



HAL
open science

**Les techniques de proxidtection : une alternative à la notation conventionnelle de la phénologie foliaire ?
Application à la datation du débourrement en plantation comparative de provenances de chênes sessiles**

Dominique Guyon, Benoît Beguet, Frédéric Baret, Fabrice Bonne, Sylvia Dayau, Alain Kruszewski, Jean-Pierre Wigneron, Alexis A. Ducouso

► **To cite this version:**

Dominique Guyon, Benoît Beguet, Frédéric Baret, Fabrice Bonne, Sylvia Dayau, et al.. Les techniques de proxidtection : une alternative à la notation conventionnelle de la phénologie foliaire ? Application à la datation du débourrement en plantation comparative de provenances de chênes sessiles. La phénologie : un observatoire des changements climatiques. 1. Colloque du GDR 2968 "Systèmes d'Information Phénologique pour la Gestion et l'Etude des Changements Climatiques, GDR SIP GECC. Labo/service de l'auteur, Ville service., Oct 2009, Montpellier, France. hal-02822805

HAL Id: hal-02822805

<https://hal.inrae.fr/hal-02822805>

Submitted on 6 Jun 2020

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

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

Les techniques de proxidtection: une alternative à la notation conventionnelle de la phénologie foliaire ?

Application à la datation du débourrement en plantation comparative de provenances de chênes sessiles.

Dominique Guyon ⁽¹⁾, **Benoît Beguet** ⁽¹⁾, **Frédéric Baret** ⁽²⁾,
Fabrice Bonne ⁽³⁾, **Sylvia Dayau** ⁽¹⁾, **Alain Kruszewski** ⁽¹⁾,
Jean-Pierre Wigneron ⁽¹⁾, **Alexis Ducousso** ⁽⁴⁾

(1) INRA, UR 1263 EPHYSE, BP81, 33883 Villenave d'Ornon

(2) INRA, UMR 1114 EMMAH, 84914 Avignon Cedex 9

(3) INRA, UE 1261 UEFL, 54280 Champenoux

(4) INRA, UMR 1202 BIOGECO, 69 route d'Arcachon, 33612 Cestas



Contexte

- Besoin de mesures de la phénologie foliaire de qualité et simultanées sur un grand nombre d'arbres
 - phénotypage haut débit (diversité intra-spécifique)
 - intensification des réseaux d'observation
- Notations visuelles conventionnelles: opération coûteuse et délicate
 - Datation impossible des phénophases sur des dizaines de milliers d'arbres en plantation comparative de provenances géographiques d'une même espèce
- Quelles solutions techniques de remplacement?
 - Automatiques, + quantitatives, ...
 - Opérationnelles au niveau arbre ou groupe d'arbres
- Limites de la télédétection
 - Satellitaire / résolution spatiale , Aérienne / fréquence temporelle
- **Proxidétection = système de mesures de rayonnement au sol?**



Objectifs

Tester une technique

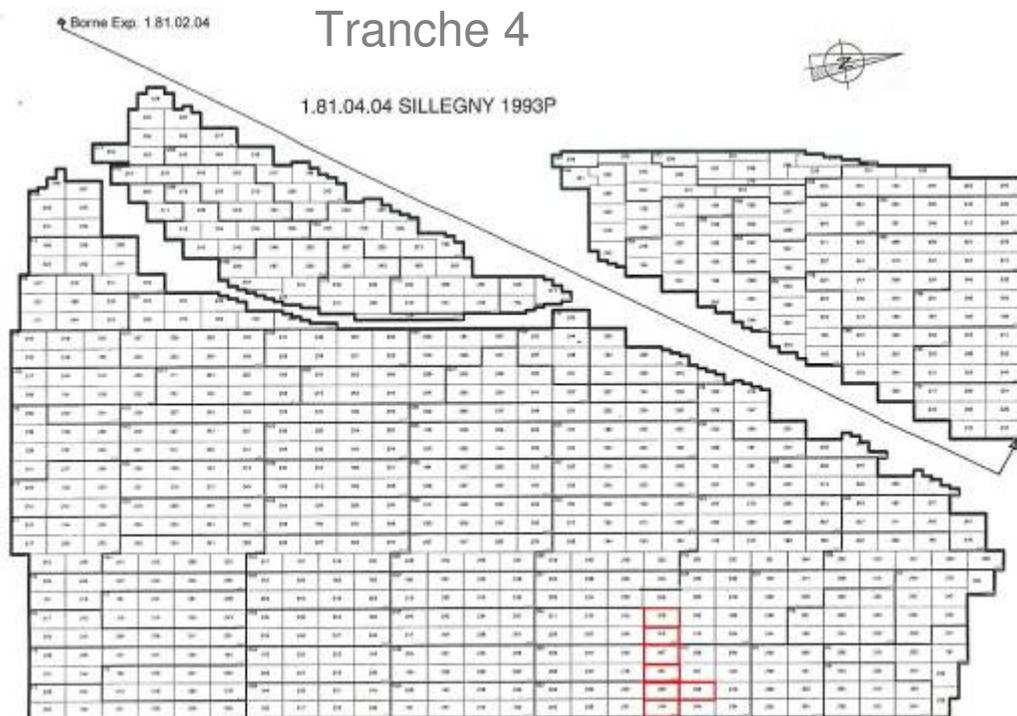
- automatique de suivi en continu de la phénologie foliaire
 - fondée sur la mesure du rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) intercepté par la partie aérienne des arbres
-
- Mise au point d'un réseau 'prototype' de capteurs de PAR transmis, posés au sol sous les arbres, et de PAR incident, mesuré au dessus des arbres
 - Évaluation du potentiel des variations saisonnières de la fraction de PAR intercepté ou FiPAR pour dater le **débourrement** et la sénescence d'essences feuillues
 - Sur un dispositif de test de provenances de chêne sessile (*Quercus petraea*) de l'INRA

Projet innovant INRA 2009 , avec appui du GDR 2968



Dispositif expérimental

Test de provenances de chêne sessile en forêt domaniale de Sillégny (Moselle)



54777 individus
27 ha
4 tranches
122 provenances

6 provenances génétiques:
- comportement phénologique contrasté
- en 6 parcelles unitaires (PU) mitoyennes

| <i>Provenances:</i> | |
|---------------------|---|
| 5 | |
| 4 | |
| 3 | |
| 2 | 6 |
| 1 | |

1: Klostermarienbergr (Autriche)
2: Bussières (52)
3: Soudrain (18)
4: Fontainebleau (77)
5: St Aubin du Cormier (35)
6: Bad Hersfeld (Allemagne)



Système de mesure du PAR intercepté

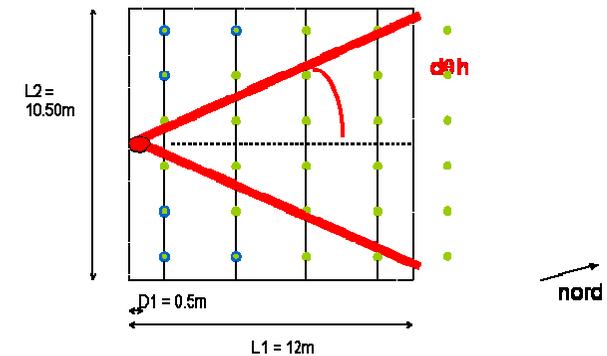


1 capteur de PAR transmis par PU



1 capteur de PAR incident

Parcelle unitaire



Organisation d'une PU, visée du capteur au sol (projection horizontale)

- Restriction du champ de visée aux arbres de la PU concernée
- Acquisition des mesures par une centrale type 21X Campbell, temps de scrutation de 1s, temps d'intégration de 1mn
- Mise en service le 11 mars 2009, 15840 données par jour



Observations visuelles du débourrement

- entre le 7 avril et le 13 mai (7 passages)
- Arbre par arbre
- Notation des stades phénologiques avec l'échelle BBCH adaptée au chêne sessile
- Transformation de l'échelle BBCH en échelle « continue »

| | Développement des bourgeons | | | | | Développement des feuilles | | | | | | | | | | Développement des pousses | | | | |
|-----------------------|-----------------------------|---|---|---|---|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------------------------|----|----|----|----|
| Echelle BBCH | 0 | 1 | 3 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 31 | 33 | 35 | 37 | 39 |
| Echelle BBCH continue | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |

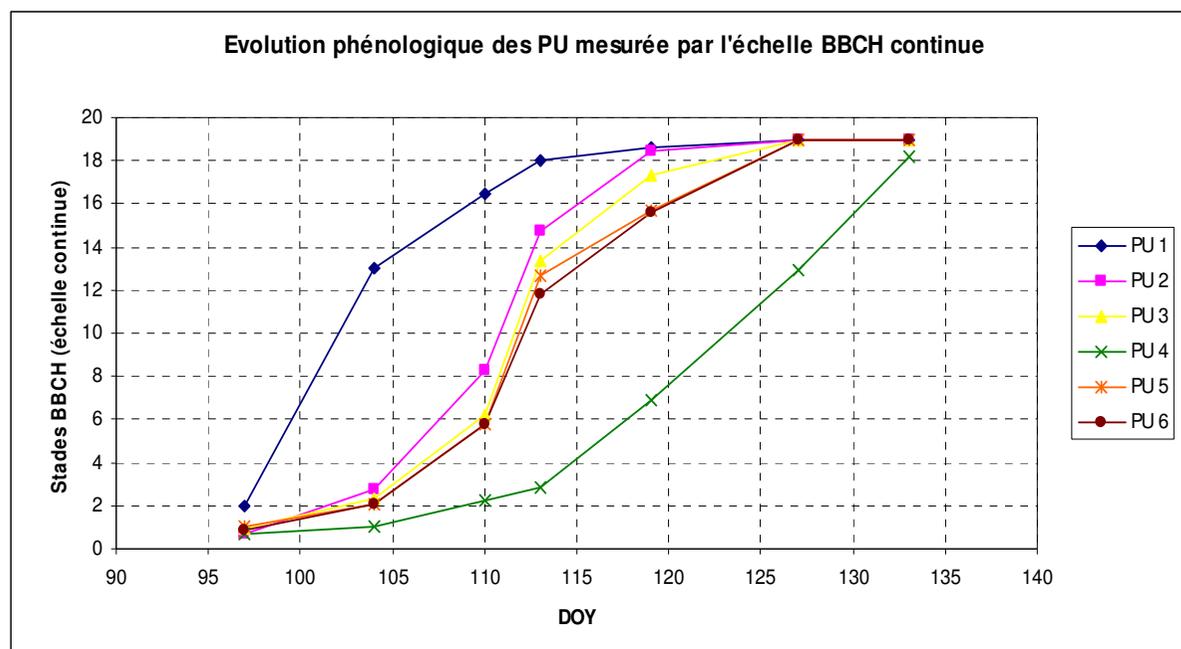
Débourrement

- Observations focalisées sur le stade du débourrement (« les premières feuilles sont étalées sur 90% du houppier »)



Observations visuelles du débourrement

- Détermination d'un score BBCH moyen pour chaque PU à une date donnée.

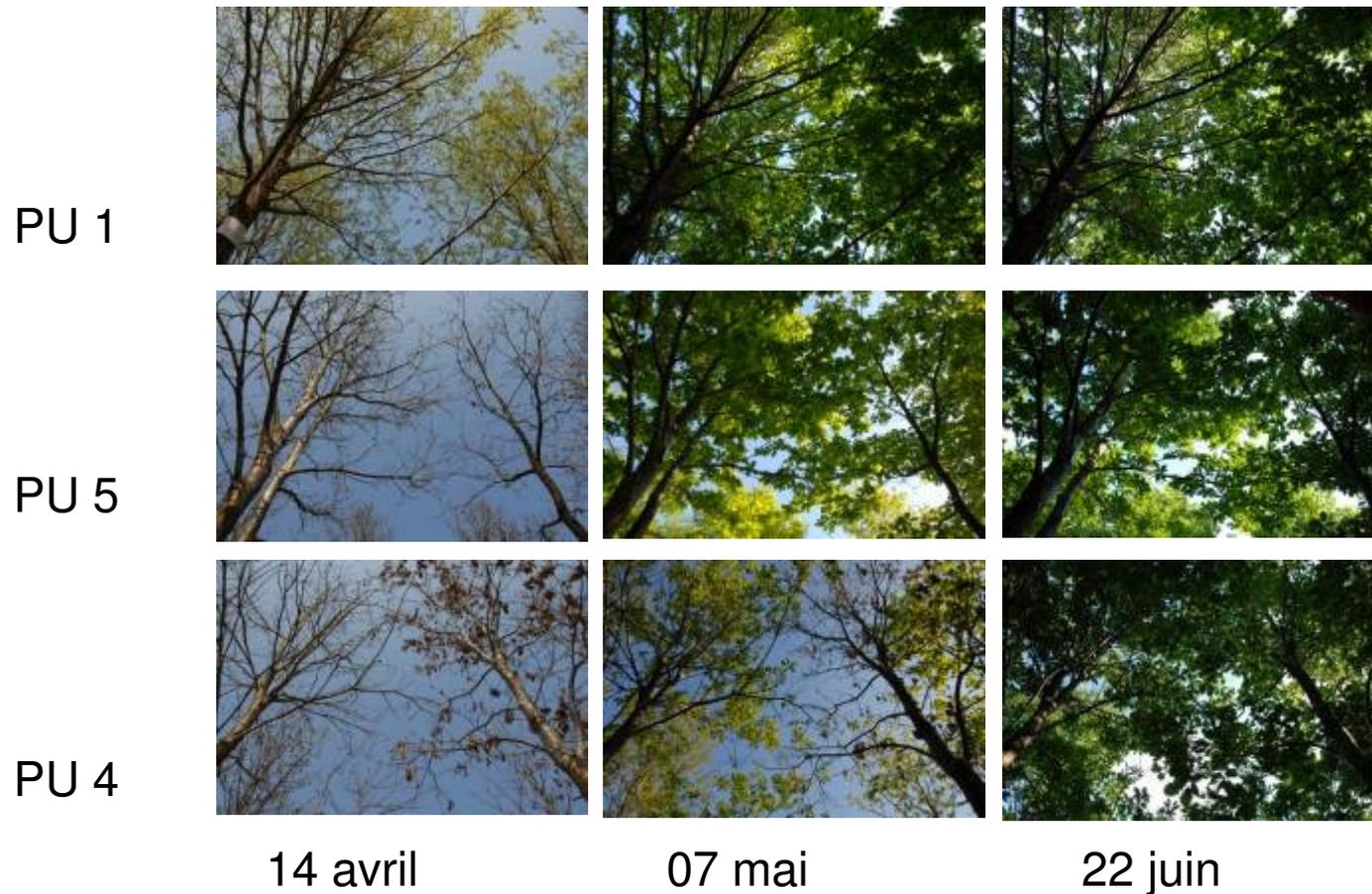


- La PU1 est la plus précoce, la PU4 est la plus tardive
- Difficulté de différencier les PU intermédiaires
- Les stades suivant le stade 19 ont été observés avec moins d'attention



Observations visuelles du débourrement

Photographies avec ~ le même champ de visée que les capteurs de PAR

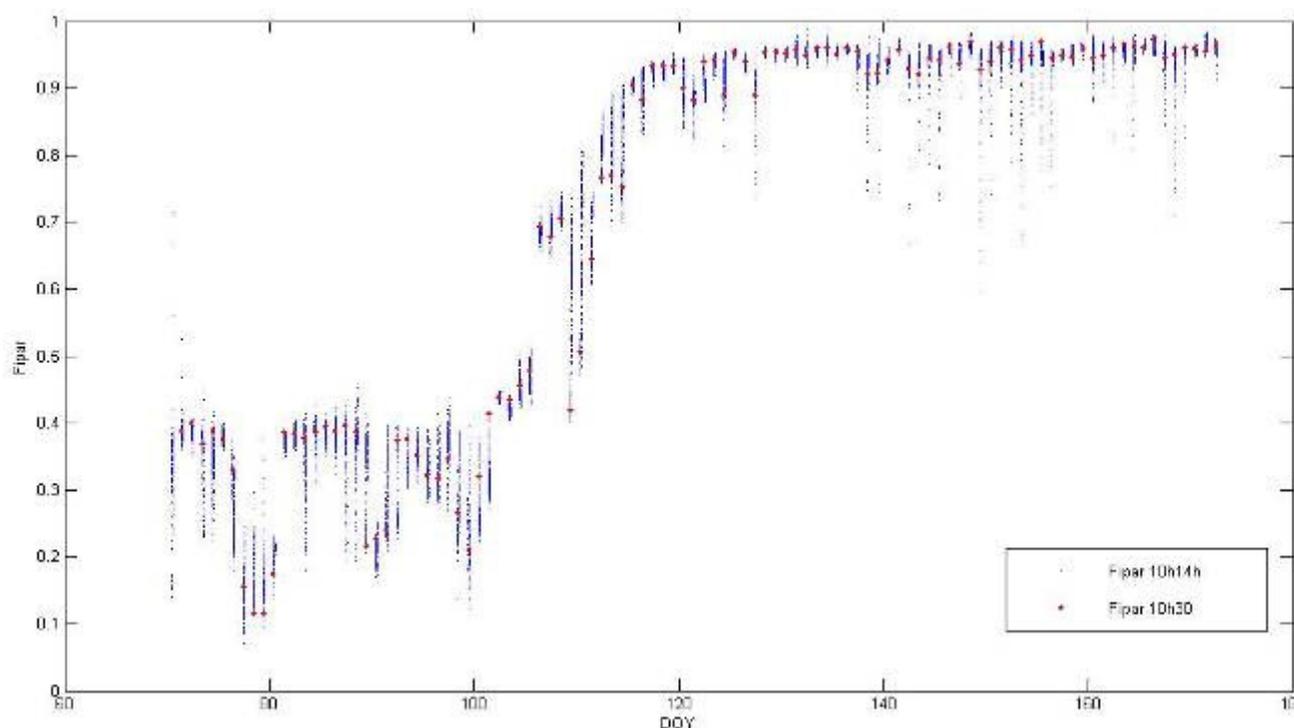


Variations saisonnières du Fipar

- Fipar: part de radiation photosynthétiquement active interceptée par la canopée

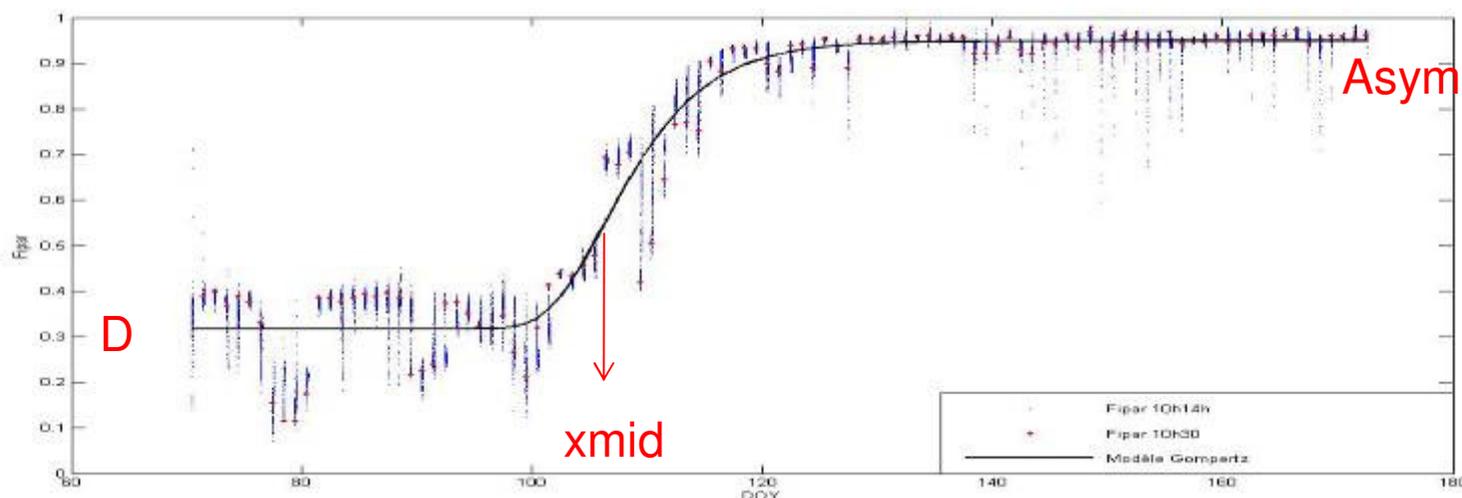
$$Fipar = 1 - \frac{PAR_{transmise}}{PAR_{incidente}}$$

- Intégration temporelle, solutions proposées :
 - Fipar entre 10h et 14h / Fipar moyen entre 10h et 14h et filtre moyenneur taille 5
 - Fipar à 10h30 / Fipar entre 10h15 et 10h45



Variations saisonnières du Fipar

- Modélisation statistique: courbe de Gompertz $y = Asym * \exp(-\exp(-scal*(x-xmid))) + D$



| | | Estimations Paramètres | Erreur Standard | IC borne inf 95% | IC borne sup 95% |
|------|-------------|---------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| PU 1 | <i>Xmid</i> | 106.3587 | 0.0300 | 106.3026 | 106.4148 |
| PU 2 | <i>Xmid</i> | 116.2194 | 0.0294 | 116.1629 | 116.2758 |
| PU 3 | <i>Xmid</i> | 117.4880 | 0.0322 | 117.4247 | 117.5512 |
| PU 4 | <i>Xmid</i> | 127.4683 | 0.0526 | 127.3649 | 127.5718 |
| PU 5 | <i>Xmid</i> | 114.9316 | 0.0370 | 114.8567 | 115.0062 |
| PU 6 | <i>Xmid</i> | 116.9519 | 0.0436 | 116.8654 | 117.0381 |

| | RMSE | Biais | R2 |
|------|--------|-----------|-------|
| PU 1 | 0,0563 | 4,809E-12 | 0,962 |
| PU 2 | 0,0579 | 4,255E-11 | 0,964 |
| PU 3 | 0,0622 | 1,870E-10 | 0,962 |
| PU 4 | 0,0664 | 9,208E-11 | 0,944 |
| PU 5 | 0,0675 | 4,567E-12 | 0,952 |
| PU 6 | 0,0790 | 1,419E-11 | 0,932 |

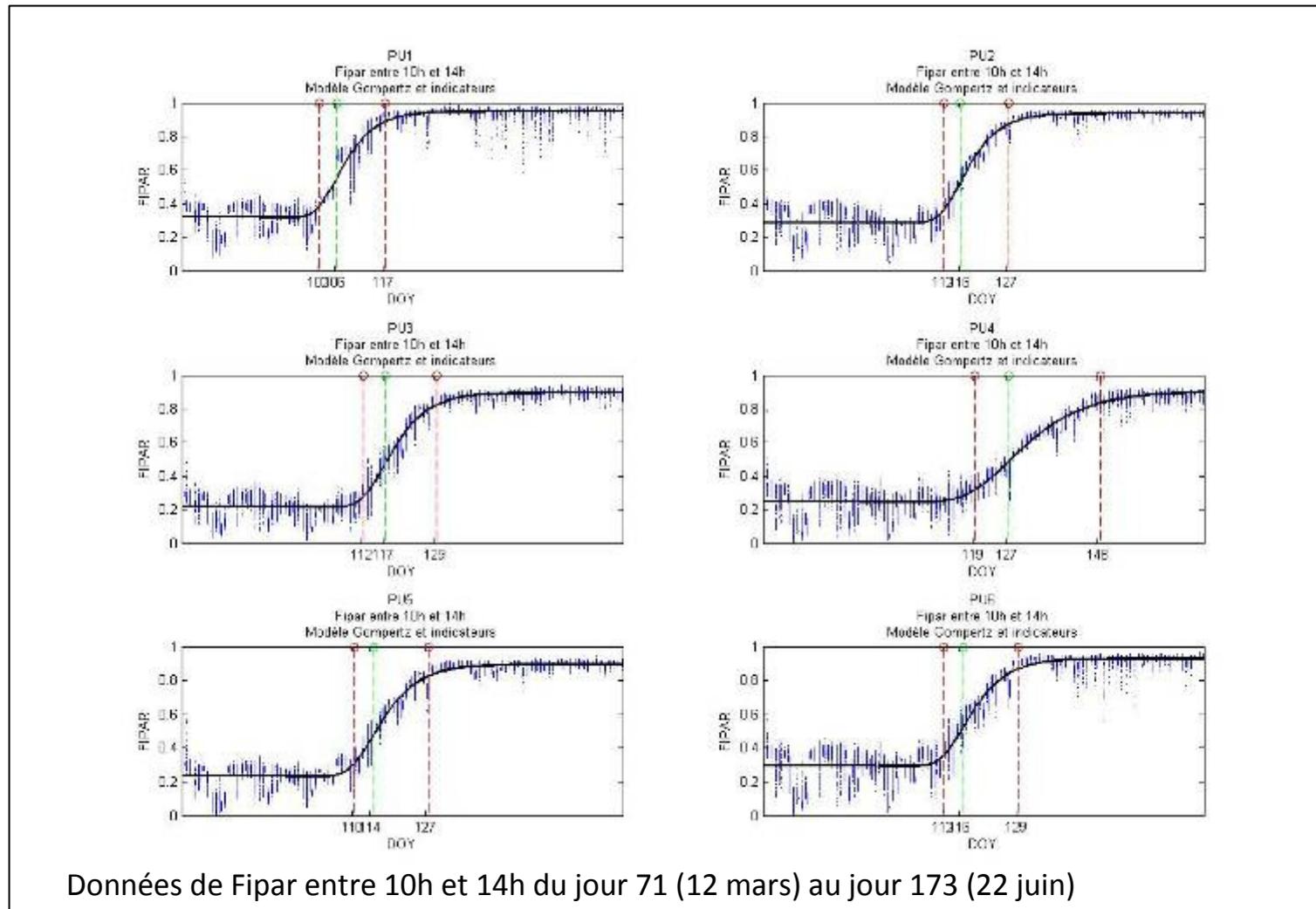
Modélisation de la courbe de réponse du Fipar :
Estimations du paramètre xmid du modèle Gompertz et
incertitudes. Données de Fipar entre 10h et 14h.

RMSE, biais et coefficients de corrélation
entre les valeurs prédites et observées.



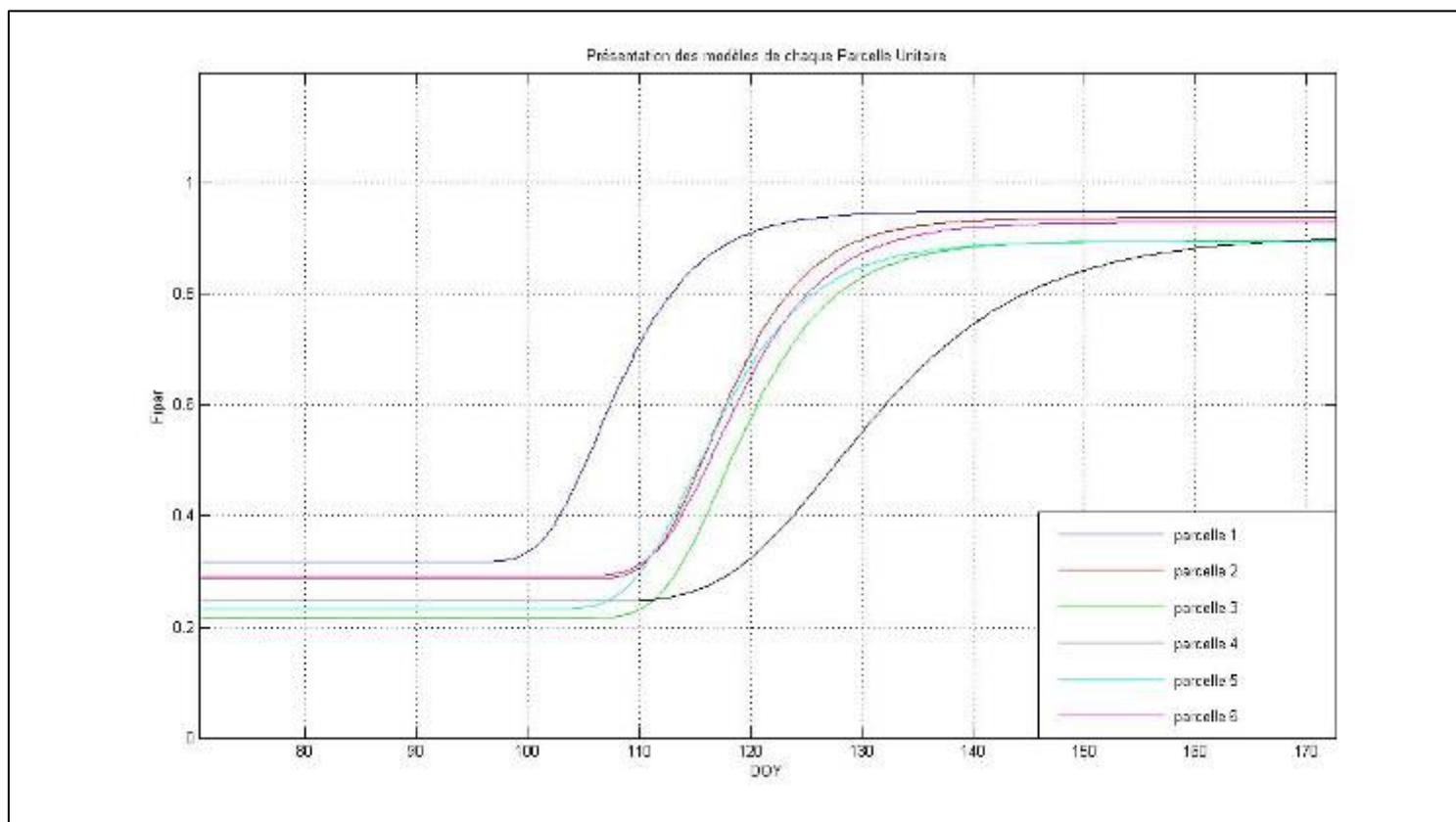
Variations saisonnières du Fipar

- estimation de trois indicateurs phénologiques: date du point d'inflexion et dates où 10 et 90 % de l'amplitude sont atteints.



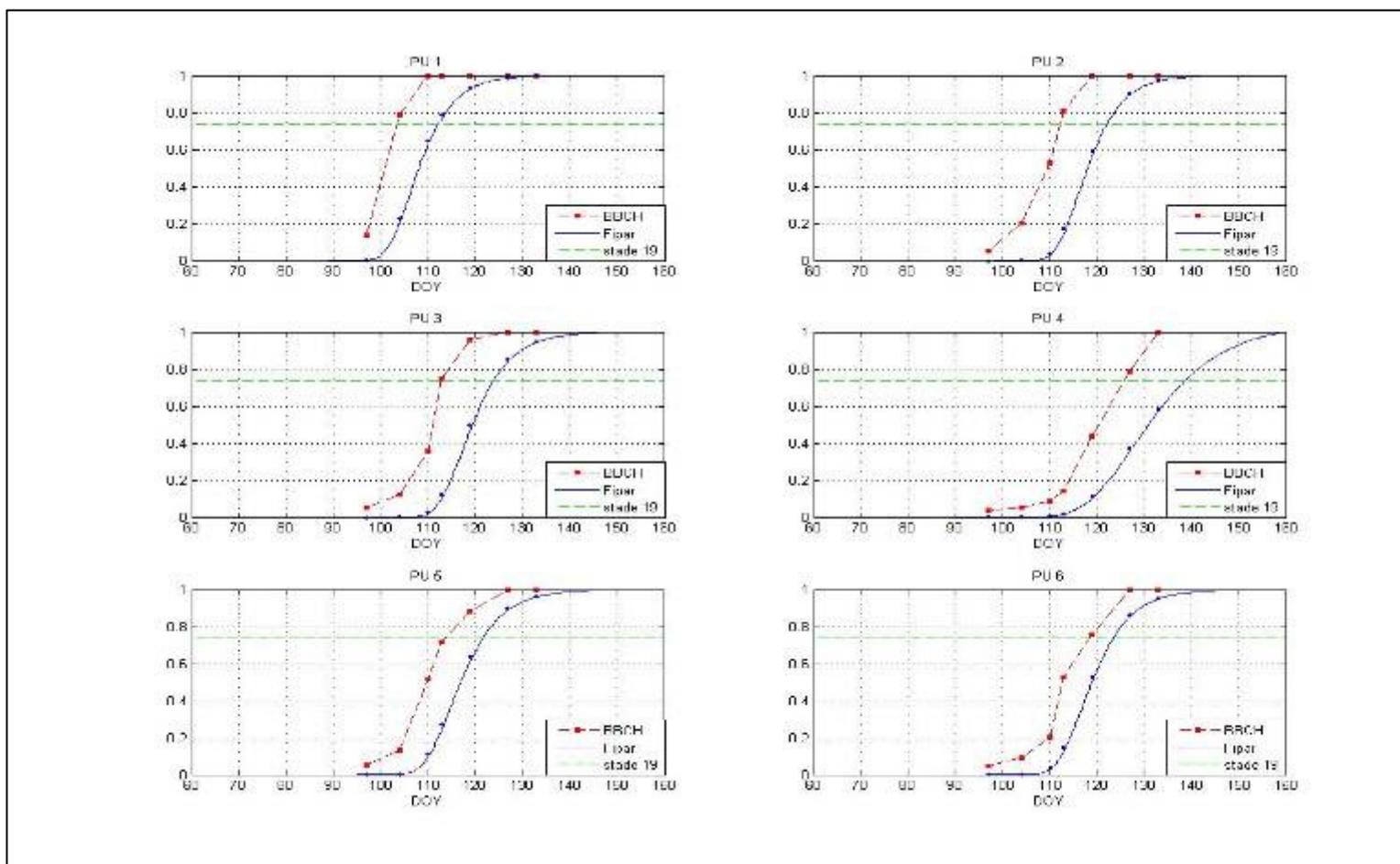
Variations saisonnières du Fipar

- Comparaison de la courbe de réponse du Fipar modélisée entre parcelles unitaires



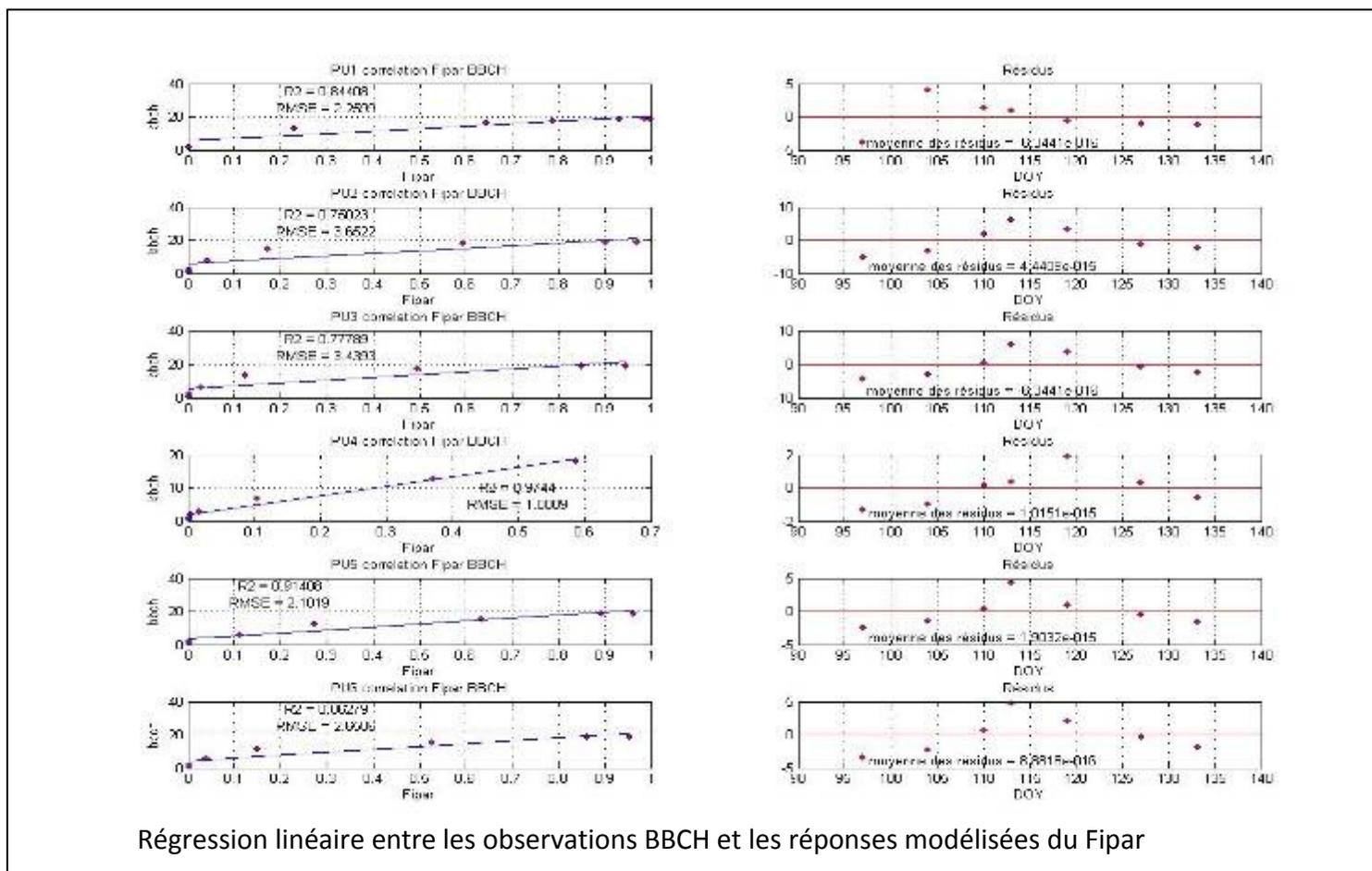
Comparaison des données de Fipar et de BBCH

- Comparaison des données BBCH et réponses du Fipar modélisées aux mêmes dates (réduites entre 0 et 1)



Comparaison des données de Fipar et de BBCH

- Observation des résidus : non linéarité de la relation entre Fipar et BBCH
- Comparaison directe entre les deux signaux non appropriée



Analyse des données de BBCH

- Nécessité de déterminer des indicateurs phénologiques à partir des observations visuelles (une date moyenne pour un stade donné)
- Deux méthodes:
 - Interpolation linéaire entre les stades phénologiques:

Interpolation arbre par arbre puis date moyenne pour le stade 19 (débourrement) pour chaque PU
Hypothèse: la croissance est linéaire entre deux stades de l'échelle BBCH
 - Modélisation Gompertz:

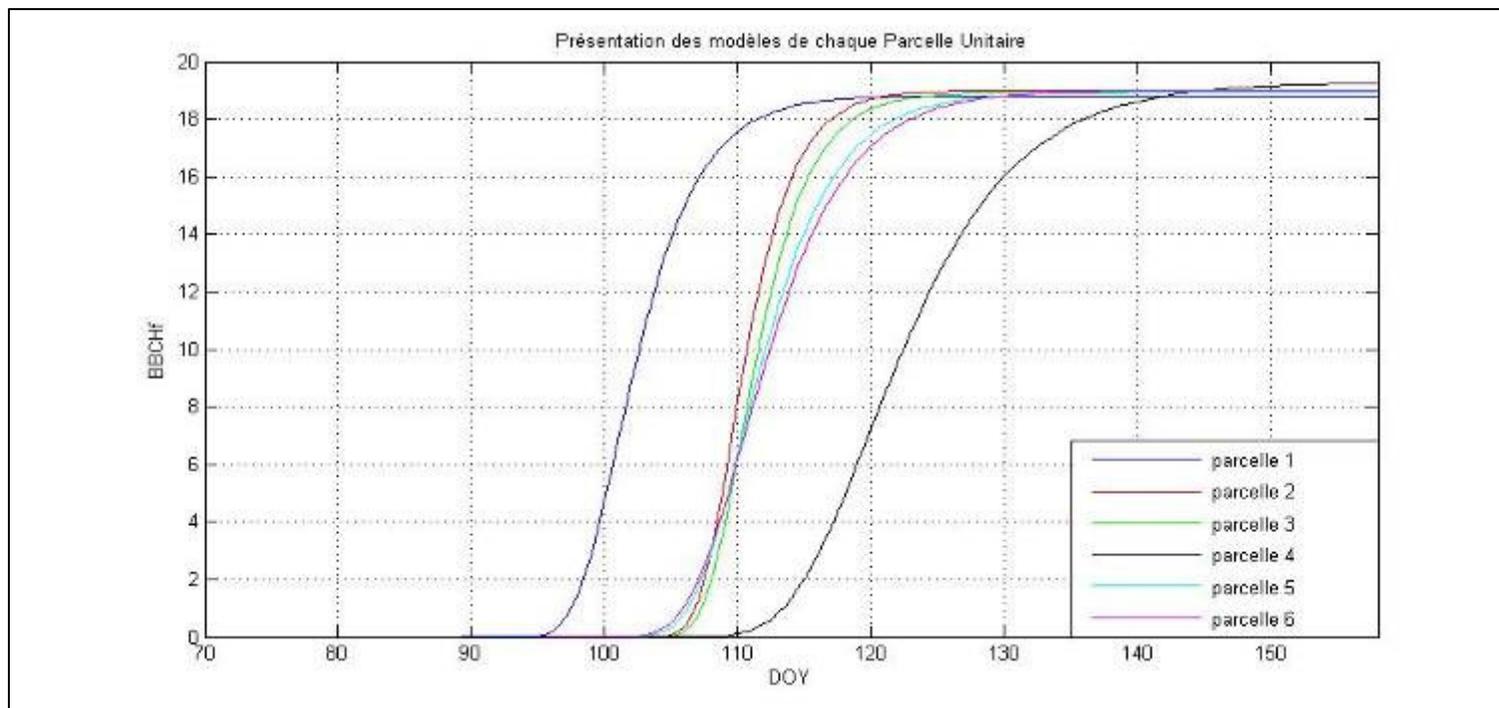
Réduction des observations aux stades de croissance foliaire = BBCHf

Détermination d'indicateurs phénologiques avec la même méthode employée pour les données de PAR



Analyse des données de BBCH

Comparaison des courbes de réponse modélisées de BBCHf entre parcelles unitaires.



| | | Estimations Paramètres | erreur standard | IC borne inf 95% | IC borne sup 95% |
|------|-------------|---------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| PU 1 | <i>Xmid</i> | 101.0473 | 0.3282 | 100.4638 | 101.6840 |
| PU 2 | <i>Xmid</i> | 109.5271 | 0.0089 | 109.5075 | 109.5464 |
| PU 3 | <i>Xmid</i> | 110.2528 | 0.0938 | 110.0352 | 110.4492 |
| PU 4 | <i>Xmid</i> | 119.8622 | 0.4385 | 118.9251 | 120.8166 |
| PU 5 | <i>Xmid</i> | 110.3227 | 0.2720 | 109.6854 | 110.8626 |
| PU 6 | <i>Xmid</i> | 110.4791 | 0.2080 | 110.0179 | 110.9045 |

Estimations du paramètre *xmid* du modèle Gompertz pour les données de BBCHf

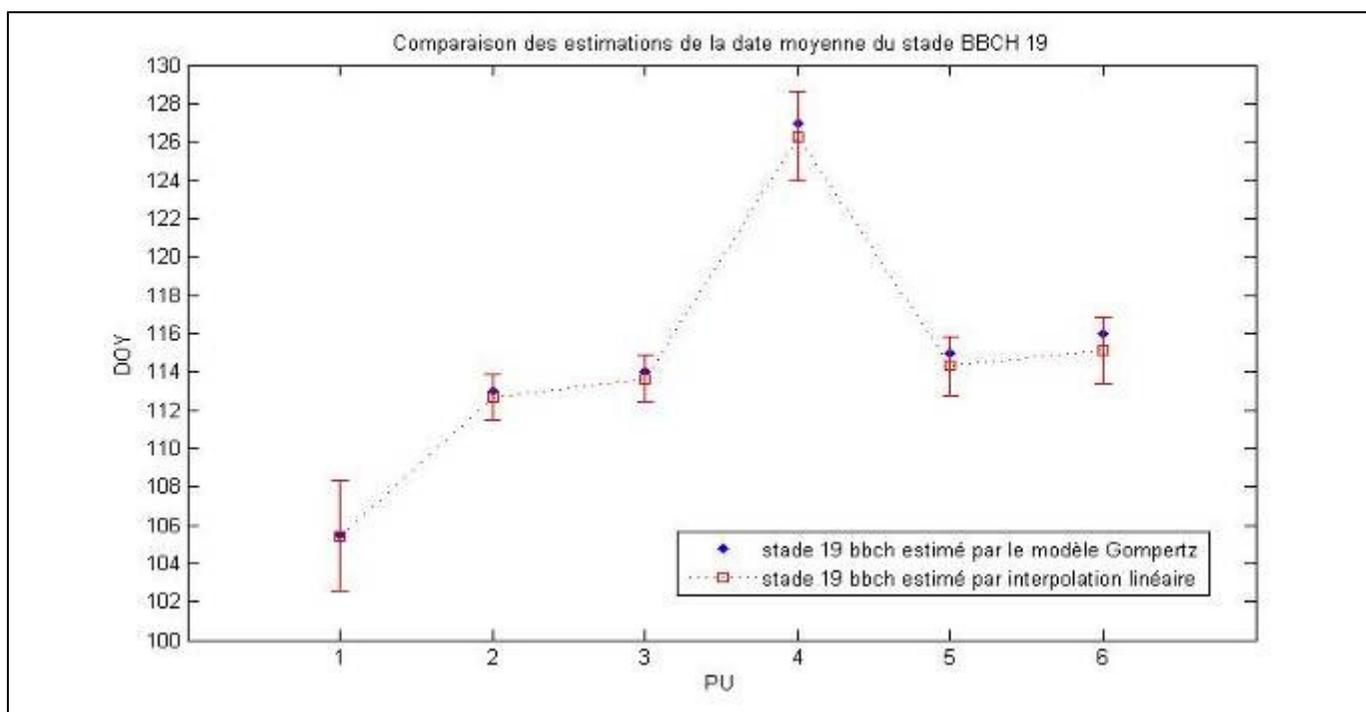
| | RMSE | Biais | R2 |
|------|--------|---------|-------|
| PU 1 | 0,3998 | -0,0341 | 0,997 |
| PU 2 | 0,0184 | -0,0003 | 0,999 |
| PU 3 | 0,2253 | -0,0022 | 0,999 |
| PU 4 | 0,5340 | -0,0384 | 0,996 |
| PU 5 | 0,5085 | -0,0125 | 0,996 |
| PU 6 | 0,3695 | -0,0158 | 0,998 |

RMSE, Biais et coefficients de corrélation entre les valeurs prédites et observées.



Analyse des données de BBCH

- Convergence des deux méthodes pour l'estimation de la date d'apparition du stade 19
- création d'indicateurs phénologiques de qualité pour l'estimation de la date du débourrement



Comparaison des estimations de la date du stade19 (14 en échelle continue)



Comparaison des indicateurs phénologiques

- Régression linéaire entre chaque paire d'indicateurs [indicateurFipar , indicateurBBCH] et calcul du coefficient de corrélation de Pearson

| <i>indicateurs</i> | Pearson | | <i>RMSE</i> <i>(modèle 1)</i> |
|--|-----------|----------------|----------------------------------|
| | <i>R2</i> | <i>p-value</i> | |
| debut_Fipar / debut_BBCH | 0.984 | 0.0001 | 0.6026 |
| inflexion_Fipar / inflexion_BBCH | 0.982 | 0.0001 | 0.7269 |
| inflexion_Fipar / BBCH=19 interpolation linéaire | 0.958 | 0.0006 | 1.2441 |
| inflexion_Fipar / BBCH=19 modèle Gompertz | 0.953 | 0.0008 | 1.3625 |
| fin_Fipar / fin_BBCH | 0.962 | 0.0005 | 1.4629 |
| période_Fipar / période_BBCH | 0.815 | 0.0136 | 1.5160 |

Résultats des régressions linéaires sur les dates données par les différents indicateurs.
Indicateur Fipar = variable explicative, Indicateur BBCH = variable prédite.

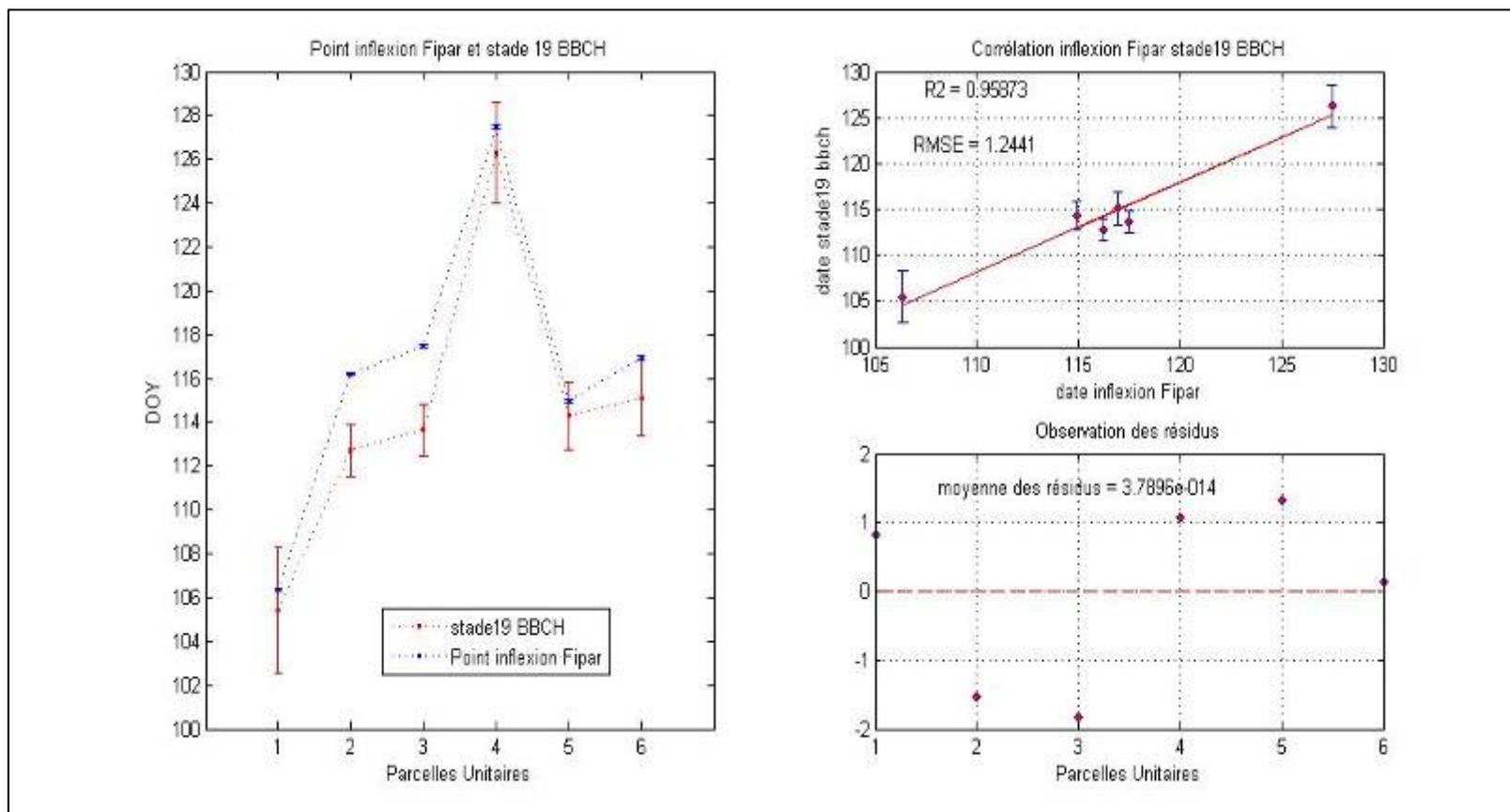
modèle (1): $indicateur_Fipar = a \text{ indicateur_bbch} + b$

modèle (2): $indicateur_Fipar = indicateur_bbch$

- Forte corrélation entre les indicateurs phénologiques obtenus par les deux méthodes d'acquisition
- Très forte corrélation entre dates des points d'inflexion du Fipar et du BBCHf
- Biais sur indicateurs BBCH prédits:
 - biais ~ nul sur modèle (1)
 - écart systématique ~ 5-6 jours sur modèle (2)



Comparaison des indicateurs phénologiques

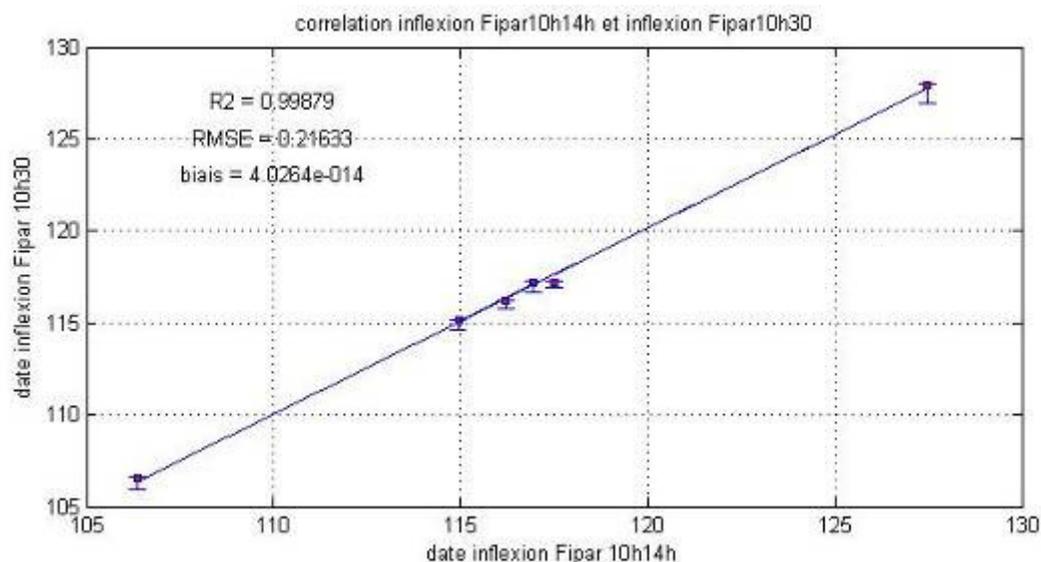


Analyse de la corrélation entre la date du point d'inflexion Fipar et celle du stade 19 BBCH obtenue par interpolation linéaire.



Impact de l'échantillonnage journalier des mesures de Fipar

La réduction de la période de mesure au cours de la journée, donc de la quantité de données à enregistrer, n'entame pas significativement la précision des estimations des indicateurs phénologiques.



Comparaison entre la date du point d'inflexion de la courbe de réponse du Fipar mesuré entre 10h et 14h et celle du Fipar mesuré à 10h30.



Conclusions

- Le moment critique du débourrement est bien observé par les capteurs de PAR
- La variabilité de la chronologie du débourrement entre provenances est bien retrouvée.
- Le suivi continu du FiPAR semble plus riche que les observations BBCH épisodiques.
- Détermination d'indicateurs phénologiques de croissance foliaire à partir des données de PAR pour le chêne sessile
- La comparaison de ces indicateurs a révélé la performance du dispositif expérimental
même si manque de diversité dans le débourrement en 2009 des 6 provenances testées

Suite de l'expérimentation 2009 sur le dispositif de Sillégnny

- exploitation sur le cycle complet de végétation:

Datation de la sénescence

manifestations + complexes que pour débourrement

chute de feuilles + décoloration

- tester des systèmes d'acquisition des données de PAR adaptés à de vastes dispositifs expérimentaux:

peu coûteux, précision d'horloge suffisante, autonomie de l'enregistrement et bonne capacité de stockage des données

Impact de la variabilité spatio-temporelle du PAR incident

➤ **application opérationnelle**



Perspectives

- Mise en œuvre opérationnelle de cette technique envisageable sur les espèces feuillues
 - Sur vastes dispositifs expérimentaux génétiques comme celui testé ici,
 - sur les réseaux d'observation phénologique à long terme déployés à large échelle.
- Éprouver la robustesse des indicateurs par répétition des mesures sur plusieurs années
 - capital pour une observation de qualité des changements climatiques
- Technique de remplacement ou complémentaire du suivi phénologique visuel