.8
<i>Picea abies</i>	SNPs	-	Elevational gradient	<2.6
<i>Fagus sylvatica</i>	SNPs	-	Elevational gradient	<5

Scotti et al 2015



XXe anniversaire de la section sciences de la vie, 25 Avril 2017

La diversité génétique adaptative est principalement contrôlée par de
nombreux gènes effets faibles



Alberto et al 2013



XXe anniversaire de la section sciences de la vie, 25 Avril 2017

1) contexte et enjeux, directions et moteurs de l'avancée
des connaissances

2) les apports de la génétique sur deux questions :

- l'origine et l'organisation de la variation
- les processus évolutifs

3) exemples de mises en applications directes

4) les défis de l'interdisciplinarité

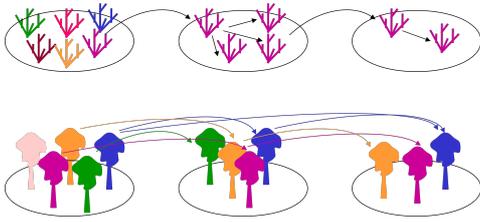
5) conclusion



XXe anniversaire de la section sciences de la vie, 25 Avril 2017

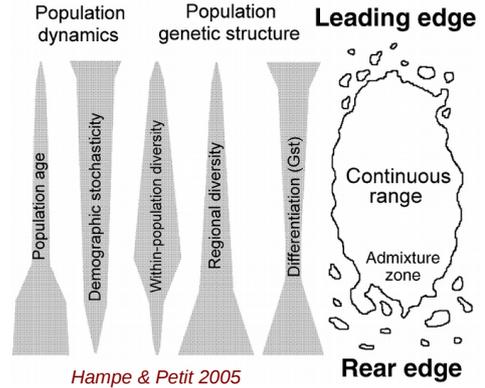
Différents facteurs expliquent la grande diversité génétique

- la dispersion à longue distance et les grandes tailles de populations
- le cycle de vie renforce l'importance de la migration dans le processus de recolonisation



Austerlitz et al 2000

L'importance des différents facteurs et processus d'évolution varie spatialement à l'échelle de l'aire de distribution



Hampe & Petit 2005

Dans le contexte du changement climatique on s'attend à ce que les effets bénéfiques des flux de gènes dominant, sauf aux marges arrières

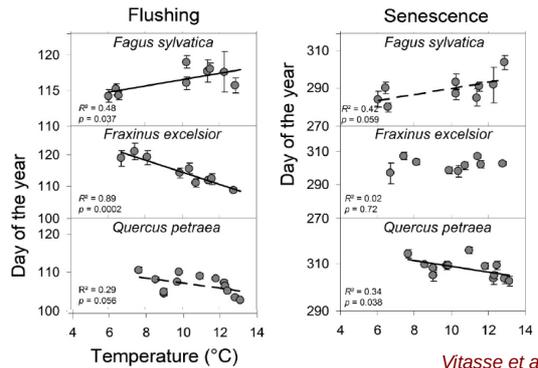
Importance de la dispersion longue distance chez les arbres

Propagule	Vecteur	Dispersion	Maximum	Genre
pollen	vent	potentielle	3000 kms	<i>Pinus</i>
pollen	vent	viable	600 kms	<i>Pinus</i>
pollen	vent	efficace	100 kms	<i>Pinus</i>
pollen	insectes	efficace	165 kms	<i>Ficus</i>
graines	vent	efficace	3 kms	<i>Fraxinus</i>
graines	oiseaux	potentielle	7 kms	<i>Xylopia</i>
graines	chauve-souris	potentielle	20 kms	<i>Ficus</i>
graines	éléphants	potentielle	5 kms	<i>Tamarindus</i>
graines	poissons	potentielle	5 kms	<i>Duroia</i>
graines	vertébrés	efficace	12 kms	<i>Sorbus</i>

Kremer et al 2012

Entre plasticité et adaptation génétique, toutes les espèces n'adoptent pas les mêmes solutions

Cas de la phénologie : espèces co-gradient et contre-gradient

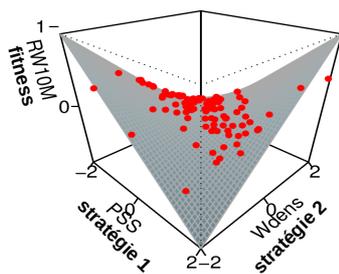
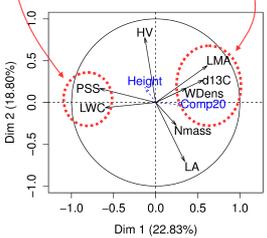


Vitasse et al 2009

Au sein d'une population, la sélection corrélée peut faire co-exister plusieurs stratégies fonctionnelles (syndrômes)

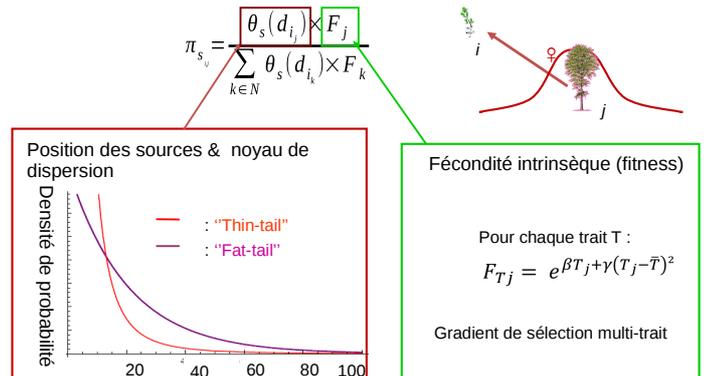
Dans une hêtraie en marge Sud :

- stratégie 1 (évitement)
- stratégie 2 (résistance)



Bontemps et al 2017

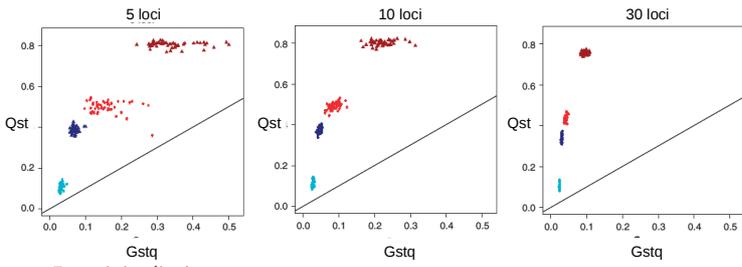
Les méthodes d'estimation conjointe de la dispersion et du succès reproducteur permettent d'évaluer la valeur sélective des caractères



Oddou-Muratorio et al 2005

La théorie prédit que pour les caractères multigéniques la sélection affecte les combinaisons alléliques avant d'affecter les fréquences...

de ce point de vue, la différence entre diversité neutre et adaptative est floue



Force de la sélection :
 stabilisante modérée, divergente modérée
 stabilisante modérée, divergente forte
 stabilisante forte, divergente modérée
 stabilisante forte, divergente forte

Le Corre & Kremer 2012

La théorie prédit que pour les caractères multigéniques la sélection affecte les combinaisons alléliques avant d'affecter les fréquences...
 Mais il existe néanmoins des cas de sélection convergente (paradoxe?)

Étude d'association dans deux espèces ayant divergé depuis 140Ma :
Pinus contorta et le complexe *Picea glauca* / *Picea engelmannii*

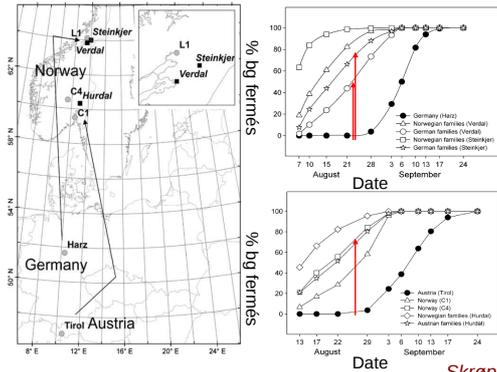
>250 populations
 10⁶ snp = 23000 gènes
 17 phenotypes & 22 variables environnementales

=> 47 gènes montrent une sélection convergente significative

Yeaman et al 2016

Les arbres ont un potentiel d'évolution génétique rapide : sélection, flux de gènes, épigénétique

Évolution de la phénologie 1 génération après translocation chez l'épicéa



Skrøppa et al 2010

1) contexte et enjeux, directions et moteurs de l'avancée des connaissances

2) les apports de la génétique sur deux questions :

- l'origine et l'organisation de la variation
- les processus évolutifs

3) exemples de mises en applications directes

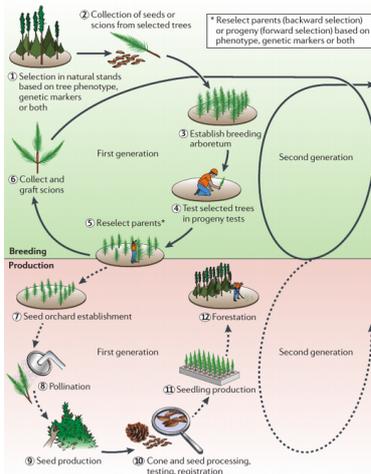
4) les défis de l'interdisciplinarité

5) conclusion

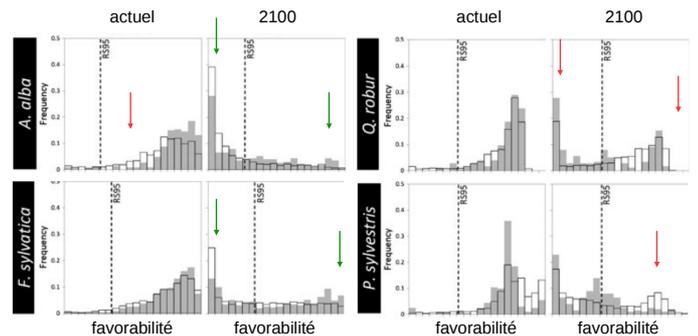
Perspectives de la sélection génomique chez les arbres

- > estimer les paramètres génétiques et les valeurs génétiques
- > optimiser et raccourcir les phases de sélection
- > intensifier la sélection sur des gènes cibles en préservant la diversité non-cible
- > aider l'exploitation des effets non-additifs
- > aider la caractérisation et la gestion des interactions GxE
- > faciliter l'introgession pour élargir la base génétique utilisée

Neale & Kremer 2011

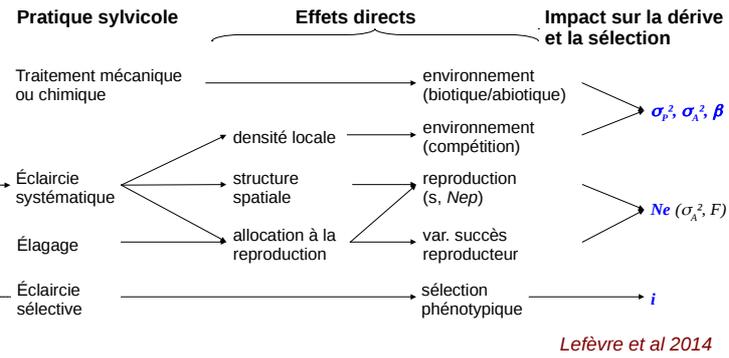


Évaluer la robustesse du réseau pan-européen de conservation *in situ* des ressources génétiques forestières



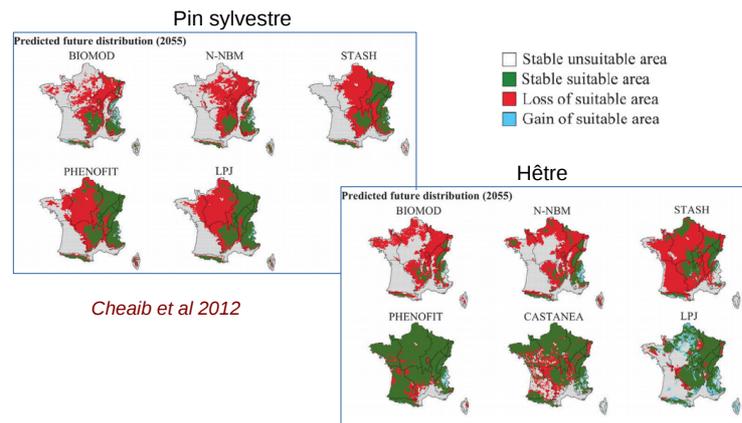
Schueler et al 2013

Une approche basée sur les processus pour évaluer l'impact des pratiques

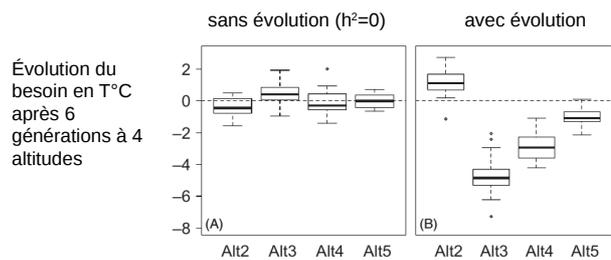


- 1) contexte et enjeux, directions et moteurs de l'avancée des connaissances
- 2) les apports de la génétique sur deux questions :
 - l'origine et l'organisation de la variation
 - les processus évolutifs
- 3) exemples de mises en applications directes
- 4) les défis de l'interdisciplinarité
- 5) conclusion

Au sein des sciences de la vie, la diversité des approches est elle-même une source d'incertitude



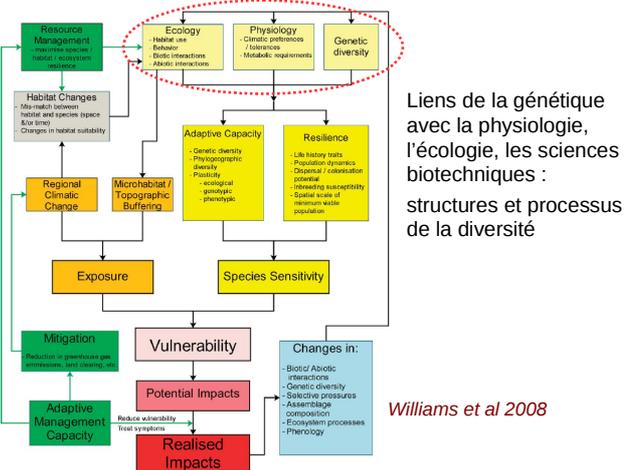
Intégration des processus : le couplage physio-demo-génétique a permis de reproduire des réponses adaptatives non linéaires observées *in situ*



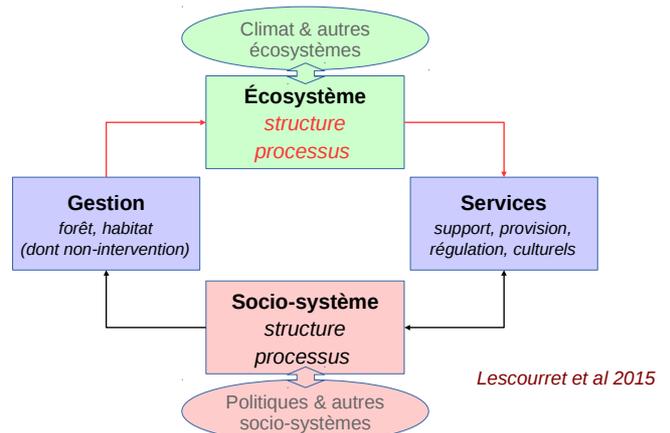
- intègre la variation individuelle
- la démographie répond aux changements
- les variables physio sont évolutives
- La valeur sélective résulte de la physiologie

Oddou-Muratorio & Davi 2014

Contribution des sciences de la vie à l'analyse des agro-systèmes



Contribution des sciences de la vie à l'analyse des agro-systèmes : établir les liens multiples entre les objets des différentes disciplines



1) contexte et enjeux, directions et moteurs de l'avancée des connaissances

2) les apports de la génétique sur deux questions :

- l'origine et l'organisation de la variation
- les processus évolutifs

3) exemples de mises en applications directes

4) les défis de l'interdisciplinarité

5) conclusion

Ce qu'on peut attendre des innovations dans le domaine génétique

- des outils pour l'analyse des fonctions et l'inférence des processus
- des outils pour la transposition des connaissances
- des connaissances pour gérer le changement et ses incertitudes
- des connaissances pour raisonner la mise en application et des outils pour la rendre plus efficace

Ce qu'on ne doit pas en attendre

- une simplification de la connaissance
- une réduction des incertitudes
- une libération des préoccupations de long-terme

Innovations pour la connaissance ≠ innovations pour l'application
l'innovation permet à l'acteur d'exprimer sa créativité : capacitation

Des défis dans le champ des sciences de la vie

- élucider les causes de la variation intra-population
- évaluer les composantes du potentiel adaptatif et leur dynamique
- sortir de la contingence : intégration et transposition doivent accompagner l'approfondissement

Des défis pour intégrer les sciences de la vie dans l'analyse des systèmes socio-écologiques agricoles et forestiers

- résoudre les hétérogénéités d'échelles spatiales, temporelles et de décision entre compartiments socio- et éco-
- identifier les chaînes de liens entre les acteurs et les objets biologiques
- intégrer les disciplines pour identifier les facteurs déterminants

Des défis pour passer des connaissances à leur application

- intégrer les connaissances pluri-disciplinaires et co-construire des innovations pour l'action
- intégrer la dynamique de développement des connaissances dans des stratégies adaptatives

