

Réflexions et enjeux associés
aux réseaux expérimentaux et
au phénotypage
chez les arbres forestiers
en vue de création variétale

- Création variétale « Peuplier » en France
 - Objectifs
 - Schémas
 - **Dispositifs d'évaluation**
 - Organisation des tâches entre partenaires
 - **Optimisation de méthodes de phénotypage**

- Autres dispositifs « génétique » en réseaux: le réseau Plantacomp

Historique

- **Avant 1997** : plusieurs organismes de recherche menant leurs propres travaux sur la génétique du peuplier / réseaux distincts:
 - **INRA**
 - **Cemagref**
 - **AFOCEL**

- **Entre 1997 et 2001** : volonté commune de mutualiser les moyens de recherche autour d'un projet commun et d'un seul programme d'amélioration génétique :
 - **premiers travaux communs, soutenus par le Ministère de l'Agriculture,**
 - **création d'un Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) ...**

- **Signature en 2001** de la convention constitutive du GIS « Peuplier ».

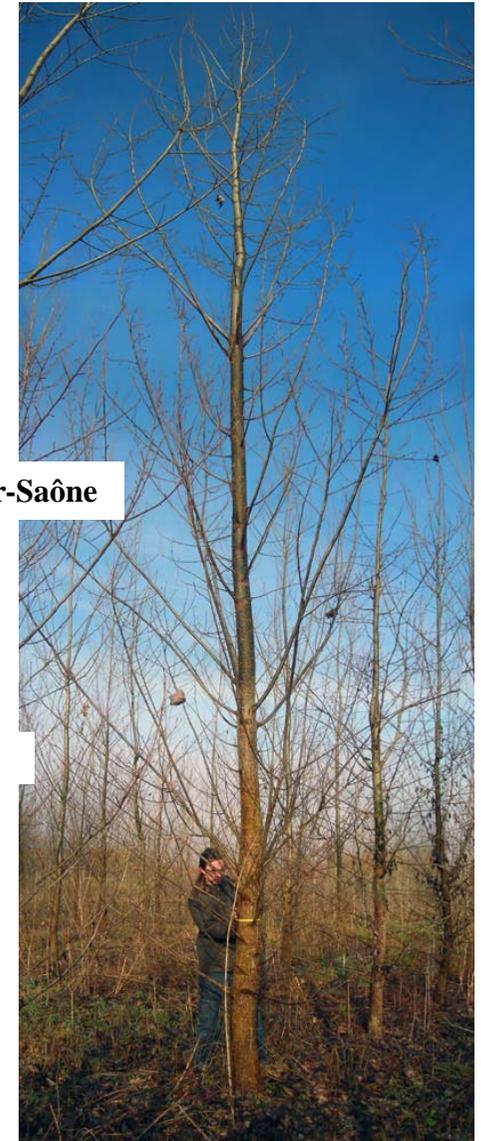
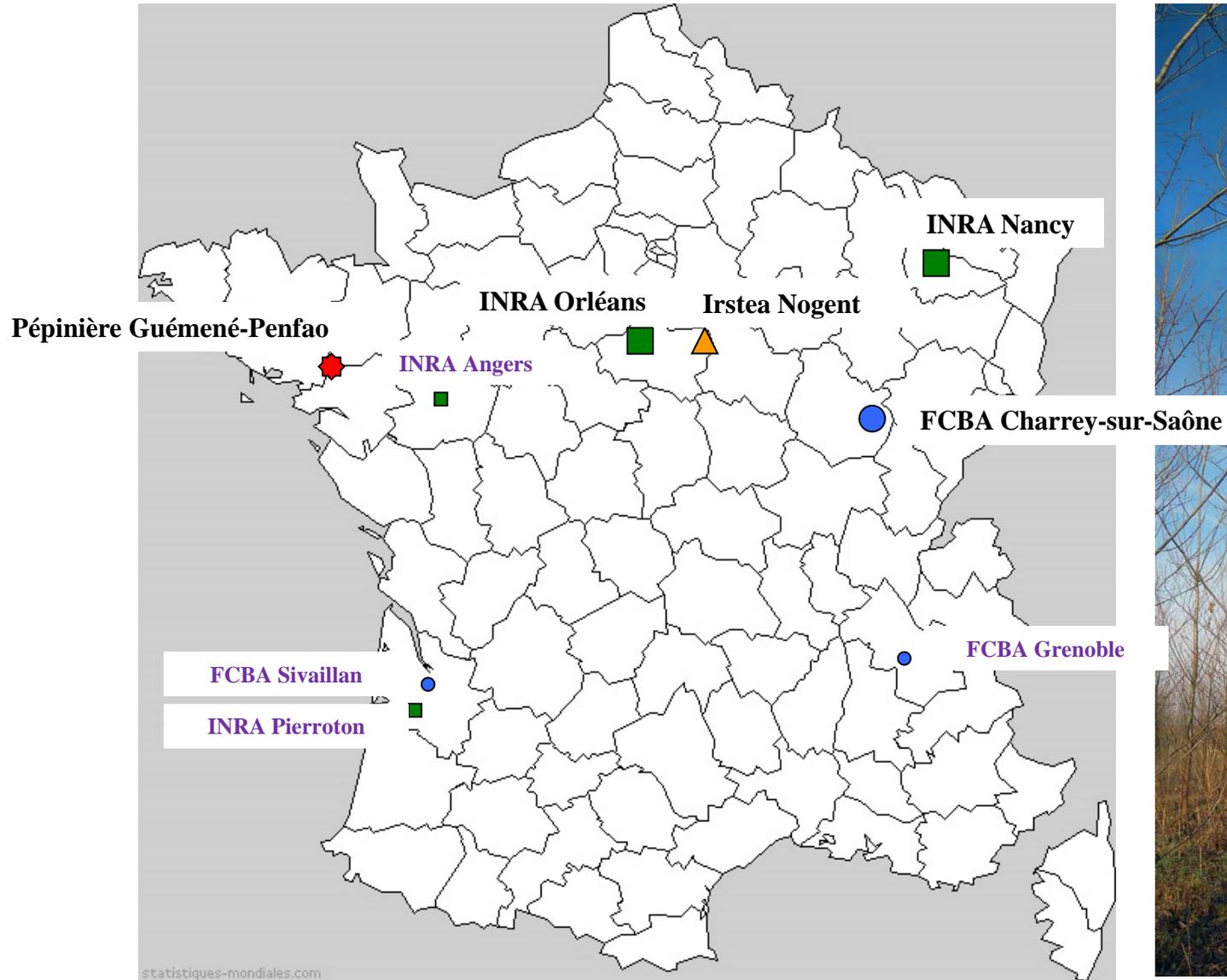
Les missions du GIS Peuplier

Les objectifs du GIS Peuplier sont inscrits dans ses statuts :

- **Concevoir et gérer** un programme d'amélioration génétique à court, moyen et long terme pour un objectif bois d'œuvre et biomasse ligno-cellulosique
- **Diffuser à la filière, des clones performants et à caractéristiques stables, avec l'appui d'organismes de développement.**



Les localisations (membres et partenaires du GIS)



1. Les ressources génétiques

- valoriser la **variabilité naturelle** présente dans les différentes espèces de peuplier

P. nigra



~ 1000 clones

P. deltoides



~ 650 clones

P. trichocarpa

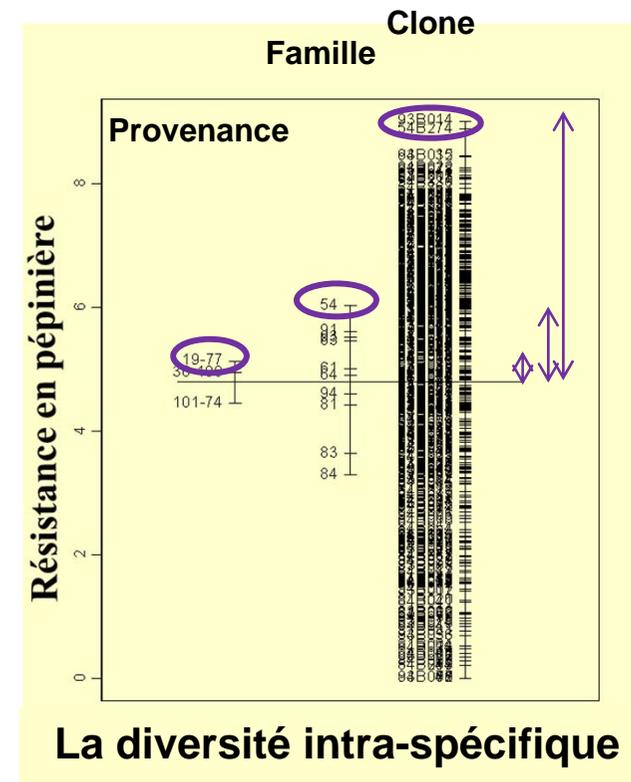


~ 650 clones

P. maximowiczii



~ 180 clones



2. Les critères de sélection



Coll. LBLGC, Univ Orléans

3. Les étapes de sélection



Sélection de 20-30 géniteurs

20-25 fam / 10000 graines 1500 ind.

800 clones

800 clones

50 clones

25 clones

5 clones

Croisements/semis

Multiplication
végétative

Test en pépinière (Guéméné-penfao)

Tests pathologiques (Mlp, Marsso, chancre)
1^{ers} populeturns à parcelle monoarbre

2^{èmes} populeturns à parcelle pluri-arbre
Suivi sanitaire

Homologation, Protection communautaire
Démonstration (réseau IDF)

Commercialisation

3. Les étapes de sélection

Sélection de 20-30 géniteurs



20-25 fam / 1200 ind.

800 clones

800 clones

50 clones

25 clones

5 clones



S Multiplication végétative



S Croissance juvénile, Résist. rouille, Branchaison



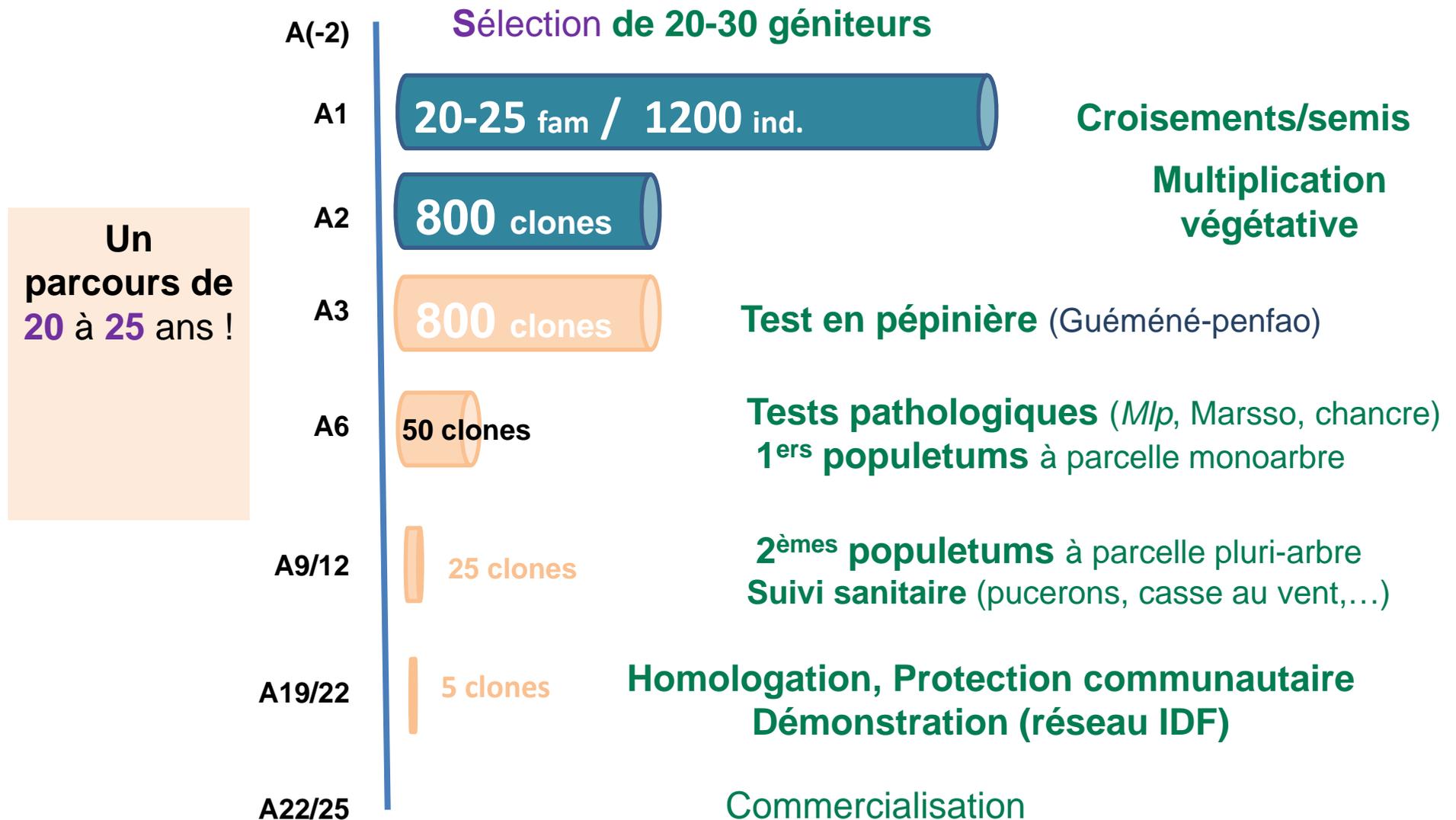
S Résistance aux ravageurs, Stabilité de la croissance, Forme



S Tous les critères y compris propriétés du bois

Commercialisation

3. Les étapes de sélection



3. Les dispositifs d'évaluation

Tests en pépinière

Objectifs : Tests juvéniles permettant le screening du matériel issu de croisement

- un grand nb de clones en test
- une durée de suivi d'au maximum 4 ans (2+2)
- proximité des bases techniques pour faciliter le phénotypage
- protocoles expérimentaux spécifiques / populiculture classique
- un test de référence obligatoire pour l'homologation

Test « généraliste »



Tests d'évaluation
« comportement »

Tests spécialisés

Sensibilité
et tolérance à la
rouille foliaire

Sensibilité au
chancre
bactérien

Sensibilité à
Marssonina
brunnea



3. Les dispositifs d'évaluation



Tests « généralistes » en pépinière

Objectifs : Tests juvéniles permettant le screening du matériel issu de croisement
- un test de référence obligatoire pour l'homologation *provisoire*

durée de suivi = 4 ans (2+2)

Lieu de test = Guéméné-Penfao

Caractères évalués:

- survie (aptitude bouturage)
- Croissance en hauteur
- Croissance en diamètre
- Débourrement végétatif
- Arrêt de croissance
- Angle moyen de branchaison
- Flexuosité de la tige
- Sensibilité à *Mlp* (inf. naturelle)
- [aptitude au recépage]
- [biomasse fraîche et sèche]

Dispositif expérimental :

- Blocs complets randomisés : 6
- Nb clones dont témoins: **max 350**
- Parcelle **unitaire mono-arbre**
- densité visant une faible compétition



Mesure de phénologie: 1 jour à 2

$H^2_{\text{géno}} > 0,8$

Sélection combinée Famille-Individu



3. Les dispositifs d'évaluation



Tests « spécialisés » en pépinière (1)

Objectifs : Evaluation de la Sensibilité et de Tolérance à *Mlp*.

- deuxième étape de tri des clones
- un test de référence obligatoire pour l'homologation provisoire

durée de suivi = 1 + 2 ans

Caractères évalués:

- Croissance 1^{ère} année
- Sensibilité à *Mlp* 2^{ème} année (2 dates)
- Hauteur finale 2^{ème} année
- Circonférence 2^{ème} année
- Biomasse 2^{ème} année
- Sensibilité à *Mlp* 3^{ème} (2 dates)
- Hauteur finale 3^{ème} année
- Circonférence 3^{ème} année
- Biomasse 3^{ème} année



Lieu de test = Charrey sur Saône

Dispositif expérimental :

Partie Traitée / Partie non Traitée

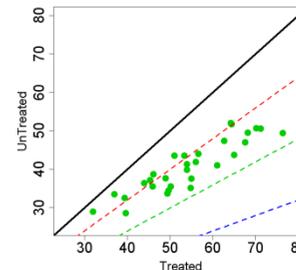
Blocs complets randomisés : 20 (2x10)

Nb clones dont témoins: **max 100**

Parcelle **unitaire mono-arbre**

Lignes intercalaires de Mélèze

Contrôle de la population de *Mlp*





3. Les dispositifs d'évaluation



Tests « spécialisés » en pépinière (1)

- Objectifs :** Evaluation de la Sensibilité au chancre bactérien
- deuxième étape de tri des clones
 - un test de référence obligatoire pour l'homologation définitive

durée de suivi = 5 ans

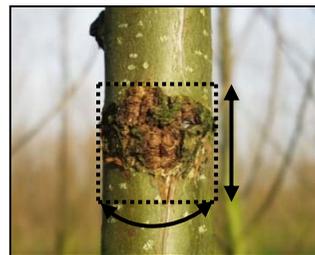
Lieu de test = Angers / Orléans

Caractères évalués:

- diamètre à 2 ans avant inoculation
- Longueur chancre 1an-pi
- Indice de ceinturation 1 an-pi
- Longueur chancre 2ans-pi
- Indice de ceinturation 2ans-pi
- Longueur chancre 3ans-pi
- Indice de ceinturation 3ans-pi

Dispositif expérimental :

- Blocs complets randomisés : 4-6
- Nb clones dont témoins: **max 120**
- Parcelle **unitaire linéaire 3 arbres**
- Inoculation artificielle: 3 points / arbre



Longueur du
chancre
Indice de
ceinturation
(0-5)

✓ lecture 2 à 3 ans après
inoculation





3. Les dispositifs d'évaluation



Tests en plantations

Objectifs : Tests agronomiques permettant le test des clones en conditions sylvicoles classiques dans différents environnements en France
- min. 3 tests obligatoires pour l'homologation *provisoire*

durée de suivi = rotation classique 12-18 ans en populiculture classique
2 -3 rotations de 4 à 7 ans pour les taillis à courtes rotations

Lieux de test = couverture des climats et stations potentiels
sous convention avec populteurs

Sylviculture = modalités classiques
+ 1 modalité « faible intrant » sur un site (nouveau 2013)



3. Les dispositifs d'évaluation



Tests en plantations

Dispositif monoarbre:

Blocs complets randomisés : **10**

Nb clones dont témoins: **max 60**

Parcelle **unitaire monoarbre**

Nb sites : 4-5

Dispositif pluri-arbre :

Blocs complets randomisés: **3-4**

Nb clones dont témoins: **max 20**

Parcelle unitaire : **9=3x3 arbres**

Nb sites : 4-5

Caractères évalués:

- Croissance en hauteur 1 an après plantation, ts les ans jusqu'à 12m
- Croissance en circonférence 1 an après plantation, ts les ans jusqu'à 5 ans, puis ts les 2-3 ans
- Flexuosité de la tige
- Branchaison : nb, grosseurs, angle moyen
- Défauts de fourchaison
- À la récolte : prélèvement échantillons bois pour tests mécaniques et industriels



3. Les dispositifs d'évaluation



Tests en plantations

Forme et qualité de branchaison

✓ des caractères observables sur des dispositifs jeunes (3-5 ans)

- Rectitude
- Angle de branchaison
- Branchaison continue-discontinue



✓ sont jugés sur des dispositifs plus âgés (7-12 ans)

- Fourches
- Nombre et Grosseur des branches



✓ autres critères

- Cicatrisation après élagage
- Sensibilité à la casse
- Cylindricité de la tige

Les moyens et les équipes



Organisme :	GIS peuplier :	Peuplier hors GIS :	Total :
INRA Orléans+Nancy:	3 ETP : stratégie de sélection, « croisements », tests pépinière, évaluation rouille, chancre, qualité du bois, étapes de sélection	5,5 ETP (CR et IR) + 3 techniciens + 2 thésards : peuplier noir, biomasse, écophysologie, réseau expérimental, marquage moléculaire, QB...	> 10 ETP
Irstea:	1,5 ETP : évaluation Marssonina, tests agronomiques,	0,5 ETP : évaluation clones GIS et hors GIS, BDD, appui technique.	= 2 ETP
FCBA :	1 ETP : évaluation rouille, tests agronomiques, qualité du bois	1,0 à 1,5 ETP : mesure réseau d'essai « peuplier » et « biomasse », qualité bois et fibres, etc.	= 2 à 2,5 ETP
Guéméné-ONF (MIG Ministère)		1,5 ETP: maintien des collections, tests en pépinières et élevage des tests en plantation	= 1,5 ETP

5,5 ETP

#13,5 ETP

3. Les dispositifs d'évaluation

Organisation du suivi des dispositifs

Type de test	Préparation	Plantation	Mesures	Analyses des données	Validation des sélections
Test pépinière généraliste	INRA/Guém.	Guém.	INRA/Guém	INRA	INRA+Irstea+FCBA
Test Sens./Tol Mlp	FCBA/Guém	FCBA	INRA/FCBA	FCBA/INRA	
Test Sens. / Tol Marsso	Irstea/Guém	Irstea	Irstea	Irstea/INRA	
Test Sens. Chancre bactérien	INRA/Guém	INRA	INRA	INRA	
Populetum mono-arbres	Guém	FCBA / Irstea	FCBA / Irstea	FCBA/Irstea/INRA	
Populetum pluri-arbres	Guém	FCBA / Irstea	FCBA / Irstea	FCBA/Irstea/INRA	
Test Sens Mlp- laboratoire	INRA		INRA	INRA	
Test Sens pucerons	INRA		INRA	INRA	
Evaluation QB	FCBA/INRA		FCBA/INRA	FCBA/INRA	

3. Les dispositifs d'évaluation

Programme de travail annuel, planification semestrielle

- 1 à 2 tests /an en pépinière à Guéméné-Penfao
- 1 test Mlp T/NT tous les 3 ans à Charrey sur Saône
- 1 test Chancre tous les 5-6 ans à Angers ou Orléans
- 1 test Marsso brunnea tous les 4 ans à Nogent sur Vernisson

- 2 plantations /an IRSTEA + 2 plantations/an FCBA

- Mesures de 8-10 populetum par an (pour chacun IRSTEA et FCBA)

3. Les dispositifs d'évaluation

Connexion du réseau GIS avec d'autres réseaux de tests réalisés par des partenaires européens (Tree4Future)

- Discussion sur les protocoles d'évaluation: effectifs minimum
- Harmonisation des listes de cultivars témoins pour les différents caractères d'intérêt
- Harmonisation des différents protocoles d'observation:
 - Croissance (qqs âges de référence 1-5-8-12-15-20 ans)
 - Phénologie (débourrement, arrêt de croissance, défeuillaison)
 - Sensibilité aux ravageurs
 - Biomasse
- Identification de laboratoires « référents » par catégorie de caractères
- Base de méta-données décrivant les dispositifs

3. Les méthodes de phénotypage

Mise au point de protocoles d'observations
(phénologie végétative)

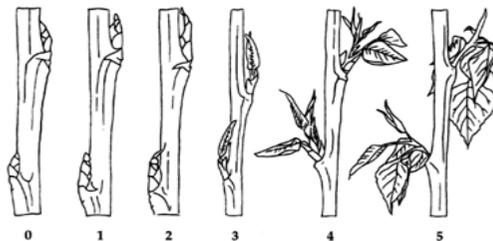
Débourrement végétatif

Score 0/1 tous les 2 jours pdt 3 semaines
remplacé par

Score 6 classes sur 3 passages avec calage sur témoins

Populus nigra NETWORK. SECOND MEETING 21

Ad 2.13. and 2.31. Stages of bud burst



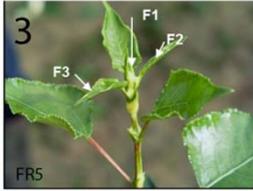
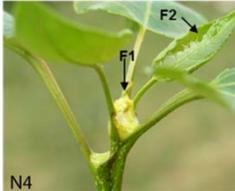
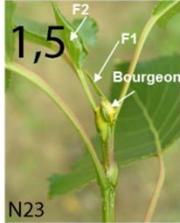
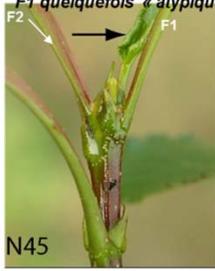
- 0 Dormant bud completely enveloped by the scales (= perulae)
- 1 Bud swelling with scales slightly diverging showing a narrow yellow margin; presence of one or more droplets of balsam
- 2 Bud sprouting, with tips of the small leaves emerging out of the scales
- 3 Buds completely opened with leaves still clustered together; scales still present
- 4 Leaves diverging with their blades still rolled up; scales may be present or absent
- 5 Leaves completely unfolded (but smaller in size than mature ones); lengthening of the axis of the shoot evident; scales absent.

3. Les méthodes de phénotypage

Mise au point de protocoles d'observations
(phénologie végétative)

Date arrêt de croissance

Score 7 classes sur 4-5 passages avec calage sur témoins

Présence de feuilles enroulées	 <p>3</p>	 <p>C4</p>	 <p>N4</p>	 <p>1,5</p>
	Score 3	Score 2,5	Score 2	Score 1,5
	<p><i>Plus de 2 feuilles enroulées Beaucoup de baume couvrant plusieurs entrenoeuds</i></p>	<p><i>F1 et F2 enroulées, même niveau Apex et plusieurs entrenoeuds couverts de baume</i></p>	<p><i>F1 enroulée, pas de bourgeon Apex et dernier entrenoeud couvert de baume</i></p>	<p><i>F1 enroulée en partie, bourgeon visible, Baume limité à l'apex le plus souvent</i></p>
Plus de feuille enroulée	 <p>N45</p>	 <p>0,5</p>	 <p>NV HOF 2/19</p>	
	Score 1	Score 0,5	Score 0	
	<p><i>Plus de feuille enroulée F1 aspect juvénile, quelquefois atypique, bourgeon non fermé vert Bourgeon non recouvert de baume</i></p>	<p><i>Plus de feuille enroulée bourgeon vert fermé Stipules de F1 et F2 vertes Bourgeon restant « collant » et brillant de baume</i></p>	<p><i>Feuilles aspect adulte Bourgeon fermé rouge-marron Plus de baume visible</i></p>	

3. Les méthodes de phénotypage

Mise au point de protocoles d'observations
(Biomasse fraîche)

Calibration sur 50 arbres (échant choisi sur HT et Circonférence)
 R^2 compris entre 0,7 et 0,9



3. Les méthodes de phénotypage

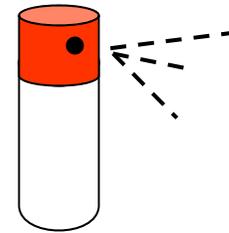
Caractérisation des $R_{complètes}$ à *Mlp* en laboratoire



Collection de souches 12 à 20 souches de pathotypes différents

cv. 'Ogy'	R1	
cv. 'Candicans'	R2	
cv. 'Brabantica'	R3	
cv. 'Unal'	R4	
cv. 'Rap'	R5	
87B12	R6	
cv. 'Beaupré'	R7	
cv. 'Hoogvorst'	R8	

Pathotype 2-4-7
(Virulences 2, 4 et 7)

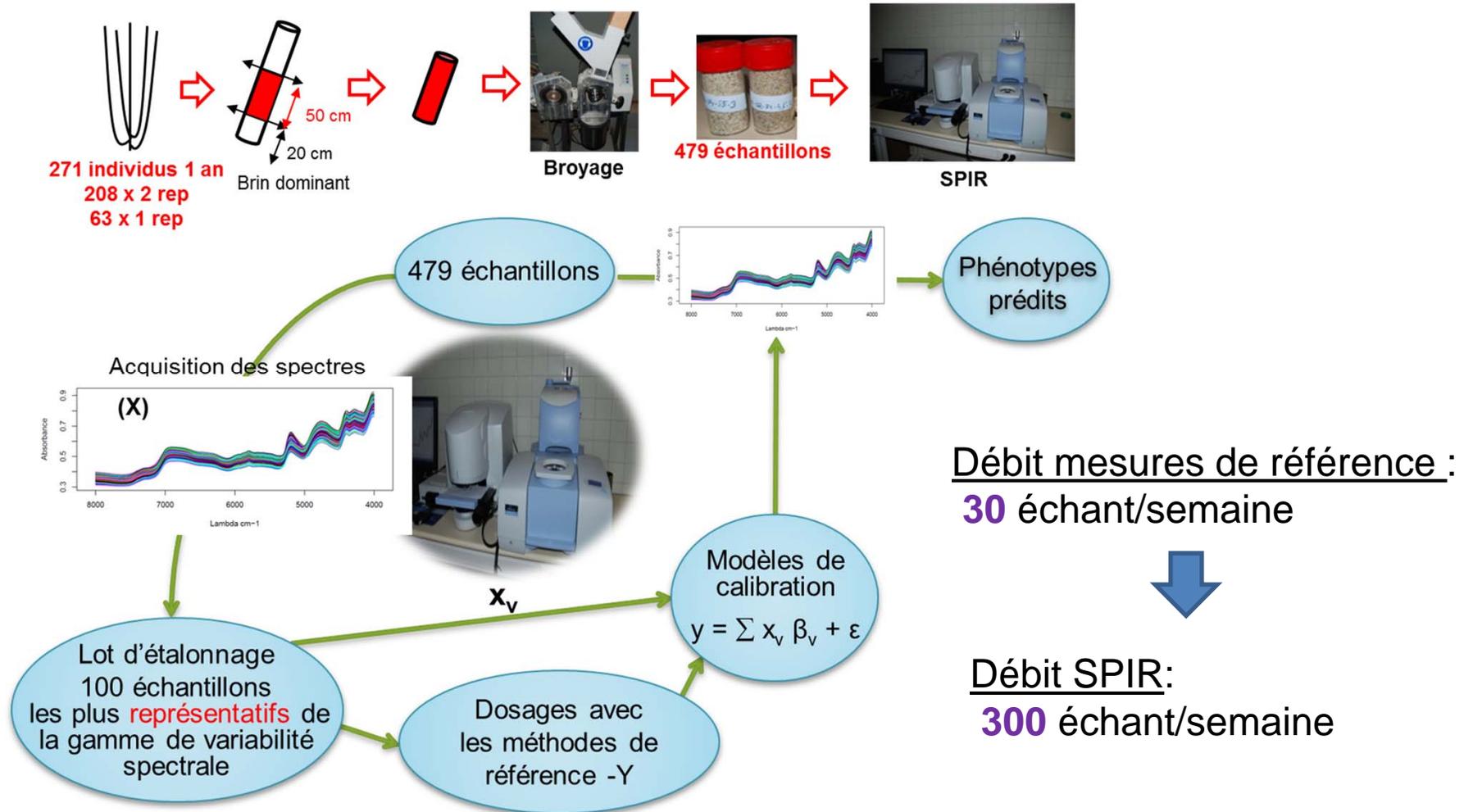


Inoculation à **forte densité** en tests randomisés à 10 répétitions

Durée du test = **14 Jours**

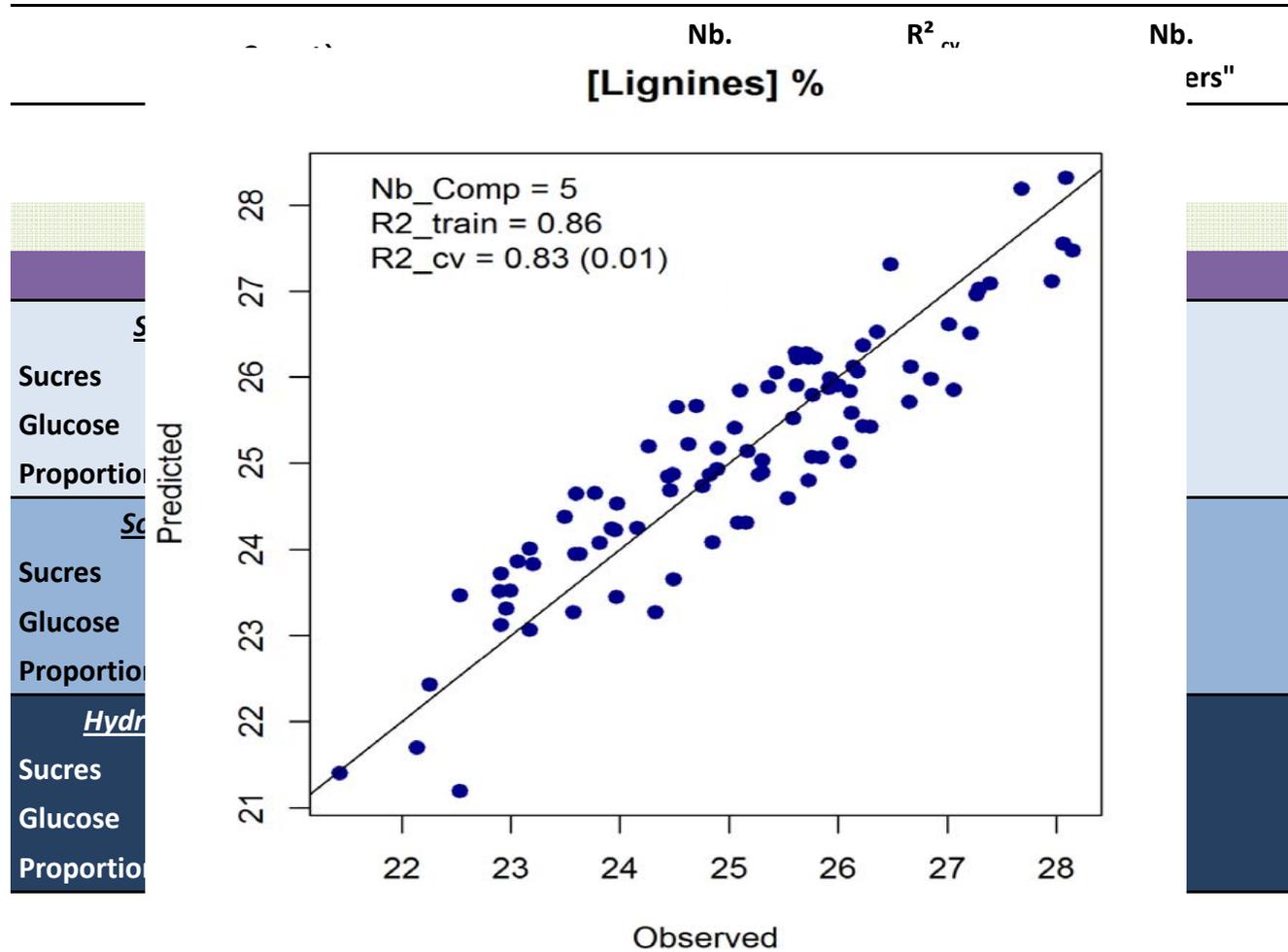
3. Les méthodes de phénotypage

Méthode de phénotypage haut débit de la qualité du bois chez le peuplier



3. Les méthodes de phénotypage

Modèles de calibration





Présentation de l'action PlantaComp





Présentation du réseau PlantaComp

Contexte général

- 1960' : développement de l'expérimentation en vue de produire du Matériel Forestier de Reboisement et de créer des variétés améliorées
- Installation de réseaux de **Plantations Comparatives** :

➤ *Expérimentations répétées dans des milieux variés qui permettent de comparer plusieurs unités génétiques et ainsi d'étudier des paramètres génétiques et d'en apprécier la variabilité*

➤ Tests de comparaison

- d'espèces
- de provenances
- de descendances
- de clones

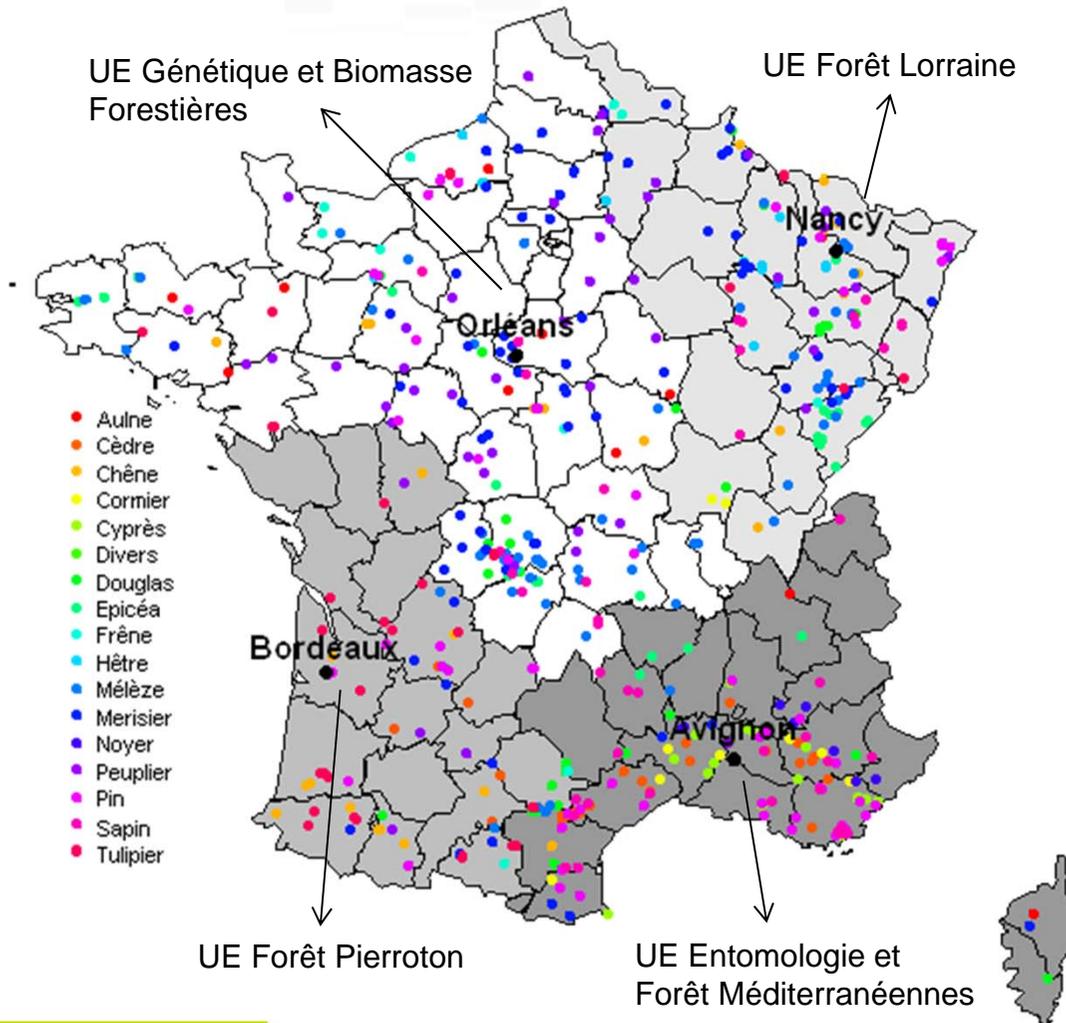


➤ Mises en place par l'INRA mais aussi d'autres organismes (ONF, FCBA, ...)



Présentation du réseau PlantaComp

Description du réseau



➤ Gestion technique répartie géographiquement sur 4 UEs EFPA (~7 ETP permanents)

➤ Suivi scientifique assuré par des responsables espèces (UR AGPF, UR FM, UmR Biogeco)

➤ Quelques chiffres :

~ 50 espèces/genres testées

~ 1000 dispositifs installés

~ 2000 ha d'expérimentation

~ 2.5 millions d'arbres plantés

➤ Investissements :

~ 85k€ projet patrimoine EFPA depuis 2005

~ 35k€ enveloppe PlantaComp depuis 2009

~ 60k€/an dépensés pour entretien et suivi



Présentation du réseau PlantaComp

Thématiques de recherche

- Originelles
Le réseau sert de support aux travaux d'amélioration génétique réalisés depuis plusieurs dizaines d'années
- Récentes
Les répétitions multi-sites du matériel génétique testé permettent d'explorer de nouvelles pistes d'adaptation dans le cadre du changement climatique



Limites : le réseau n'a pas été conçu pour répondre à ces nouvelles questions, nécessité de certains aménagement (installation de nouveaux dispositifs, introduction de nouveau matériel, collaboration avec partenaires)



Présentation du réseau PlantaComp

Action PlantaComp

- Lancement de l'action PlantaComp en 2009 avec un poste EFPA dédié

Animation

- Créer un dynamisme autour du réseau PlantaComp
- Renforcer les interactions entre les unités du réseau
- Interagir avec les partenaires extérieurs

Exemple : Organisation d'une rencontre annuelle des praticiens du réseau

Coordination

- Améliorer la gestion et le suivi des tests
- Travailler sur les méthodes d'acquisition des données
- Mettre en place des outils pour mieux gérer les données du réseau

Exemple : Réflexion sur la mise en place d'un système d'information central

Valorisation

- Intégrer le réseau à de nouveaux projets de recherche
- Accroître la visibilité du réseau

Exemple : Création de la lettre d'information du réseau annuelle