

Réseau français de phénotypage des plantes (FPPN)

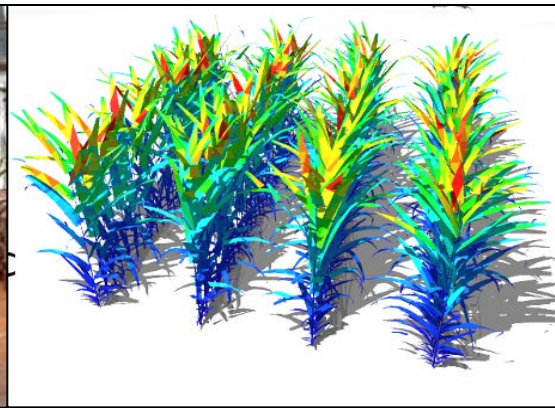
INVESTISSEMENTS D'AVENIR
INFRASTRUCTURES NATIONALES DE BIOLOGIE ET SANTE

F. Tardieu (coord.) & J. Le Gouis

Sept 2012 – Dec 2019 : subv. 24 M€, tot. 42 M€



www.phenome-fppn.fr



Enjeux

1. **Scientifique** : Comprendre la réponse des plantes aux facteurs de l'environnement - production plus importante, de meilleure qualité et plus économe en intrants
2. **Technique** : Réduire la fracture entre le débit du génotypage et le débit du phénotypage - facteur limitant des analyses génétiques
3. **Economique** : Offrir aux sociétés françaises la possibilité d'accéder à / développer des outils et méthodes de pointe

Objectives du projet Phénome

1. Fournir à la communauté végétale française (*recherche académique et privée, sélectionneurs, instituts techniques*) une infrastructure de phénotypage haut-débit (1000x plantes) - Développer des méthodes et techniques associées.
2. Caractériser des séries de plantes (populations / variétés / mutants / transgènes) avec une suite de plateformes capable de répondre à des questions spécifiques avec un débit équivalent
3. Caractériser ces génotypes dans différents scénarios environnementaux impliquant différentes conditions climatiques, complexes parasitaires, techniques culturales (GxExM), incluant les composantes du changement global (augmentation [CO₂], température élevée, faible disponibilité en eau, nouveau complexe parasitaire, ...)

Support de projets : Amaizing, Breedwheat, Drops, PeaMust, ...

Partenaires

Consortium « primaire » : INRA, Arvalis, CETIOM

- 4 départements INRA: E&A, BAP, CEPIA, MIA
- 12 unités de recherche (UMR, UR, UE)

Un consortium plus large via les projets méthodologiques

- Collaborateurs publics :
Ecole Polytechnique, IRSTEA, CEA-LETI, INRIA, IRIT
- Un réseau de sous-traitants PME :
Lemnatec/Elcom, Inoviaflow Engineering, Effidence, Optomachines...

Des labellisations

- GIS-Biotechnologies vertes
- Pôles de compétitivité



Possibilité évolution du contour du consortium en fonction des initiatives de phénotypage

Organisation générale

Infrastructure de phénotypage

Plateformes en conditions contrôlées

Plateformes au champ

Plateformes métabolomique et structurale

Développements technologique et méthodologique

Capteurs et méthodes

Réseau cohérent de bases de données

Bioinformatiques pour le phénotypage

Gouvernance

Réseau de plates formes multi-spécifiques



- Paramètres de modèle
- Plantes génétiquement modifiées

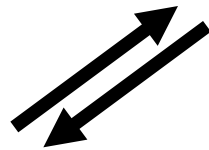
Conditions contrôlées

- Montpellier (parties aériennes, sécheresse)
- Dijon (racine, symbiose)



Omics haut-débit

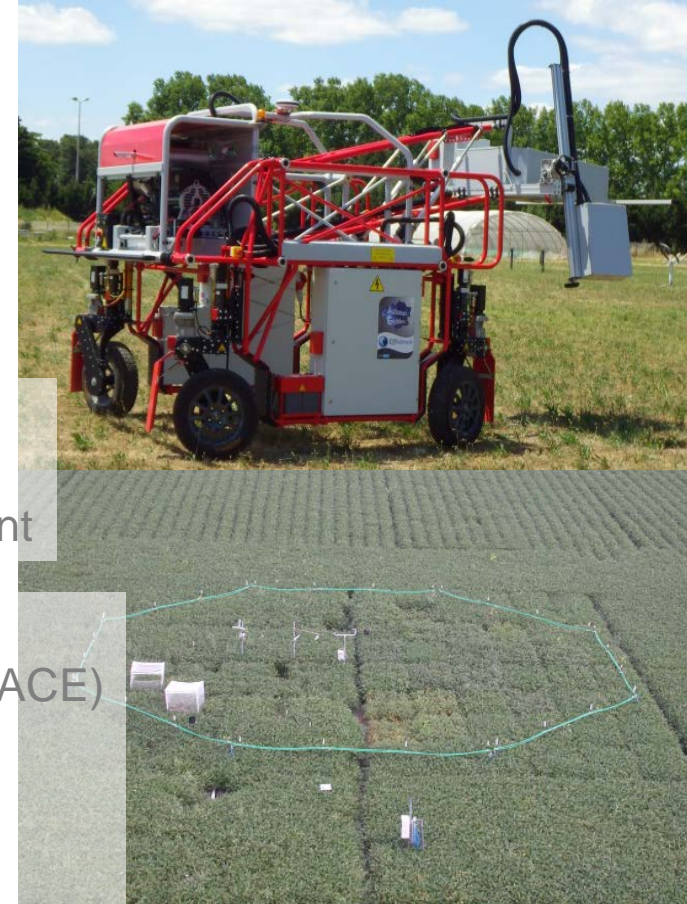
- Composition et qualité (Nantes)
- Métabolomique (Bordeaux)



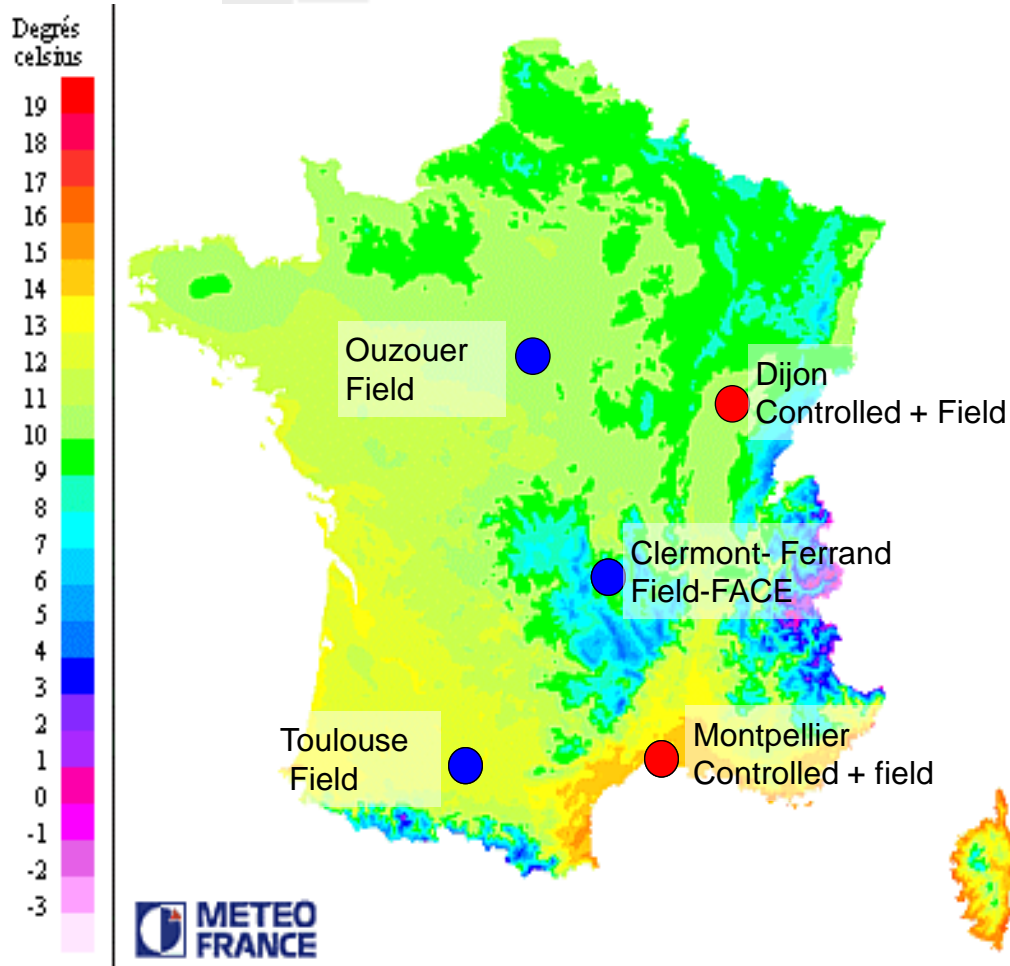
- Validation en conditions agronomiques
- Génotype x Environnement

Champ

- Clermont (FACE)
- Ouzouer
- Dijon
- Montpellier
- Toulouse



Réseau de 5 plateformes au champ



Représentent différents pédo-climats

Partage des caractéristiques:

- capteurs de l'environnement (sol et air)
- capteurs de la réponse de la plante
- base de donnée locale

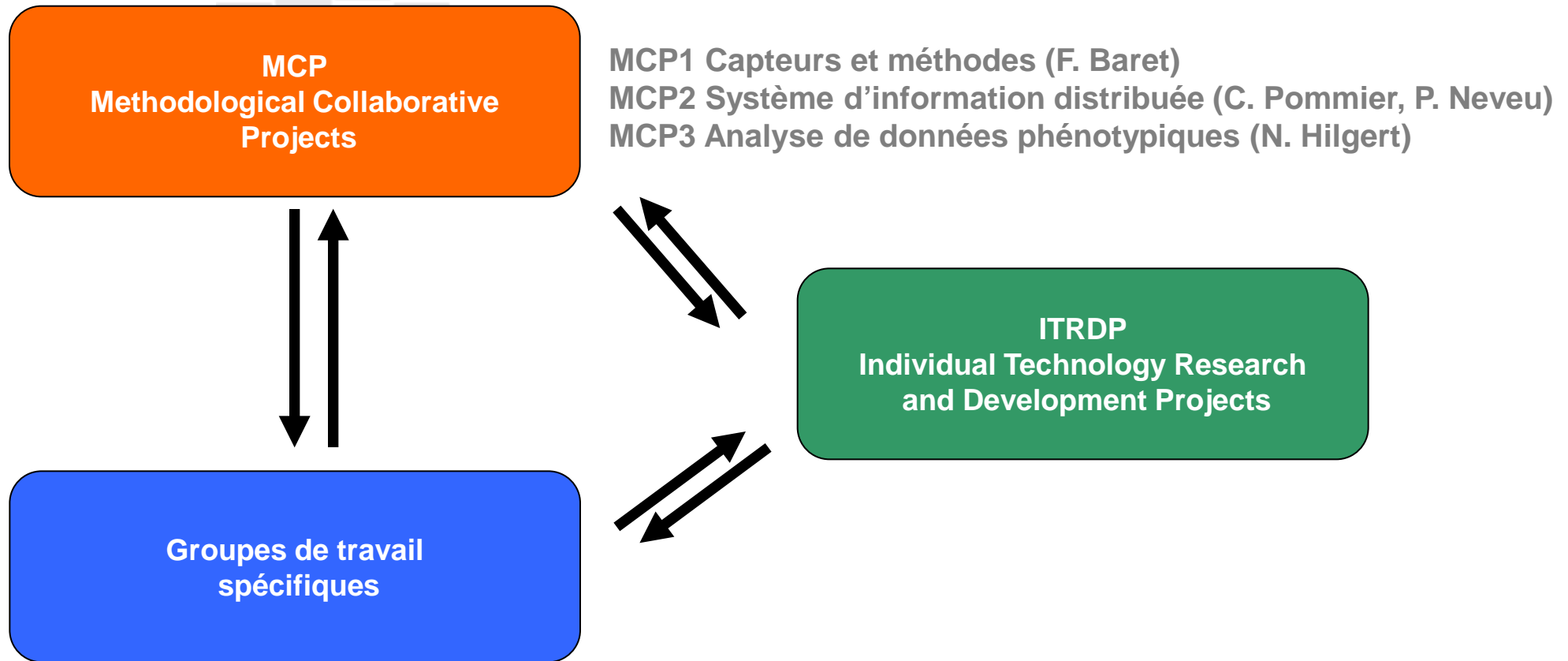
Présente des spécificités :

- abri-roulants = pluie
- FACE = [CO₂]
- écrans passif = température, radiation
- réserve utile en eau / niveau d'azote

Tête de réseau :

- Dissémination d'outils et méthodes
- Secteur privé, instituts techniques, unités INRA

Plusieurs groupes de développement



Mutualisation des développements d'outils et méthodes
Développements principaux sur les 4 premières années du projet

MCP1 Capteurs et méthodes

Objectif : Développer les outils et méthodes de phénotypage

Coord. Fred Barret

- **Phénotypage en milieu contrôlé**

- Structure 3D plantes individuelles

- **Phénotypage au champ**

- Drone (dynamique / stress)

- Phénomobile (description détaillée / organe / composition biochimique)

- **Caractérisation de l'environnement**

- Météo

- Sol (C. Doussan)

- Pression pathogène

- **Caractérisation récolte/grains**

- Chaîne de caractérisation/composition grains (B. Jaillais)

- Chaîne de traitement post-récolte (M. Delalande)

Phénotypage en conditions contrôlées – Architecture 3D (Ch. Fournier)

Automatic segmentation into organs



Distribution into gridded space

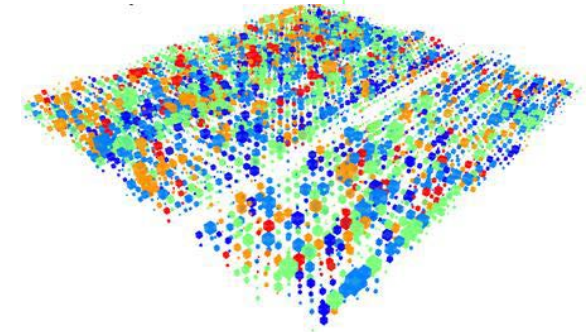
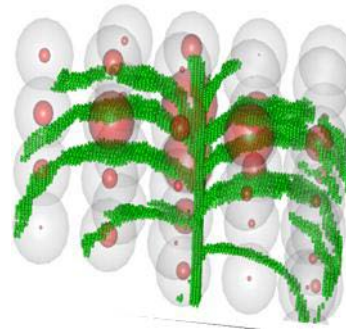
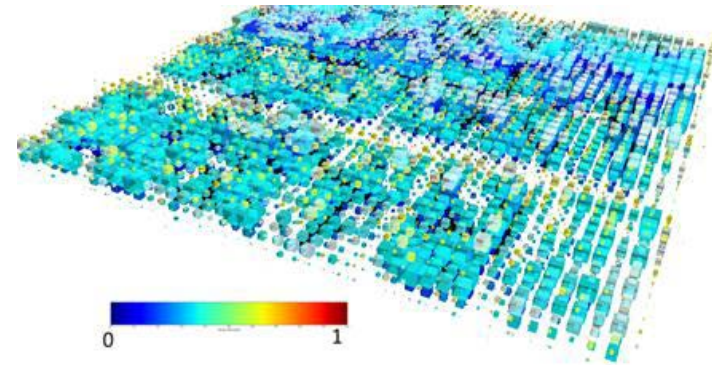


Image analysis pipeline for reconstructing plants in 3D and compute:

- Leaf area
- Leaf inclination
- light interception
 - at the canopy scale
 - at the organ scale

Implementation into OPENALEA



Phénotypage au champ

Complémentarité Drone/Phenomobile

- **PHENOMOBILE: Acces to mm² observations: 100-200 μ-plots/h**
 - Few hours between first and last μ-plots sampled
 - Need active measurements
 - Access to the detailed structure
 - Access to the organ level biochemical constituents (Chlorophyll ...)
 - Active systems
- **UAV: access to m² observations: 10 000 μ-plots/h**
 - Few minutes between first and last plots sampled: well suited for stress evaluation
 - Very well suited for fine monitoring of the dynamics
 - But...
 - Difficulty to access the detailed structure and organ level biochemical content
 - Possible confounding effects: retrievals may be cultivar specific

Développement d'une solution drone



Multicoptere: Fox_C8

Charge utile: > 1 kg

Autonomie: > 15 minutes (dépend de la CA)

Moindre sensibilité au vent

Approuvé DGA

Nécessité d'un brevet ULM

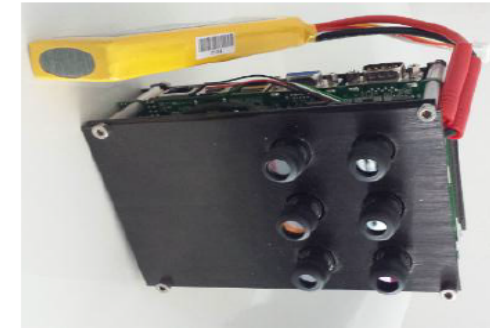
Peu onéreux (ca se plante de temps en temps ...)

Tests 2014

Operationnel 2015



Camera thermique: FLIR_Tau2 640x512



Camera multispectrale: Meas_it

1000x1000

6 bandes: Blue, PRI1 PRI2 Red RE NIR

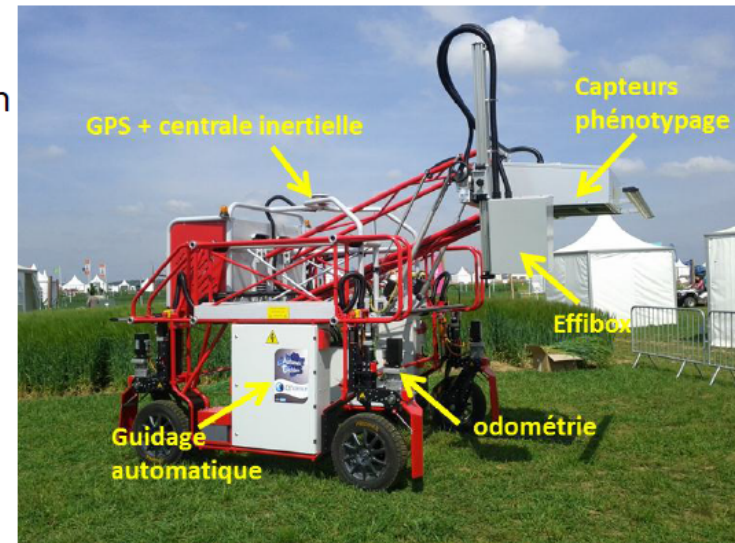
Extension possible

Lidar

Fluorescence (passive)

Développement d'une solution phéno-mobile

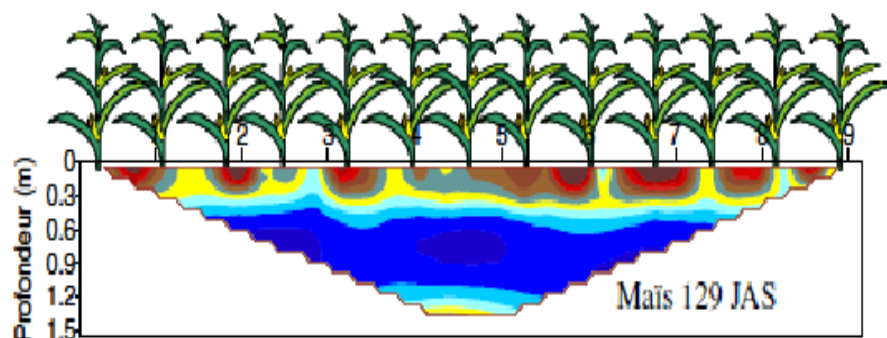
- **Système entièrement automatique**
- **Prototype pour cultures basses en test (Avignon/Gréoux)**
 - Corrections bugs
 - Caractérisation capteurs
- **Développement des chaines de traitement**
 - Niveau 1 (2014)
 - Lidars: hauteur, fréquence d'interception
 - Camera RGB + Spectro = idem arche
 - Niveau 2 (2015)
 - Reconstruction 3D toit du couvert
 - Comptage
 - Estimation contenu en chlorophylle



Caractérisation de l'environnement

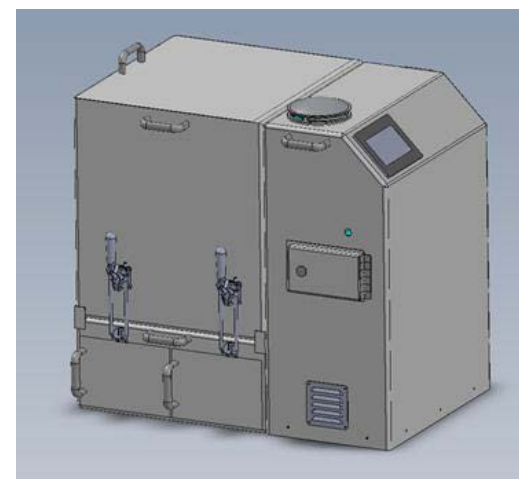
Caractérisation sol (C. Doussan)

- Mesures humidité du sol au niveau du traitement
- Utilisation de techniques ERT (Electric Resistivity Tomography)
- Mesure biomasse racinaire
 - Techniques SIP



Caractérisation de la pression pathogène

- Biocollecteur CEA LETI



Caractérisation récolte/grains

- Chaine de caractérisation/composition grains (B. Jaillais)
- Chaine de traitement post-récolte (M. Delalande)

Débit: 200 lots/jour

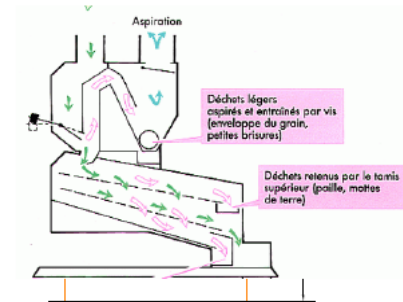
Fractionnement



Pesage



Nettoyage



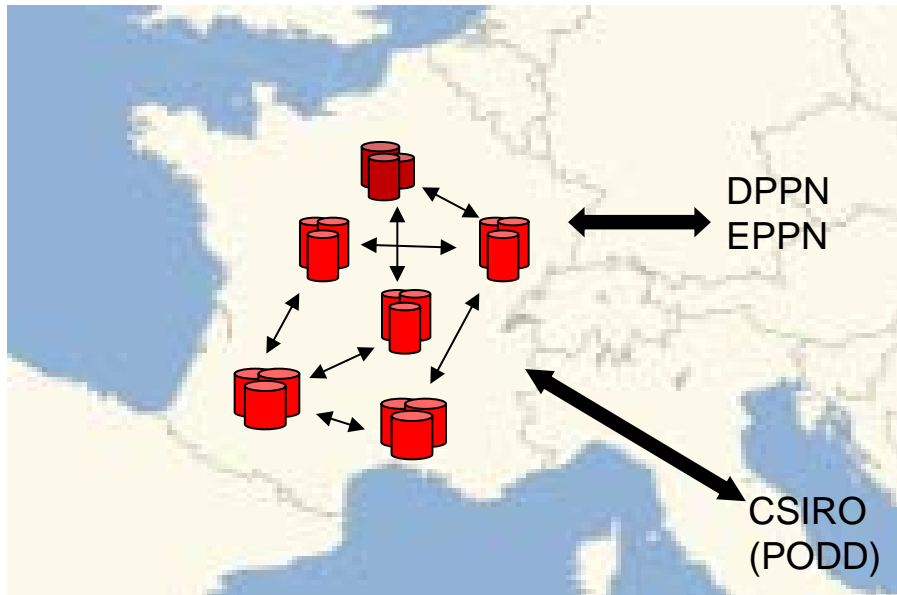
Caractérisation



identification

MCP2 Système d'information distribuée

Objectif : Organiser les données phénotypiques de manière cohérente dans le réseau et dans des réseaux internationaux
Coord. Cyril Pommier, Pascal Neveu



Ontologies

Développement de bases de données locales cohérentes avec des outils "webservice"

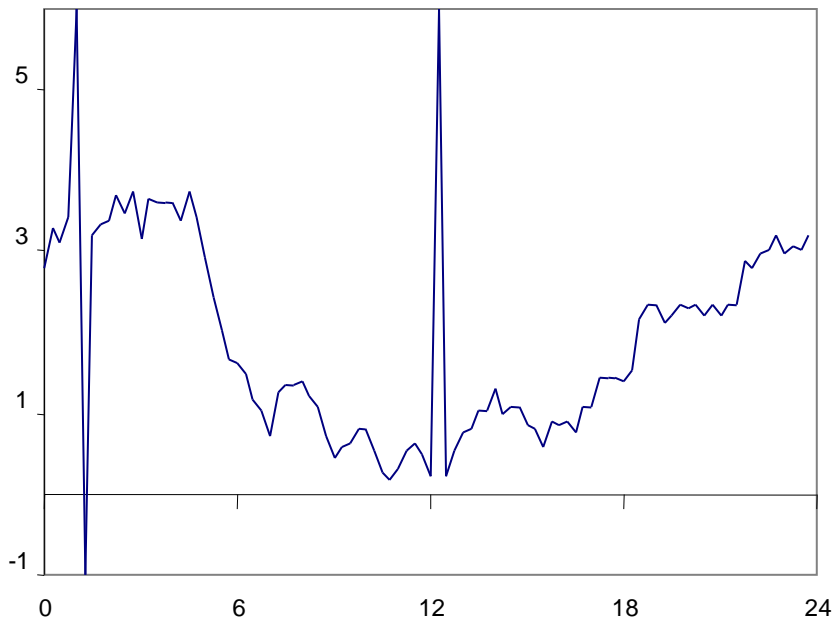
Archivage des données

Phenome chargé de la gestion et la sauvegarde des données
Mais les données « appartiennent » aux projets hébergés

MCP3 Analyse de données phénotypiques

Pheno-Math-Info

Objectif : Méthodes pour valider et analyser de grandes collections de données
Coord. Nadine Hilgert



200 lignées, 3 reps 3-4 manips, 12 jours
= 20 000 cinétiques

Annotation des données: nettoyage,
validation, lissage

Analyse statistiques des séries
temporelles

Inclusion des données phénotypiques
dans les modèles

Partenaires internationaux



European Plant Phenotyping network. UE - ESFRI
Accès aux plates formes ; méthodologie



International Plant Phenomic network
Société internationale en devenir

DPPN

Phenome Allemand

Projets méthodologiques bilatéraux

Imagerie au champ et en conditions contrôlées : HRPPC Canberra (Aus.)

Imagerie fonctionnelle Jülich (All.)

Système d'Information : Aachen (All.), HRPPC Canberra