

**Lamiae Ghaouti,**  
Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Maroc



**Nadim Tayeh,**  
Institut National de la Recherche Agronomique, Dijon, France

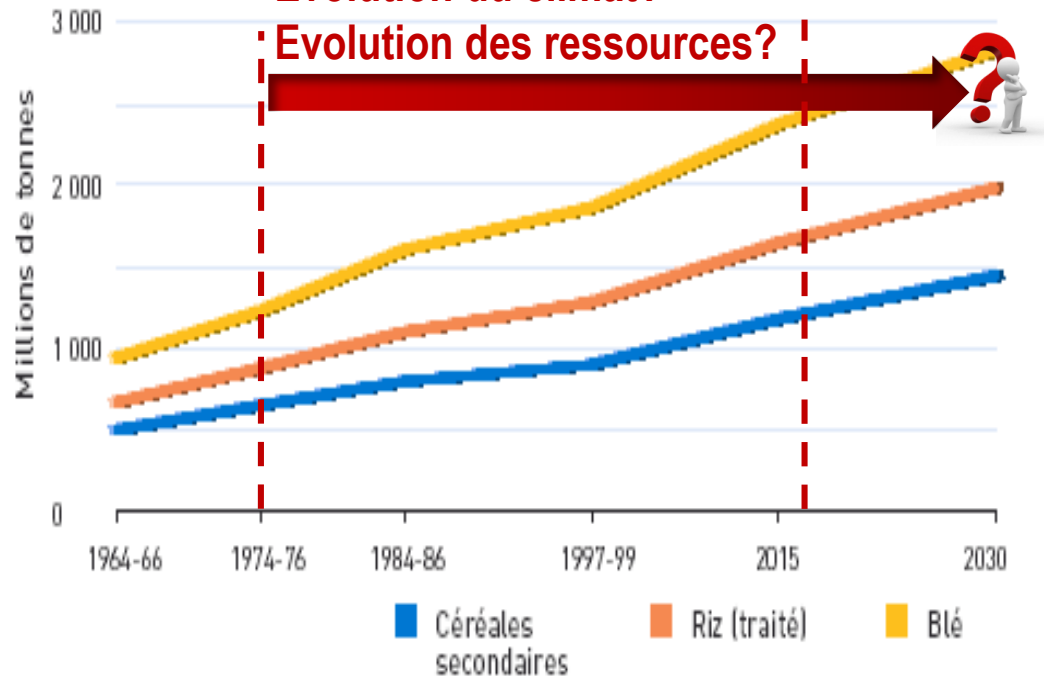


# Révolution verte

## Agriculture intensive

Modèle  
d'agriculture

Evolution du climat?  
Evolution des ressources?



Modèle:  
Linéaire

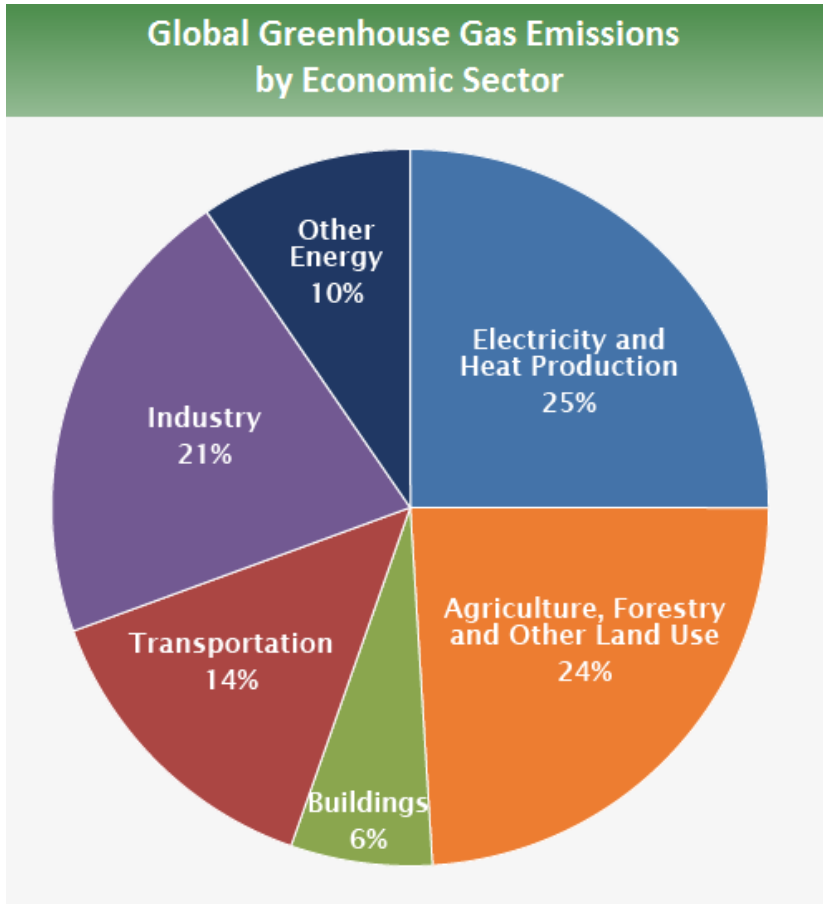
Approche:  
Adapter les environnements à des  
systèmes de culture définis  
politiquement

Hypothèse:  
Ressources naturelles illimitées  
Avancées scientifiques illimitées

Evolution de la production mondiale de denrées de base (t) dans le temps (FAO, 2015)

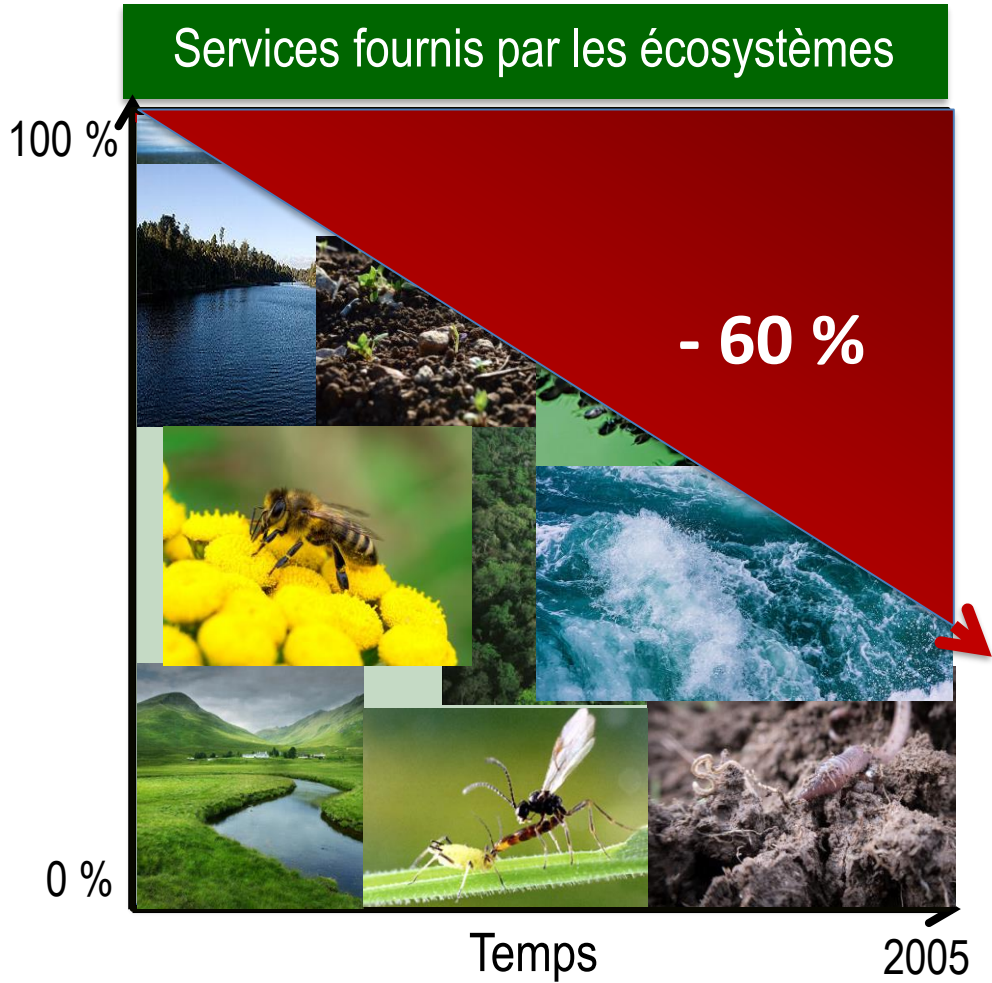


# Changement climatique



Source: [IPCC \(2014\)](https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data); based on global emissions from 2010.  
<https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>

# Ressources naturelles



Source: Rapport de synthèse de l'Évaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire. 1300 experts, 95 pays.  
<https://www.millenniumassessment.org>



## Repenser le modèle agricole!

### Défi du nouveau modèle :

Compromis

Production - Conservation des agro-écosystèmes

### Hypothèse:

Ressources naturelles limitées

Avancées Scientifiques illimitées

### Approche:

Adapter la production aux caractéristiques des environnements (potentialités and limites)



Un facteur  
Clé

**Biodiversité**  
Niveaux interspécifique et intraspécifique



**Agriculture  
durable**



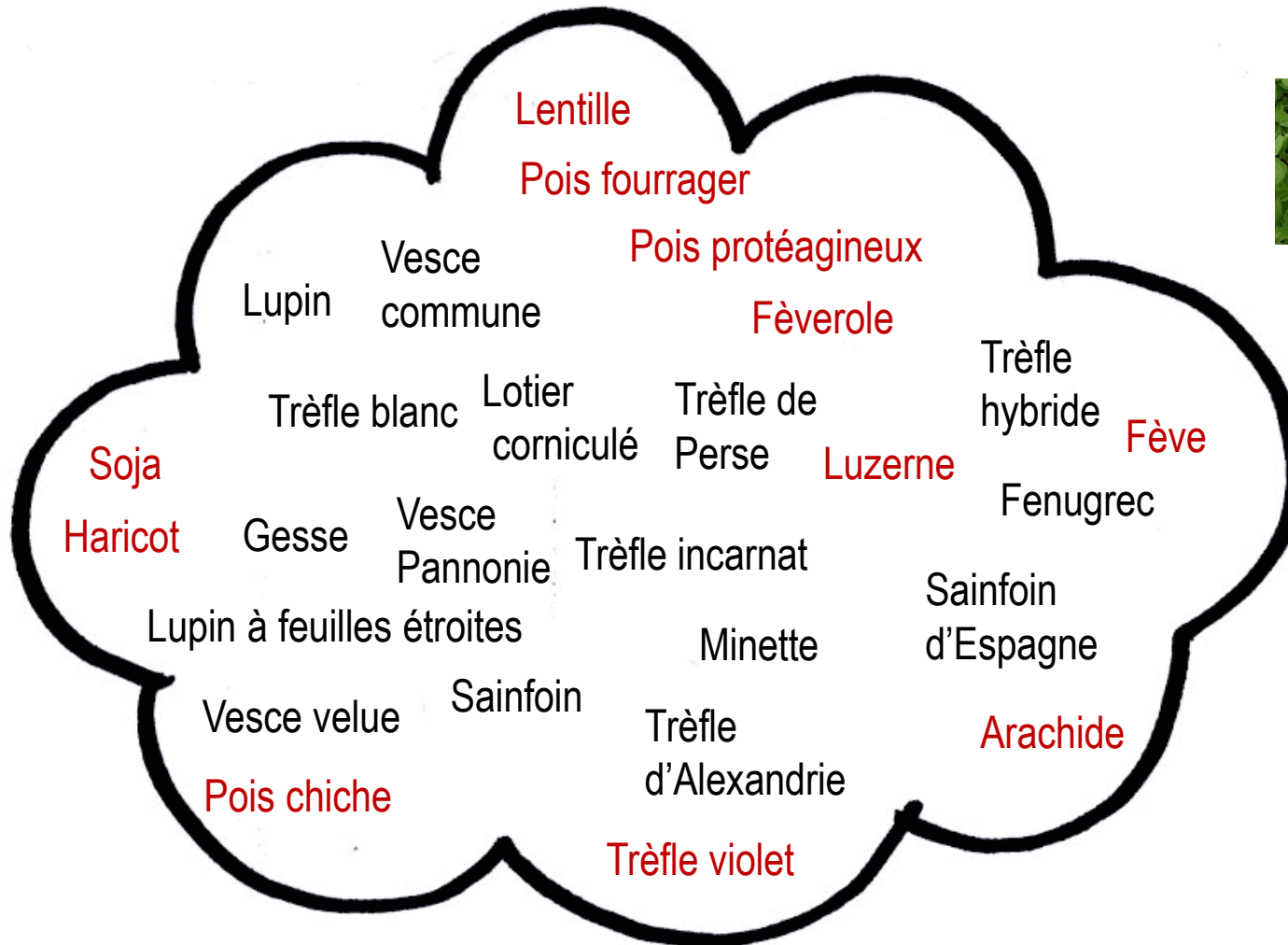
# Légumineuses

Quels atouts ?

Graines

Fourragères

Cultures intercalaires



# Atouts des légumineuses

## Système agricole

Moyenne estimée de l'effet précédent des légumineuses sur la culture suivante. (Schneider Huyghe, 2015)

Légumineuse en précédent	Pois		Soja		
	Blé	Colza <sup>c</sup>	Maïs <sup>e</sup>	Blé <sup>f</sup>	Blé dur <sup>g</sup>
Gain moyen de rendement de la culture suivante	+ 7,4 q/ha (de + 6 à + 12) par rapport à un précédent céréale <sup>a</sup>	de 0 à + 3 q/ha par rapport à un précédent orge	Augmentation de 0 à 8 q/ha par rapport à un précédent maïs	Souvent + 10 % de rendement par rapport à un précédent céréale	+ 23,4 q/ha (de + 15 à + 34) par rapport à une monoculture de blé dur
Réduction de la fertilisation azotée sur la culture suivante	- 20 à - 60 kg N/ha par rapport à un précédent céréale <sup>b</sup>	- 40 kg N/ha (- 30 à - 60) par rapport à un précédent céréale <sup>d</sup>	- 30 à - 40 kg N/ha par rapport à un précédent maïs	Pas de réduction en général	Pas de réduction en général

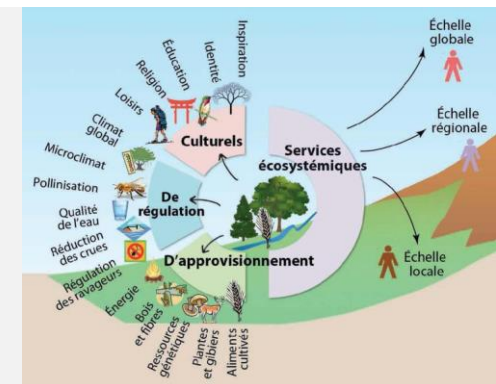


- Amélioration de la productivité des cultures suivant les précédents légumineuses
- Réduction de la fertilisation azotée sur la culture suivante
- Amélioration de la structure du sol
- Diminution des maladie telluriques

## Services écosystémiques

➡ Maintien de la qualité de l'écosystème productif (qualité physique, chimique et biologique des sols)

➡ Augmentation de la diversité fonctionnelle des agroécosystèmes



# Atouts des légumineuses

## Nutrition humaine

Apport protéique et de ses composants de quelques légumineuses en comparaison à d'autres aliments. (Afssa, 2007; Anses, 2013)

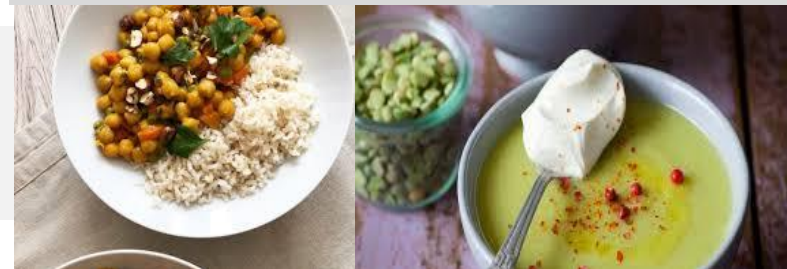
Nom de l'aliment	Protéines (g/100 g)	Lysine (mg/100 g protéine)	Méthionine (mg/100 g protéine)
Haricots rouges cuits à l'eau	9,1	68,90	15,05
Lentilles cuites à l'eau	9,0	70,00	8,56
Lupin, graines cuites à l'eau	15,6	53,33	7,05
Pois cassés cuits à l'eau	8,3	72,53	10,24
Soja, graines cuites à l'eau	16,6	66,75	13,49
Œuf entier cuit à l'eau	12,6	71,75	31,11
Lait entier	3,3	78,89	24,85
Pâtes alimentaires cuites	4,85	22,12	16,13

## Source de protéine végétale

➡ Nutrition humaine équilibrée



- + Riche en protéine et en fibres alimentaires.
- + Faible indice glycémique
- + Substitut des protéines animales:  
Complément alimentaire des céréales d'excellence  
(combinaison de la lysine et des acides aminés soufrés)
- Facteur anti-nutritionnel défavorable  
(Ex: vicine-convicine, tannins)



# Atouts des légumineuses

## Nutrition animale

Composition centésimale des graines de protéagineux, en % de la matière sèche. (INRA-AFZ, 2004)

	Blé	Pois	Féverole à fleurs blanches	Féverole à fleurs colorées	Lupin blanc	Tourteau de soja 48	Tourteau de colza
Matière sèche (%)	86,8	86,4	86,1	86,5	88,6	87,8	88,7
Protéines	12,1	23,9	31,1	29,4	38,5	51,6	38,0
Cellulose brute	2,6	6,0	8,7	9,1	12,8	6,8	13,9
NDF	14,2	13,9	15,9	16,1	21,3	13,9	31,9
ADF	3,6	6,9	10,6	10,6	15,5	8,3	22,1
Matière grasse	1,7	1,2	1,3	1,5	9,5	2,1	2,6
Amidon	69,8	51,6	43,3	44,2	0,0	0,0	0,0
Lysine (% MAT)	3,1	7,3	6,4	6,5	4,9	6,1	5,3
Méthionine (% MAT)	1,7	1,0	0,7	0,7	0,8	1,4	2,0
Mét+Cys (% MAT)	4,2	2,3	2,0	2,0	1,6	2,9	4,5
Thréonine (% MAT)	3,2	3,8	3,6	3,3	3,7	3,9	4,3
Tryptophane (% MAT)	1,3	0,9	0,8	0,5	0,7	3,3	2,9

ADF, Acid Detergent Fiber ; MAT, matière azotée totale ; NDF, Neutral Detergent Fiber.



+ Complément protéique primordial (ruminants et les monogastriques)

+ Sources de protéine (20 à 40%), d'énergie, d'acide gras et de minéraux

+ Utilisation crue (féverole, pois) contrairement au soja

- Facteurs anti-nutritionnels défavorables (Ex: vicine-convicine, tannins, facteurs antitryptique):  
diminution de la digestibilité des protéines

## Source de protéine végétale

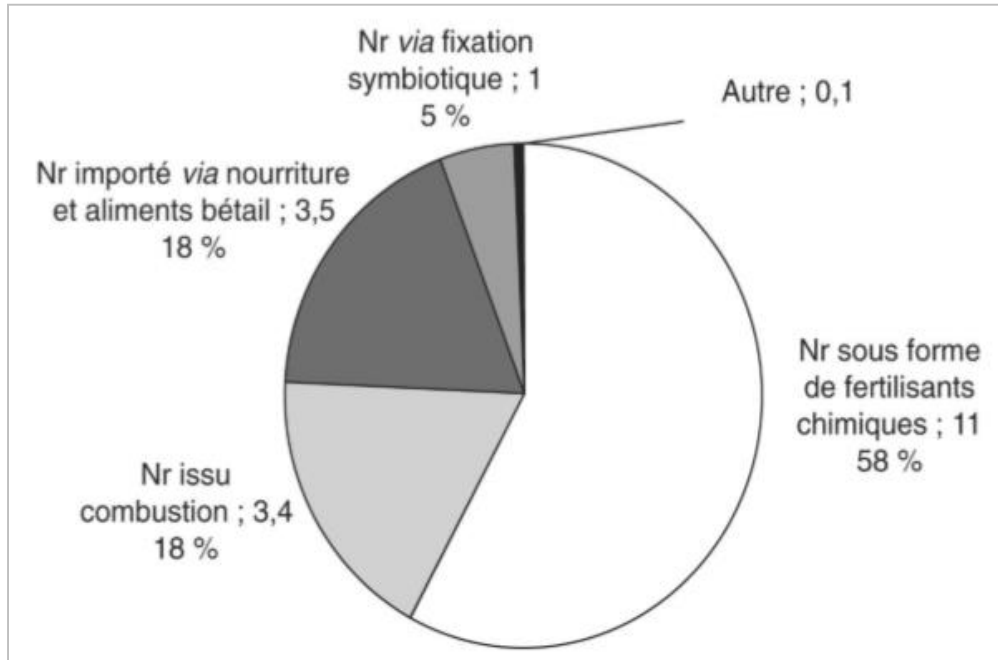
➔ Nutrition animale équilibrée





# Position des légumineuses

Ventilation de l'azote réactif créée en Europe en 2000



Source: Nitrogen European Assessment. Sutton et al., 2011

➡ Faible contribution de l'azote symbiotique (5%)

➡ Prépondérance de l'azote issu des fertilisants chimiques (58%)



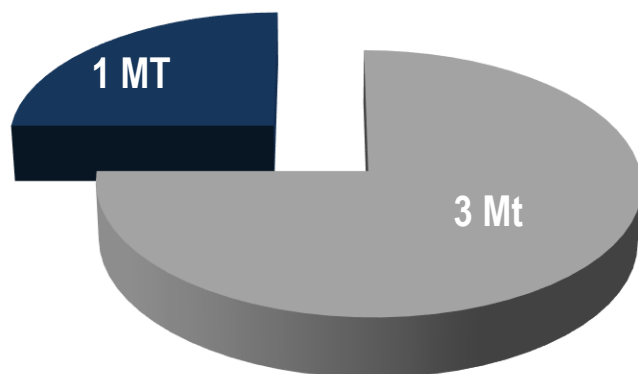
# Position des légumineuses



Production des légumineuses 2010-2016 (million de tonnes); FAO 2018

## Europe 27

25 %



■ Autres pays EU;27

■ France

## Afrique du Nord

18 %

0,10 Mt

24 %

0,13 Mt

0,28 Mt

58 %

■ Algeria

■ Morocco

■ Tunisia



# Position des légumineuses

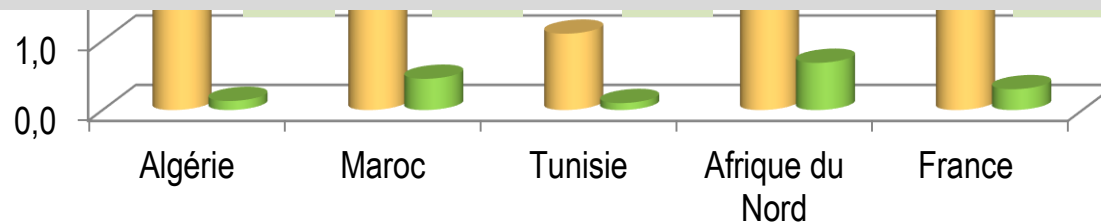
Superficie (million ha) des céréales et des légumineuses à graine 2010-2016; FAO 2018

Area (Million ha)

10,0

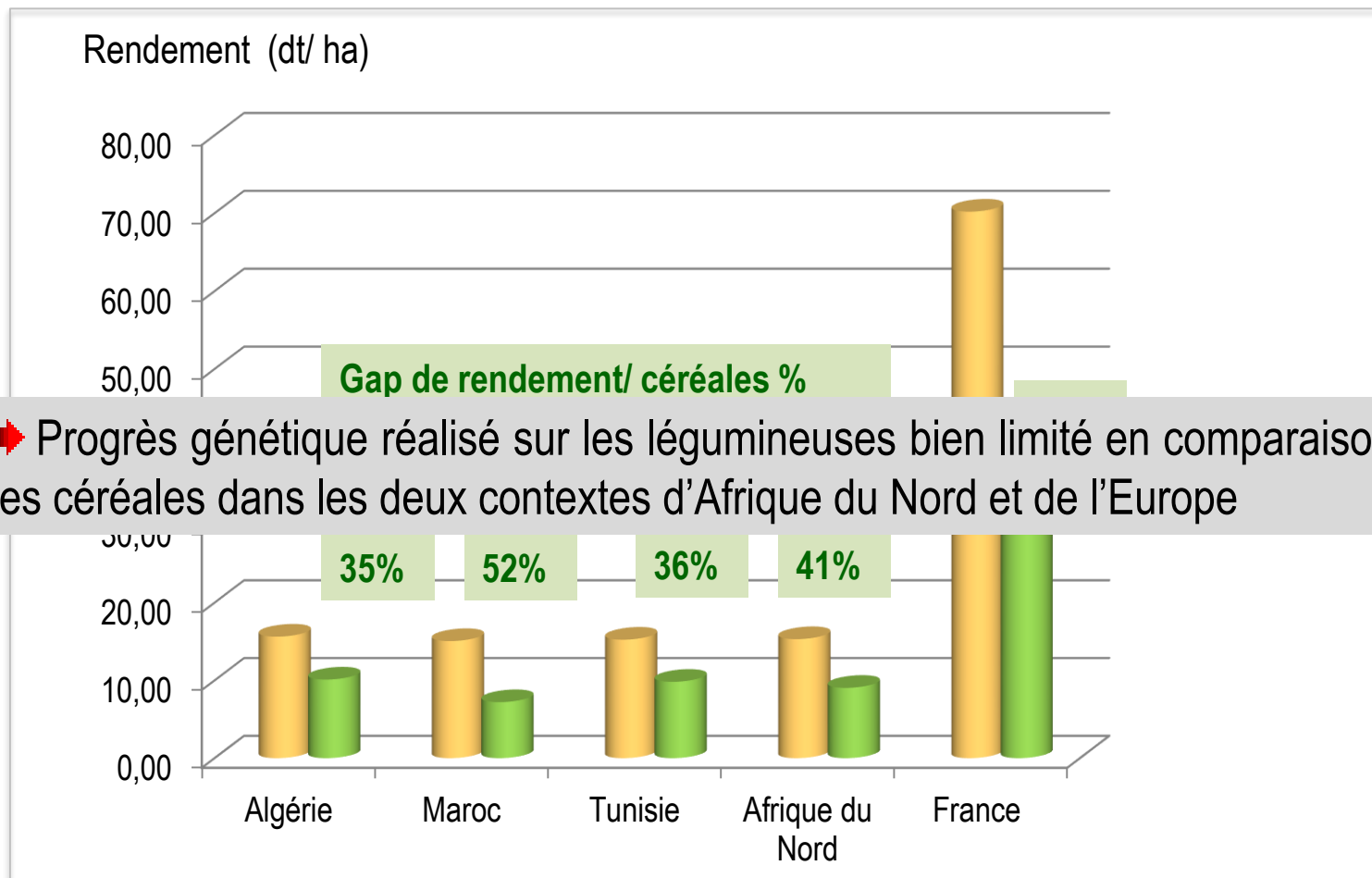
➡ Discordance entre les potentialités des légumineuses dans une vision de développement d'une agriculture durable et l'étendue de leur usage dans les systèmes agricoles actuels.

➡ Malgré leur potentiel en services écologiques et alimentaires et leur rôle crucial dans l'autonomie protéique et azotée en Europe et en Afrique du Nord, les légumineuses à graines et fourragères restent marginalisées dans les systèmes agricoles en Afrique du Nord et en Europe.



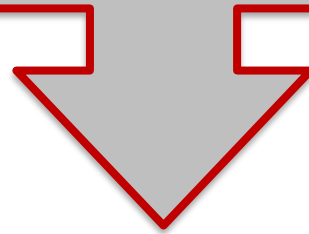
# Position des légumineuses

Rendement (dt/ha) des céréales et des légumineuses à graine 2010-2016; FAO 2018



➡ Progrès génétique réalisé sur les légumineuses bien limité en comparaison avec les céréales dans les deux contextes d'Afrique du Nord et de l'Europe

- Secteur semencier des légumineuses
- Evolutions du progrès génétique
- Transfert du progrès génétique



Stratégies en synergie entre l'Afrique du Nord et l'Europe  
Promotion des légumineuses

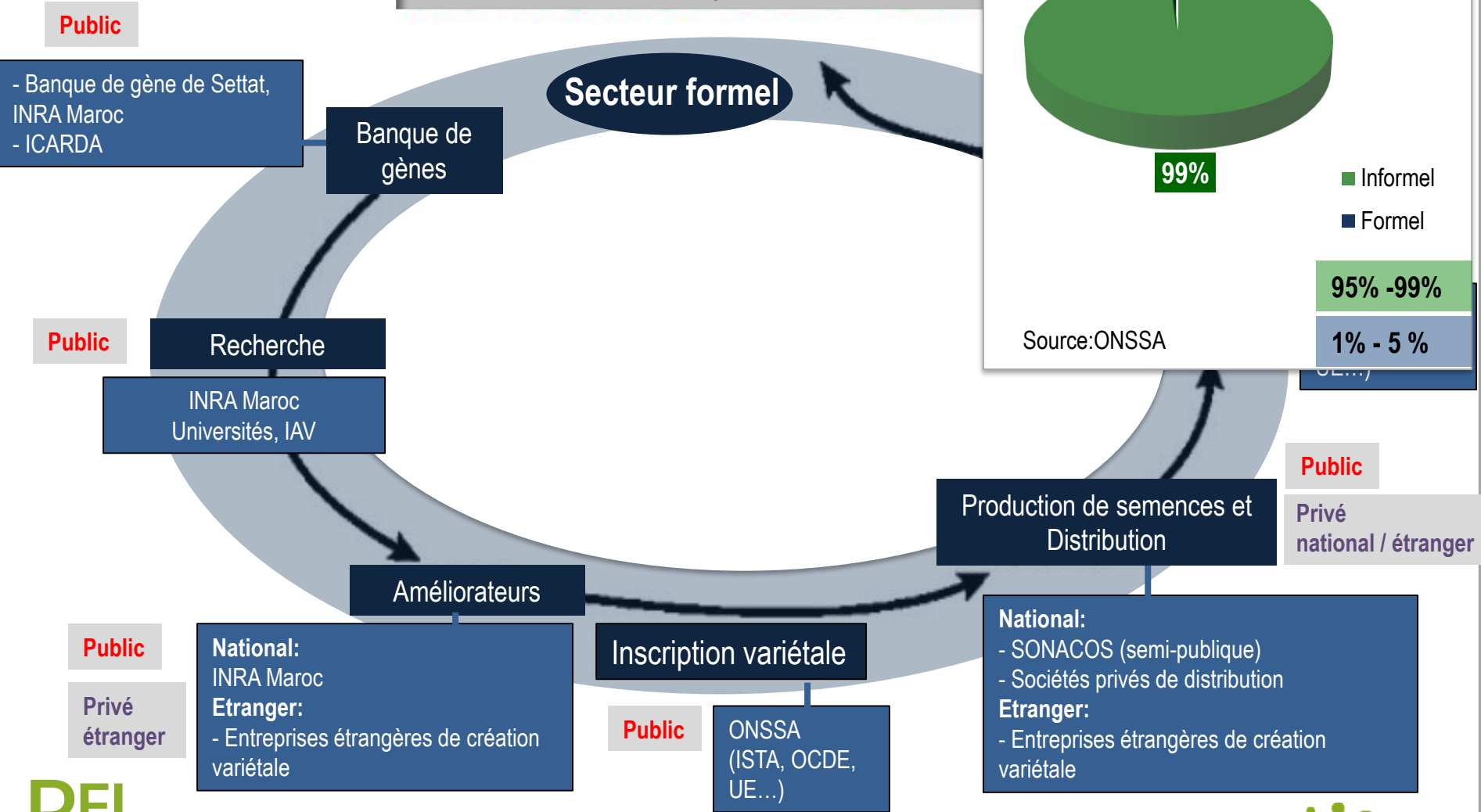
# **1. Marché de Semences des Légumineuses :**

## **Etat actuel et Potentialités**

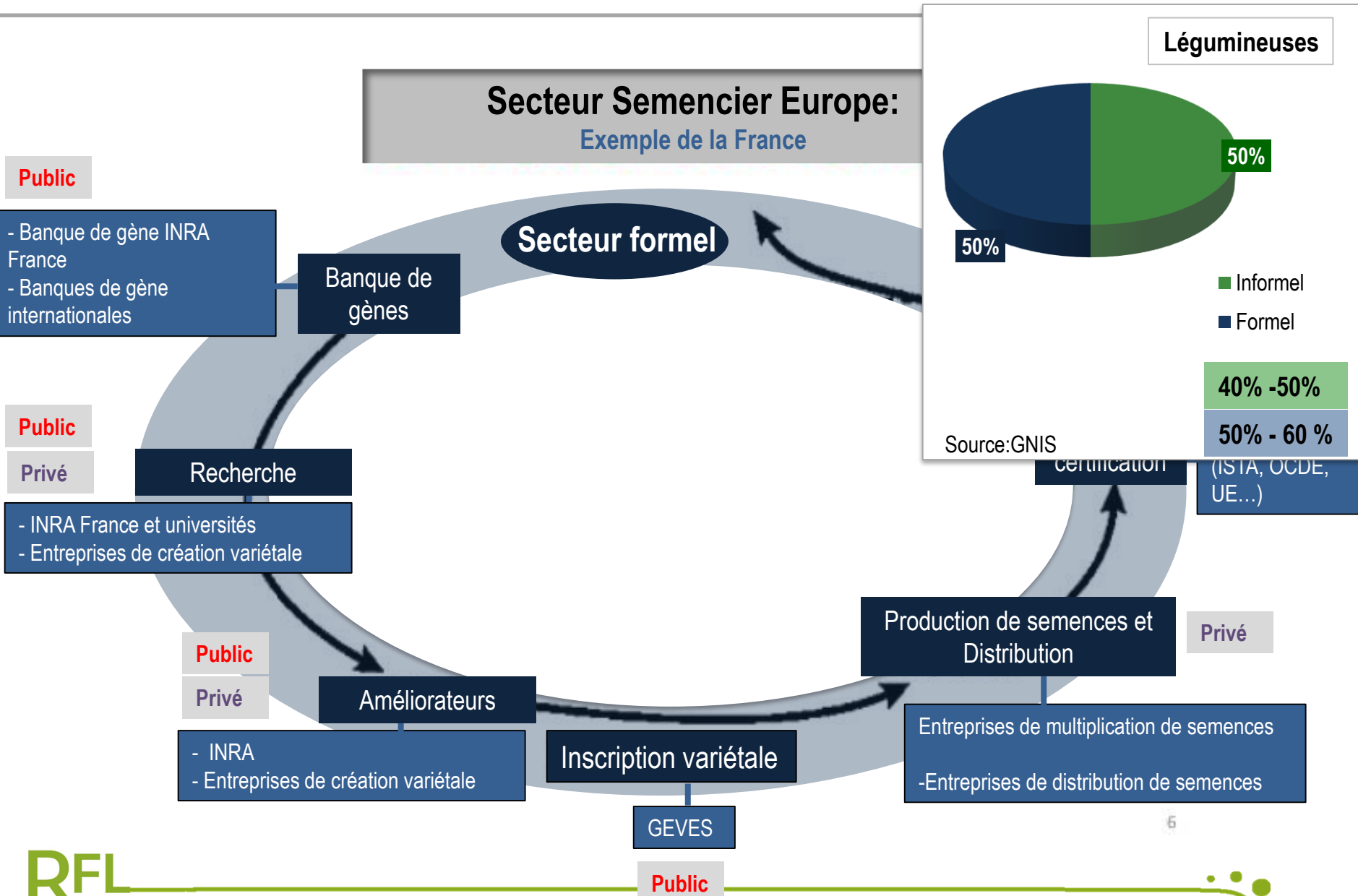


# 1. Marché de Semences des Légumineuses : Etat actuel et Potentialités

## Secteur Semencier Afrique du N Exemple du Maroc



# 1. Marché de Semences des Légumineuses : Etat actuel et Potentialités



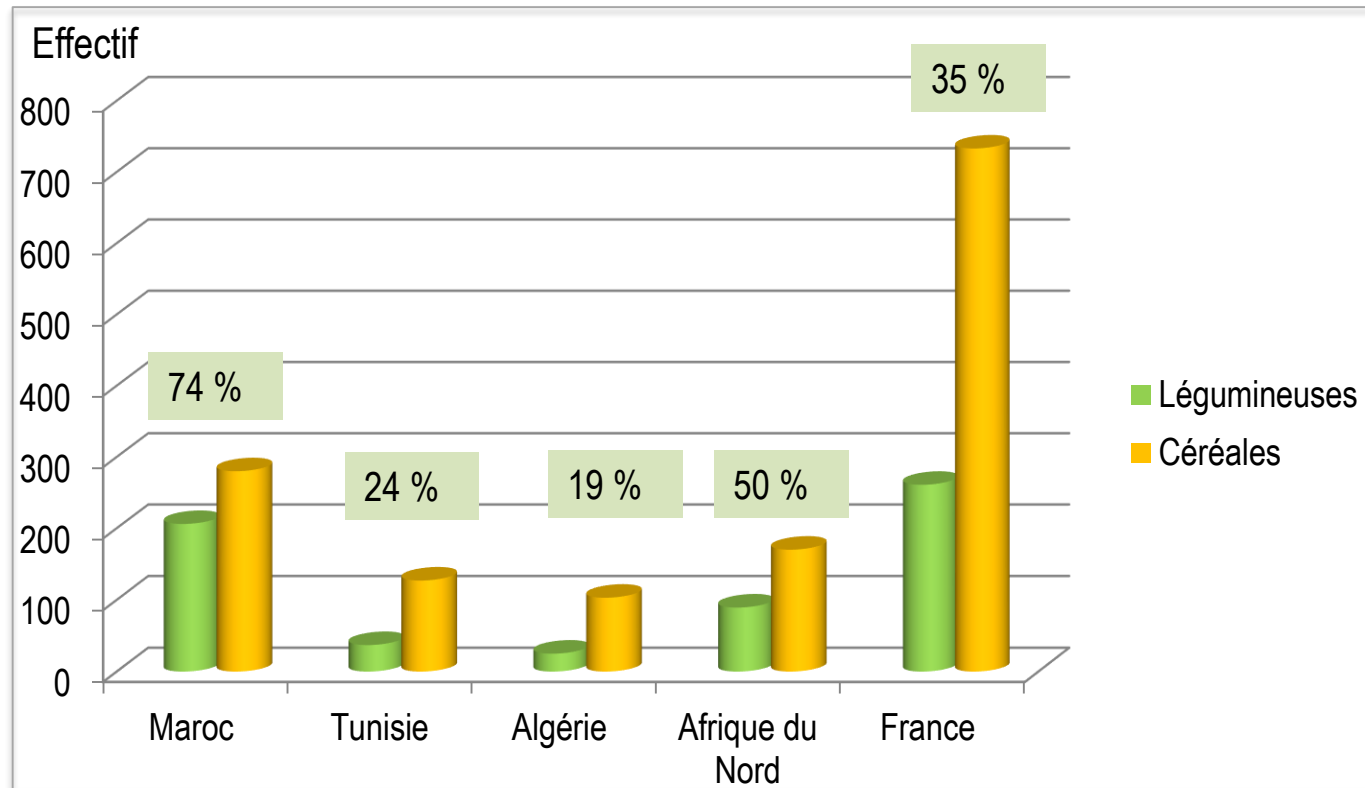


## Inscription variétale

### Organisme public

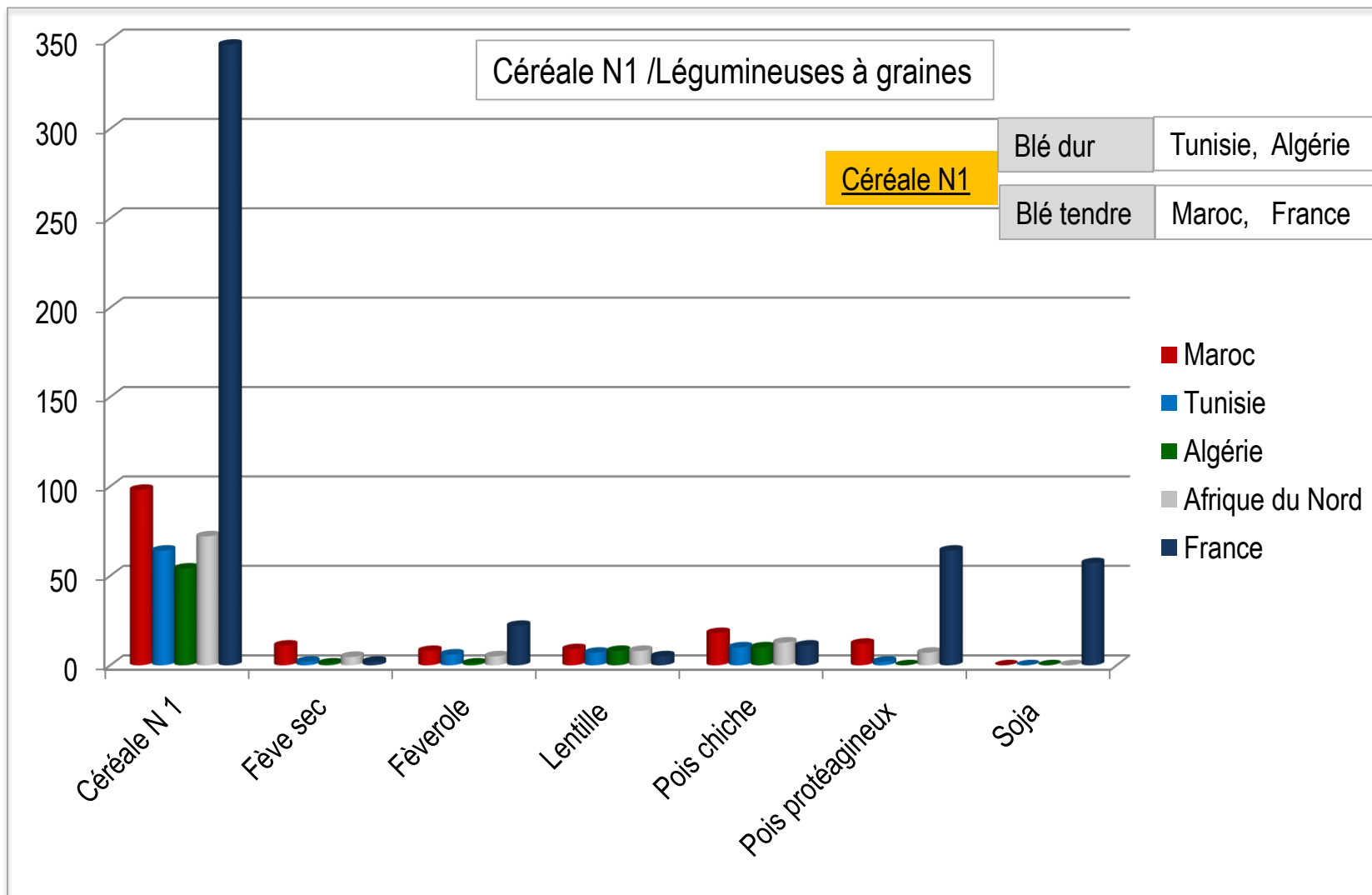
Maroc	ONSSA	Office National de Sécurité Sanitaire des produits Alimentaires
Tunisie	IRESA	Institution de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur Agricoles
Algérie	ITGC	Institut Technique des Grandes Cultures
France	CTPS/ GEVES	Comité Technique Permanent de la Sélection Groupe d'Etude et de contrôle des Variétés Et des Semences

Effectif des variétés inscrites au catalogue officiel en Afrique du Nord et en France (1980-2017)



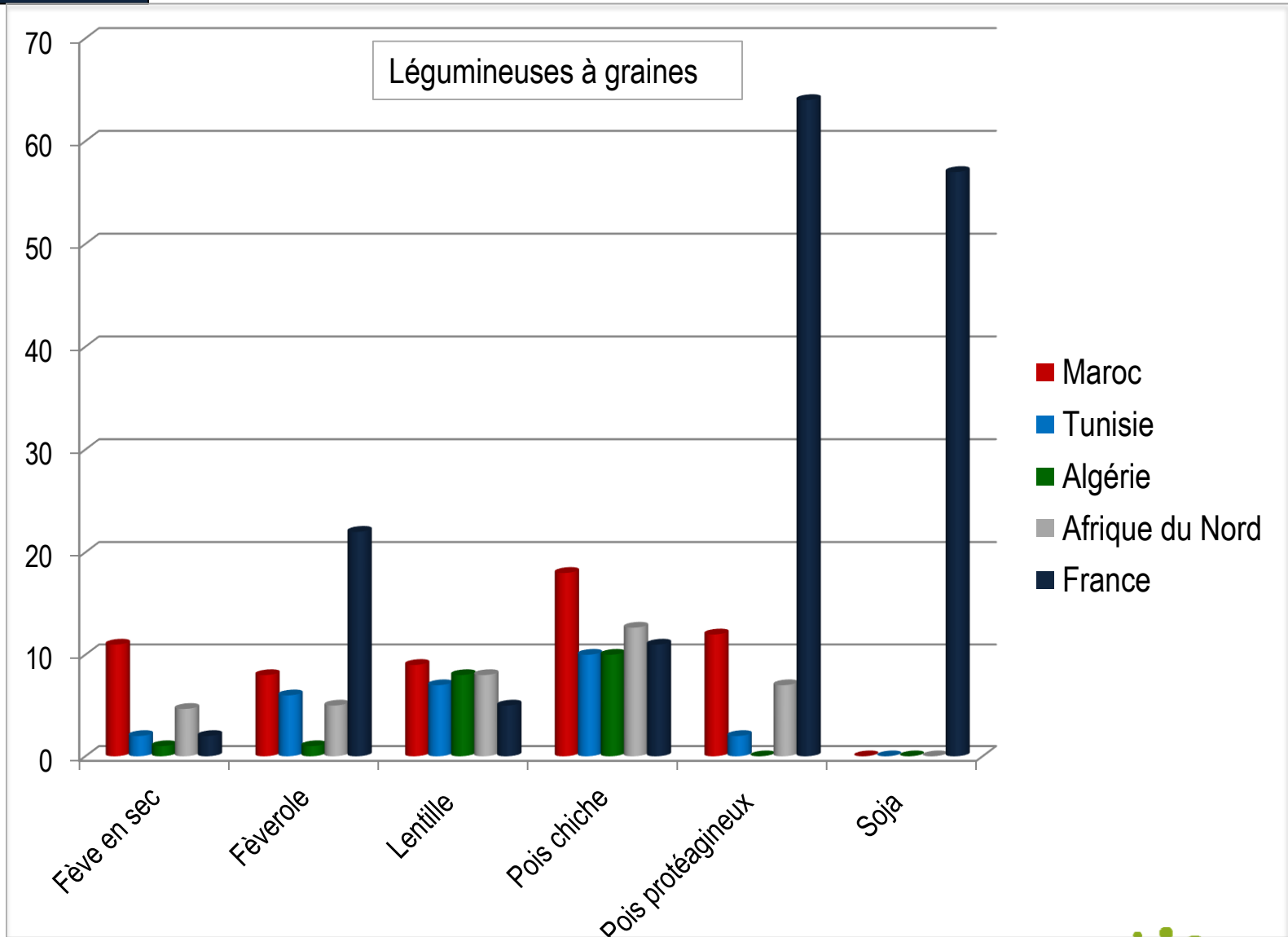
## Inscription variétale

Effectif des inscriptions variétales en Afrique du Nord et en France (1980-2017)



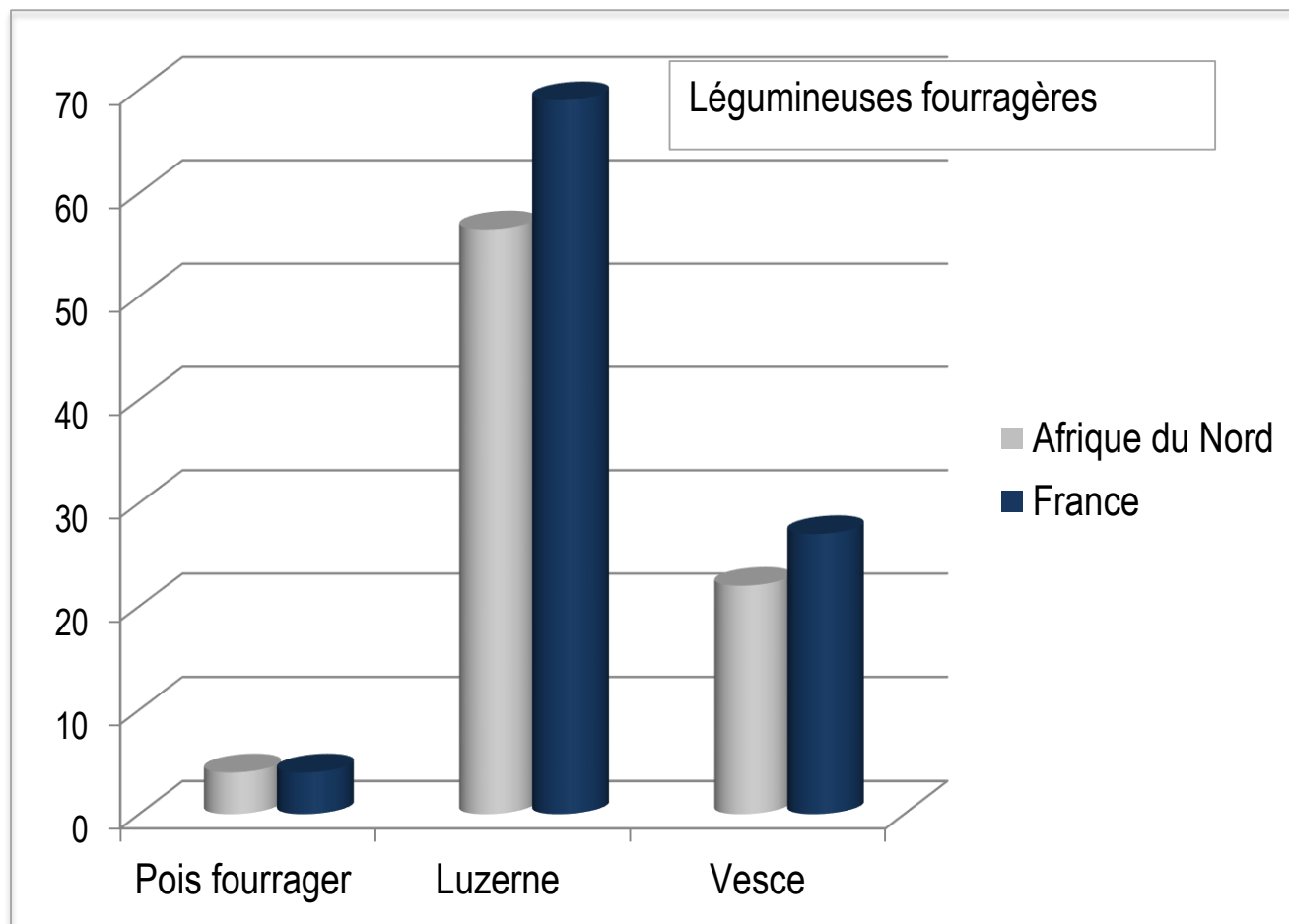
## Inscription variétale

Effectif des inscriptions variétales en Afrique du Nord et en France (1980 – 2017)



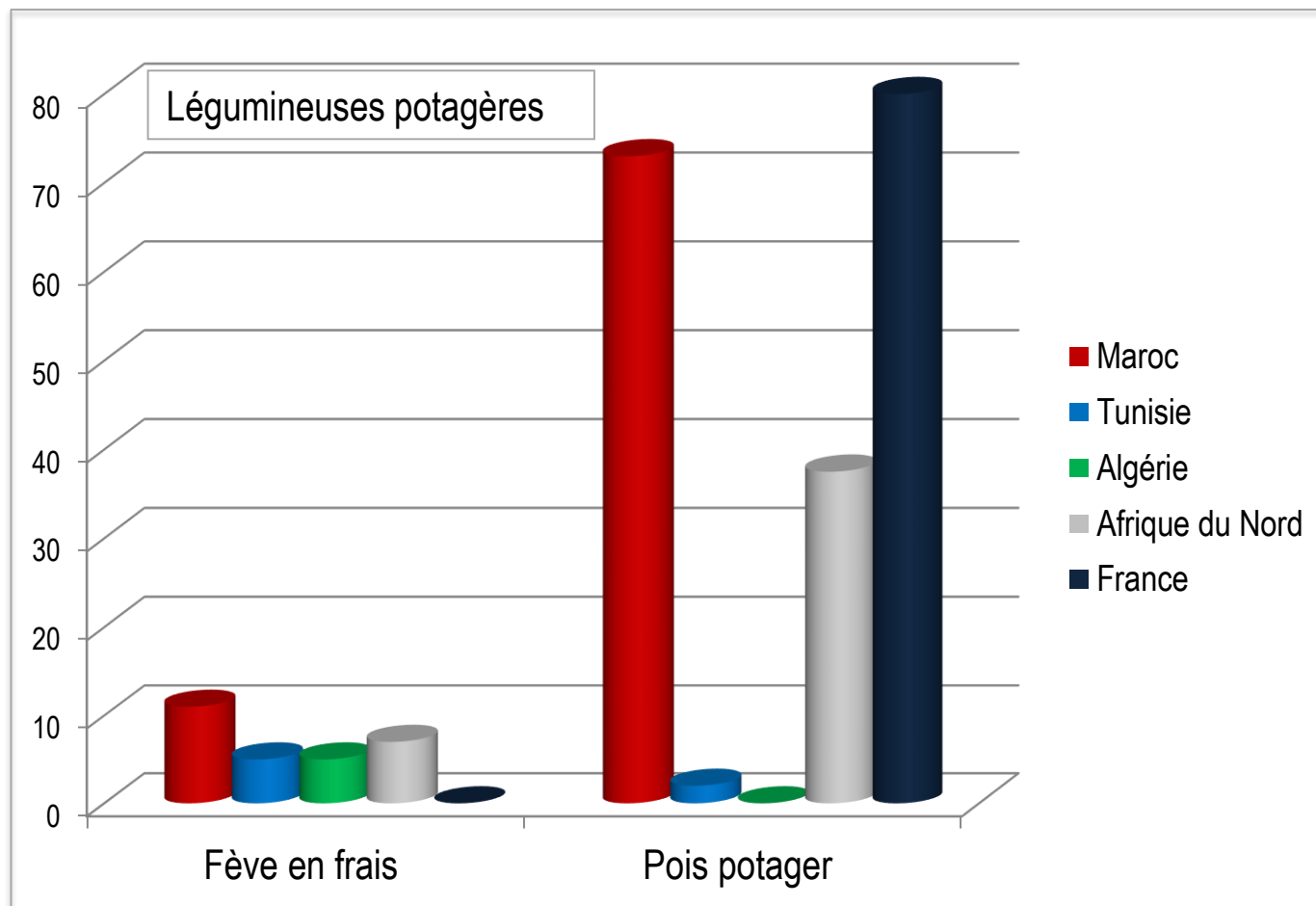
## Inscription variétale

Effectif des inscriptions variétales en Afrique du Nord et en France



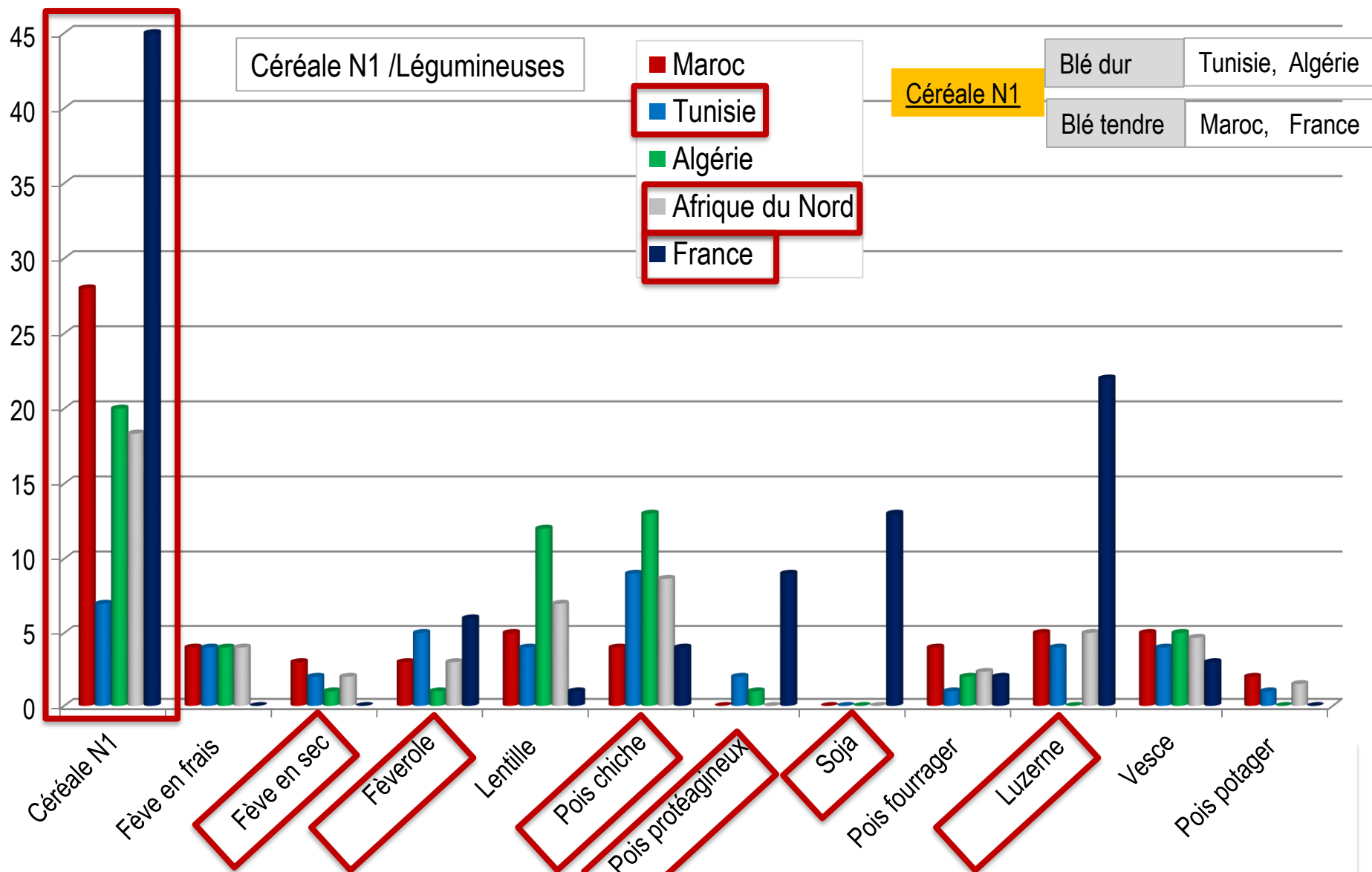
## Inscription variétale

Effectif des inscriptions variétales en Afrique du Nord et en France



## Portfolio variétal

Effectif des variétés occupant 75% à 100 % du marché en Afrique du Nord et en France 2017



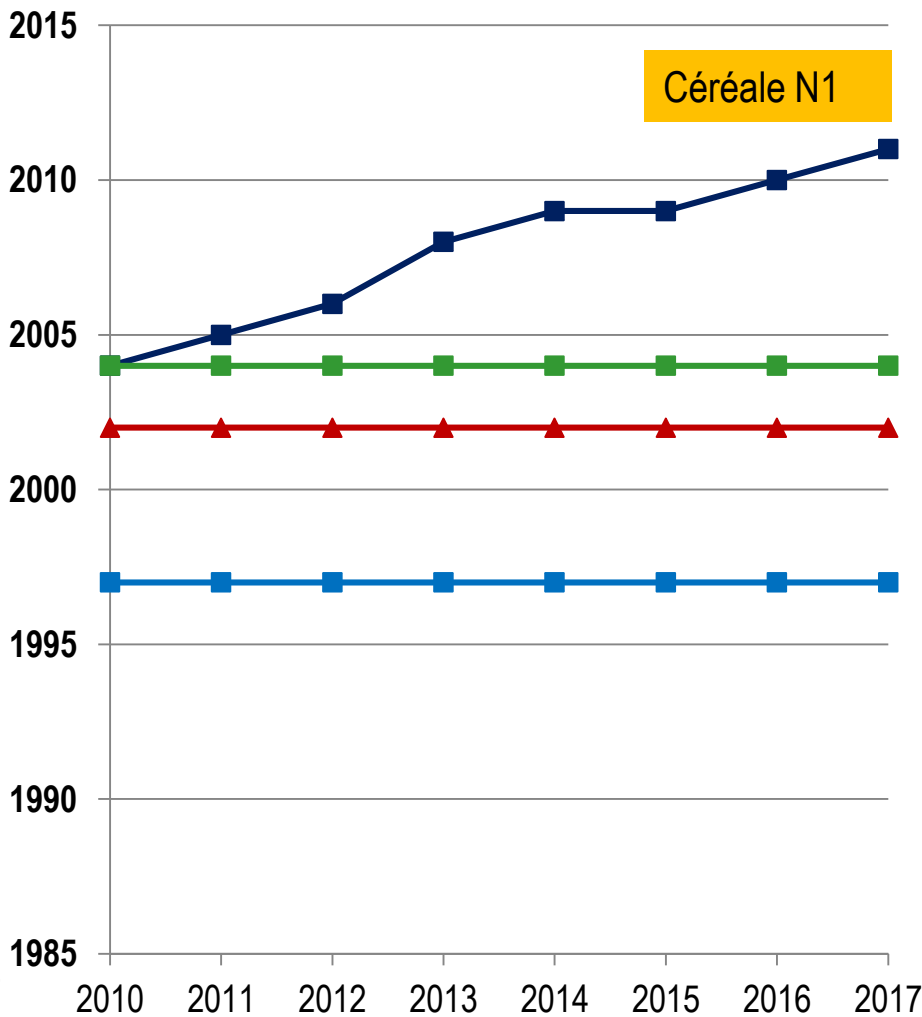
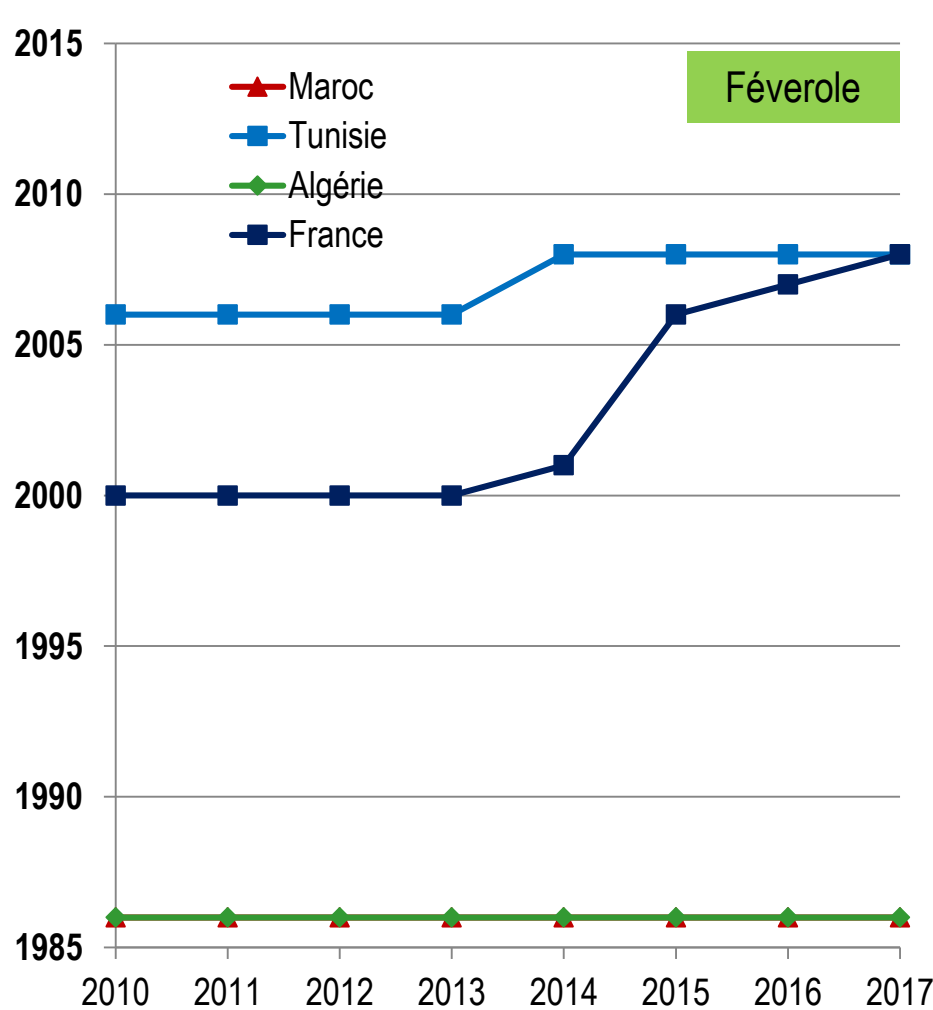
### Portfolio variétal

Céréale N1

Blé dur Tunisie, Algérie

Blé tendre Maroc, France

Evolution de la moyenne d'âge des variétés utilisées (2010 – 2017)



Portfolio variétal

Types	Variété inscrite	Variété paysanne	Variété locale
<b>Multiplication</b>			
<b>Age</b>			
<b>Matériel de base</b>			
<b>Evolution</b>			
<b>Facteur d'évolution</b>			
<b>Caractéristiques</b>			
<b>Contexte d'évolution</b>			
<b>Contexte de culture</b>			
<b>Nombre</b>			



Semences fermières

Afrique du Nord

Europe (Ex: France)

Type de variété

Variété inscrite  
Variété localeVariété inscrite  
Variété paysanne

Initiatives de réglementation

Absence

Présence

RSP « Réseau semence paysanne » ;  
2003

Ex: Céréales :

**Variété paysanne**«Projet Renaissance des Céréales  
Mineures (RCM) »**Variété inscrite**Possibilité d'utilisation des semences  
de ferme avec paiement des royalties  
aux obtenteurs.

- Prépondérance du secteur informel/ secteur formel

## Secteur formel

- Absence d'organisation de la filière légumineuses (Maroc, Algérie)
- Absence de l'implication du secteur privé dans la création variétale en Afrique du Nord (absence de politiques incitatives)
- Portfolio variétal très limité chez les légumineuses et majoritairement très vieux et largement dépassé
- Un gap de rendement entre le réel et le potentiel très creusé

## Secteur informel

- Absence de réglementation protégeant les obtenteurs
- Absence de réglementation pour l'utilisation des variétés locales (protection des agriculteurs)



## **2. Diversité Génétique des Légumineuses :**

**Atout en *in situ* et en *ex situ* (LG)**



## 2. Diversité Génétique des Légumineuses

### Diversité interspécifique

Espèce	Algérie	Tunisie	Maroc	France	Graines	Fourragères	Culture intermédiaire
Arachide					*		
Fenugrec					*		*
Fève-féverole					*		*
Lentille					*		*
Lupin					*		*
Lupin à feuilles étroites					*		*

➔ **Existence d'une grande diversité interspécifique pour les espèces des légumineuses à graines, fourragères et cultures intercalaire**

Sainfoin d'Espagne						*	
Trèfle blanc						*	*
Trèfle d'Alexandrie						*	*
Trèfle de perse						*	*
Trèfle hybride						*	*
Trèfle incarnat						*	*
Trèfle violet						*	*
Vesce commune						*	
Vesce de Pannonie						*	*
Vesce velue						*	

## 2. Diversité Génétique des Légumineuses

### Diversité interspécifique

Espèce	Algérie	Tunisie	Maroc	France	Graines	Fourragères	Culture intermédiaire
Fève-féverole							
Lentille							
Pois chiche							
Pois protéagineux							
Haricot							
Soja							
Arachide							



**6 espèces en Afrique du Nord**

**8 espèces en France**

**80% -90% des superficies emblavées par légumineuses**

Trèfle blanc							
Trèfle d'Alexandrie							
Trèfle de perse							
Trèfle hybride							
Trèfle incarnat							
Trèfle violet							
Vesce commune							
Vesce de Pannonie							
Vesce velue							

## 2. Diversité Génétique des Légumineuses

### Diversité intraspécifique

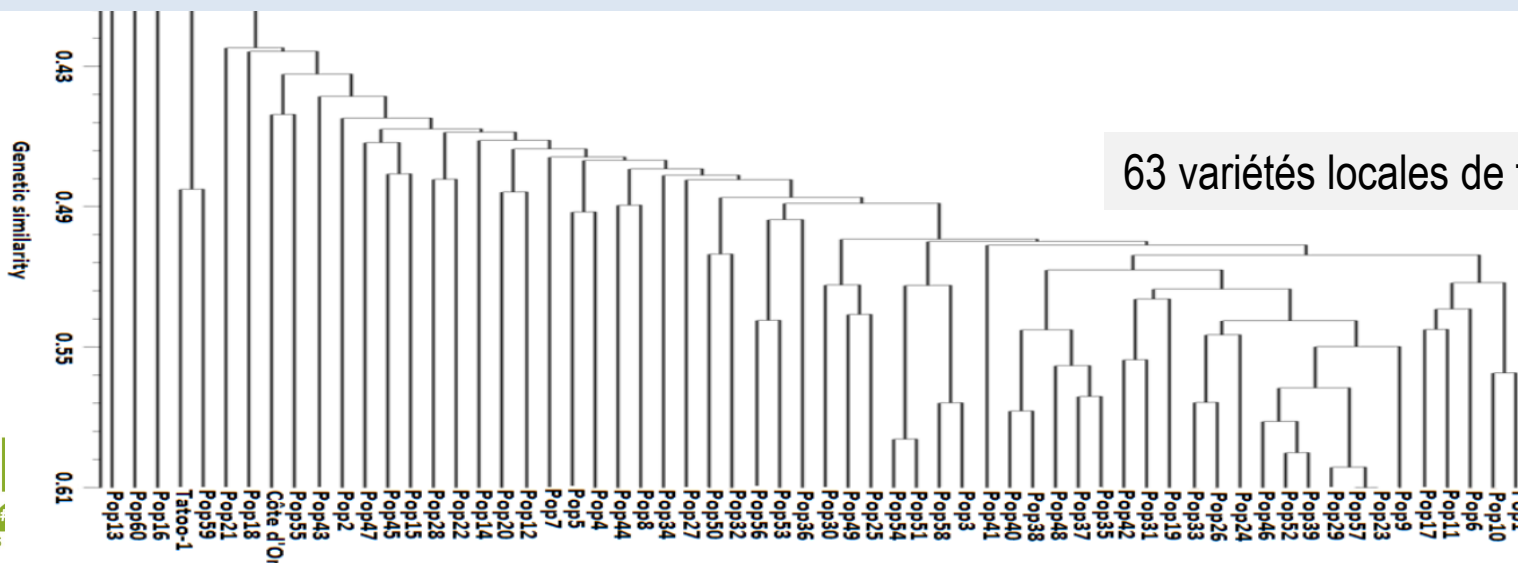
### Cas de la fève

**PMARS II (International):** : Analysis of genetic diversity of faba bean landraces in Northern Morocco and evaluation of their tolerance for drought stress. 2012-2015.



➤ **L'analyse des AFLP a révélé l'existence d'une large diversité intra-population (82%) comparée à la diversité inter-population (18%) chez les variétés locales de fève.**

Aqtbouz N., L. Ghaouti, L. belqadi and W. Link. Genetic diversity of Moroccan faba bean (*Vicia faba* L.) landraces using Amplified Fragment Length Polymorphism markers. In process of publication



63 variétés locales de fève, 2011



## 2. Diversité Génétique des Légumineuses

Diversité intra-spécifique

Ressources génétique *in situ*

➡ Le bassin méditerranéen constitue un centre de diversité des légumineuses

➡ Le Nord du Maroc (Taounate – Fes) est un centre de diversité de plusieurs espèces de légumineuses:



Fève  
Féverole  
Lentille  
Luzerne



### Seed exchange and supply systems and on-farm maintenance of crop genetic diversity: a case study of **faba bean** in Morocco

**Mohammed Sadiki**<sup>1</sup>, **Mustapha Arbaoui**<sup>1</sup>, **Lamia Ghaouti**<sup>1</sup> and **Devra Jarvis**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAV), Rabat, Morocco

<sup>2</sup>International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rome, Italy

#### ➡ Les variétés locales

-Ancestralement cultivées dans les centres de diversité

-Caractéristiques d'adaptation grâce à un continuum de sélection naturelle et la gestion des agriculteurs (flux de semences, pratiques culturelles et sélection...)

- Dynamiques à l'échelle temporelle

➡ Les champs des agriculteurs sont des laboratoires naturels de la création et de l'évolution de la diversité des variétés locales.



## 2. Diversité Génétique des Légumineuses

Diversité intra-spécifique

Ressources génétiques *ex situ*

Afrique du Nord

Banque de gènes du CRRA de Settât

Ex. Maroc

International Center for Agricultural Research in Dry Areas



<b>Nom de la banque</b>	Banque de gènes du CRRA de Settât
<b>Date de création</b>	2003
<b>Effectifs</b>	
Nombre total d'accessions	66000 accessions
Nombre total d'accession de céréales	54789 accessions
Nombre total d'accession de légumineuses	6949 accessions
Nombre d'accession par espèce de légumineuse	Medicago : 3399 accessions
	Vicia : 1001 accessions
	Lens : 695 accessions
	Cicer : 644 accessions
	Trifolium : 516 accessions
	Scorpiurus : 251 accessions
	Lathyrus : 141 accessions
	Astragalus : 141 accessions
	Trigonella : 95 accessions
	Lotus : 66 accessions

**10 % / total**

**50 % /légumineuses**

**14 % /légumineuses**

## 2. Diversité Génétique des Légumineuses

Diversité intra-spécifique

Ressources génétiques *ex situ*

Afrique du Nord

Ex. Maroc



Banque de gènes du CRRA de Settat

<b>Provenances</b>	
Ventilation des provenances principales des accessions de légumineuses	INRA, ICARDA, CIMMYT, USDA, South Australian Research and Development Institute (SARDI), Australian Temperate Field Crops Collection (ATFCC)
<b>Demandes et destination</b>	
Pourcentage de satisfaction des demandes en total	100 % selon la disponibilité des semences pour chaque accession
Nombre de demande des accessions : total, céréales, légumineuses, espèce de légumineuses	Total : 6486 accessions Céréales : 6046 accessions Légumineuses <b>7% /Céréales</b> - Lentilles : 107 accessions - Pois chiches : 232 accessions - Fèves : 101 accessions
Origine des demandes pour les légumineuses et objectifs	100% des demandes ont été faites au niveau national : INRA pour des fins de recherche

## 2. Diversité Génétique des Légumineuses

Diversité intra-spécifique

Ressources génétiques *ex situ*

Afrique du Nord

Ex. Maroc



Exemple de transfert:

Banque de gènes du CRRA de Settât

Sélectionneurs INRA, Rabat Maroc



Accessions de la Lentille:  
- Etude de la diversité génétique  
- Evaluation de la tolérance à la sécheresse



Création de variétés plus tolérantes à la sécheresse

- Idrissi, O., Udupa, M. S., De Keyser, E., Van Damme, P., & De Riek, J. (2016). Functional genetic diversity analysis and identification of associated simple sequence repeats and amplified fragment length polymorphism markers to **drought tolerance** in **lentil** (*Lens culinaris* ssp. *culinaris* Medicus) Landraces. *Plant Molecular Biology Reporter*, 34(3), 659-680.



## 2. Diversité Génétique des Légumineuses

Diversité intra-spécifique

Ressources génétiques *ex situ*

Afrique du Nord



International Center for Agricultural Research in Dry Areas

### Transfert

Une grande partie des variétés sélectionnées dans les centres de recherche nationaux (INRAM, INRAT, ITGC) proviennent des programmes de sélection du CYMMIT et de l'ICARDA

Exemple:

#### Algérie

Lentille	Taghit	Introduite en 2017
Pois chiche	Tikjda	Introduite en 2017

#### Tunisie

Pois chiche	Nour	2011
Féverole	Bachar	2003
Lentille	Siliana	2003

#### Algérie

75 % variétés de pois chiche et de lentille utilisées (20/27)



Origine:  
ICARDA



➔ Centre National de Ressources Génétiques de pois, féverole et lupin INRA Dijon (France)

Plus de 10.000 accessions de pois (collections patrimoniales et scientifiques)  
1,2% partagées avec des sélectionneurs privés depuis 2005 (69)

➔ Centre de Ressources Génétiques Plantes Fourragères INRA Lusignen

➔ USDA (USA)

➔ ICARDA

➔ John Innes



- Il existe une large diversité génétique en *in situ* et en *ex situ* des ressources génétiques des légumineuses.
- L'utilisation directe des ressources génétiques par les sélectionneurs privés est limitée

### Criblage des ressources génétiques

Ressources  
génétiques  
*in situ* et en *ex situ*



Centres/Instituts de  
recherche  
(INRA, ICARDA ...)



Entreprises privées  
de création variétale

# **3. Valorisation de la Diversité Génétique des Légumineuses :**

## **Stratégies d'Amélioration Diversifiées**



### 3. Valorisation de la Diversité Génétique des Légumineuses

Systèmes agricoles diversifiées



Potentialités  
Limites

≠

Systèmes agricoles favorables  
(conditions environnementales favorables)

Systèmes agricoles marginaux  
(faible intrants et contraintes environnementales)

Maximiser l'efficacité d'utilisation des ressources naturelles

Stratégies  
d'amélioration  
génétique

≠

Performance = **Génotype** + Environnements + **GxE**

Adaptation générale: G

Quelques génotypes à adaptation générale pour une large série d'environnements

Adaptation spécifique: G + GE

Un ensemble de génotypes à adaptation spécifique pour des environnements bien définis





### 3. Valorisation de la Diversité Génétique des Légumineuses

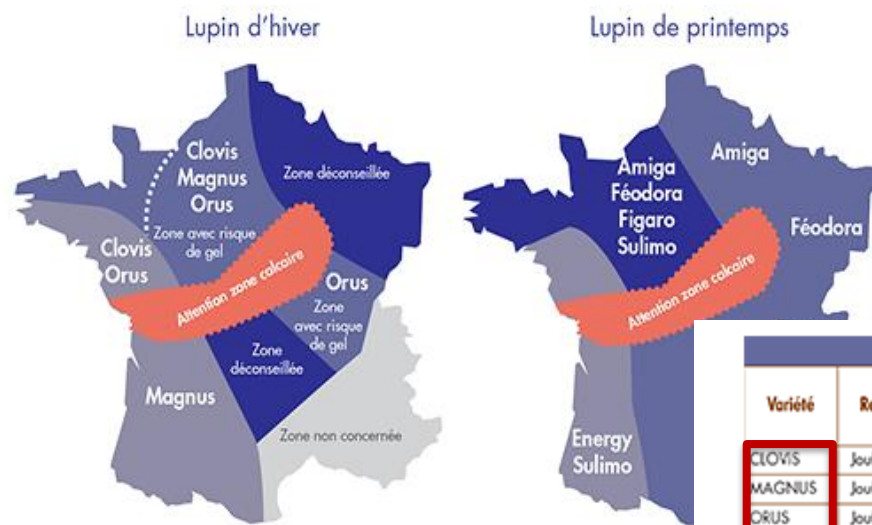
Systèmes agricoles favorables

Exploitation de GxE

- ➔ Diversification du portfolio variétale (quantité et traits d'intérêt) en fonction des différents contextes d'agro-écosystèmes et des débouchés.
- ➔ Proposer des cartes variétales

#### Exemple de deux cartes variétales de lupin blanc (hiver et printemps) en France

Zones de culture conseillées en fonction des variétés



Portfolio variétal très limité

Lupin blanc doux d'hiver (1)										
Variété	Représentant	Année et pays d'inscription	Froid	Début floraison	Précocité à maturité	Hauteur à maturité (cm)	Verse à maturité	PMG (g)	Protéines (% MS)	Matières grasses (% MS)
CLOVIS	Jouffray Drillaud	2008 - FR	6	20/04	P	67	7	305	33,2	8,1
MAGNUS	Jouffray Drillaud	2014 - FR	-	29/04	P	75	7	310	34,0	8,5
ORUS	Jouffray Drillaud	2011 - FR	7	18/04	P	75	6	315	34,5	8,2

Lupin blanc doux de printemps (2)										
Variété	Représentant	Année et pays d'inscription	Début floraison	Précocité à maturité	Hauteur à maturité (cm)	Verse à maturité	PMG (g)	Protéines (% MS)	Matières grasses (% MS)	
AMIGA	Florimond Desprez	1985 - FR	21/05	P	65	7,4	329	36,4	8,7	
ENERGY	Jouffray Drillaud	2001 - FR	26/05	T	81	6,7	324	35,8	9,5	
FEODORA	Jouffray Drillaud	2004 - DE	21/05	P	59	7,0	268	36,7	9,2	
FIGARO	Jouffray Drillaud	2016 - FR	23/05	P	65	6,8	321	36,8	8,7	
SULIMO	Jouffray Drillaud	2016 - FR	23/05	DP	70	5,4	337	35,4	9,9	

### 3. Valorisation de la Diversité Génétique des Légumineuses

#### Systèmes agricoles défavorables

#### Exploitation GxE

- ❖ Agriculture traditionnelle (Afrique du Nord; plus de 80 % de des systèmes agricoles)
- ❖ Agriculture biologique (Europe)
- ➔ Interaction GxE **plus importante** (faible niveau d'intrants)
- ➔ Besoins spécifiques en qualité par rapport à des débouchés spécifiques

« Des chercheurs qui cherchent on en trouve,  
des chercheurs qui trouvent avec les autres; on en cherche » Hocdé et al, 2005



Sélection participative



Chercheur: Découvrir la dimension systémique du terrain

Agriculteur: Comprendre l'intérêt de se focaliser sur une réalité de recherche.

- Répondre aux besoins des agriculteurs
- Renforcer le rôle de l'agriculteur dans les filières



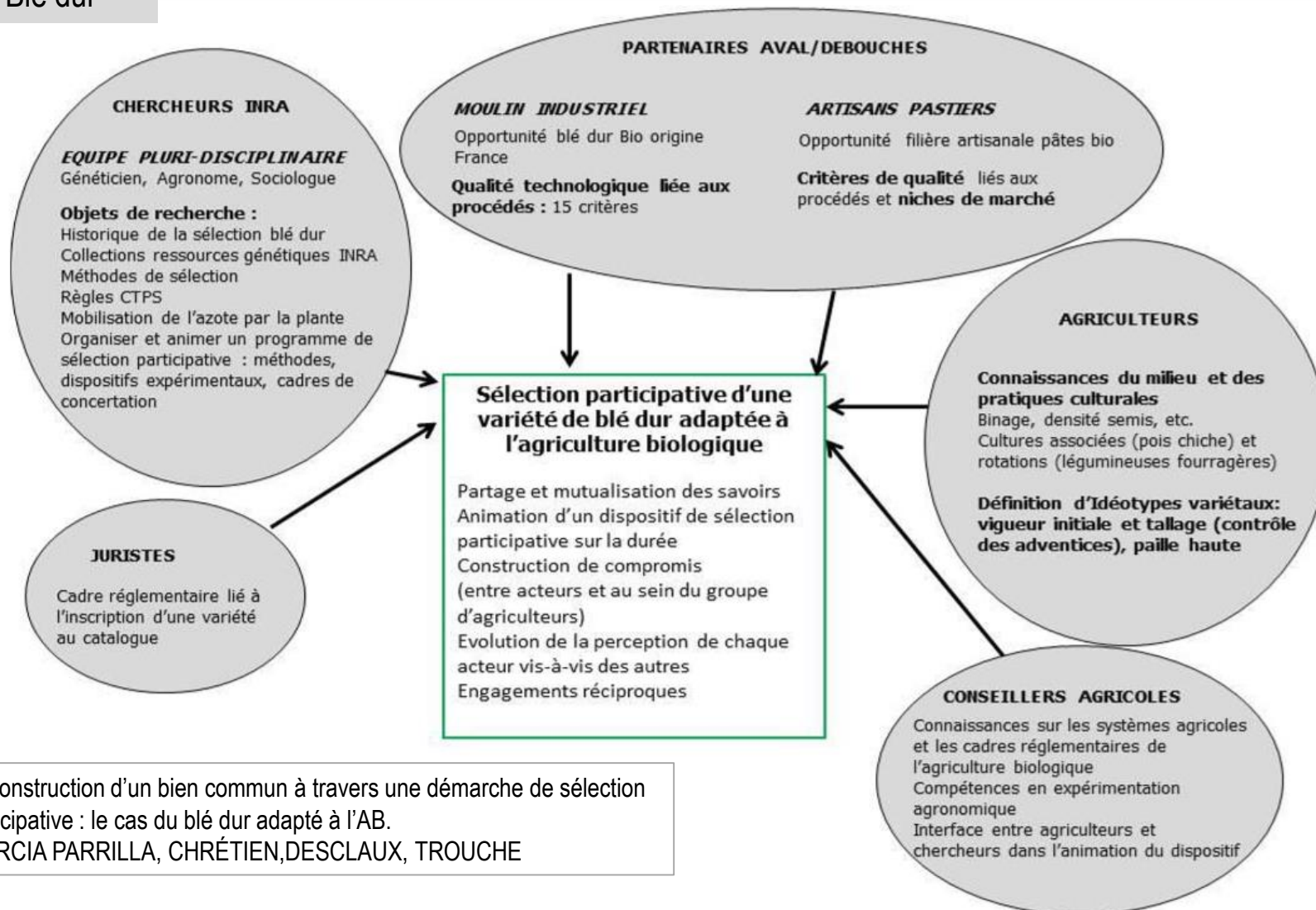
### 3. Valorisation de la Diversité Génétique des Légumineuses

Systèmes agricoles défavorables

Sélection participative



Ex: Blé dur



La construction d'un bien commun à travers une démarche de sélection participative : le cas du blé dur adapté à l'AB.  
GARCIA PARRILLA, CHRÉTIEN, DESCLAUX, TROUCHE

Figure 1 : Cartographie des acteurs du programme de sélection participative blé dur



# 3. Valorisation de la Diversité Génétique des Légumineuses

IAV Hassan II



Ateliers: Optimisation des pratiques culturales chez la fève/féverole; Taounate

Production de DVDs sur l'importance de la biodiversité

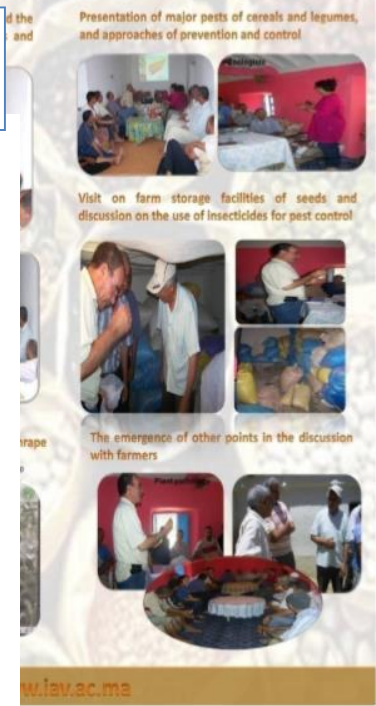
Version française



Version arabe



Ateliers : Sélection participative chez la fève/féverole; Taounate



## **4. Objectifs de sélection prioritaires**



# Recoupement des objectifs de sélection chez les légumineuses à graines et fourragères

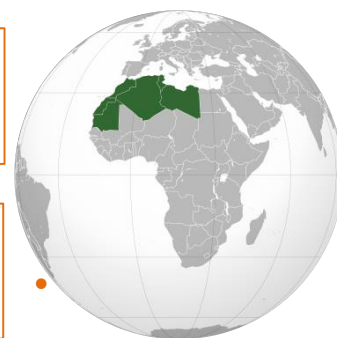
## Légumineuses à graines



- Taille c
- Qualité
- Tenue
- Aptitud



## Légumineuses fourragères



ou pâturage

Niveau et stabilité de rendement

Qualité nutritionnelle (protéines, facteurs antinutritionnels, fibres)

Résistance aux maladies et aux ravageurs

Résistance aux stress abiotiques

Développement racinaire et fixation d'azote

Adaptation aux systèmes de culture



# L'amélioration de la luzerne en France

1970



↗ résistance aux nématodes des tiges



Variétés marquantes

Mercedes (1994)

↗ résistance à l'anthraxnose



Milky Blue (2017)

↗ résistance à la verticilliose

↗ teneur en protéines



Harpe (1996)

↘ teneur en fibres

↗ pérennité

↗ rendement

2018



# L'amélioration du pois protéagineux en France

1980



Transformation des folioles en vrilles

rendement  
[↑ = teneur en protéines]

↘ teneur des graines en facteurs antitrypsiques

↗ résistance à la verse

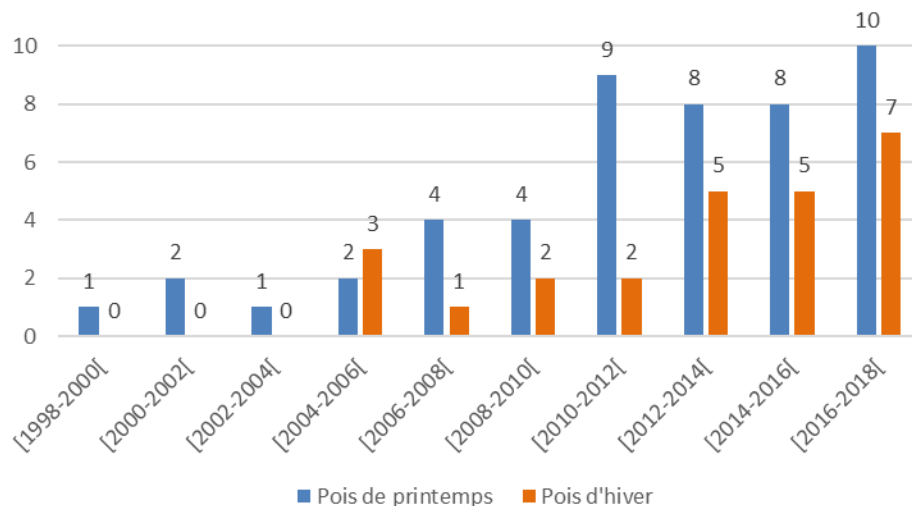
↘ taille des graines

↗ résistance au froid



- Variété de pois à feuillage de type afila

2018

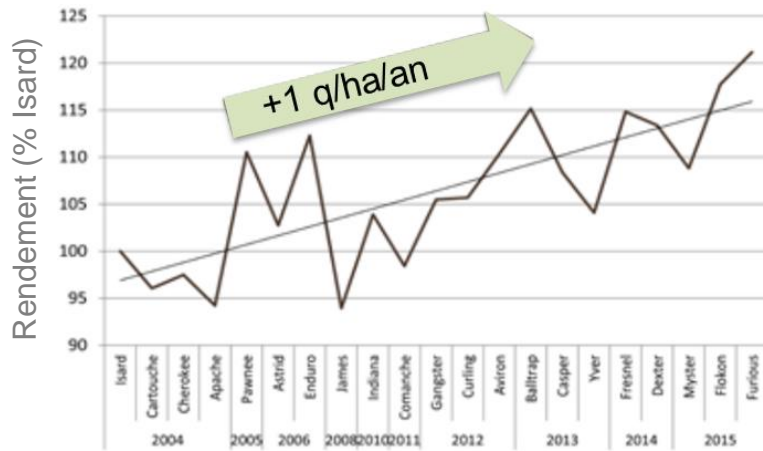


- Nombre d'inscriptions de variétés de pois protéagineux au Catalogue officiel en France



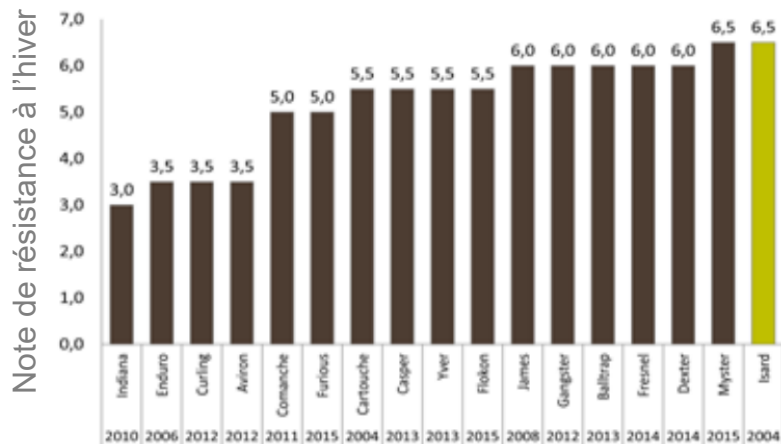


# Le progrès génétique en pois protéagineux d'hiver



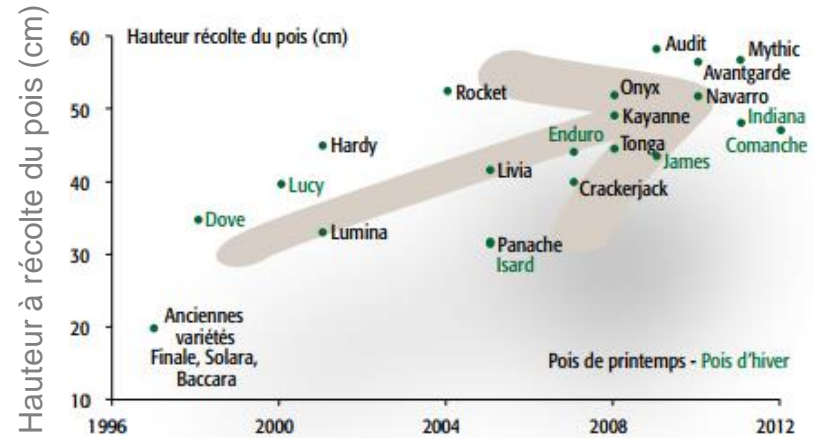
Variétés et années d'inscription

- Evolution du rendement de pois d'hiver (source : GEVES)



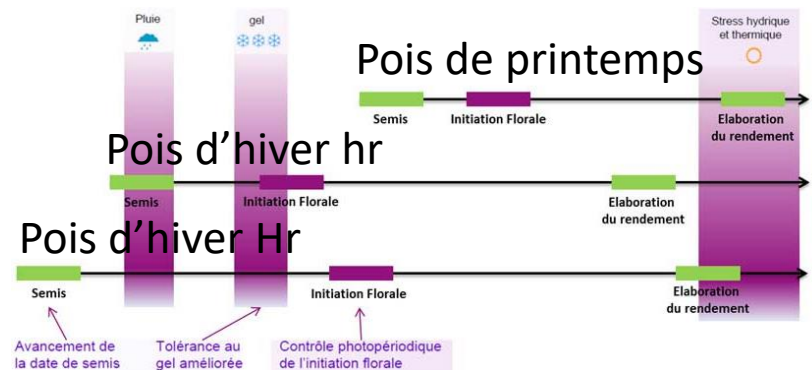
Variétés et années d'inscription

- Evolution de la résistance à l'hiver (source : GEVES)



Année d'inscription

- Evolution de la hauteur de plante à récolte (source : UNIP)



- Définition collective d'un nouvel idéotype de pois d'hiver et 1eres inscriptions variétales

# L'amélioration des légumes secs au Maroc

## Lentille

- 1 rendement en grains
- 2 résistance à la rouille
- 3 tolérance à la sécheresse
- 4 précocité (cycle de culture court)

2 + 3

Bakria ... **1989**  
Bichette ... **2000** ... Hamria  
Zaaria ... **2003**  
Chaouia ... **2004** ... Abda

## Pois chiche

- 1 rendement en grains
- 2 Taille des grains
- 3 tolérance à la sécheresse
- 4 résistance au froid
- 5 précocité

3 + 4 + 5

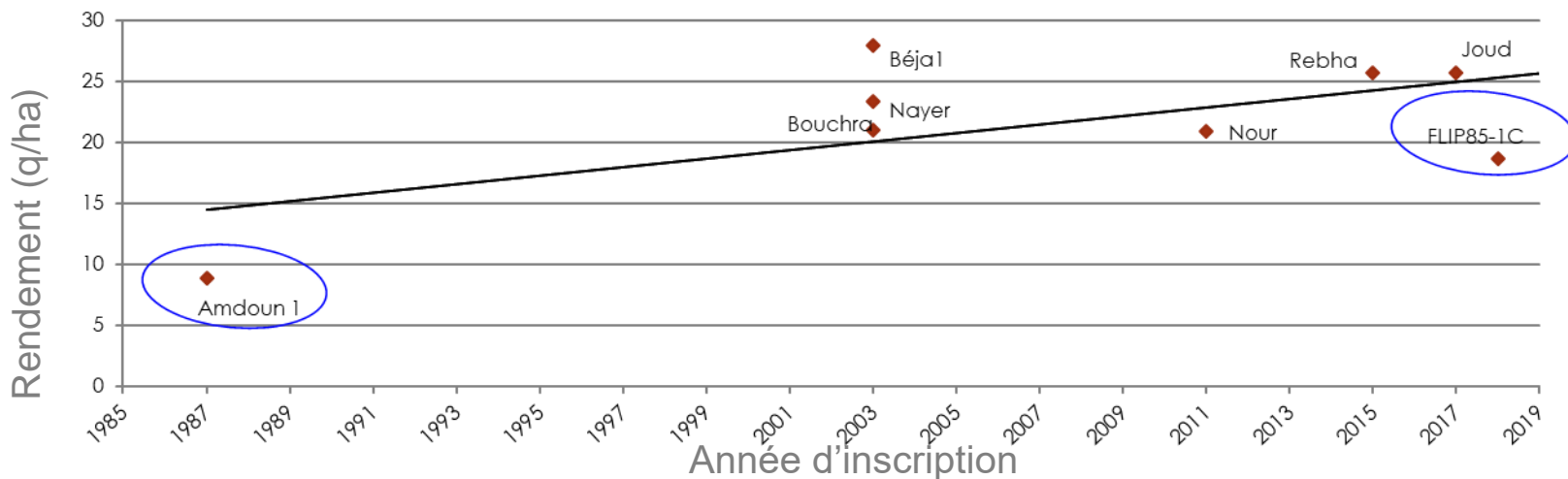
Rizki ... **1992** ... Douyet

2 + 3 + 5

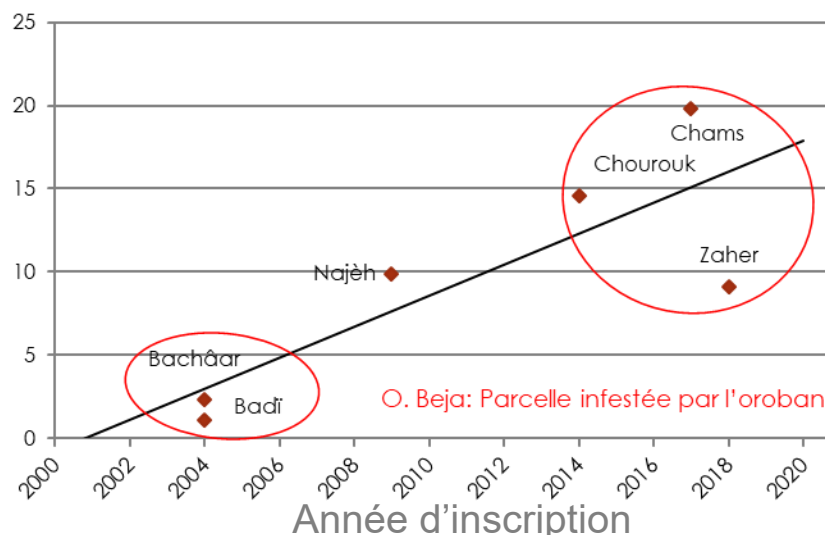
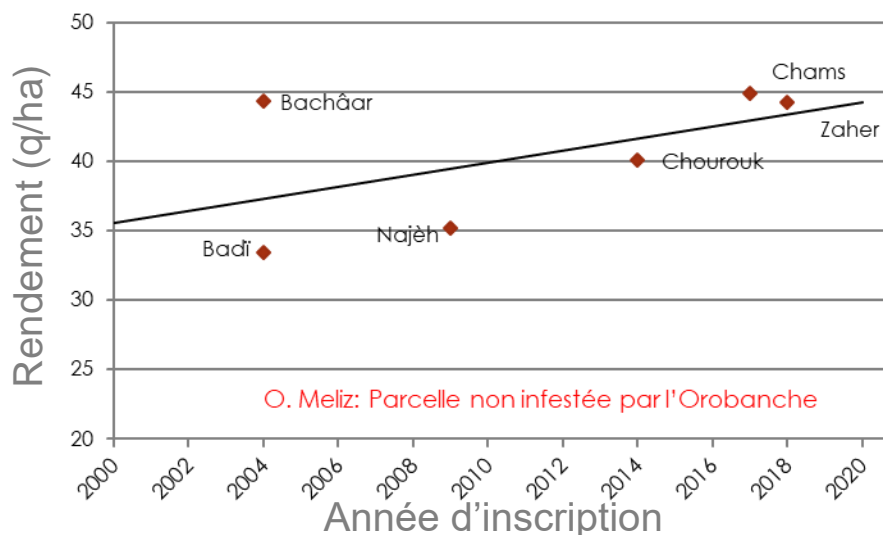
Arifi ... **2009**  
Bouchra ... **2015**



# L'amélioration des légumes secs en Tunisie



- Progrès génétique dans l'amélioration du rendement de pois chiche en Tunisie



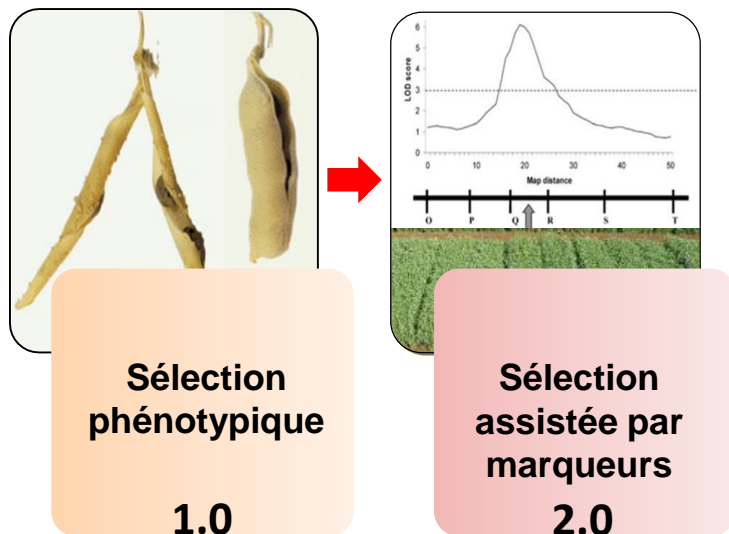
Progrès génétique dans l'amélioration de fève pour **la résistance à l'orobanche** en Tunisie



# **5. Evolution des méthodes de sélection**



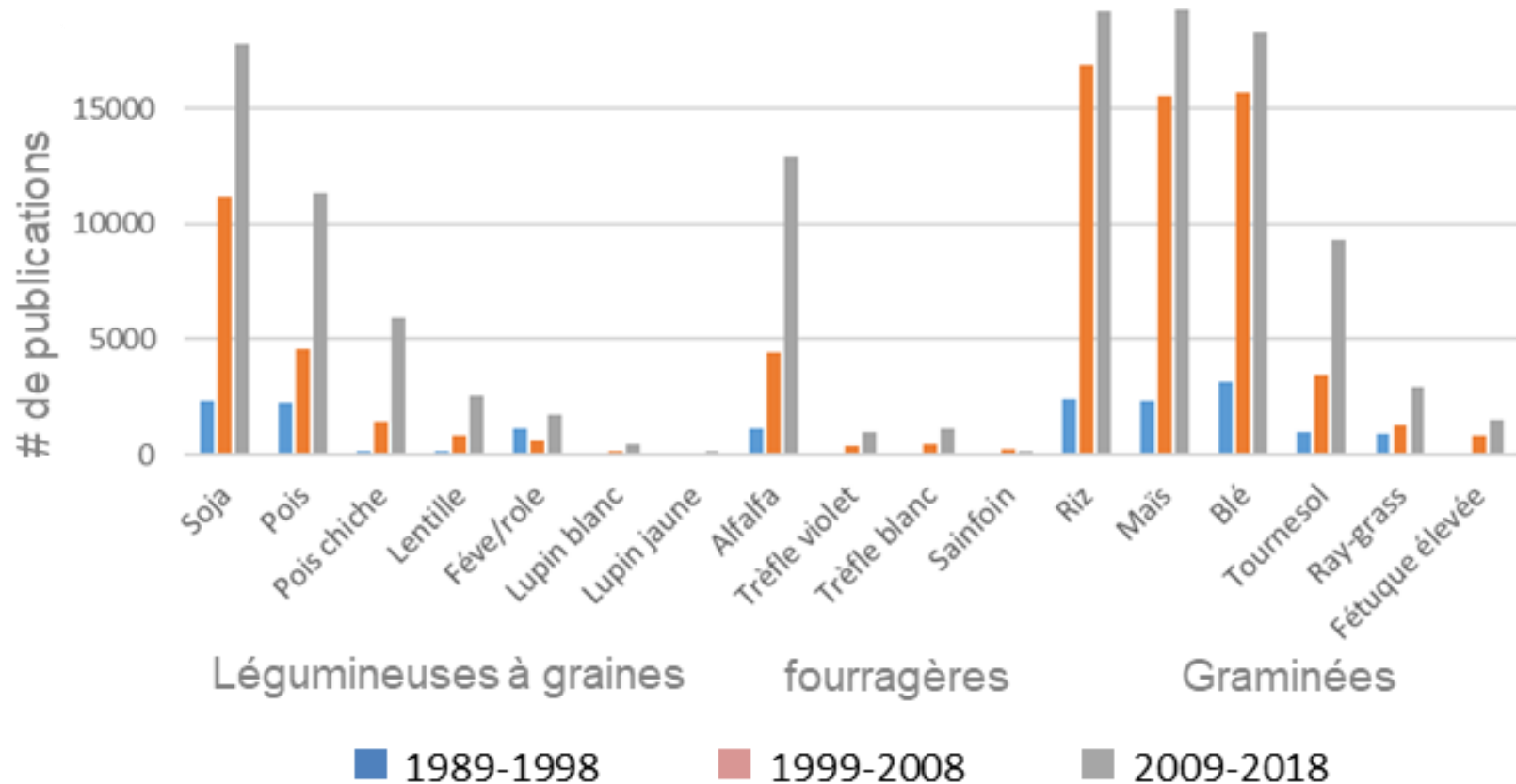
# Evolution des méthodes de sélection



Caractère	Locus	Reference(s)
Teneur des grains en facteurs antitrypsiques	Tri	Page et al., 2002; Duc et al., 2004
Résistance à <i>Aphanomyces</i>	AePs1.2; AePs2.2; AePs3.1; AePs4.1; AePs4.2; AePs5.1; AePs7.6	Hamon et al., 2013; Lavaud et al., 2015
Résistance au mildiou	Er	Ghafoor and McPhee, 2012; Reddy et al., 2015
Résistance à la fusariose	Fw	McClendon et al., 2002
Résistance à l'ascochyose	PsDof1; RGA	Jha et al., 2015
Résistance à la rouille	Up1	Barilli et al., 2010
Résistance à la verse	QTL III; QTL VI	Zhang et al., 2006
Résistance au virus de la mosaïque	sbm1	Frew et al., 2002
Résistance à l'hiver	WFD3.; WFD5.1; WFD6.1	Lejeune-Hénaut et al., 2008

- Exemple de caractères pour lesquels une sélection assistée par marqueurs est possible chez le pois (Tayeh et al., 2015)

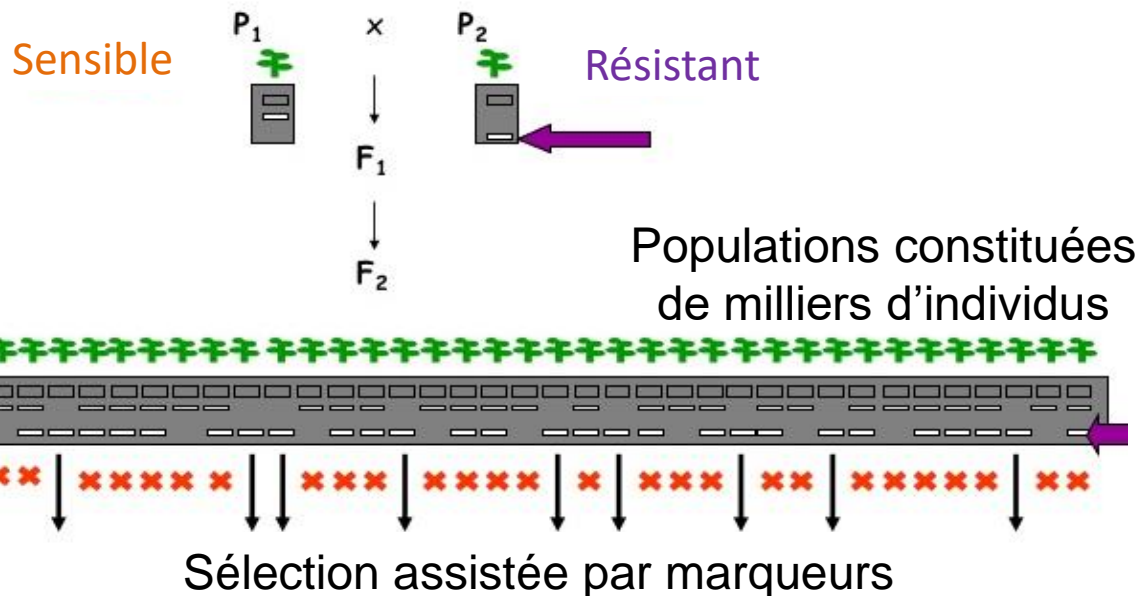
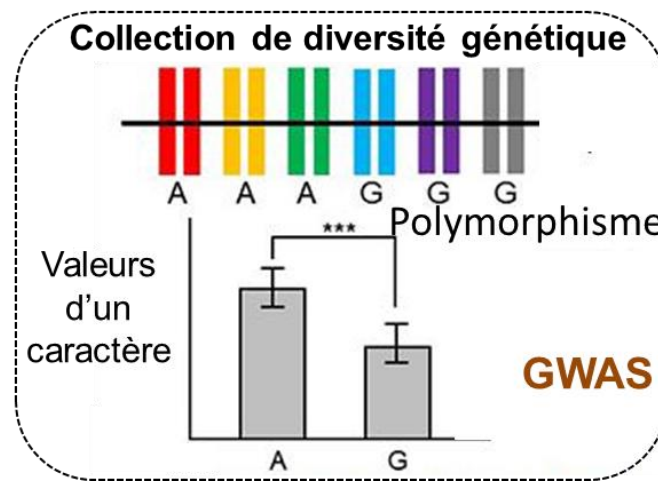
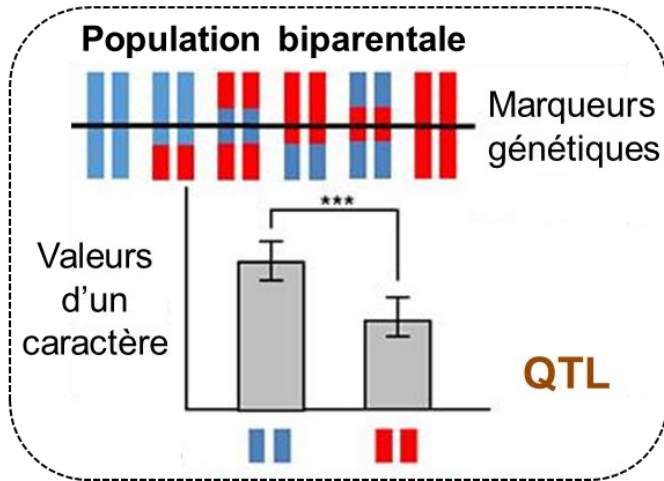
# Nombre de publications en lien avec la sélection assistée par marqueurs



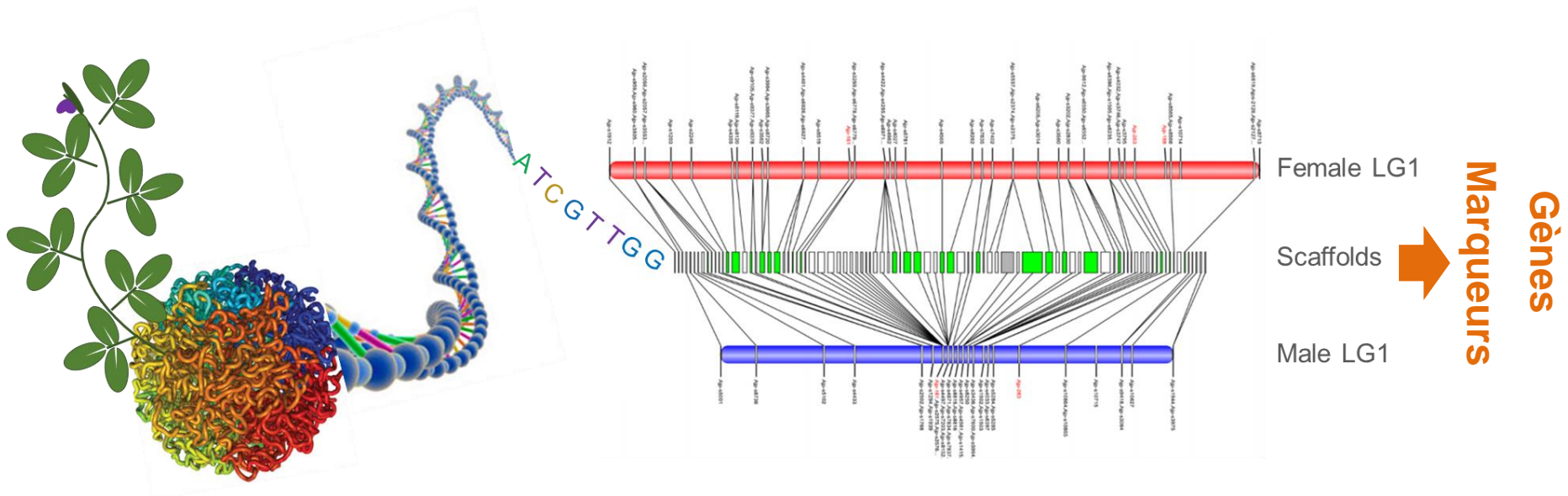
Mots-clés: "nom de l'espèce" AND breeding GWAS OR QTL OR "marker assisted selection"  
09/10/2018



# La sélection assistée par marqueurs



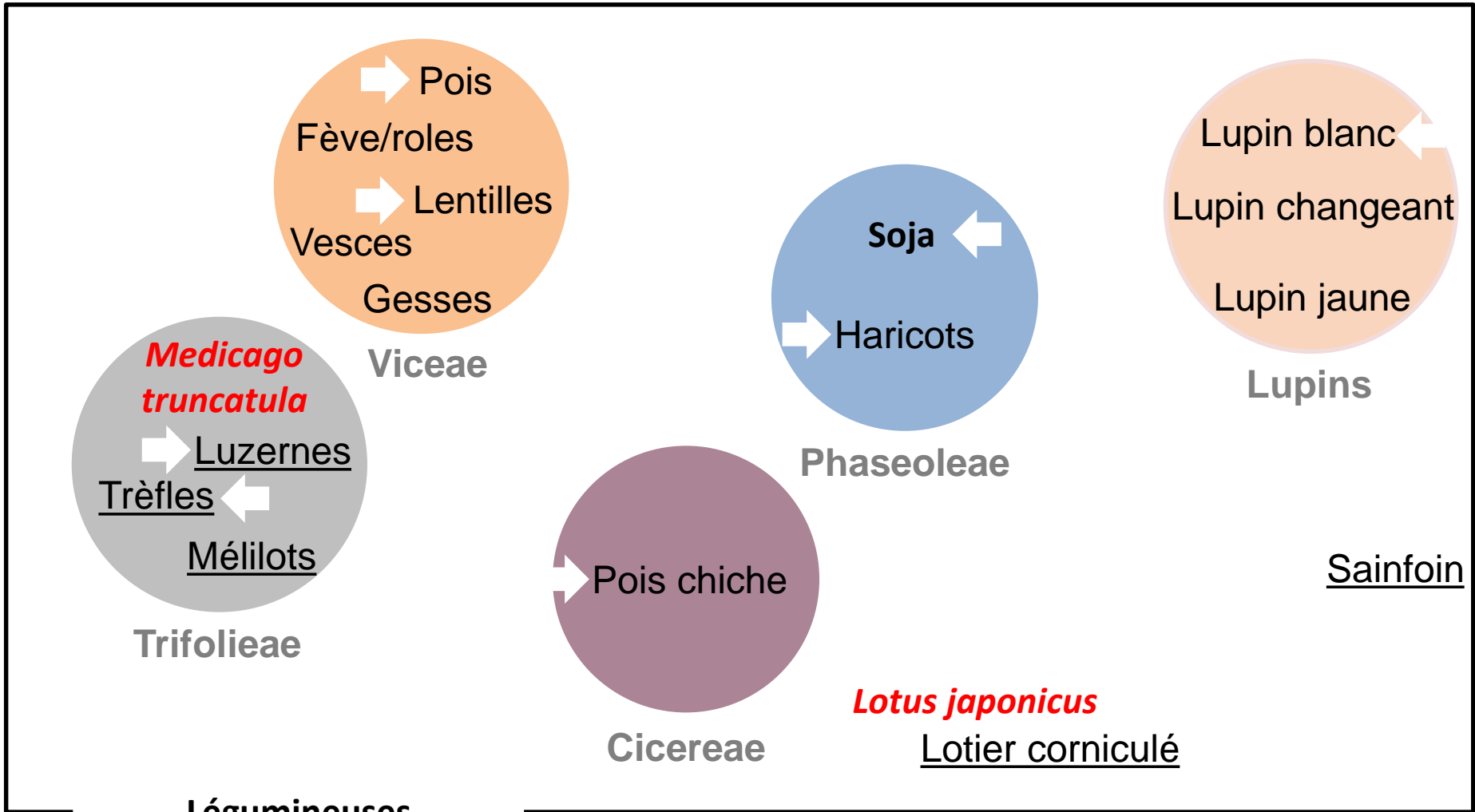
# Les séquences des génomes comme outils clés pour la sélection assistée par marqueurs



- De la séquence génomique à l'identification de gènes et de marqueurs d'intérêt pour la sélection



# Les avancées génomiques chez les légumineuses

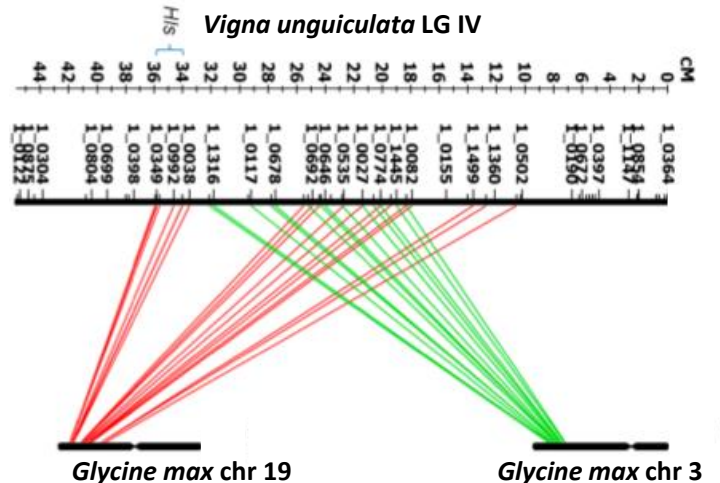
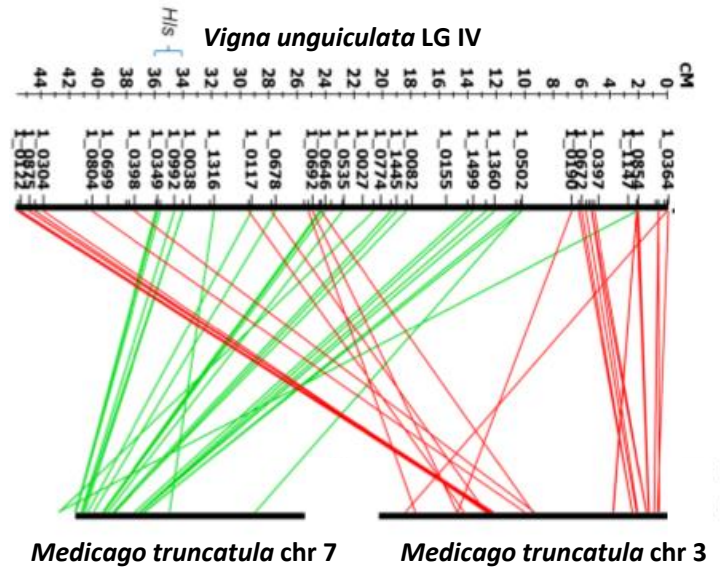
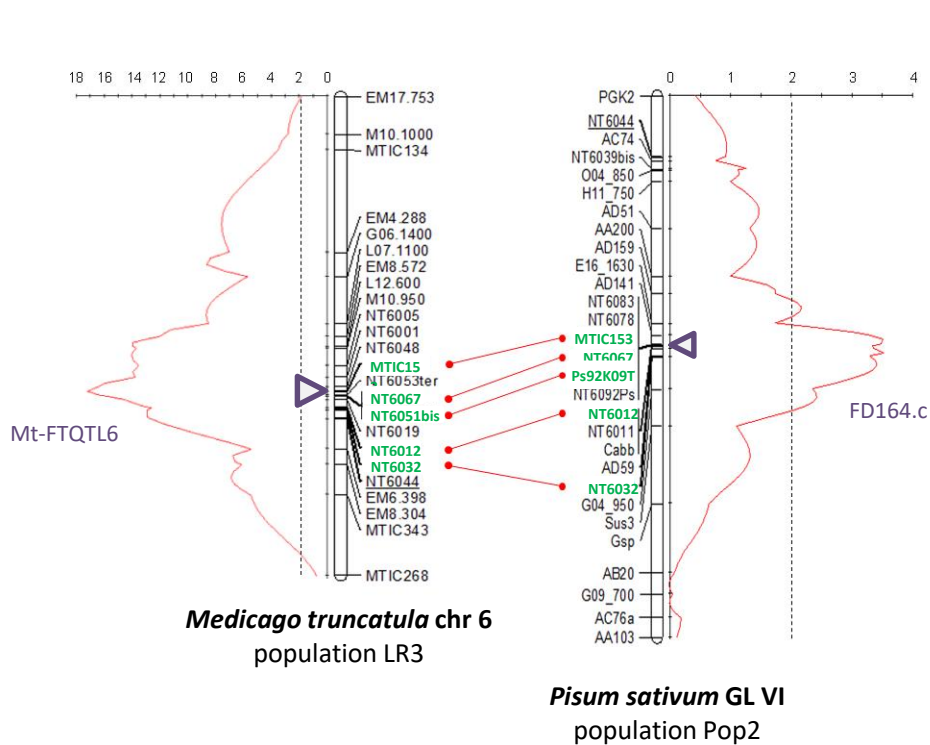


## Légumineuses

- En rouge, légumineuses modèles ; Espèces soulignées, légumineuses fourragères

⇒ Espèces cultivées modèles

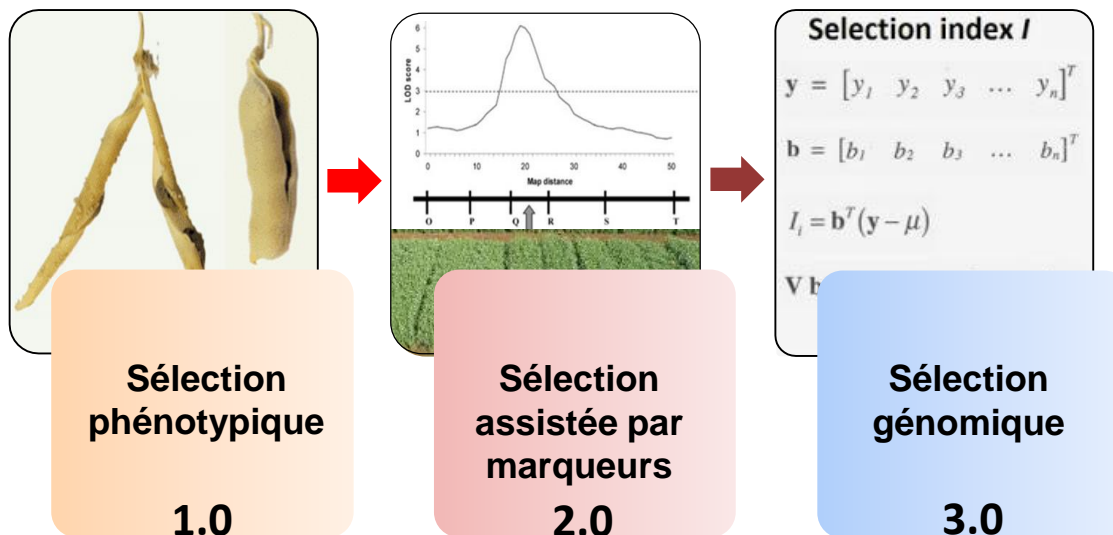
# Les promesses de la recherche translationnelle



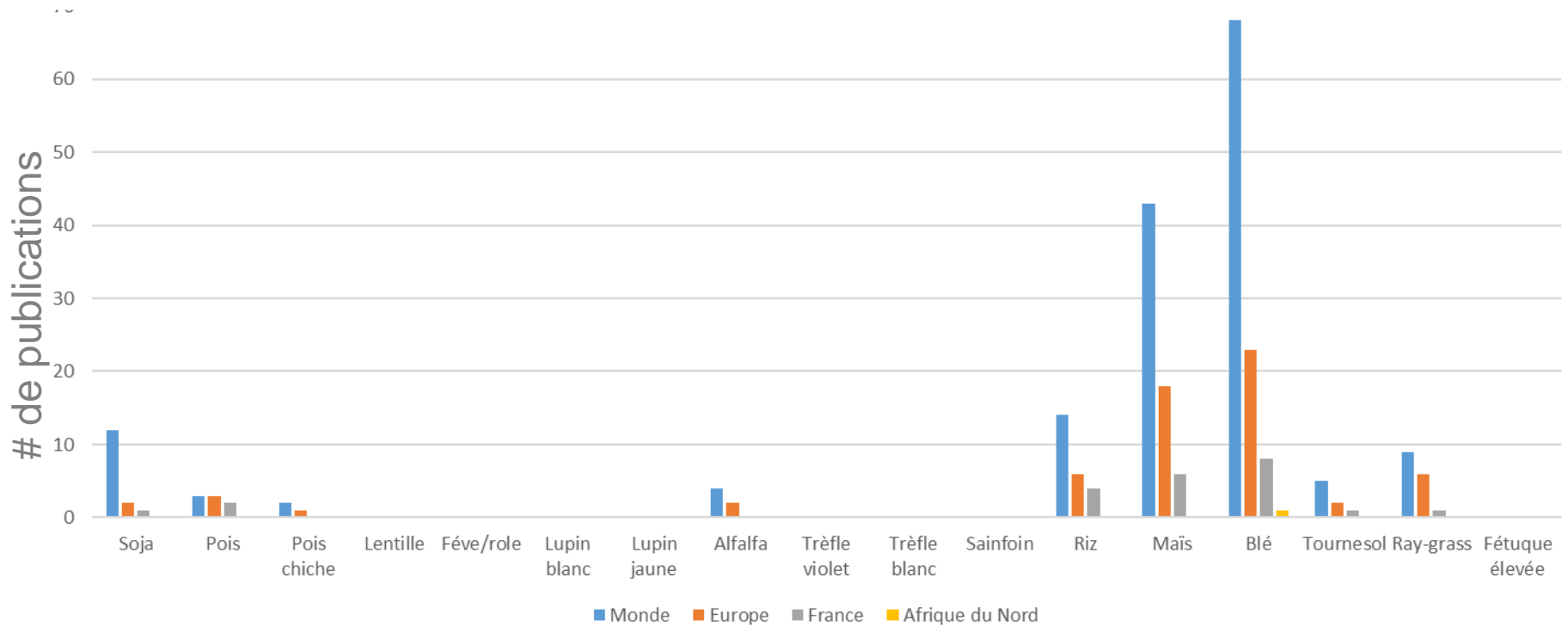
- Synténie des déterminants génétiques de la tolérance au gel chez le pois et chez la luzerne tronquée (Tayeh et al., 2013)
- Utilisation de la synténie entre le niébé, la luzerne tronquée et le soja pour l'identification d'un gène contrôlant l'architecture foliaire (Pottorff et al., 2012) ▶



# Evolution des méthodes de sélection



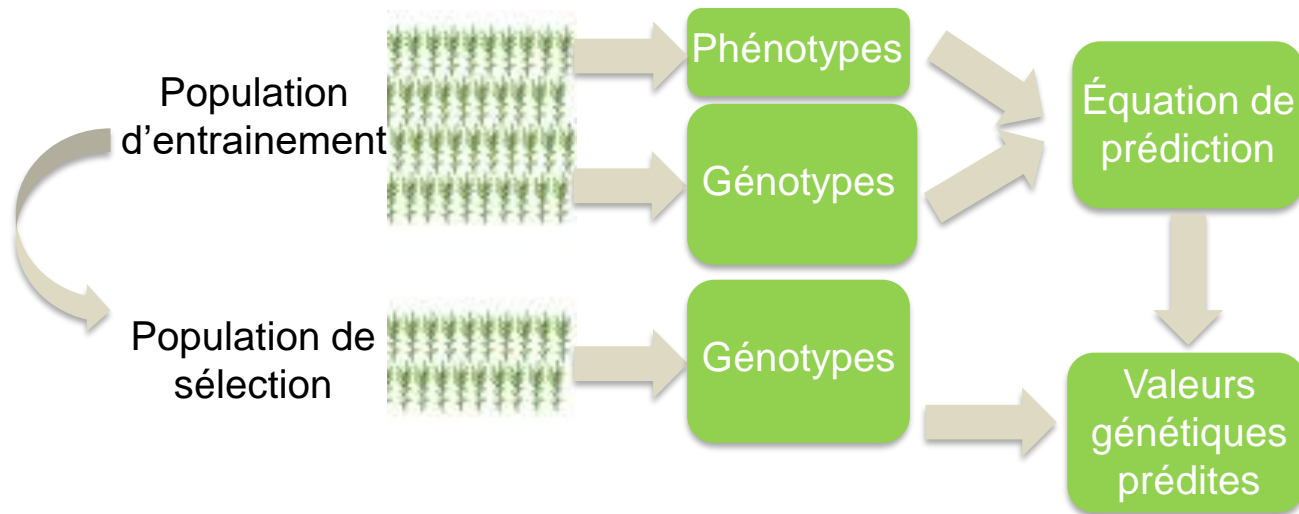
# Nombre de publications en lien avec la sélection génomique



Mots-clés: "nom de l'espèce" "genomic selection" OR "genomic prediction" (titre seulement)  
10/10/2018

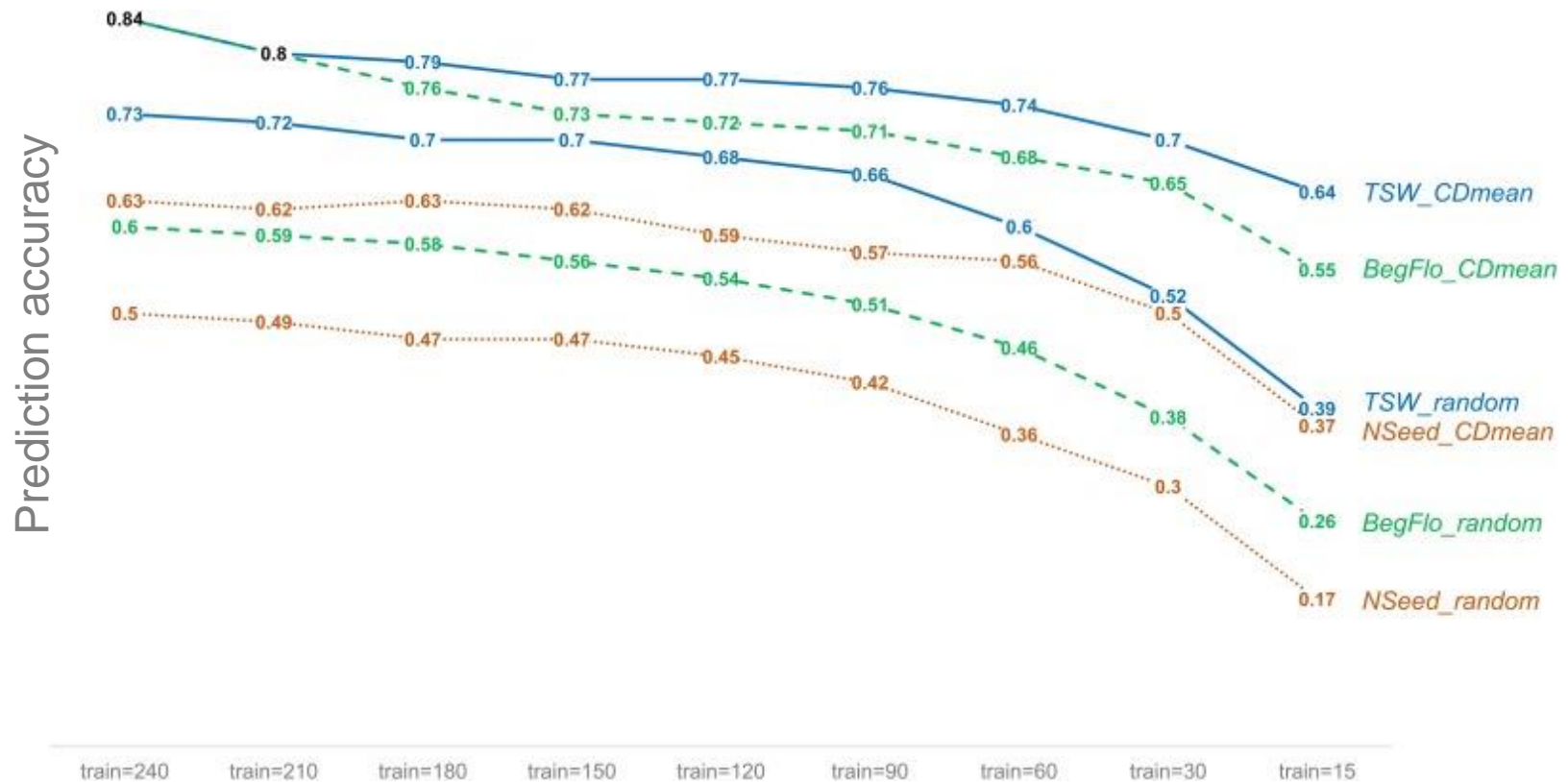


# Principe de la sélection génomique



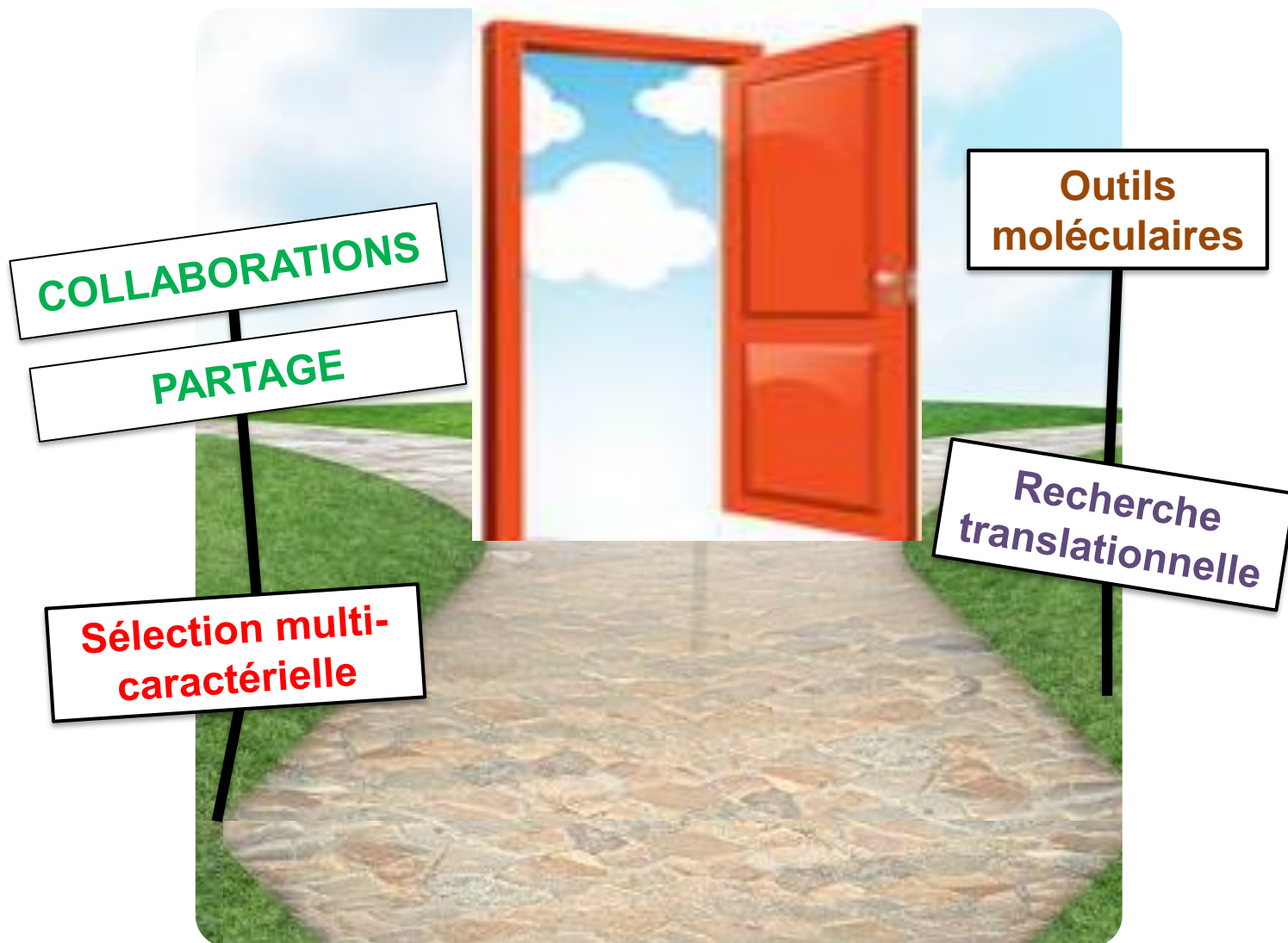
- Schéma illustrant le principe de la sélection génomique d'après Crossa *et al.* 2017

# Résultats satisfaisants de prédiction génomique chez le pois en France

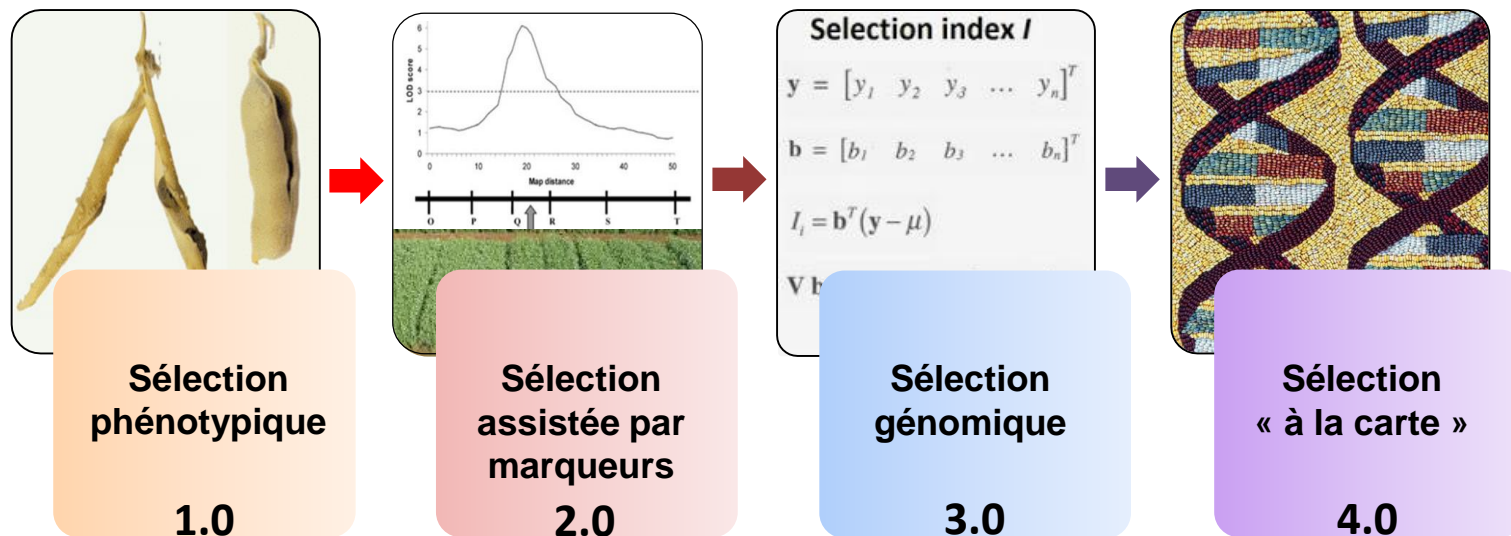


- Prédiction de poids de mille grain (TSW), du nombre de grains (Nseed), et de la date de début de floraison (BegFlo) sur une collection de 339 génotypes de pois avec deux méthodes dites ici random et CDmean (Tayeh et al., 2015)

# Opportunités pour la sélection des légumineuses



# Evolution des méthodes de sélection



*Adapté de Buckler et al., 2017*



# Sélection « A la carte » chez les légumineuses ? :

## A y réfléchir dès maintenant



### Sélection « A la carte »

#### ▼ Type de variété

Type de variété

- Printemps       Hiver  
 Hiver – sensible à la photopériode

#### ▼ Architecture aérienne

Hauteur de la tige à la récolte

- Elevée       Moins élevée

Type de feuilles

- Conventionnel       afile

#### ▶ Phénologie

#### ▼ Qualité des graines

Teneur des graines en facteurs anti-trypsiques

- Très faible       Forte

Teneur des graines en fibres

- Très faible       Forte

Teneur en saponines des graines

- Très faible       Forte

Poids de mille grains (PMG)

- Petit       Grand

#### ▶ Résistance aux stress



## **6. Exemples de projets de recherche**

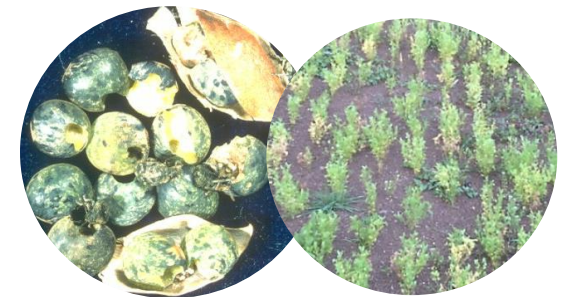


# RésiLens : un premier projet français sur la génétique de la lentille



2019-2021

 LIBERTÉ • ÉGALITÉ • FRATERNITÉ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE	AVEC LA CONTRIBUTION FINANCIÈRE DU COMPTE D'AFFECTATION SPÉCIALE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE ET RURAL
	MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION



**1. Recherche de sources de résistance aux bruches**

**2. Recherche de sources de résistance aux agents de la pourriture racinaire**

**3. Caractérisation de la diversité génétique chez la lentille par des outils moléculaires**



# PeaMUST : un large investissement national pour augmenter la production de pois et de féverole protéagineux en France



2012-2020

Génomique → création variétale :

- génotypes innovants
- méthodes de sélection rapides
- nouvelles ressources bio-informatiques
- interactions plantes-microflore optimisées

> 7000 lignées de pois  
 ≈ 600 lignées de féverole  
 12 sites expérimentaux  
 Plusieurs millions de marqueurs SNP

<https://www.peamust-project.fr/>



# EUCLEG : un exemple de collaboration recherche-sélection multinationale et multidisciplinaire



**EUC  
LEG**



2018-2022

**EU**  
(26 partenaires)

Utilisation du moléculaire  
pour la caractérisation de la  
diversité génétique

Etude de l'architecture  
génétique des caractères  
par génétique d'association

Evaluation du potentiel de la  
sélection génomique

Exploration de nouveaux  
débouchés

**CHINA**  
(12 partenaires)

- \*  Luzerne
-  Trèfle violet
-  Pois
-  Fève/role
-  Soja

\*le code couleur indique le type d'essais aux  
champs réalisés par pays.



# SAADA : Un exemple de collaboration Nord-Sud pour de travaux expérimentaux dans le Sud



- Evaluer l'agrobiodiversité en Méditerranée du Sud (Maroc)
- Investiguer l'utilisation de la diversité des cultures dans des agroécosystèmes complexes
- Déterminer le lien entre la diversité fonctionnelle des cultures et l'utilisation de l'eau



# Exemple-type de projet de collaboration Nord-Sud



## LEGUMES – LEGUme-Microbiome adaptation to Environmental Stresses



Biologie des légumineuses

Interaction légumineuses – microorganismes du sol

Expérimentations aux champs



Microbiologie

Génétique d'association

Expérimentations en conditions contrôlées



Métagénomique

Transcriptomique



- **Stratégies d'amélioration des réponses aux stress**
- **Idéotypes de légumineuses à grains de demain**
- **Géniteurs potentiels pour les programmes de sélection**
- **Gènes cibles**

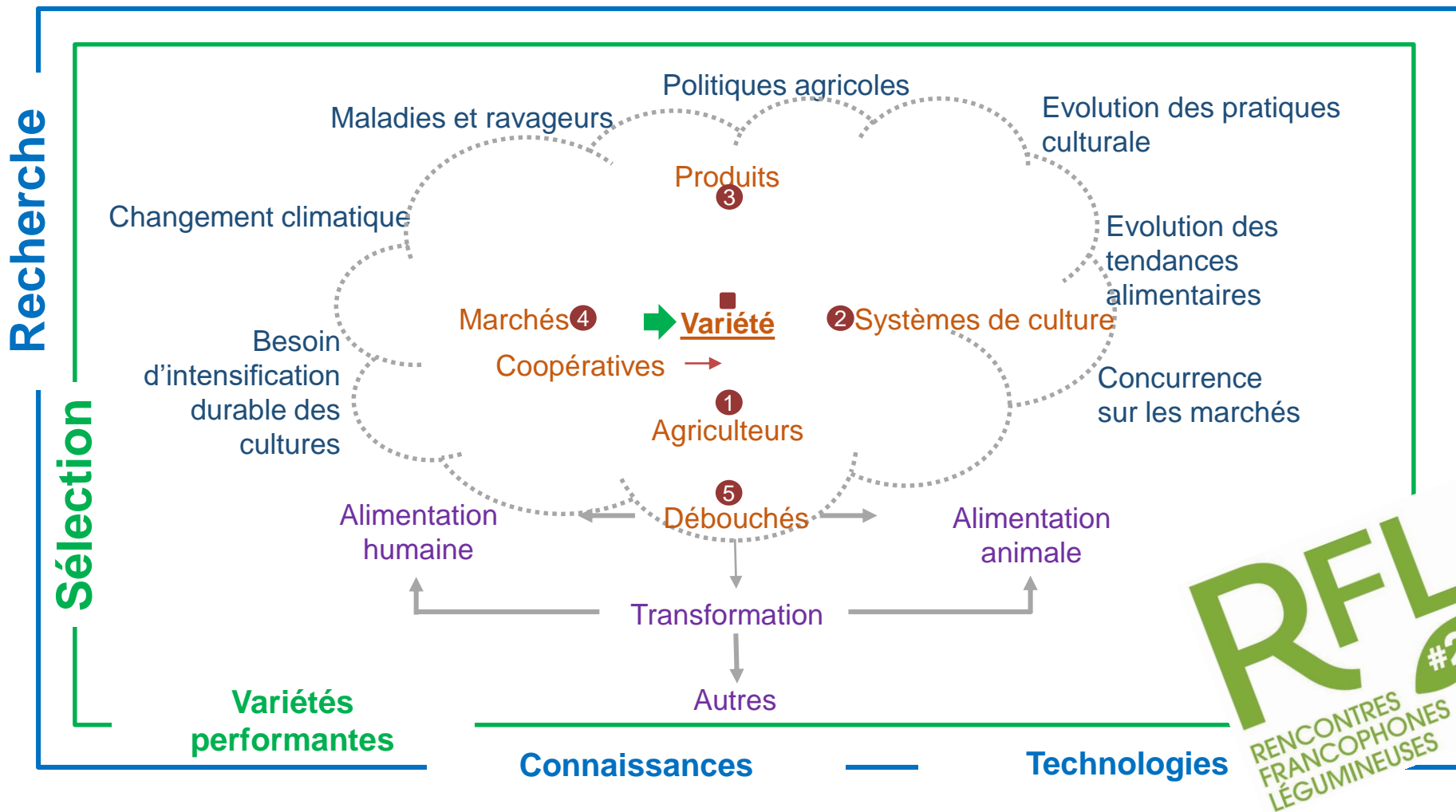


# Conclusions





# Complexité de la question de progrès génétique



**Progrès en sélection = f(systeme de production, facteurs influents, valorisation espérée)**

# Mesures pour sécuriser le progrès génétique

❖ Implication effective du secteur privé dans la filière semences

❖ Programmes de recherche (translationnelle)

❖ Programmes de sélection participative accompagnés par la recherche

❖ Exploitation efficace des ressources génétiques

❖ Accès aux technologies et au moléculaire

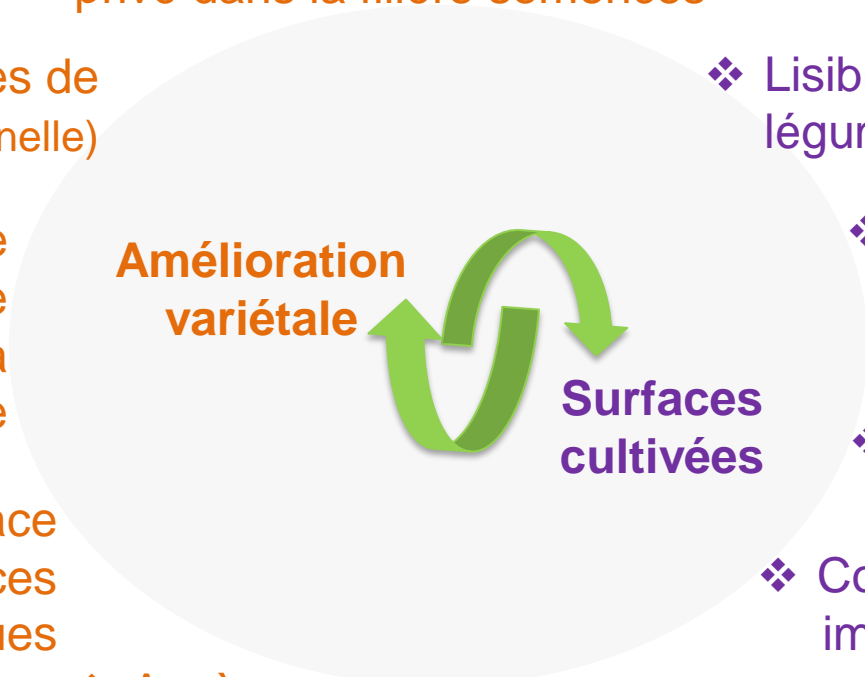
❖ Utilisation des semences certifiées

❖ Lisibilité des espèces légumineuses

❖ Maîtrise des techniques de production

❖ Mise en place de cartes variétales

❖ Contrôle des importations



❖ Incitations et Aides régulières des politiques pour la filière légumineuses

❖ Gouvernance partenariale, globale et/ou territoriale des filières



# Mesures pour améliorer le secteur semencier

## Contextes marginaux

- Réglementation du secteur des semences paysannes/variétés locales
- Etablissement de « catalogues » pour les variétés locales
- Communication des caractéristiques des variétés disponibles
- Implication effective des agriculteurs en tant qu'acteurs dans la filière

## Contextes favorables

- Transfert rapide des variétés inscrites vers les agriculteurs
- Recours aux ressources génétiques et aux connaissances s'y rattachant
- Etablissement d'un catalogue Nord-Africain pour les légumineuses à graines et fourragères



# Ingrédients pour un progrès génétique réussi

<b>P</b>	A	R	T	A	G	E														
<b>R</b>	E	S	S	O	U	R	C	E	S											
<b>O</b>	R	G	A	N	I	S	A	T	I	O	N									
<b>G</b>	E	N	E	T	I	Q	U	E												
<b>R</b>	E	C	H	E	R	C	H	E												
<b>E</b>	V	A	L	U	A	T	I	O	N											
<b>S</b>	T	R	A	T	E	G	I	E												



# Remerciements

## Maroc



Omar Idrissi (INRA Maroc)  
Houasli Chafika (INRA Maroc)  
Aziz Bensejjay (ONSSA Maroc)  
Rachid Mentag (INRA Maroc)  
Asmae Hamzaoui (DDFP, MAPM, Maroc)  
Ali Sahri (Banque de gènes Settat, Maroc)  
Mustapha Arbaoui (IAV Hassan II)

## Tunisie



Moez Amri (ICARDA, Tunisie)

## Algérie



Hadi Maatougui (ICARDA, Algérie)  
Omar Zaghouane (ITGC, Algérie)

## France



Gerard Duc (INRA Dijon, France)

Julien Bouffartigue (GNIS, France)  
Bernadette Julier (INRA Lusignan, France)  
Philippe Declerck (RAGT, France)  
Nathalie Harzic (Jouffray-Drillaud, France)  
Bernard Tharel (Barenburg recherches, France)





13-17 May, 2019 - Dijon, France



Call for **abstracts**  
and **registration**  
**OPEN NOW**

Abstract and Early bird deadline:  
**January 11<sup>th</sup>, 2019**

**FOR THE PEOPLE  
AND THE PLANET**

**HARNESSING THE POTENTIAL  
OF LEGUMES**

Genomes & Functional Genomics  
Seed biology and quality  
Plant development and signalling  
Genomics for agro-ecological services  
Biotic and Abiotic stress resistance  
Genome-enabled breeding  
Legume diversity  
Symbioses

International Conference  
on **Legume** Genetics  
and Genomics  
13-17 May - 2019, Dijon, France

● [iclgg2019.com](http://iclgg2019.com)

● [twitter/iclgg](https://twitter.com/iclgg)

