



# Voies de progrès génétique pour les légumineuses en Europe et en Afrique du Nord

Lamiae Ghaouti,  
Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Maroc



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

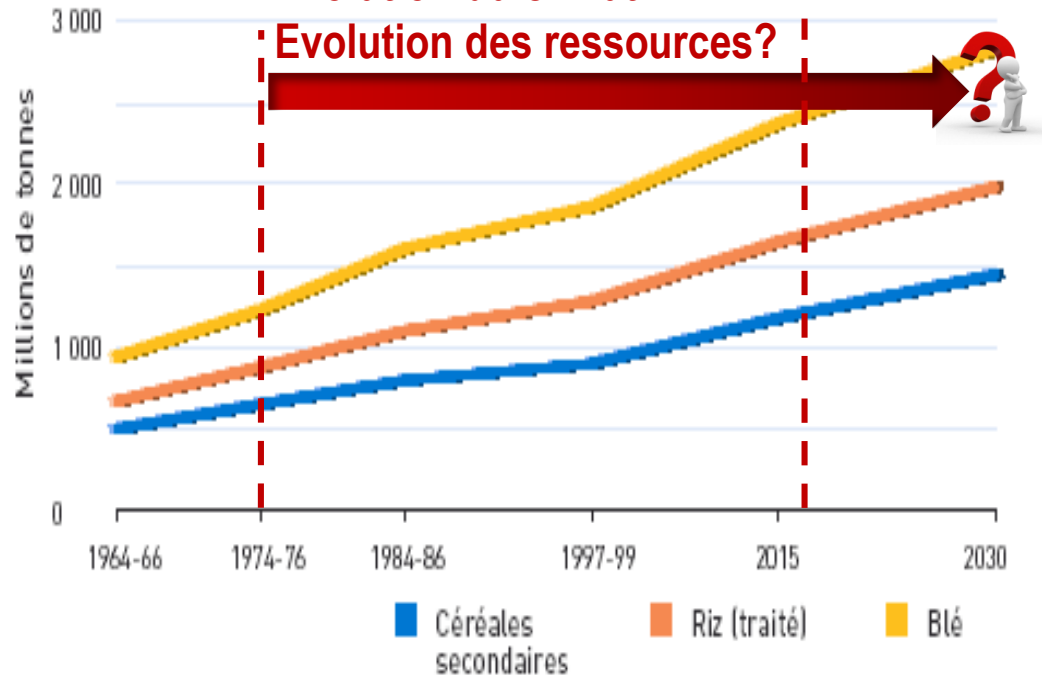
# Révolution verte

## Agriculture intensive

Modèle  
d'agriculture

Evolution du climat?

Evolution des ressources?



Modèle:  
Linéaire

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

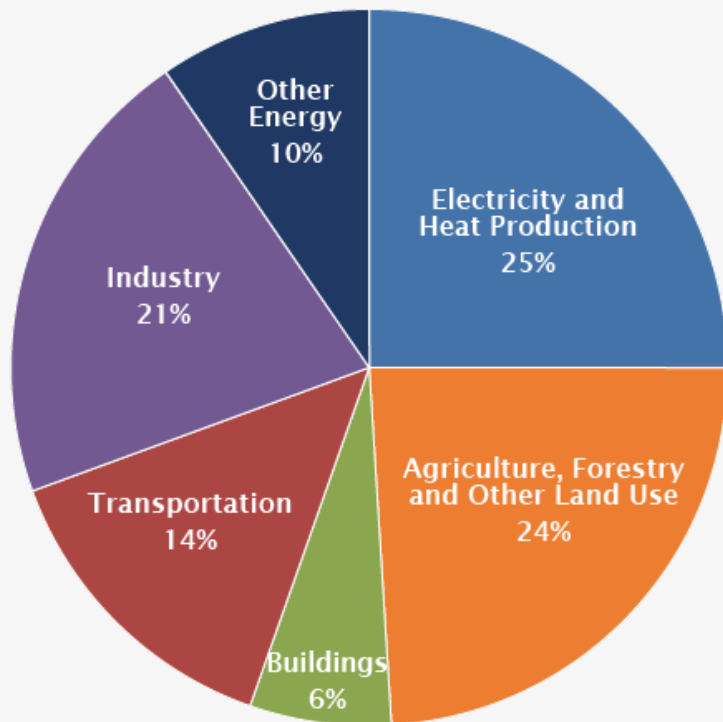
Hypothèse:  
Ressources naturelles illimitées  
Avancées scientifiques illimitées

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



## Changement climatique

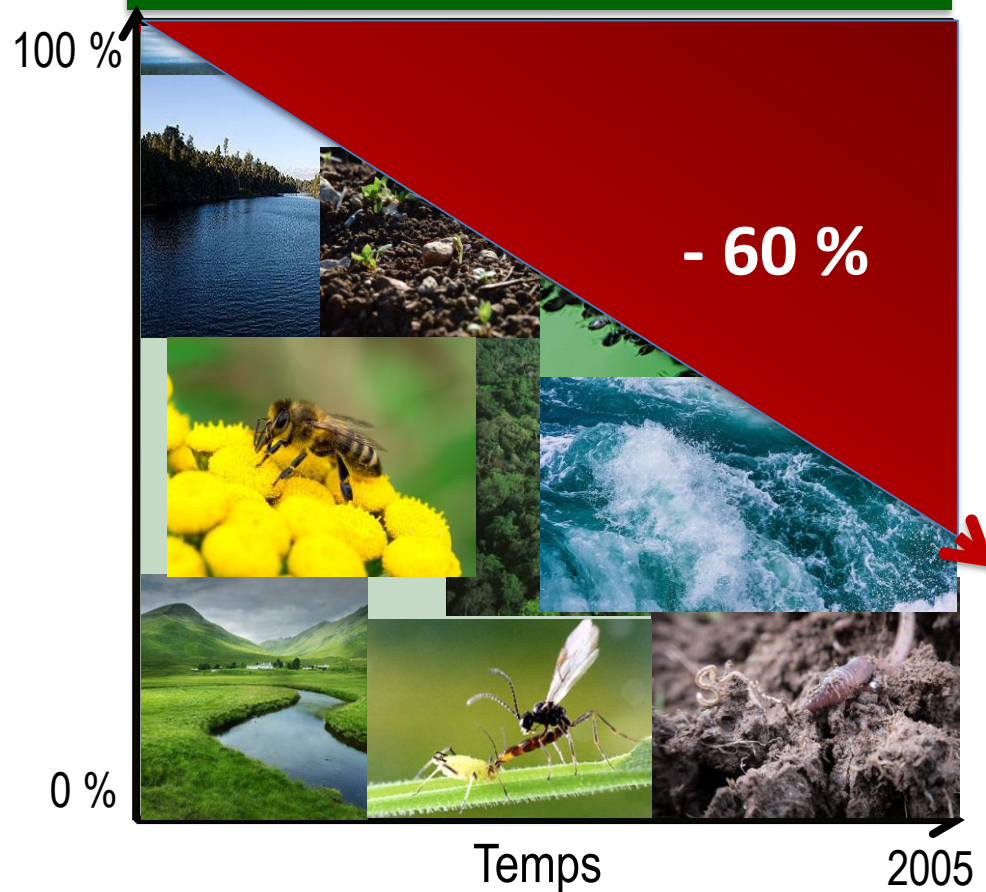
Global Greenhouse Gas Emissions  
by Economic Sector



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

Services fournis par les écosystèmes



Source: Rapport de synthèse de l'Évaluation des Écosystèmes 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**





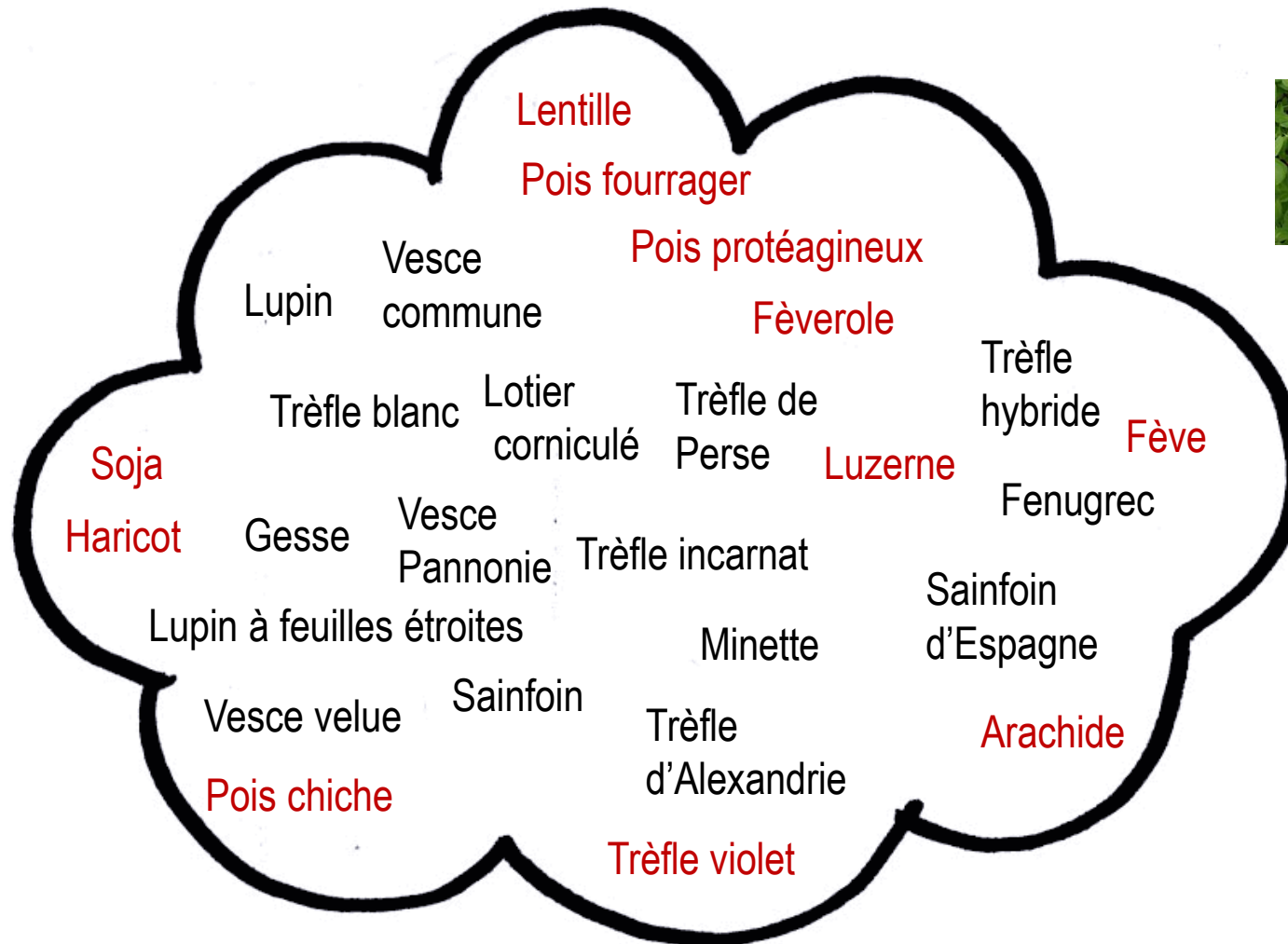
# Légumineuses

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)

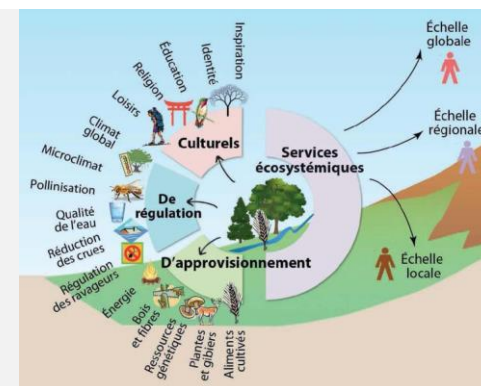
Légumineuse en précédent	Pois		Soja		
Culture suivante	Blé	Colza <sup>c</sup>	Maïs <sup>e</sup>	Blé <sup>f</sup>	Blé dur <sup>g</sup>
Gain moyen de rendement de la culture suivante	+ 7,4 q/ha (de + 6 à + 12) par rapport à un précédent céréale <sup>a</sup>	de 0 à + 3 q/ha par rapport à un précédent orge	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

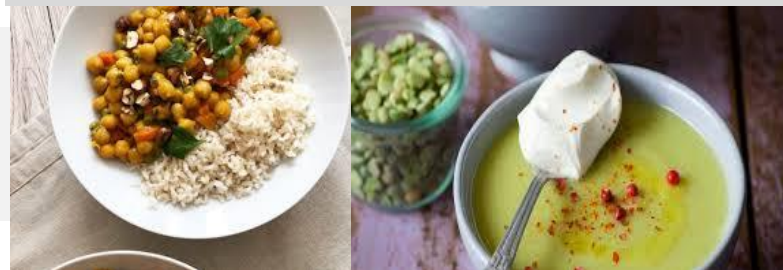


+ Riche en protéine et en fibres alimentaires.

+ 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 antoitrpsyque):  
diminution de la digestibilité des protéines

## Source de protéine végétale

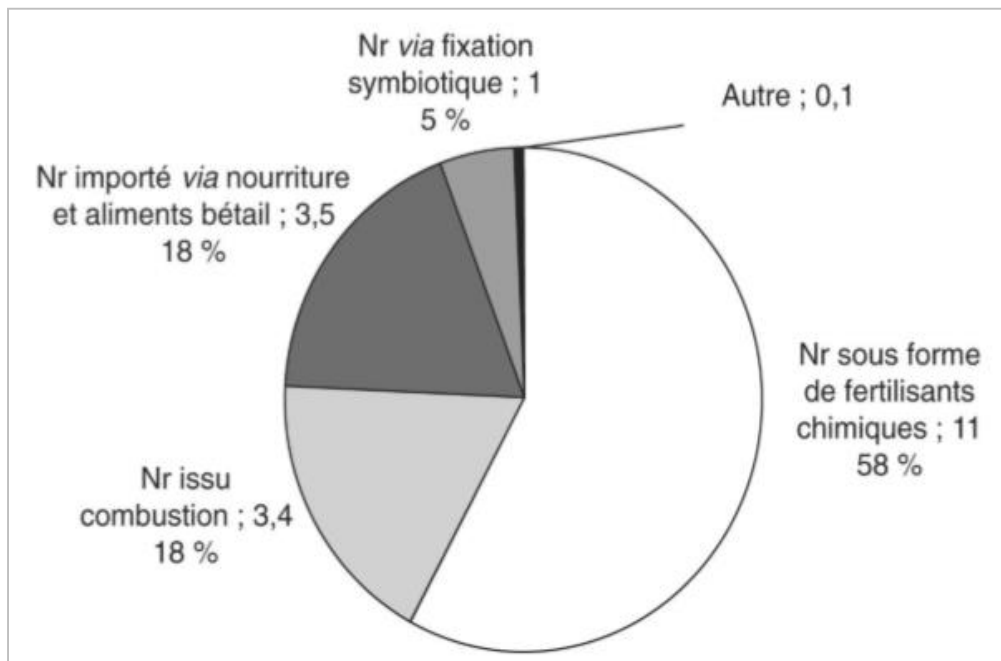
➡ Nutrition animale équilibrée





# 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%)



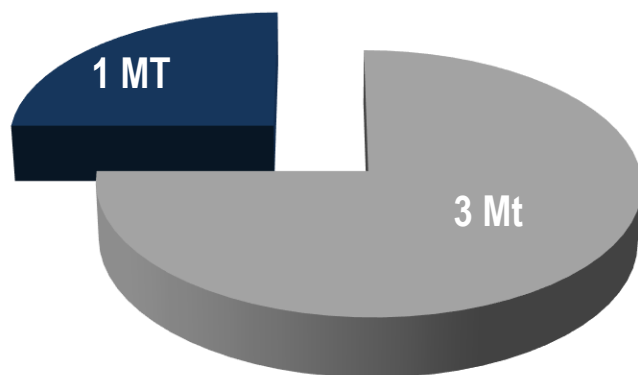
# Position des légumineuses



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

## Europe 27

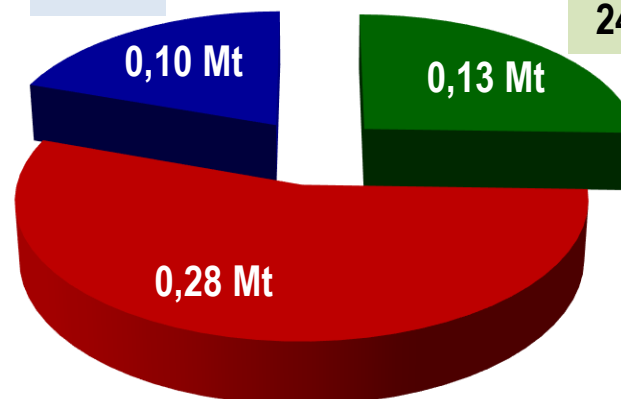
25 %



■ Autres pays EU;27  
■ France

## Afrique du Nord

18 %



58 %

24 %

■ Algeria  
■ Morocco  
■ Tunisia



# Position des légumineuses

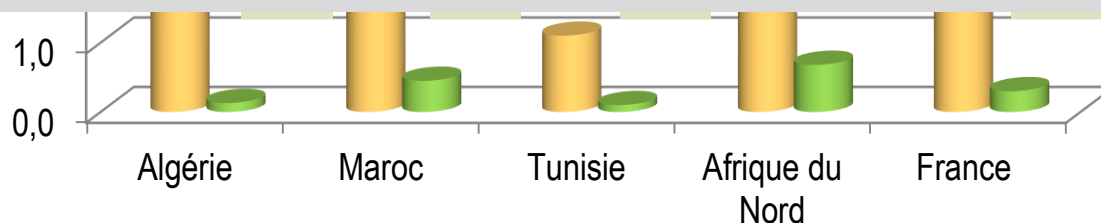
Superficie (million ha) des céréales et des légumineuses à graine 2010-2016; FAO 2018

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

Rendement (dt/ ha)

80,00

70,00

60,00

50,00

Gap de rendement/ céréales %

➡ 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

30,00

35%

52%

36%

41%

20,00

10,00

0,00

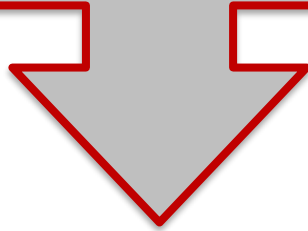
Algérie

Maroc

Tunisie

Afrique du  
Nord

France

- 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

**Public**

- Banque de gène de Settat,  
INRA Maroc  
- ICARDA

Banque de gènes

**Secteur formel**

**Public**

Recherche

INRA Maroc  
Universités, IAV

Améliorateurs

**Public**

**National:**  
INRA Maroc

**Etranger:**  
- Entreprises étrangères de création  
variétale

**Privé  
étranger**

**Public**

ONSSA  
(ISTA, OCDE,  
UE...)

Inscription variétale

Production de semences et  
Distribution

**Public**

**Privé  
national / étranger**

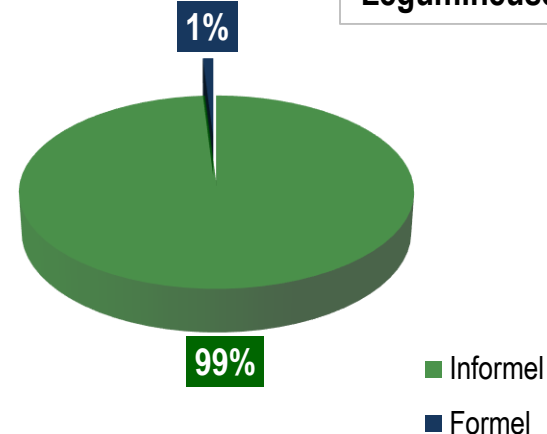
**National:**

- SONACOS (semi-publique)  
- Sociétés privés de distribution

**Etranger:**

- Entreprises étrangères de création  
variétale

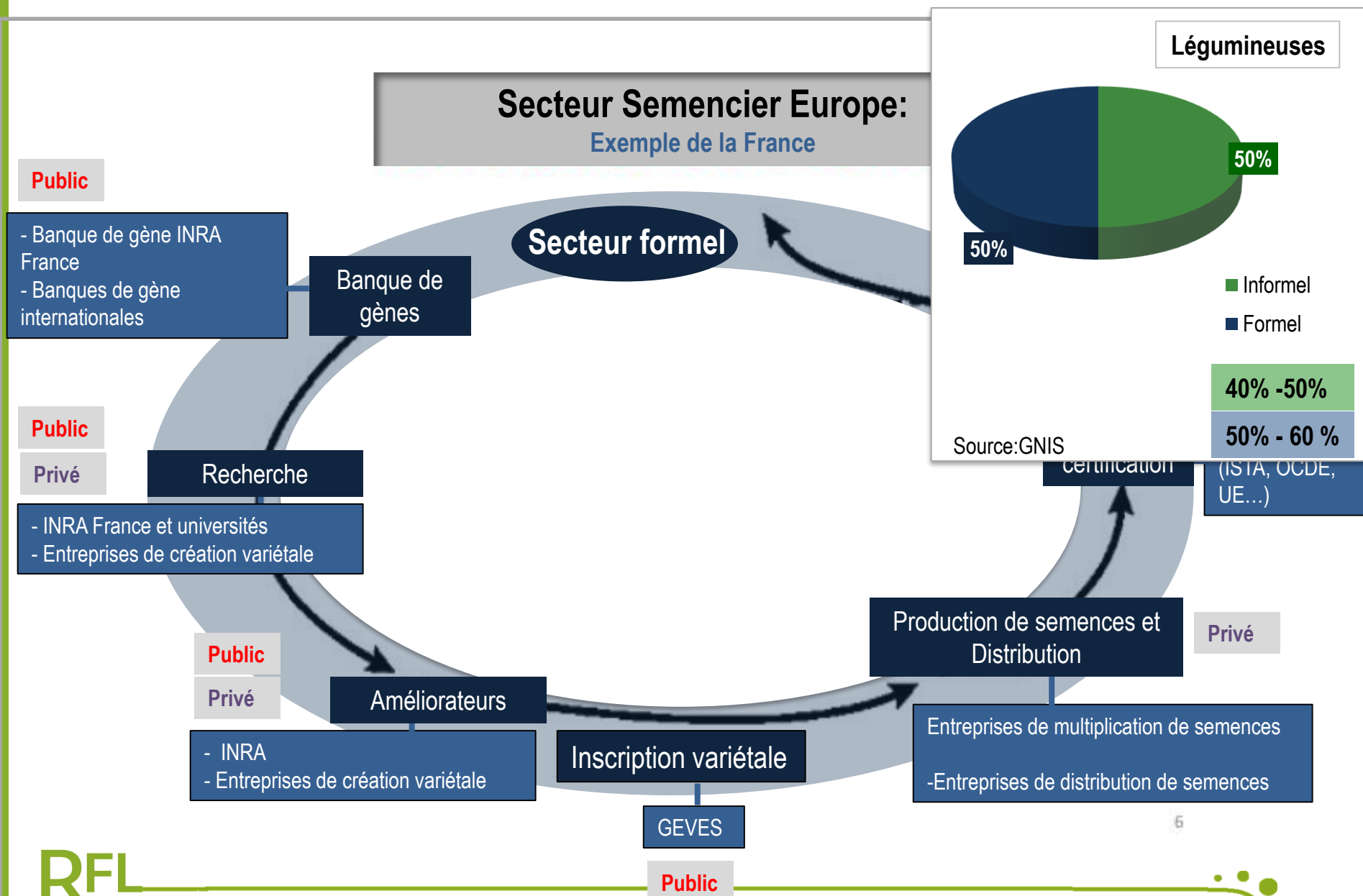
**Légumineuses**



95% - 99%

1% - 5 %

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

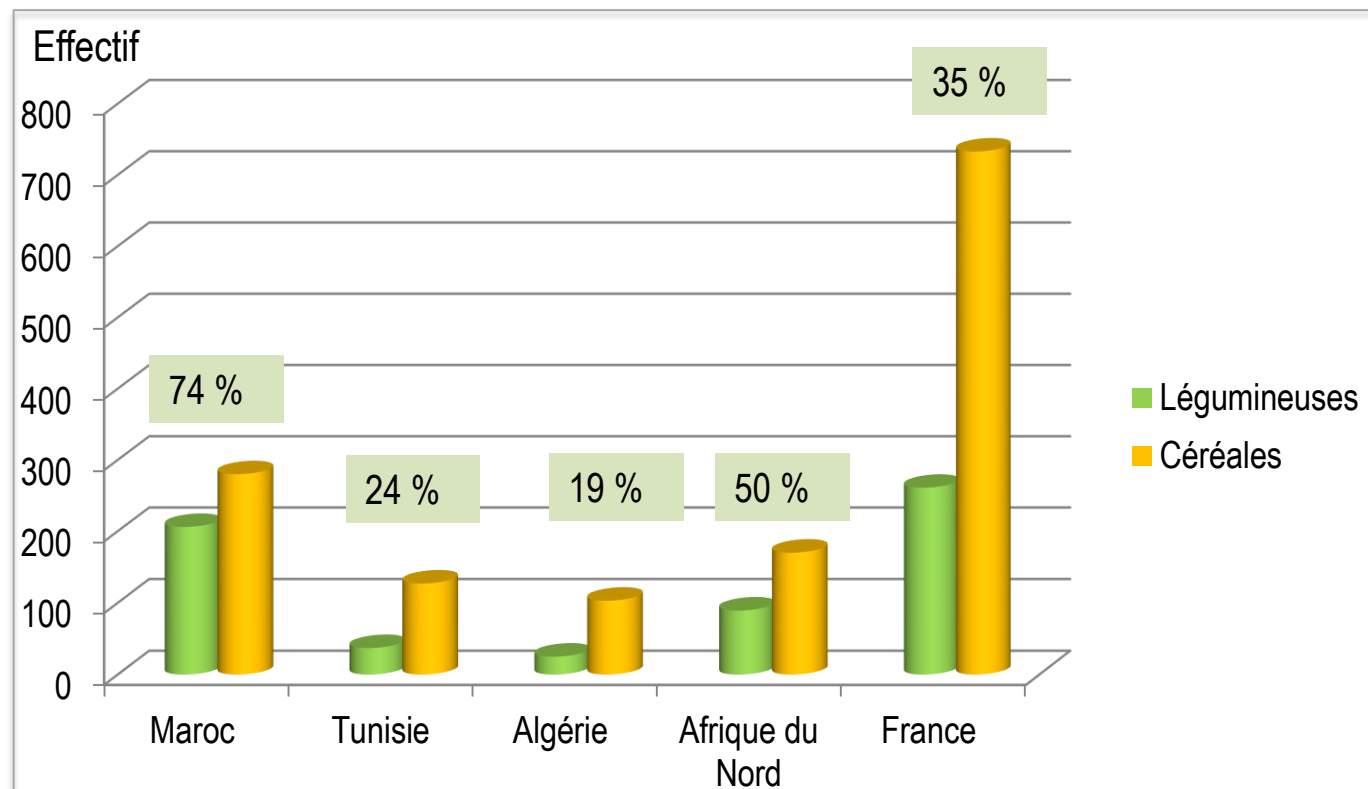


## Inscription variétale

## 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

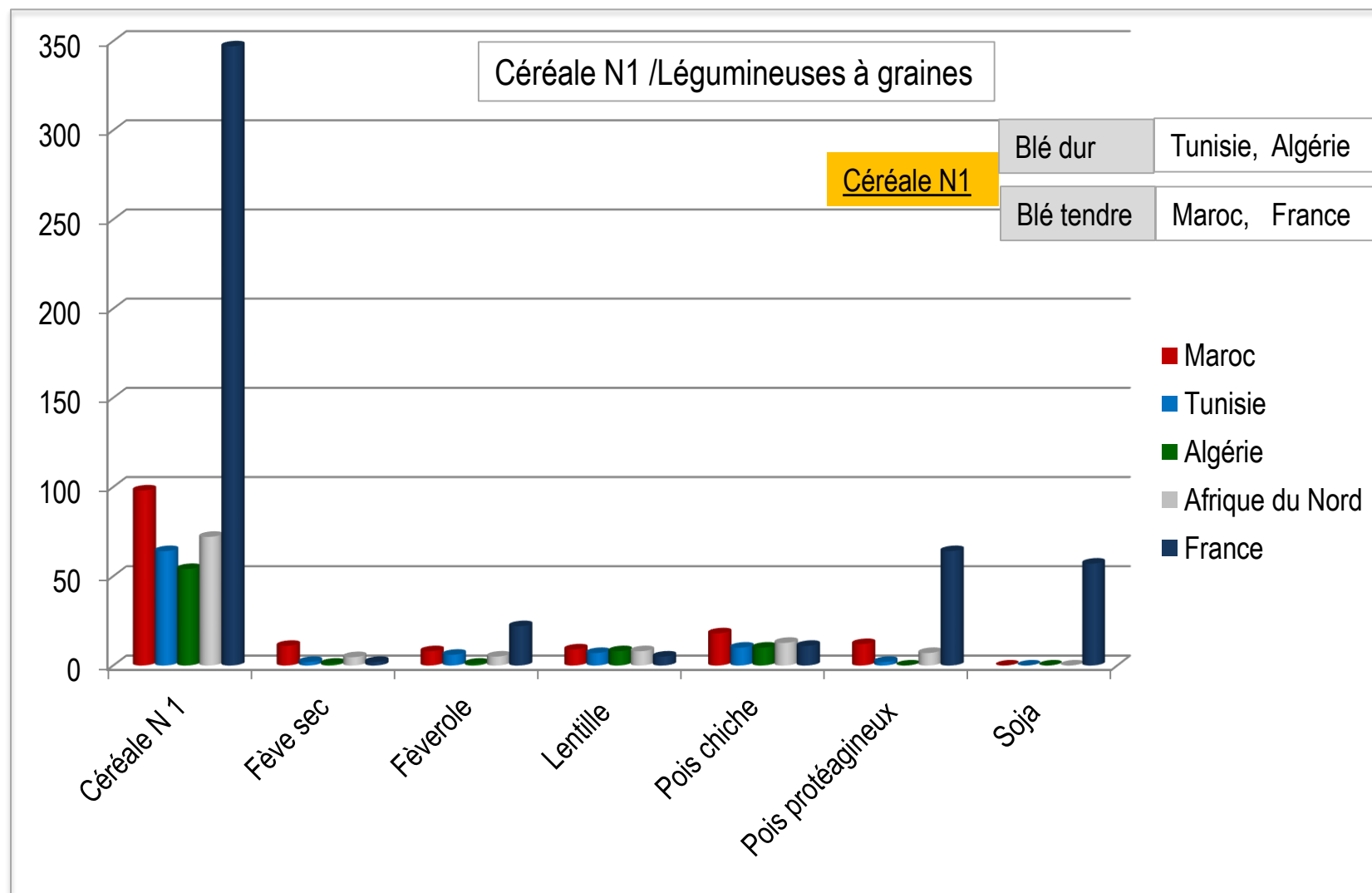
Effectif des variétés inscrites au catalogue officiel en Afrique du Nord et en France (1980-2017)





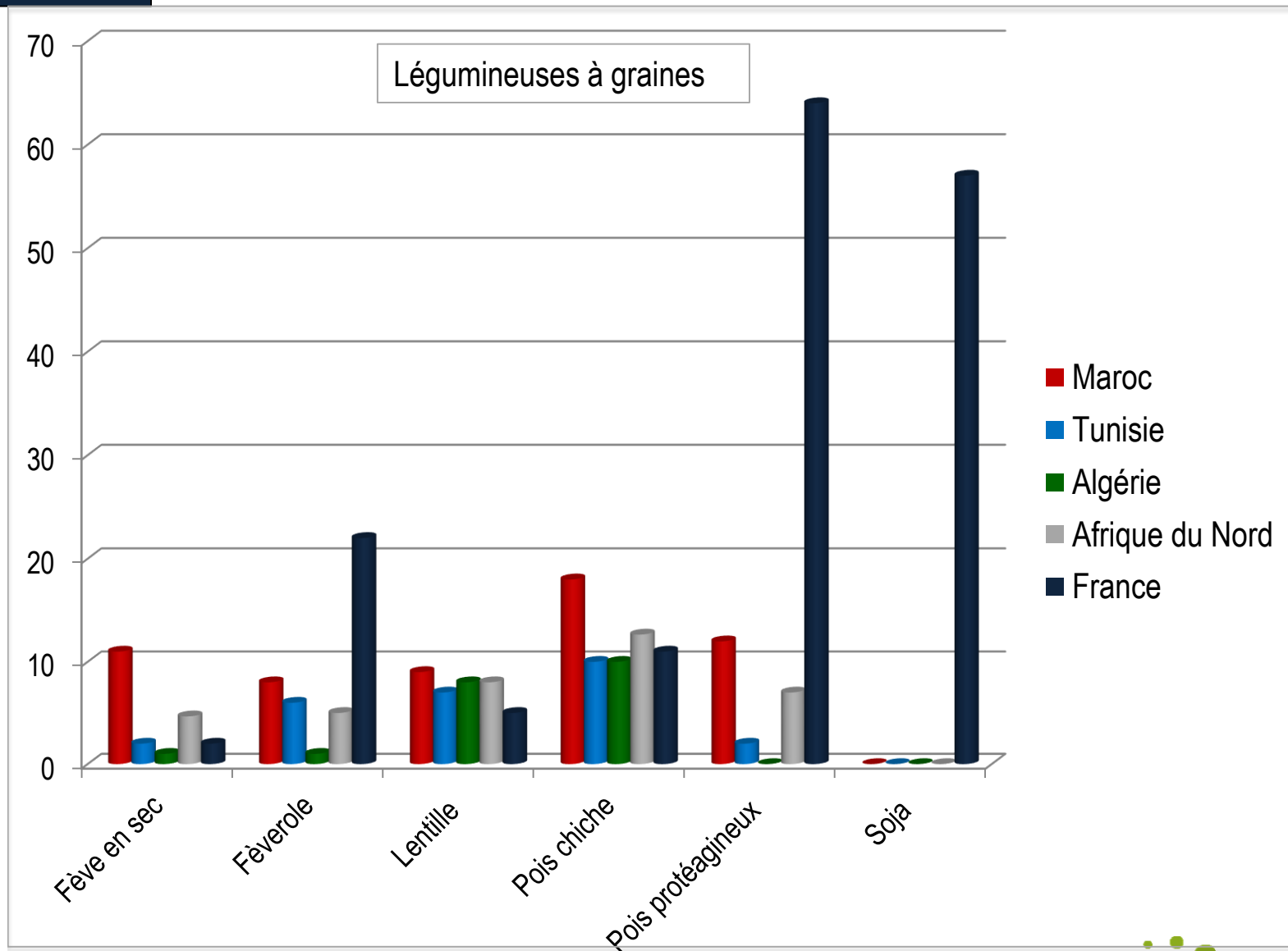
## Inscription variétale

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



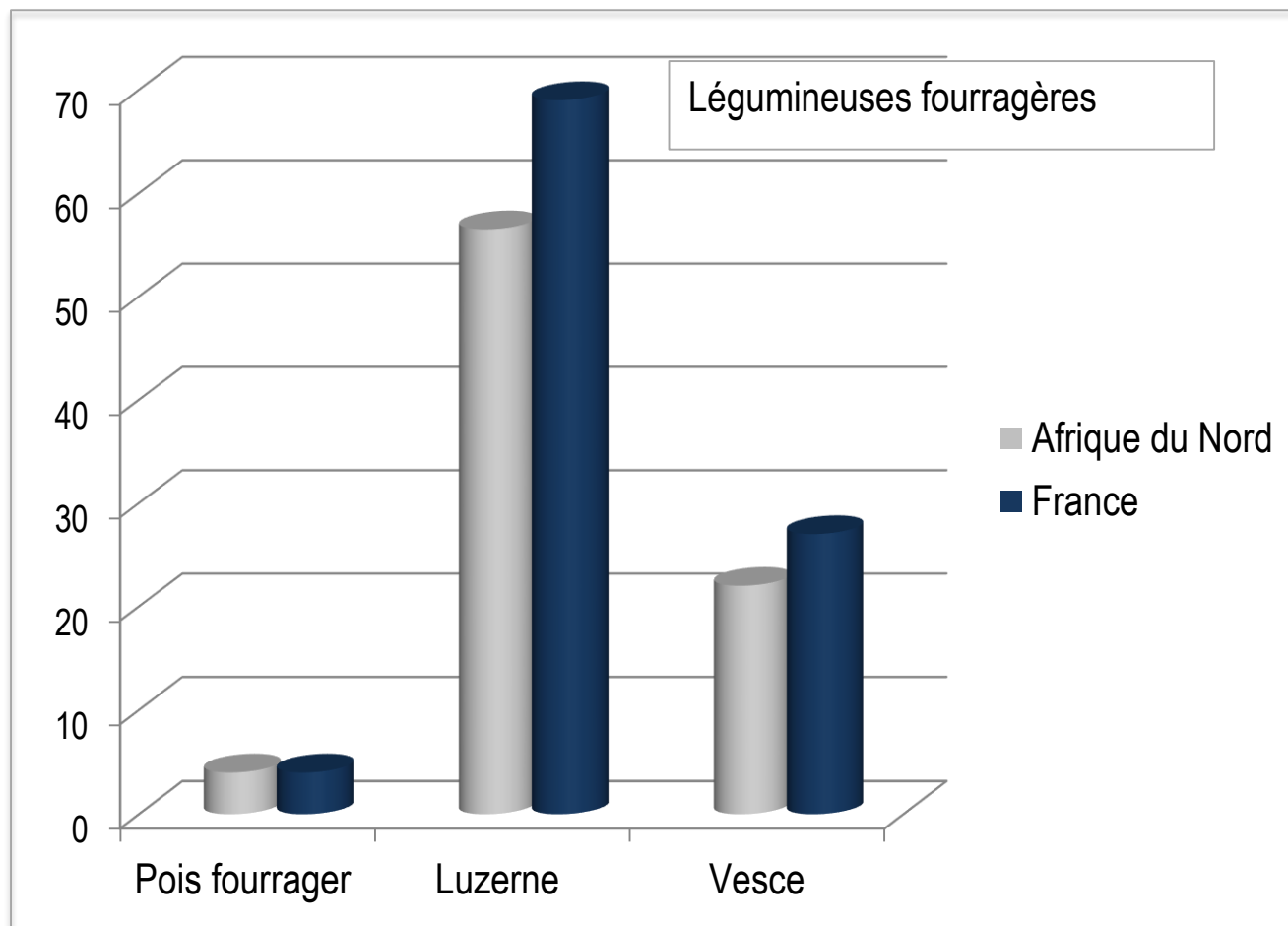
## Inscription variétale

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



## Inscription variétale

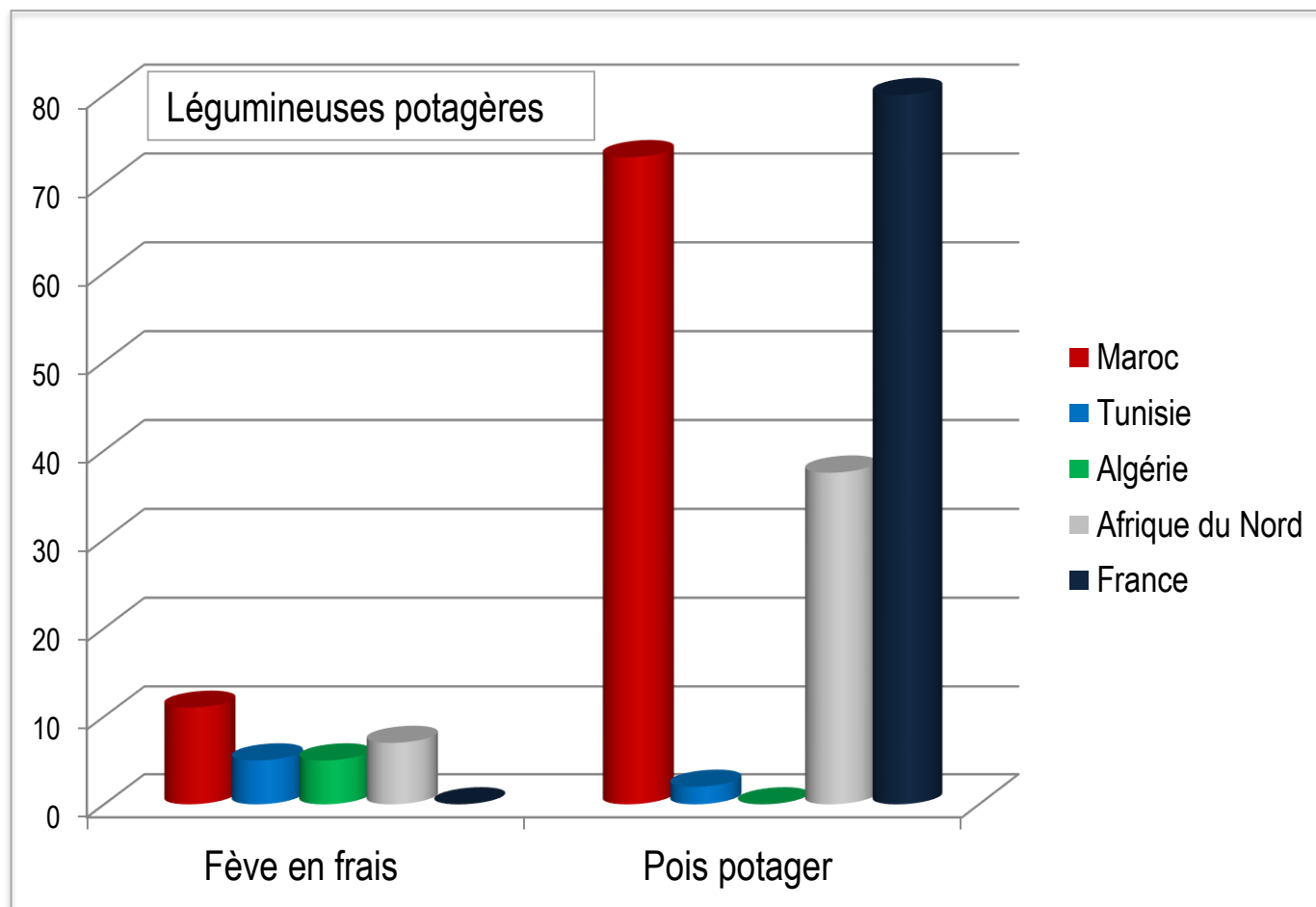
Effectif des inscriptions variétales en Afrique du Nord et en France





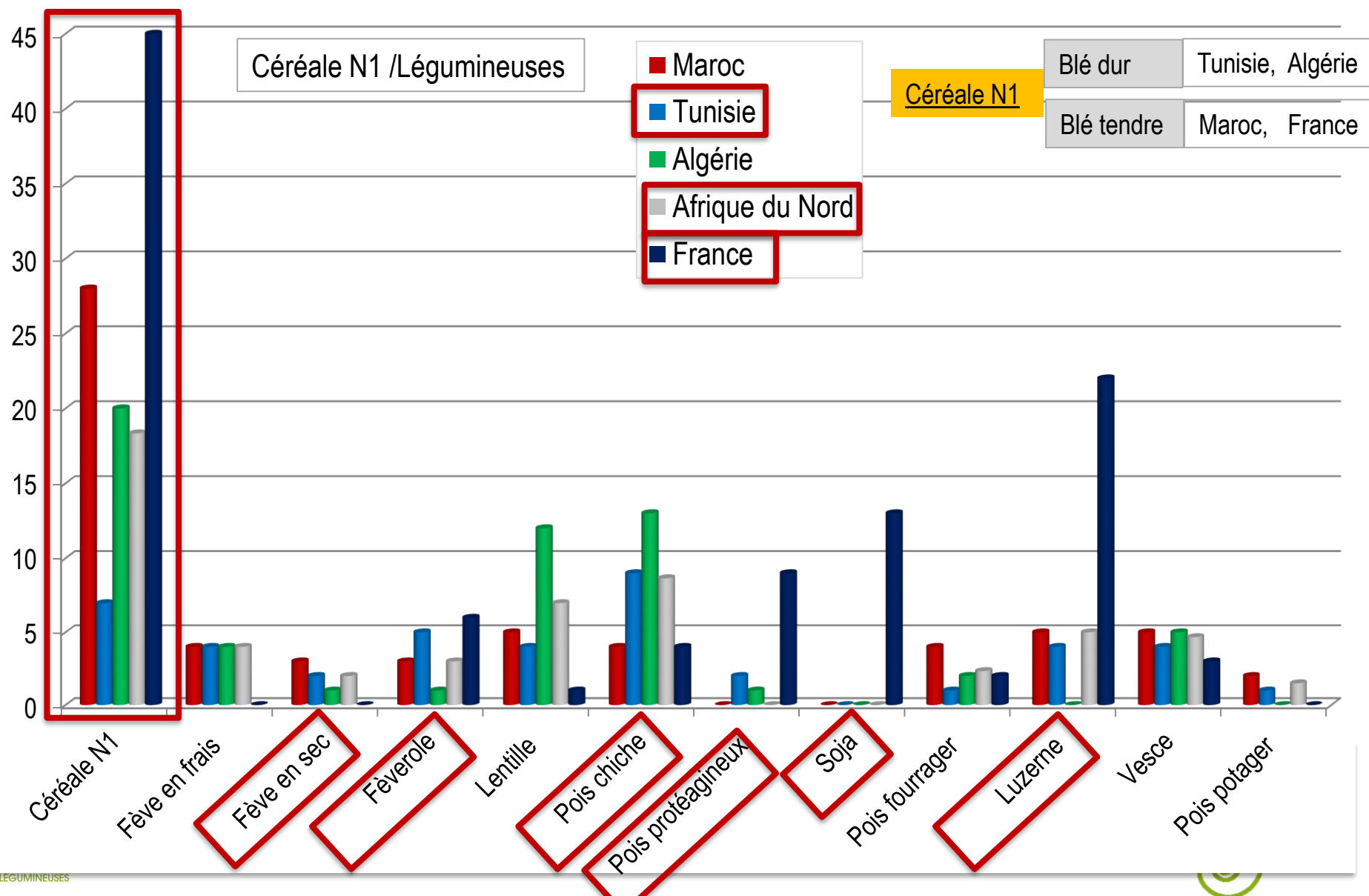
## Inscription variétale

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

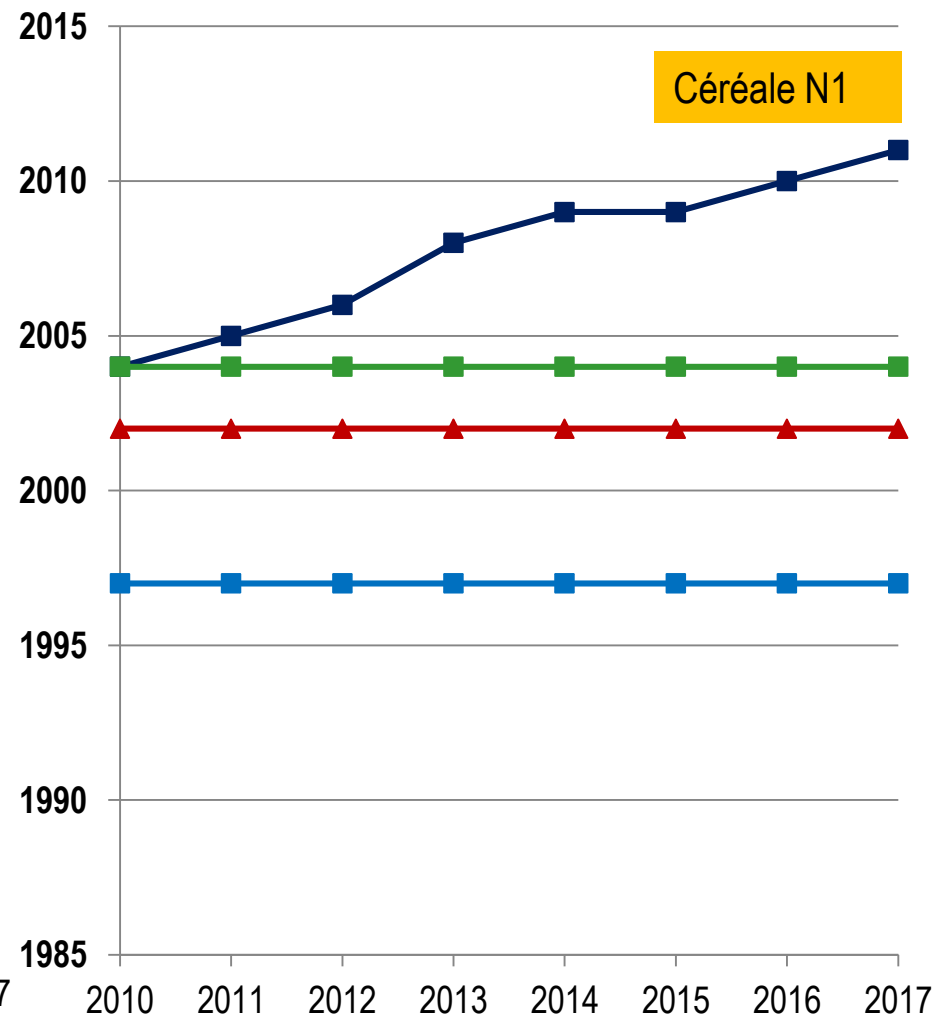
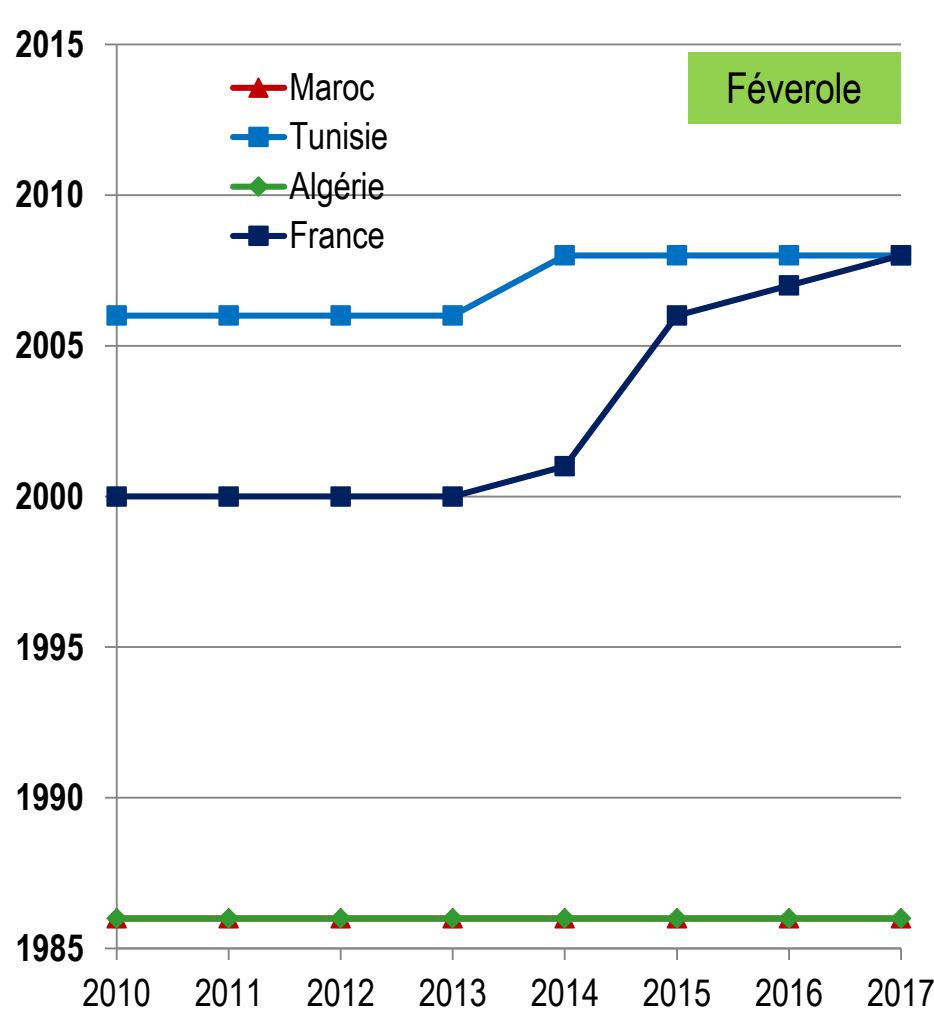
Blé dur

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 locale

Variété 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

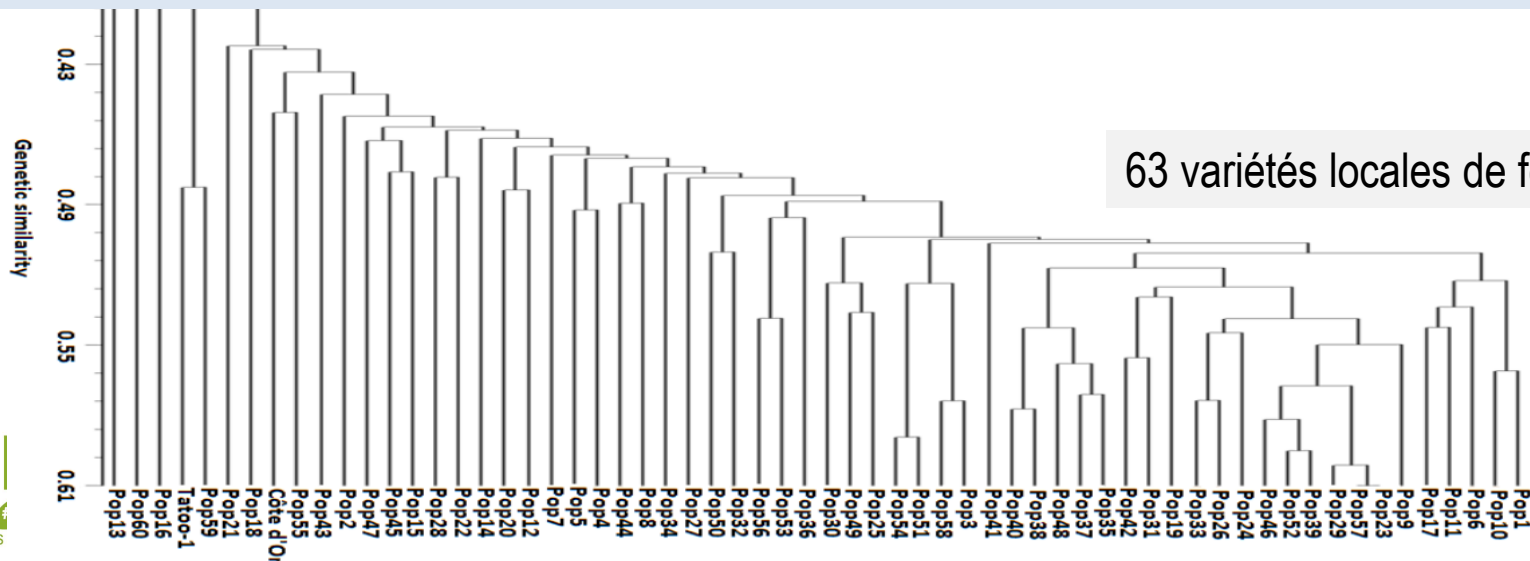
### Diversité intraspécifique

### 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.



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





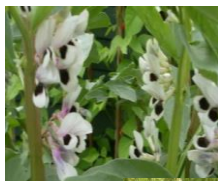
## 2. Diversité Génétique des Légumineuses

### 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



Nom de la banque	Banque de gènes du CRRA de Settât	
Date de création	2003	
Effectifs		
Nombre total d'accessions	66000 accessions	
Nombre total d'accession de céréales	54789 accessions	
Nombre total d'accession de légumineuses	6949 accessions	10 %/ total
Nombre d'accession par espèce de légumineuse	Medicago : 3399 accessions	50 % /légumineuses
	Vicia : 1001 accessions	
	Lens : 695 accessions	14 % /légumineuses
	Cicer : 644 accessions	
	Trifolium : 516 accessions	
	Scorpiurus : 251 accessions	
	Lathyrus : 141 accessions	
	Astragalus : 141 accessions	
	Trigonella : 95 accessions	
	Lotus : 66 accessions	

## 2. Diversité Génétique des Légumineuses

Diversité intra-spécifique

Ressources génétiques *ex situ*

Afrique du Nord

Ex. Maroc



Banque de gènes du CRRA de Settat

Provenances	
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)
Demandes et destination	
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> <ul style="list-style-type: none"><li>- Lentilles : 107 accessions</li><li>- Pois chiches : 232 accessions</li><li>- Fèves : 101 accessions</li></ul>
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

#### Algérie

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

Origine:  
ICARDA

#### Tunisie

Pois chiche	Nour	2011
Féverole	Bachar	2003
Lentille	Siliana	2003



➡ 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'efficiencia 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

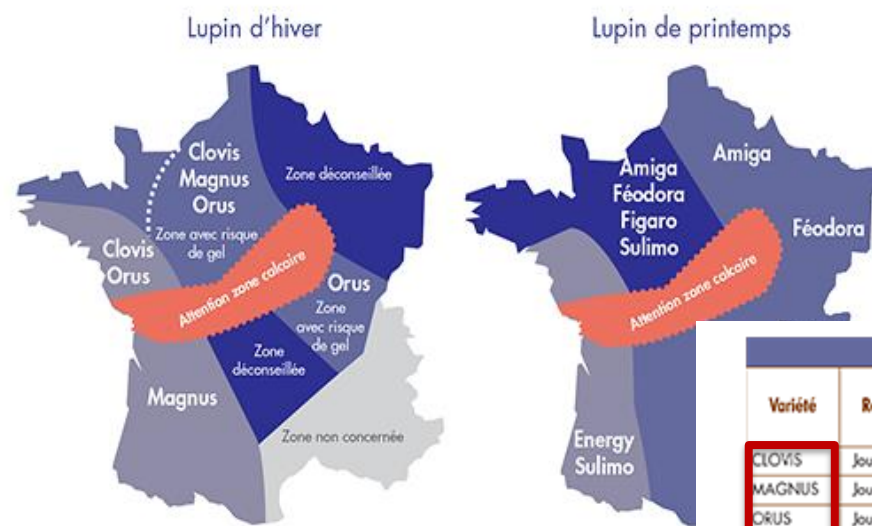
#### Systèmes agricoles favorables

#### 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	
FÉODORA	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	



#### 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

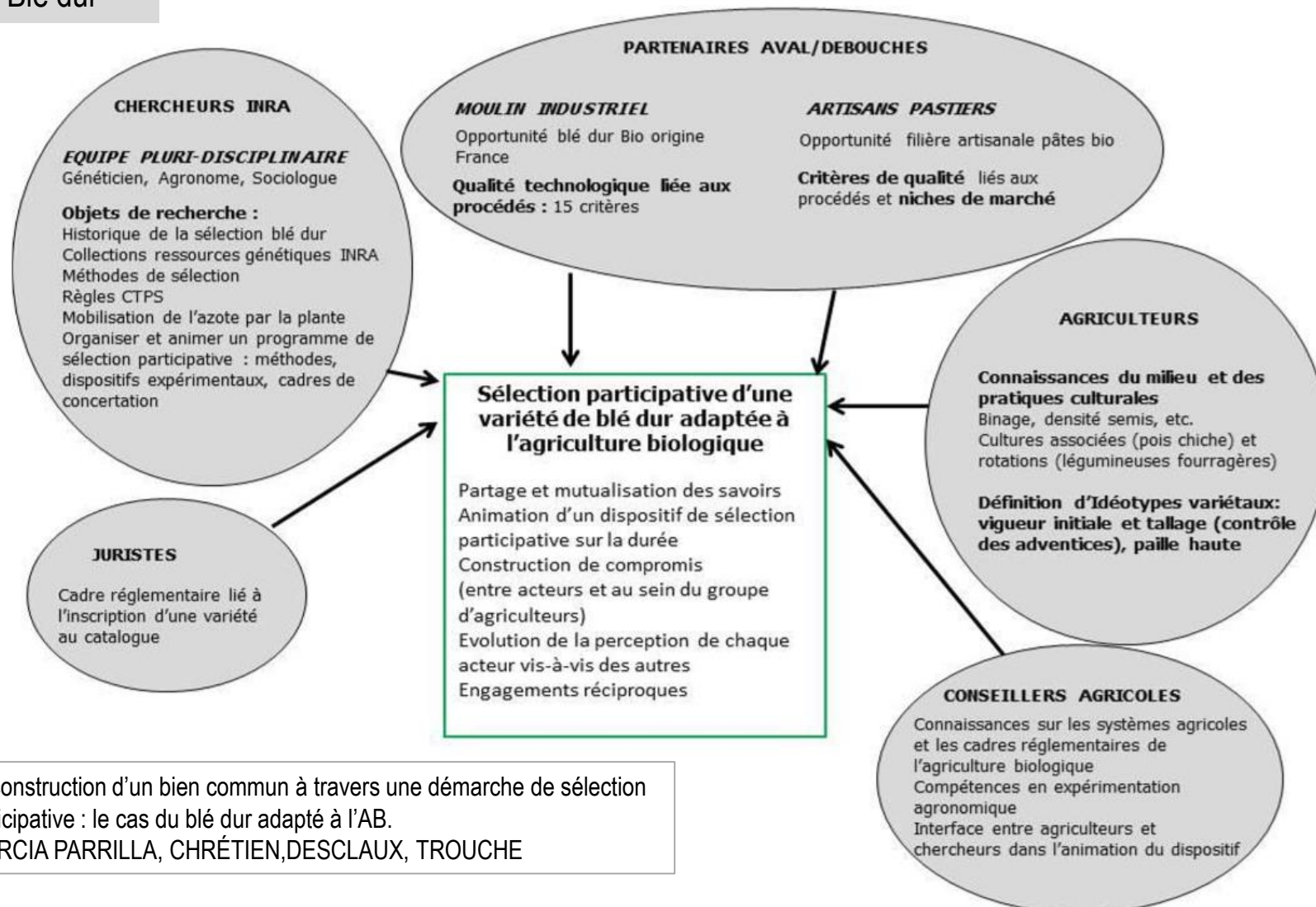


Figure 1 : Cartographie des acteurs du programme de sélection participative blé dur

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

IAV Hassan II



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

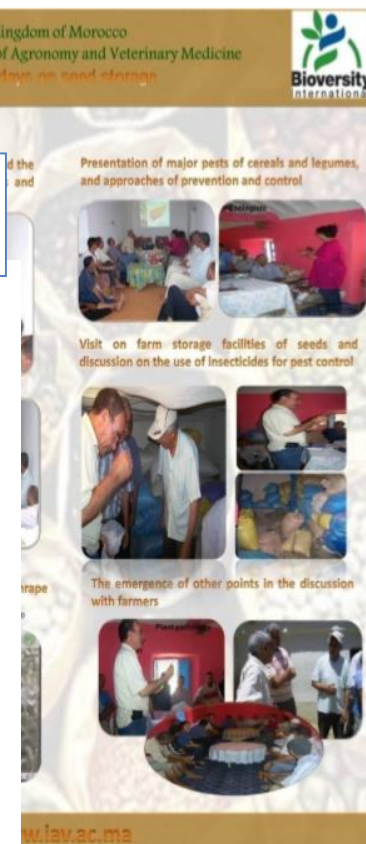
Production de DVDs sur l'importance de la biodiversité

Ateliers : Sélection participative chez la fève/féverole; Taounate

Version française



Version arabe



## **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



Niveau et stabilité de rendement

Qualité nutritionnelle (protéines, facteurs antinutritionnels, fibres)

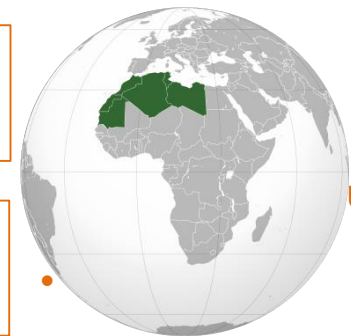
Résistance aux maladies et aux ravageurs

Résistance aux stress abiotiques

Développement racinaire et fixation d'azote

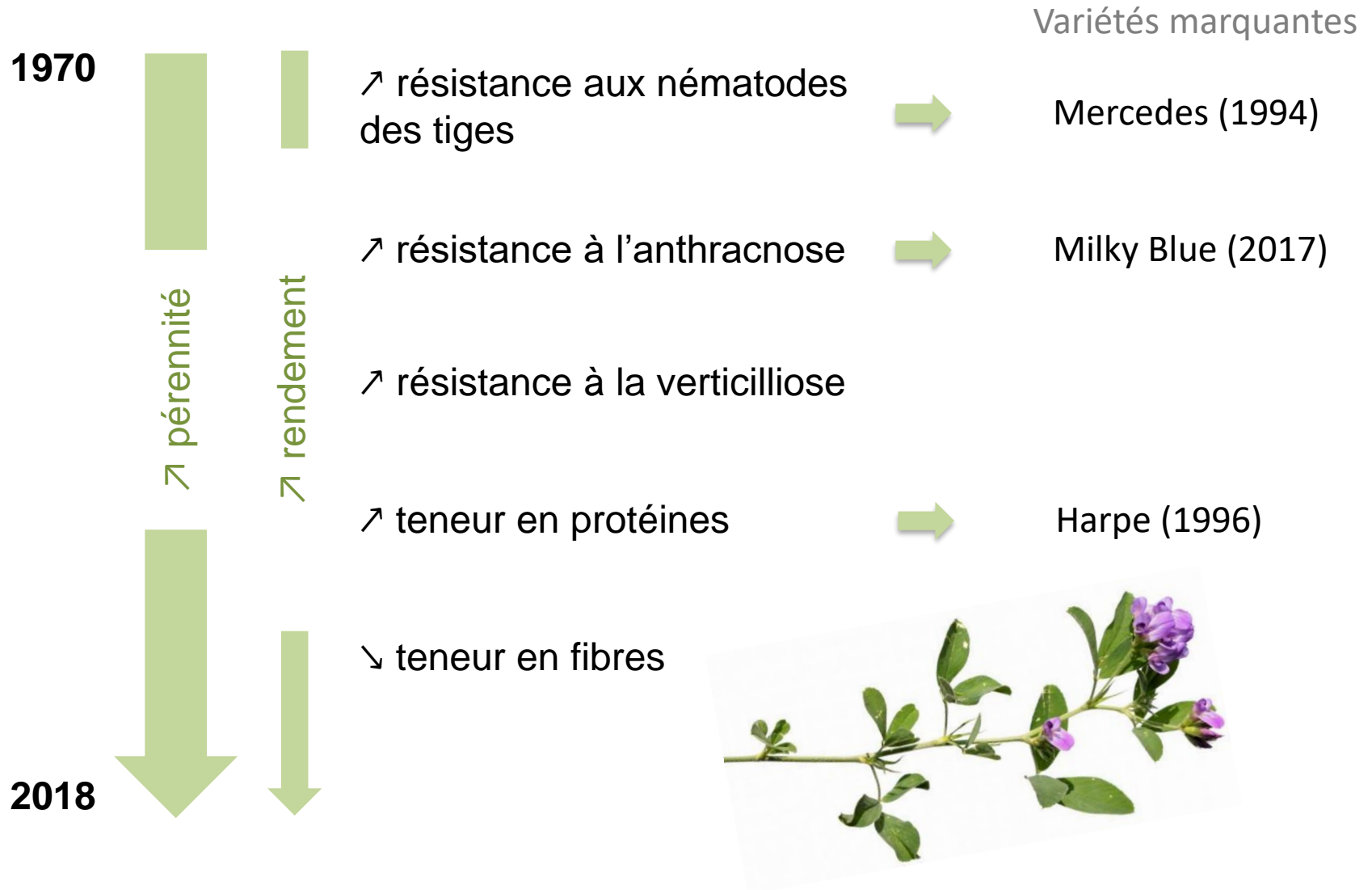
Adaptation aux systèmes de culture

## Légumineuses fourragères



ou pâturage

# L'amélioration de la luzerne en France



# 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

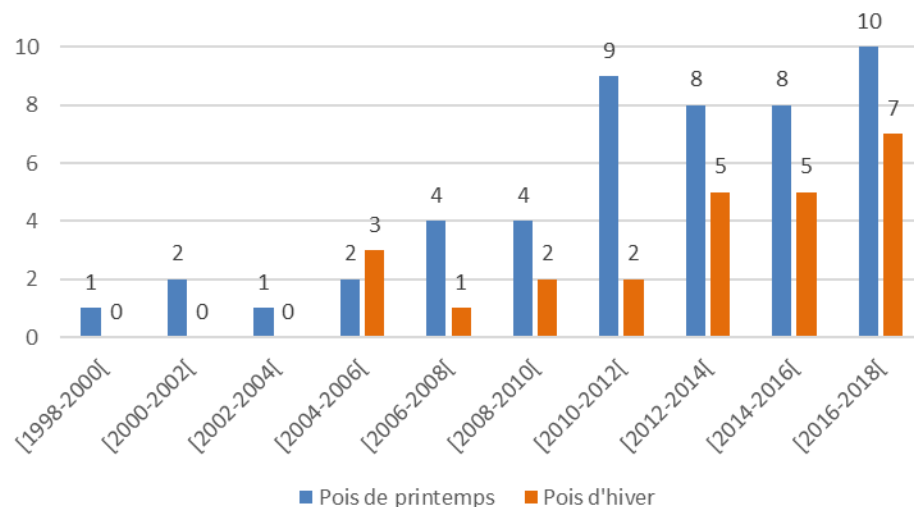
↘ taille des graines

↑ résistance au froid

2018



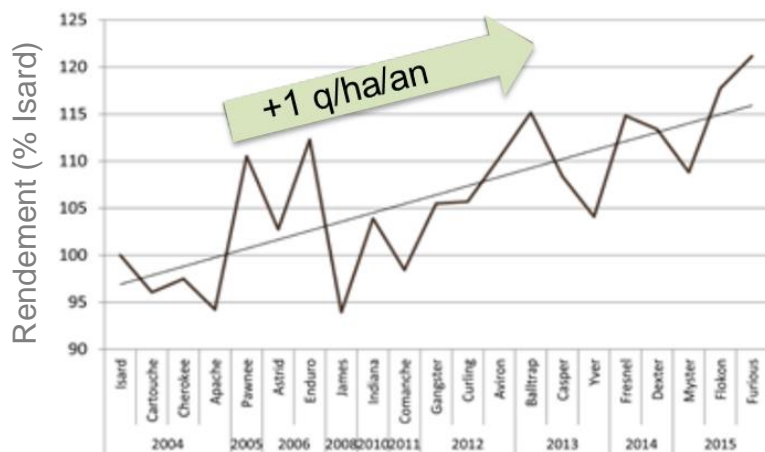
- Variété de pois à feuillage de type afila



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

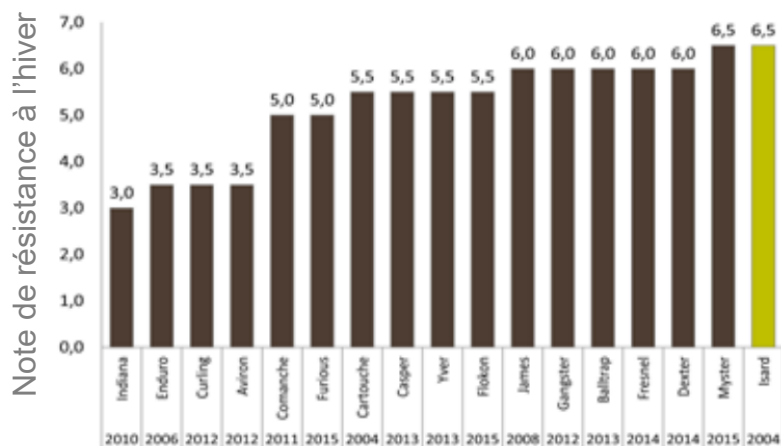


# Le progrès génétique en pois protéagineux d'hiver



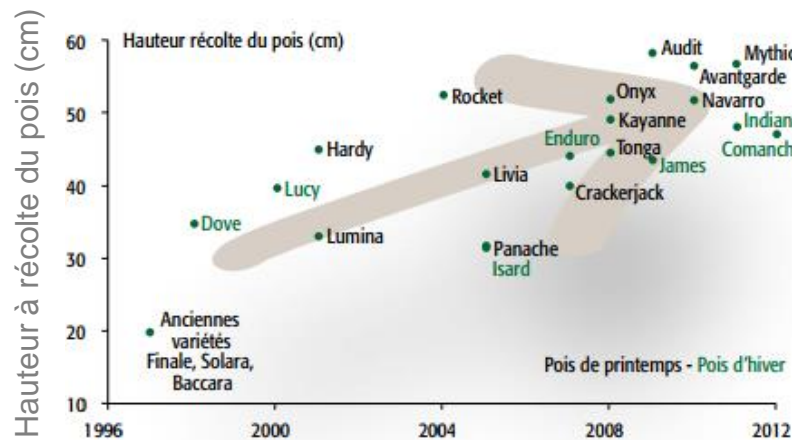
Variétés et années d'inscription

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



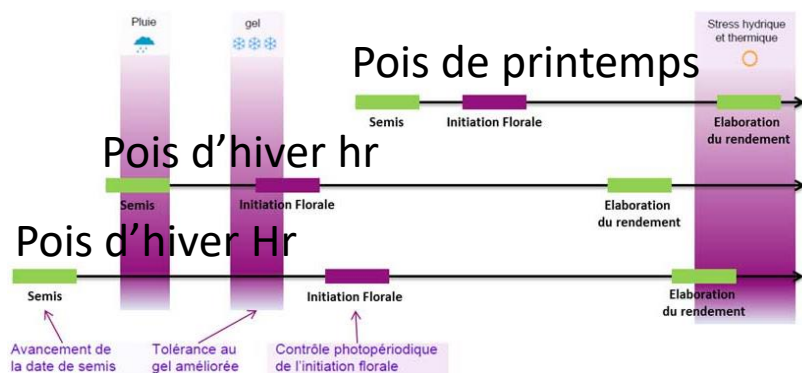
Variétés et années d'inscription

- 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

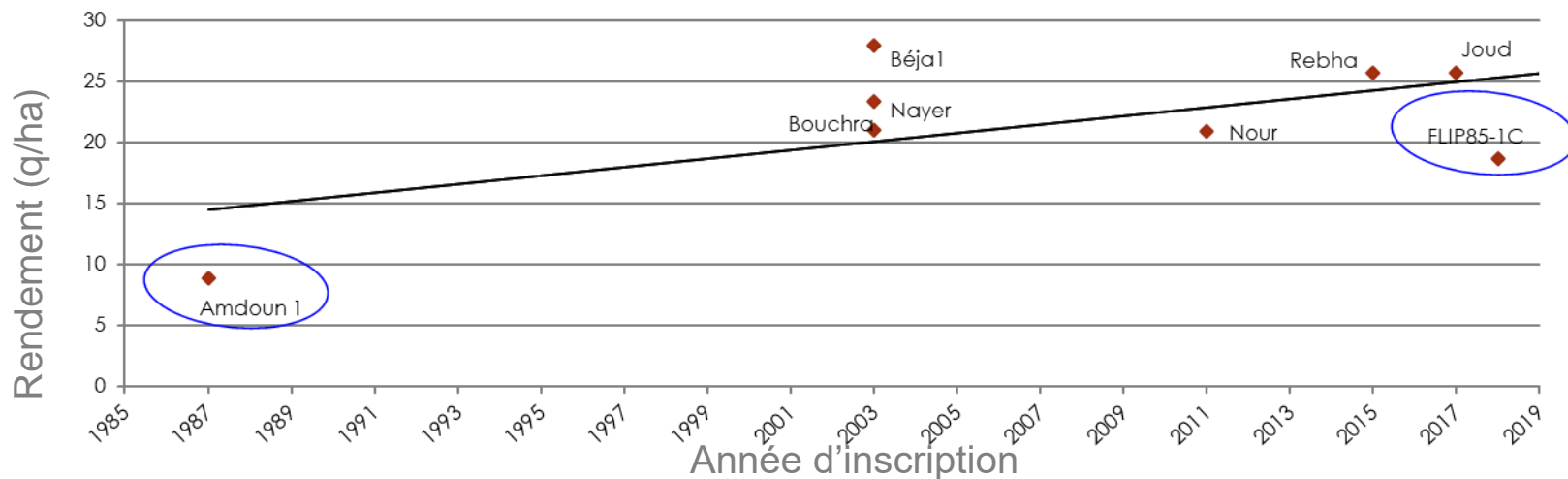
3 + 4 + 5

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

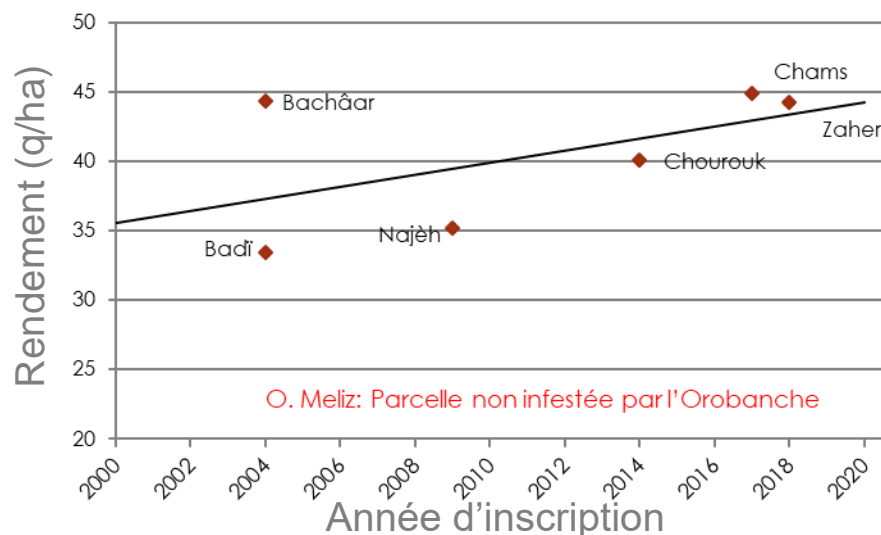
2 + 3 + 5

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

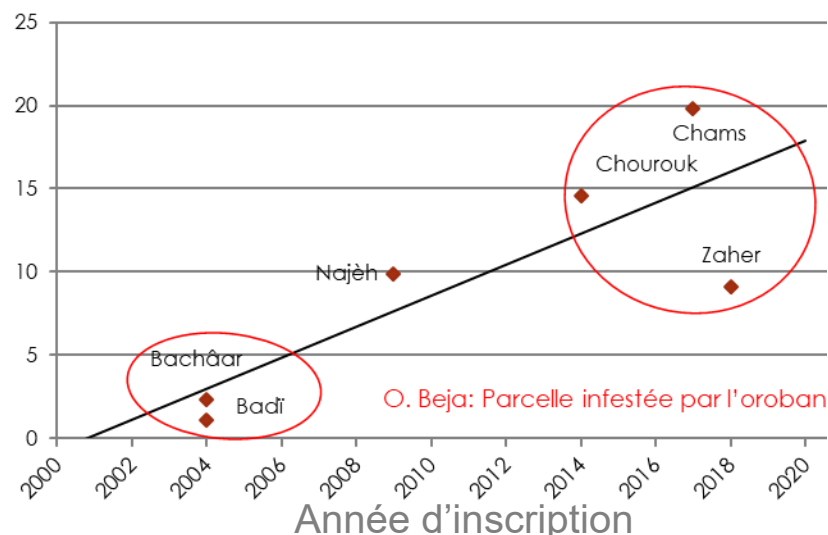
# L'amélioration des légumes secs en Tunisie



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



O. Meliz: Parcelle non infestée par l'Orobanche



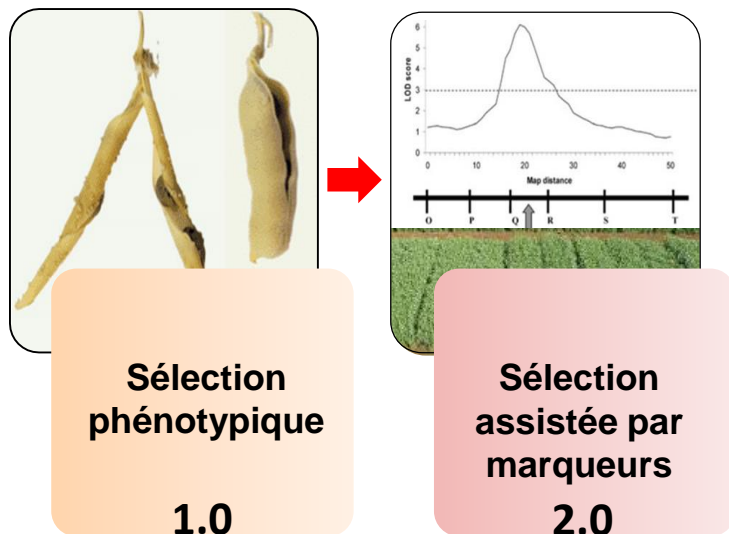
O. Beja: Parcelle infestée par l'orobanche

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

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



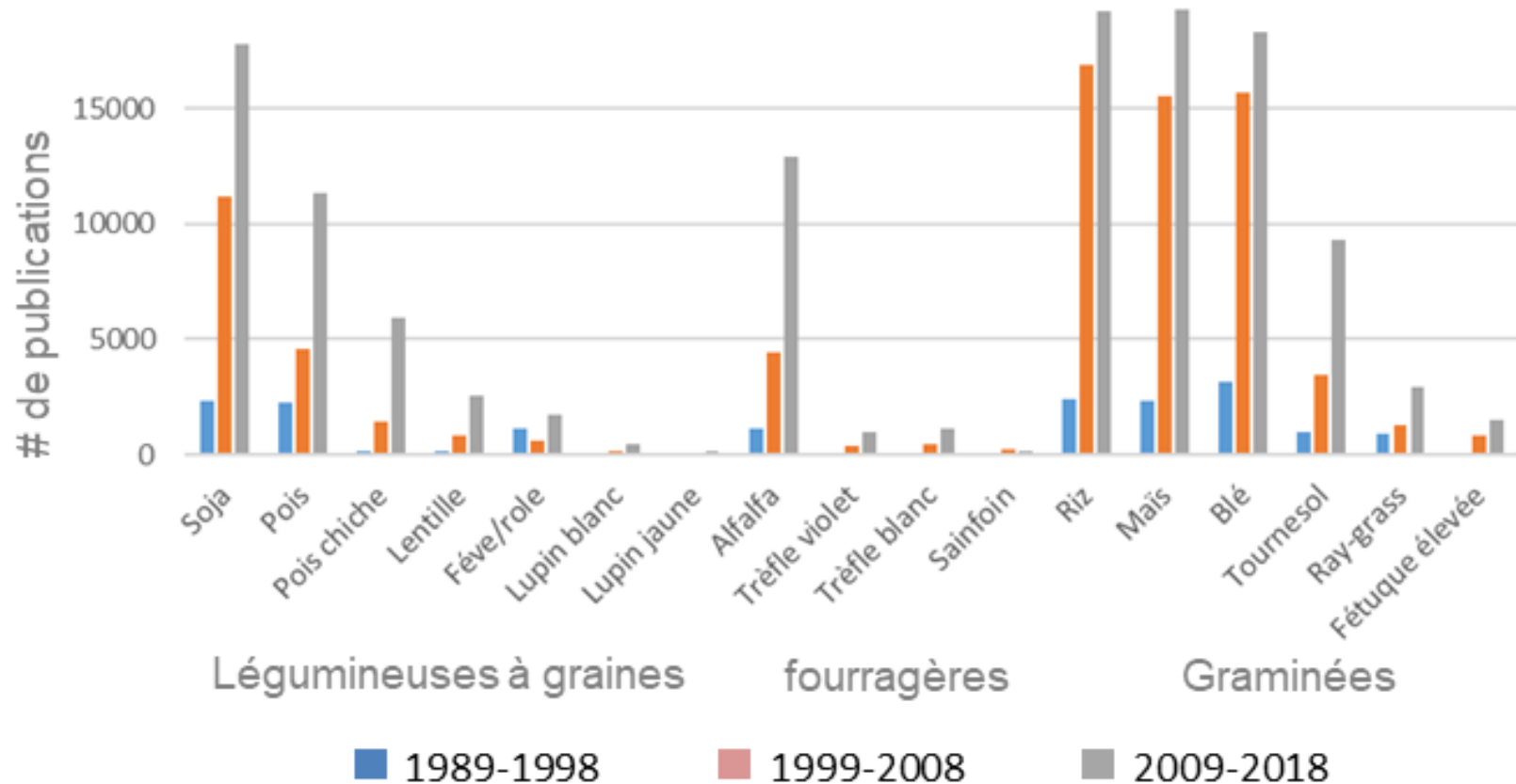
# Evolution des méthodes de sélection



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'ascochytose	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

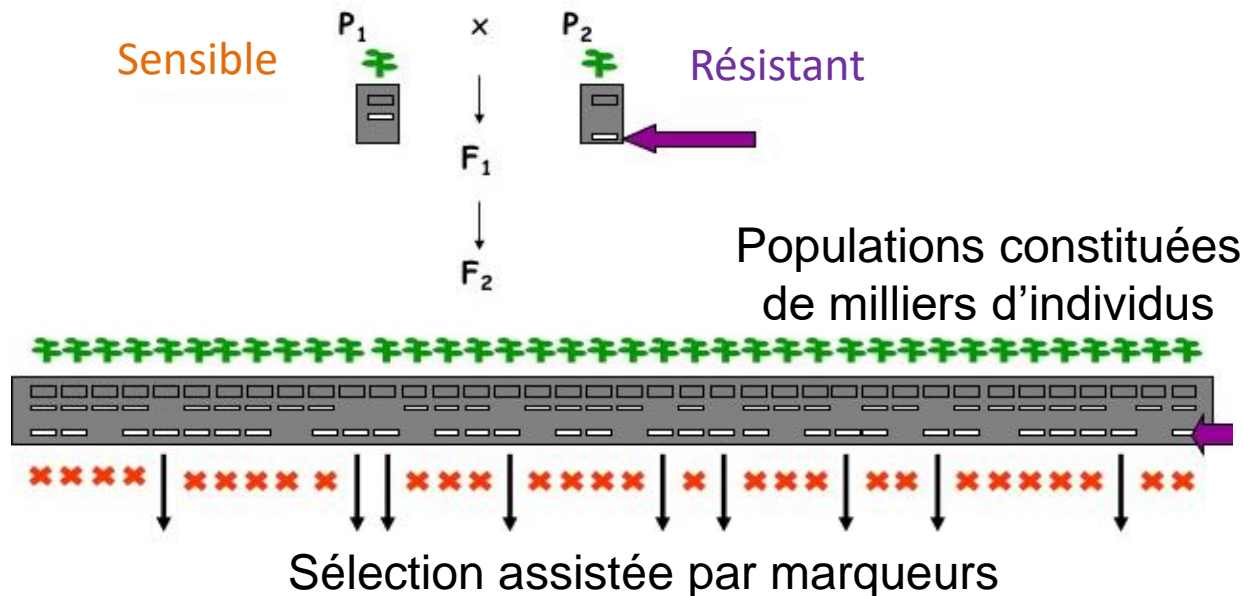
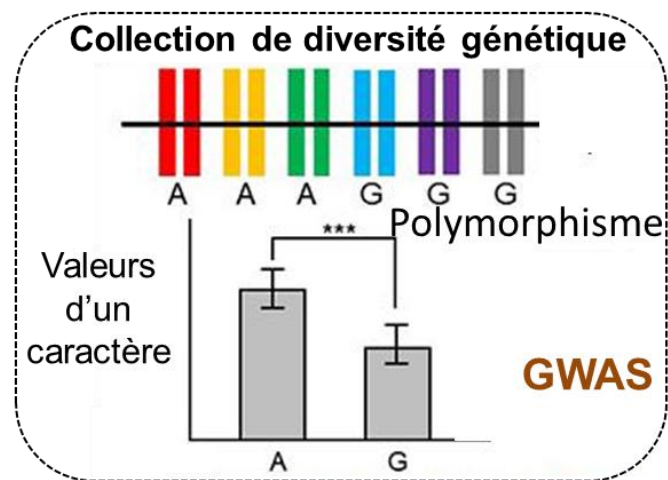
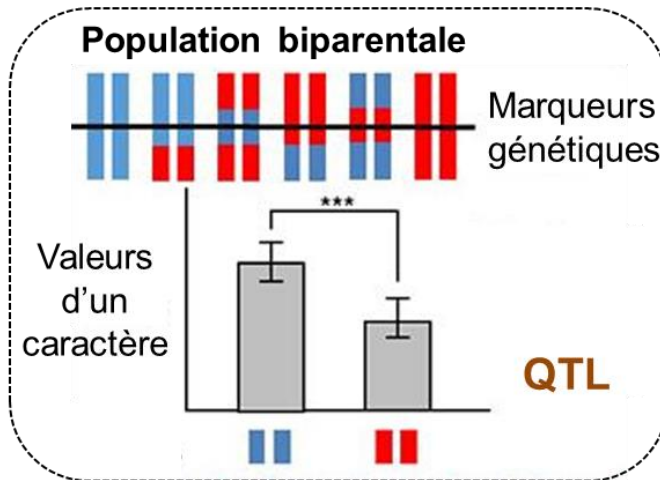
- Exemple de caractères pour lesquels une sélection assistée par marqueurs est possible chez le pois (Tayeh et al., 2015)

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



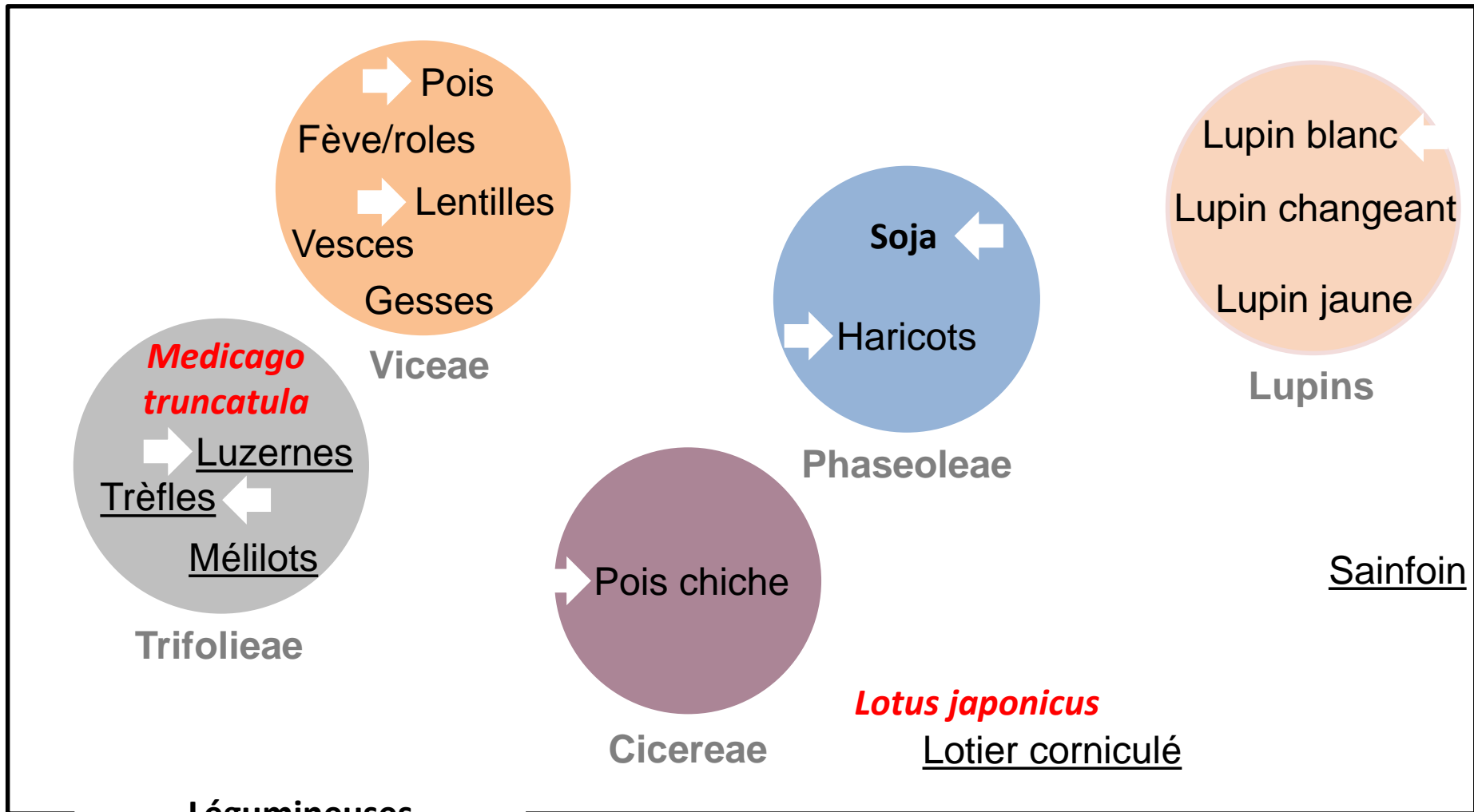
Mots-clés: "nom de l'espèce" AND breeding GWAS OR QTL OR "marker assisted selection"  
09/10/2018

# La sélection assistée par marqueurs





# Les avancées génomiques chez les légumineuses

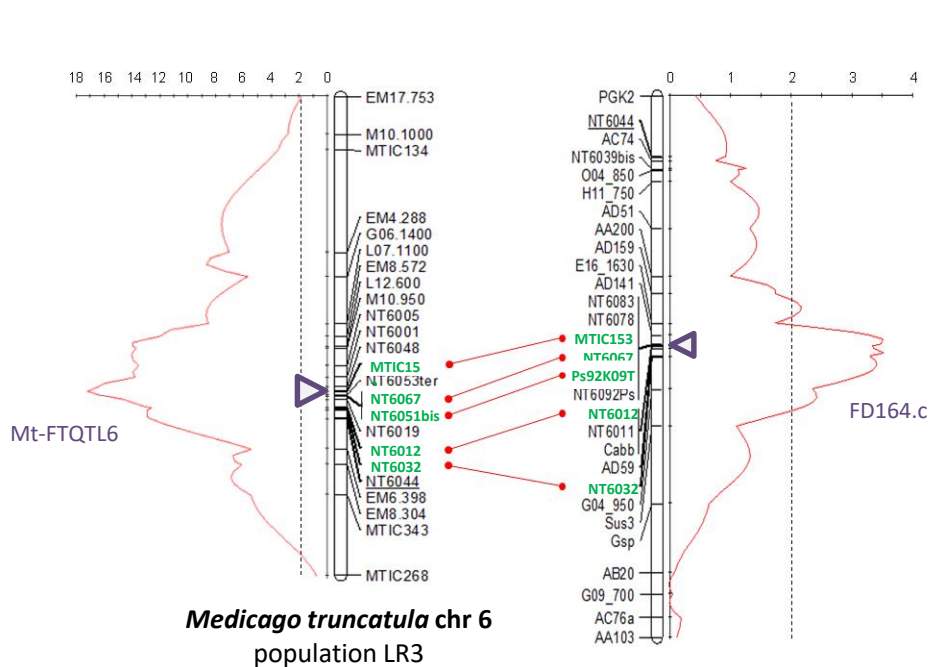


## Légumineuses

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

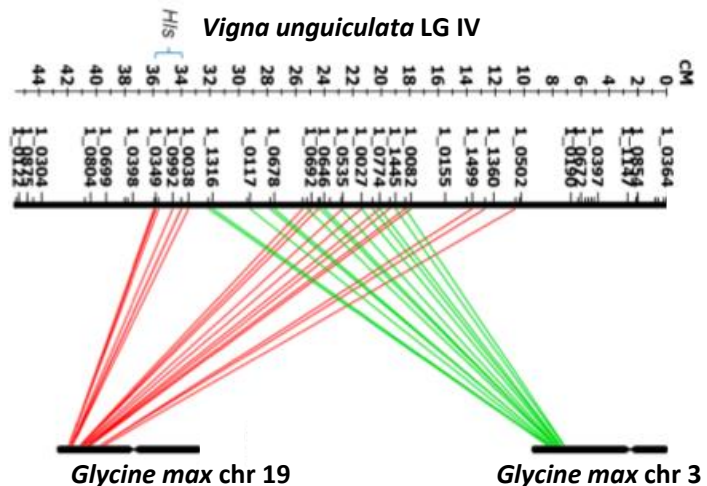
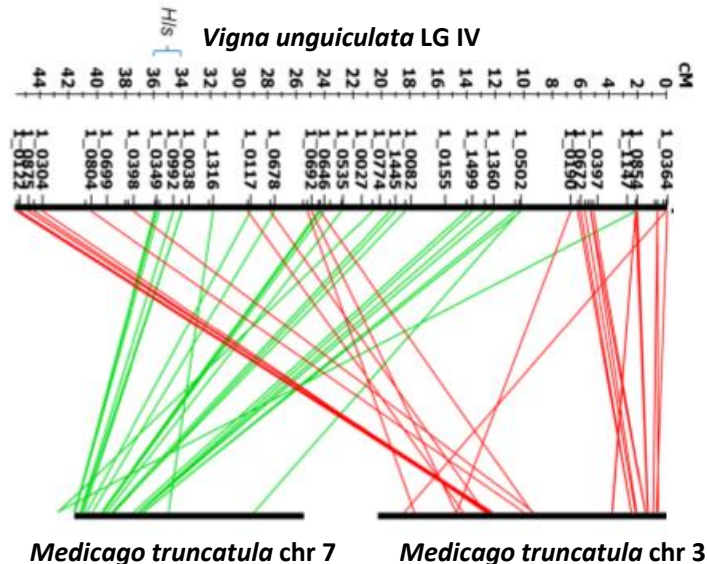


# Les promesses de la recherche translationnelle

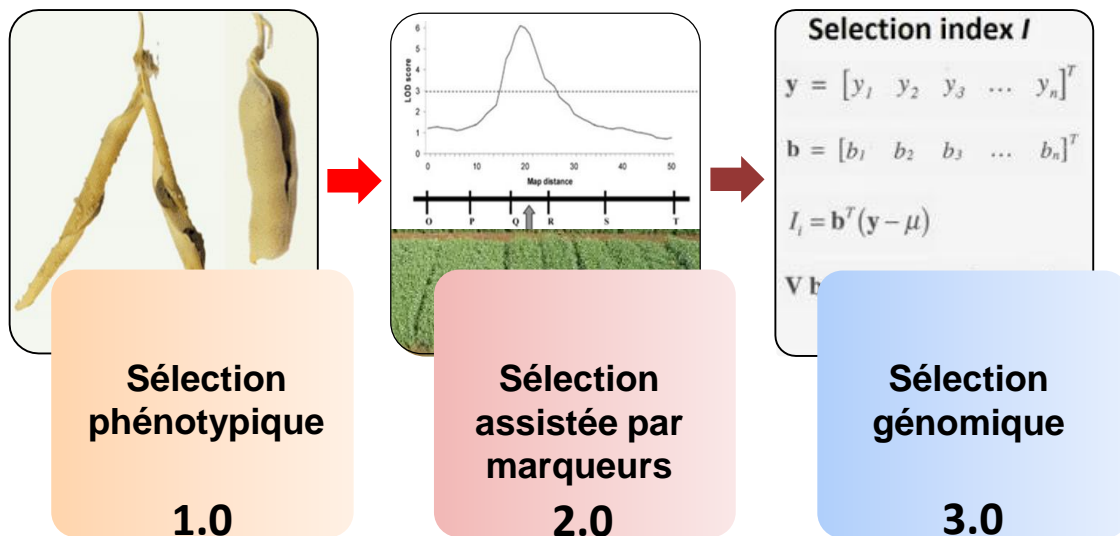


**Pisum sativum GL VI**  
population Pop2

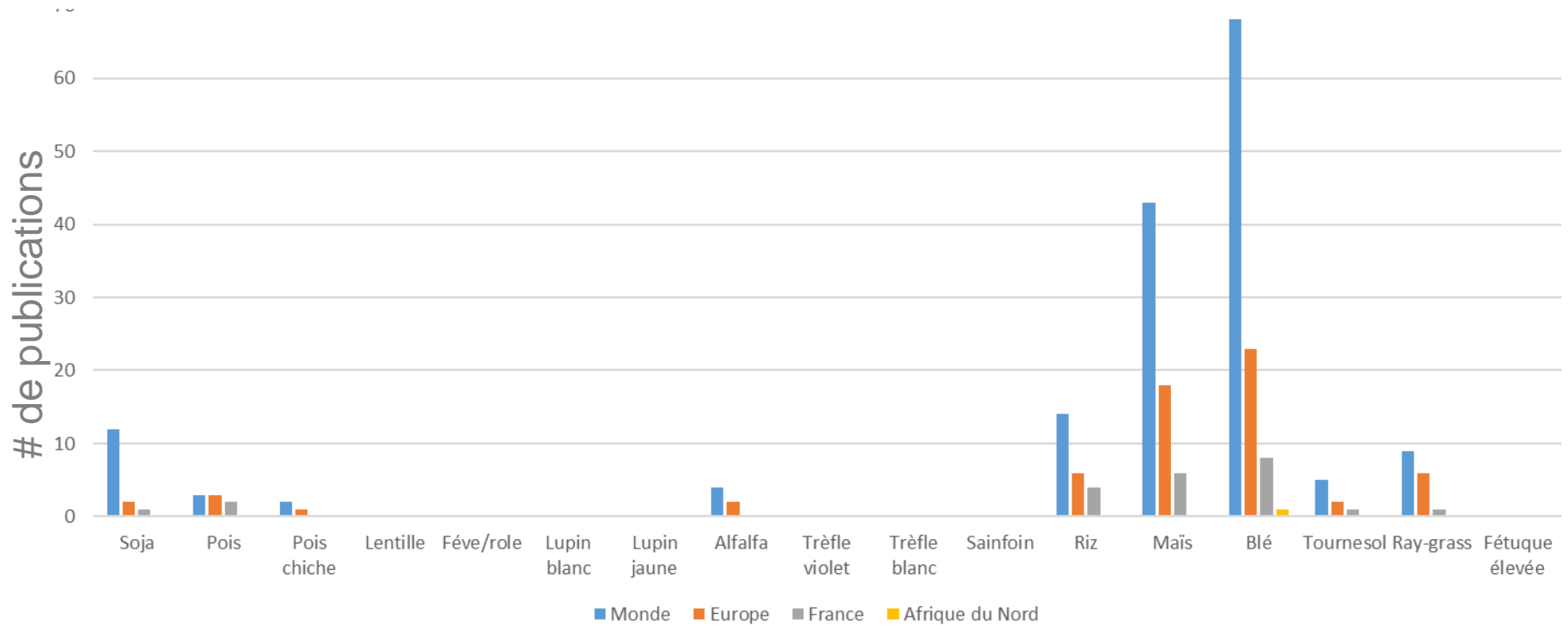
- Synténie des déterminants génétiques de la tolérance au gel chez le pois et chez la luzerne tronquée (Tayeh et al., 2013)
- Utilisation de la synténie entre le niébé, la luzerne tronquée et le soja pour l'identification d'un gène contrôlant l'architecture foliaire (Pottorff et al., 2012) ►



# Evolution des méthodes de sélection

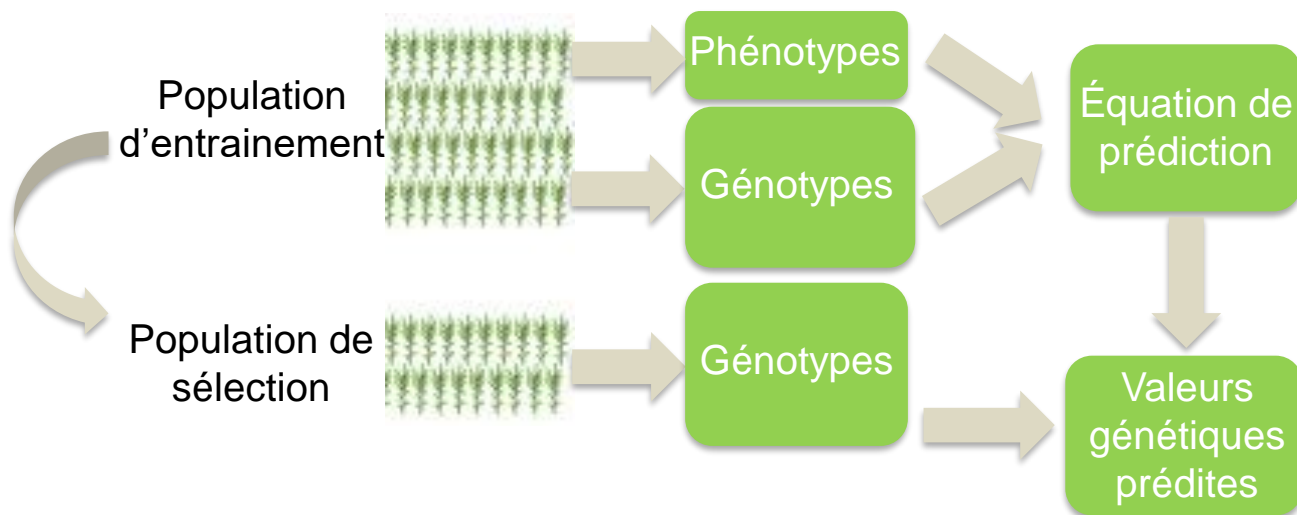


# Nombre de publications en lien avec la sélection génomique



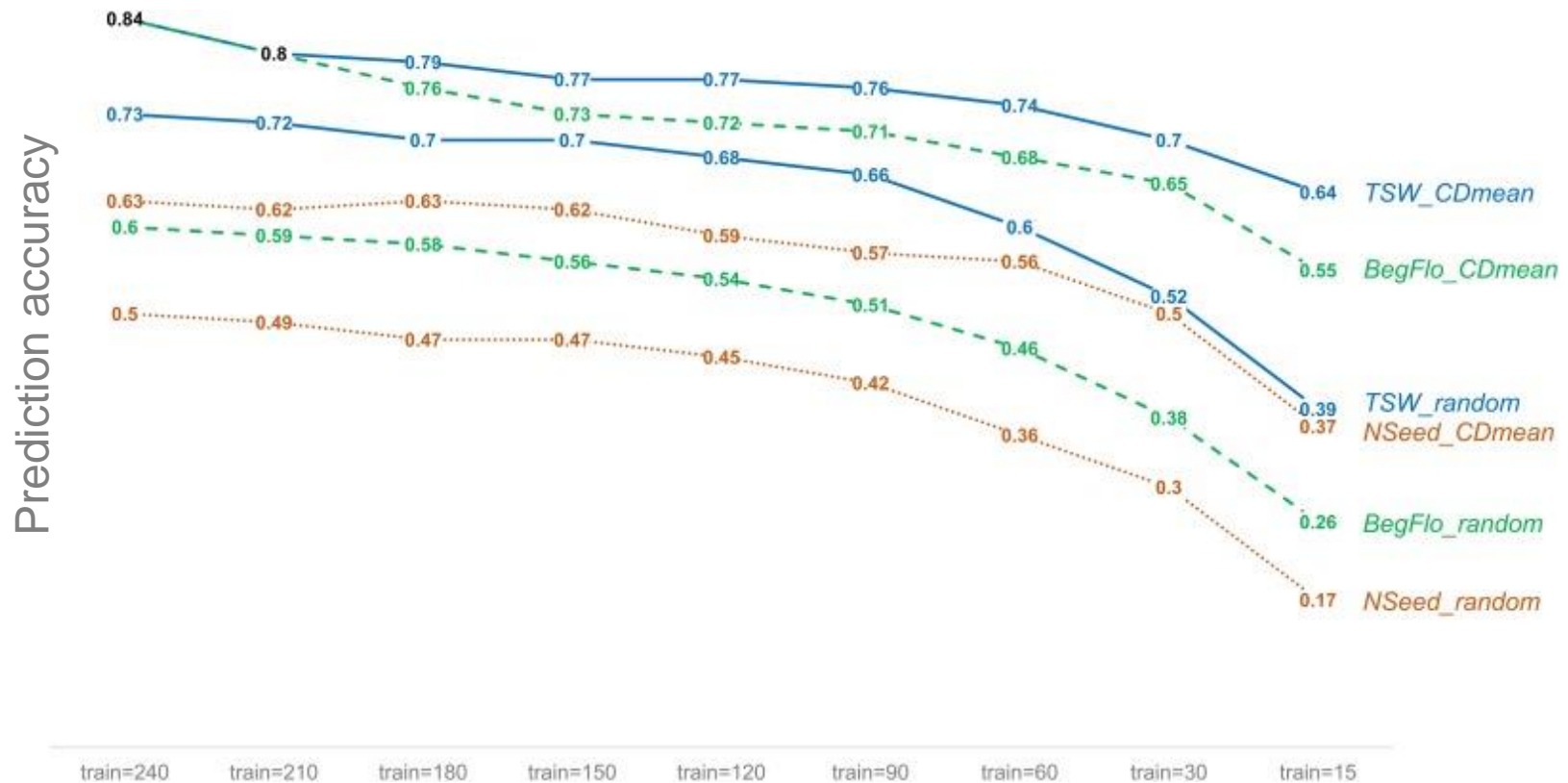
Mots-clés: "nom de l'espèce" "genomic selection" OR "genomic prediction" (titre seulement)  
10/10/2018

# 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



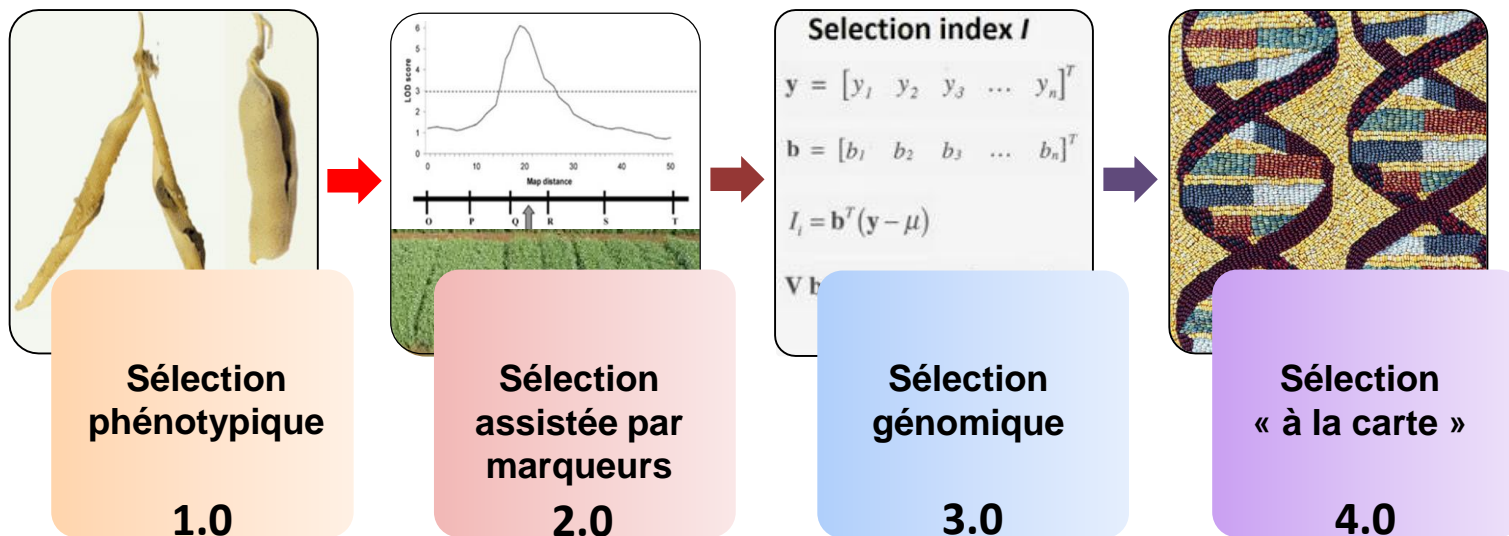
- Prédiction de poids de mille grain (TSW), du nombre de grains (Nseed), et de la date de début de floraison (BegFlo) sur une collection de 339 génotypes de pois avec deux méthodes dites ici random et CDmean (Tayeh et al., 2015)

# 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



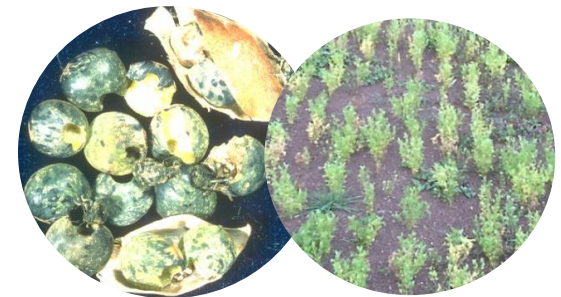
## **6. Exemples de projets de recherche**



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



2019-2021



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 :

- géotypes 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

EU  
(26 partenaires)



EUC  
LEG



2018-2022

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

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

CHINA  
(12 partenaires)

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

<http://www.eucleg.eu/>

# 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

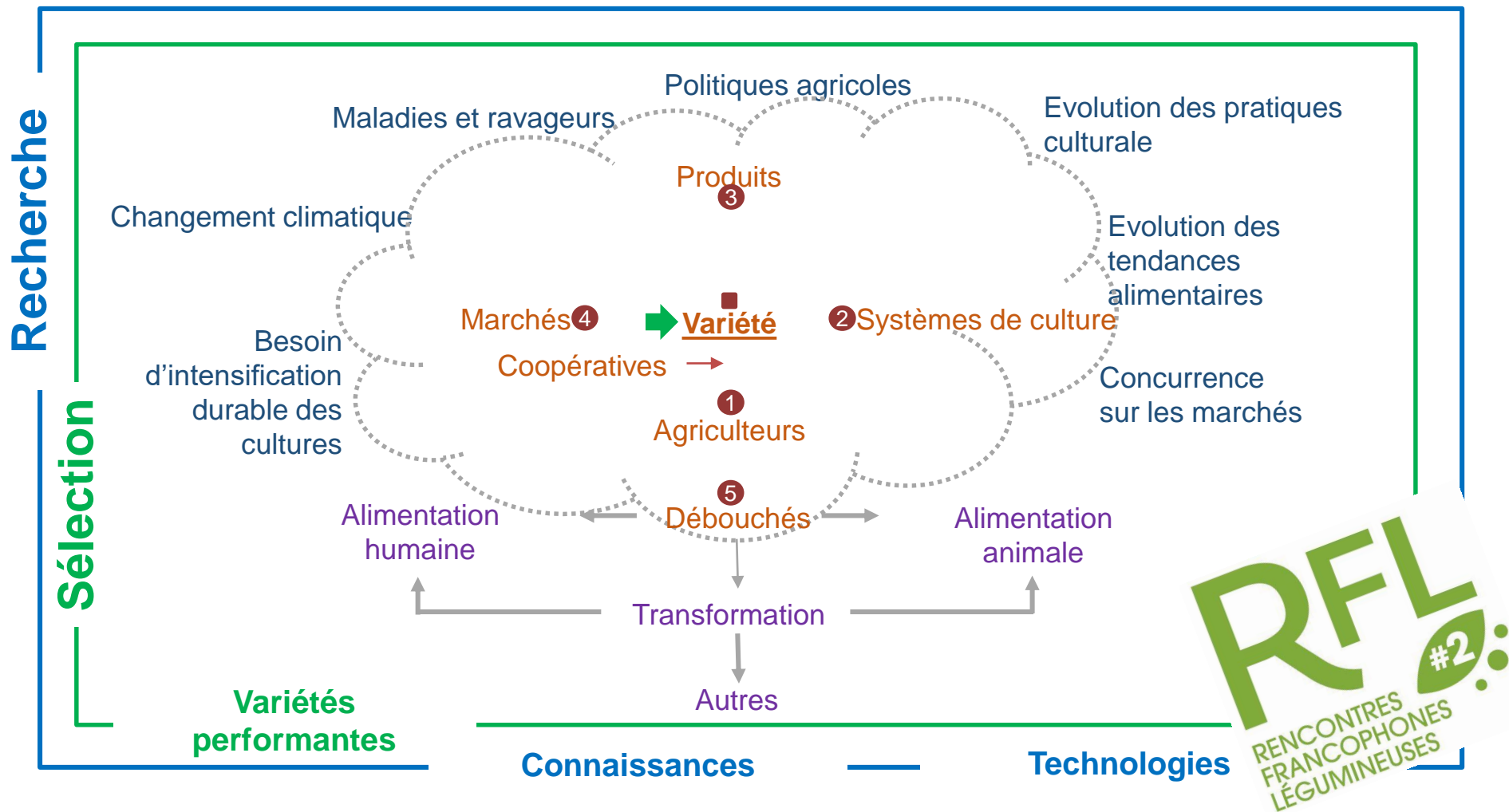




# Conclusions



# 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

**Amélioration  
variétale**



**Surfaces  
cultivées**

❖ Lisibilité des espèces légumineuses

❖ Maîtrise des techniques de production

❖ Mise en place de cartes variétales

❖ Contrôle des importations

❖ Accès aux technologies et au moléculaire

❖ Utilisation des semences certifiées

❖ 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

P	A	R	T	A	G	E						
R	E	S	S	O	U	R	C	E	S			
O	R	G	A	N	I	S	A	T	I	O	N	
G	E	N	E	T	I	Q	U	E				
R	E	C	H	E	R	C	H	E				
E	V	A	L	U	A	T	I	O	N			
S	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 Settati, Maroc)  
 Mustapha Arbaoui (IAV Hassan II)

## Tunisie



Moez Amri (ICARDA, Tunisie)

## Algérie



Hadi Maatougui (ICARDA, Algérie)  
 Omar Zaghoulane (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)



المعهد الوطني للبحث الزراعي  
 Institut National de la Recherche Agronomique



ICARDA  
 Science for Better Livelihoods in Dry Areas



Agroécologie  
 Dijon  
 Unité de Recherche



GEVES  
 Expertise & Performance



gnis  
 groupement  
 national  
 interprofessionnel  
 des semences et plants



Toulouse, France – 17 & 18 octobre 2018





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)

