

# Comment améliorer l'approvisionnement en biomasse ?

B. Gabrielle<sup>1</sup>, A. Perrin<sup>1</sup>, T. Flatberg<sup>2</sup>, J. Wohlfahrt<sup>3</sup>, T. Bjørkwoll<sup>2</sup>, I. Echevarría Goni<sup>4</sup>, D. Sanchez<sup>4</sup>, R. van der Linden<sup>5</sup>, C. Loyce<sup>6</sup>, E. Pelzer<sup>6</sup>, G. Ragagnoli<sup>7</sup>, I. Shield<sup>8</sup>, N. Yates<sup>8</sup>

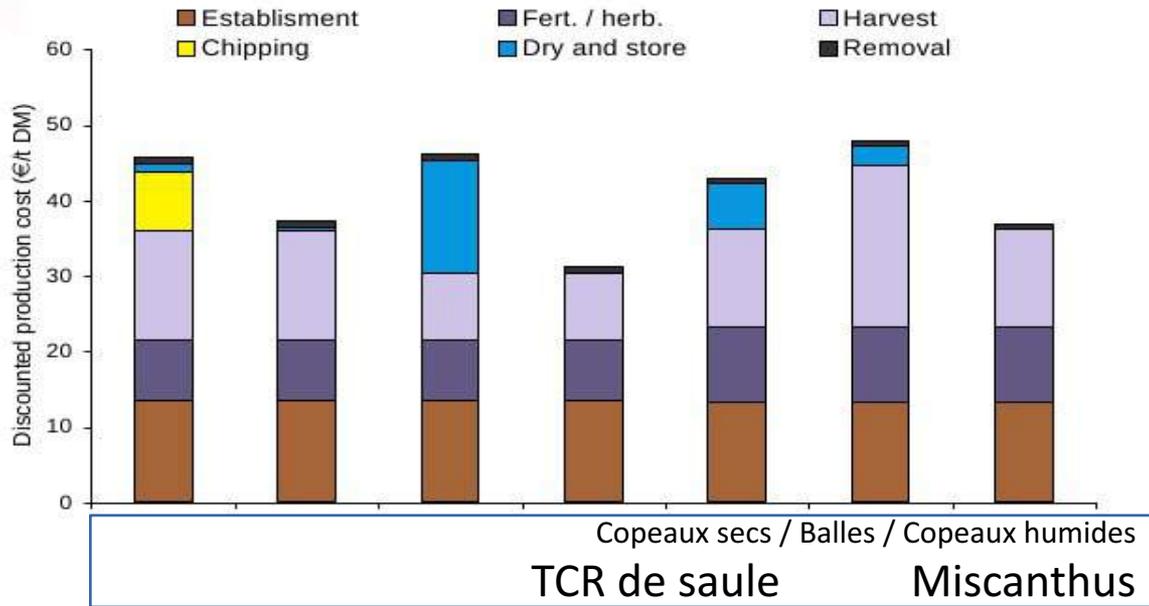
*1 : AgroParisTech, INRA, UMR EcoSys, Grignon; 2 : SINTEF Trondheim, Norway; INRA, SAD – ASTER, Mirecourt; CENER, Navarra, Spain; 5: ECN, Petten, NL; UMR Agronomie, Grignon, France; 7: Scuola Superiore Santa Anna, Pisa, Italy; 8: Rothamsted Research, Harpenden, United Kingdom.*



# Plan de la présentation

- Pourquoi s'intéresser à la logistique ?
- Quelques leviers pour améliorer son efficacité
- Exemples d'innovation :
  - Associations d'espèces
  - Systèmes de récolte
  - Densification
- Une vision holistique
- Conclusion

# La logistique compte



Ventilation des coûts associés à différents chemins logistiques pour fournir une chaudière en biomasse issue de TCR de saules ou de miscanthus (source: Styles and Jones, 2007).

# Trois projets 'soeurs' pour une même ambition

- INFRES: “new innovative solutions to forest biomass supply in the EU”
- Logist'EC: “improving logistics for energy crops”
- EUROPRUNING: “the take-off of an extensive utilization of agricultural prunings for energy”

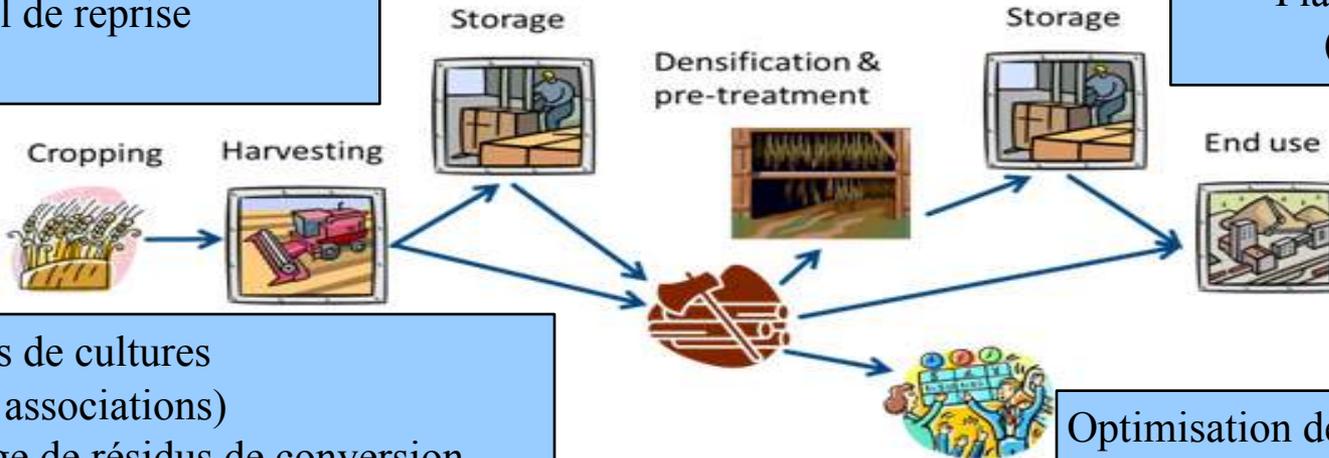


# Les grandes voies de progrès

Efficiéce des machines  
Pertes à la récolte  
Fenêtres de récolte  
Potentiel de reprise

Torréfaction  
(humide/sèche)  
Granulation  
Briquetage

Extérieur / intérieur  
Biomasse brute ou densifiée  
Plaquettes vs billons  
(Modélisation)



Systèmes de cultures  
(intrants, associations)  
Recyclage de résidus de conversion

Optimisation des tournées, et des points  
de stockage.  
Economies d'échelle.  
Gestion des flux (TI)

# Quid d'une application en conditions réelles ?



Centrale de bioélectricité de Miajadas (ES)



Prototypé de broyeur de résidus d'arboriculture (Italie)

Plateforme de stockage de plaquettes forestières en Suède



Coopérative Bourgogne Pellets (Aiserey)

# Des résultats variés et appliqués

1. Comparaison de technologies commerciales et améliorées
2. Méthodes, modèles et outils pour intégrer les chaînes, les évaluer, les planifier et les gérer
3. Des bases de données sur les cas d'étude et de démonstration
4. Des exemples de mise en oeuvre
5. Des courbes d'offre en biomasse (résidus)

# Plan de la présentation

- Pourquoi s'intéresser à la logistique ?
- Quelques leviers pour améliorer son efficacité
- Exemples d'innovation :
  - Associations d'espèces
  - Systèmes de récolte
  - Densification
- Une vision holistique
- Conclusion

# Les associations céréales-légumineuses comme une alternative aux cultures pures



Pois-blé → grain



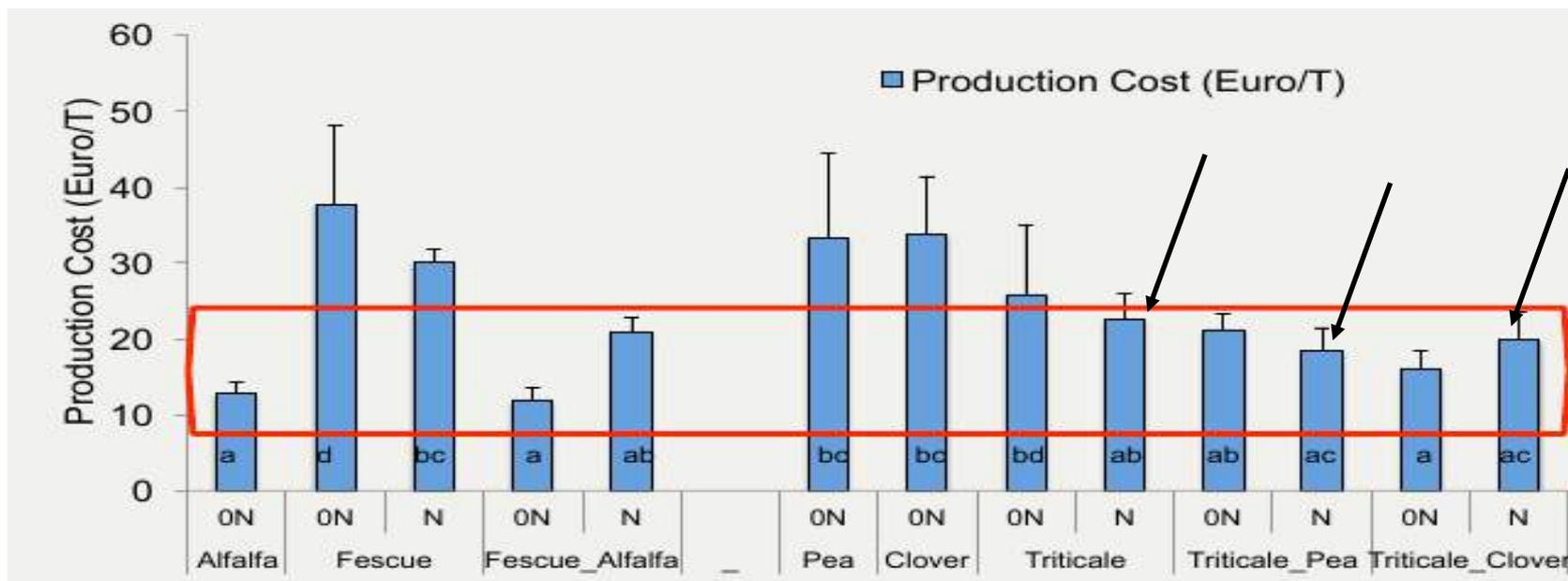
Triticale-Vesce-Pois-Avoine →  
fourrage



Triticale-Vesce → bioénergie

Pelzer et al., ASA Congress, 2014

# L'association économise des intrants et des euros



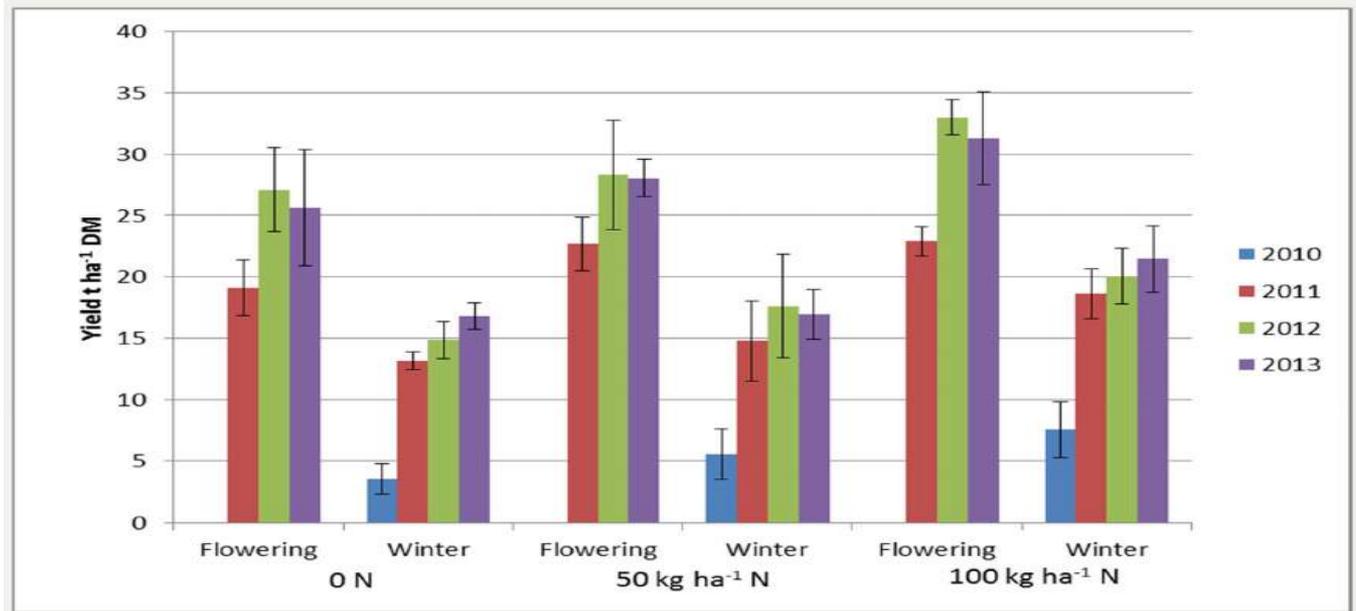
(Pelzer et al., 1<sup>st</sup> annual meeting, Logist'EC project, June 2013)

# Une voie prometteuse, mais sous contraintes agronomiques...



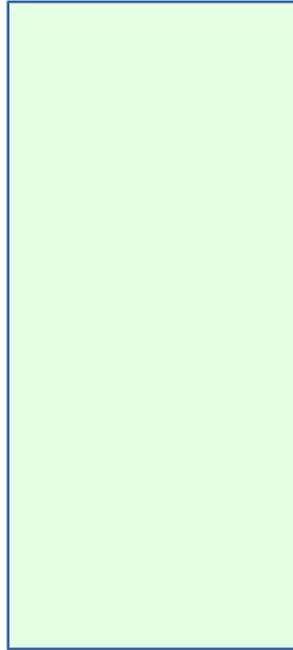
Essai d'un mélange triticales/pois à Miajadas en Avril 2015  
(© D. Sanchez, CENER).

# La récolte précoce maximise les rendements



Rendements de miscanthus pour des récoltes d'hiver ou d'automne ("Flowering") à Pise.  
Slide: G. Ragagnini, SSSA Pisa, 2015.

# Benchmarking des systèmes de récolte de TCR de saules

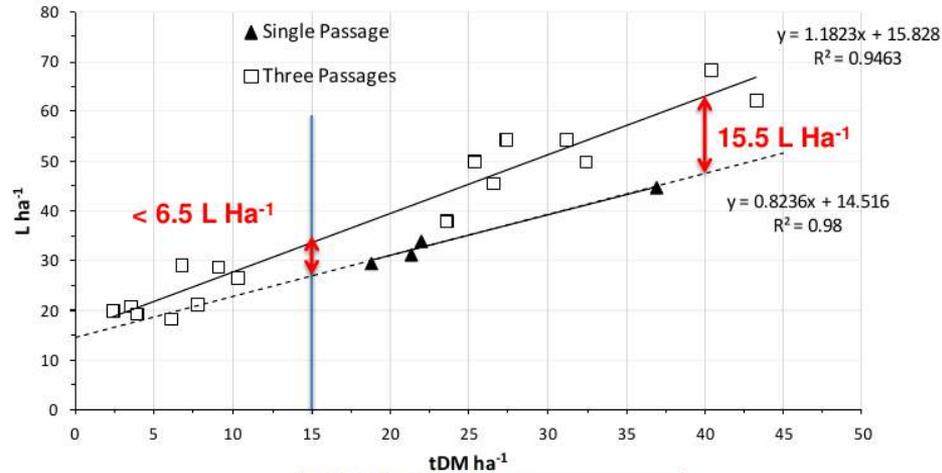
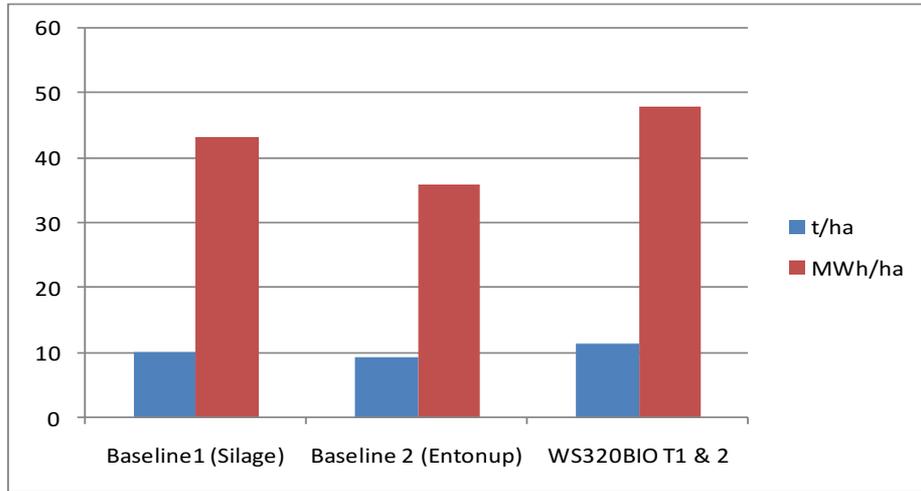


Slide: I. Shield, N. Yates, Roth. Res.

# Comment récolter sous forme de balles en un passage

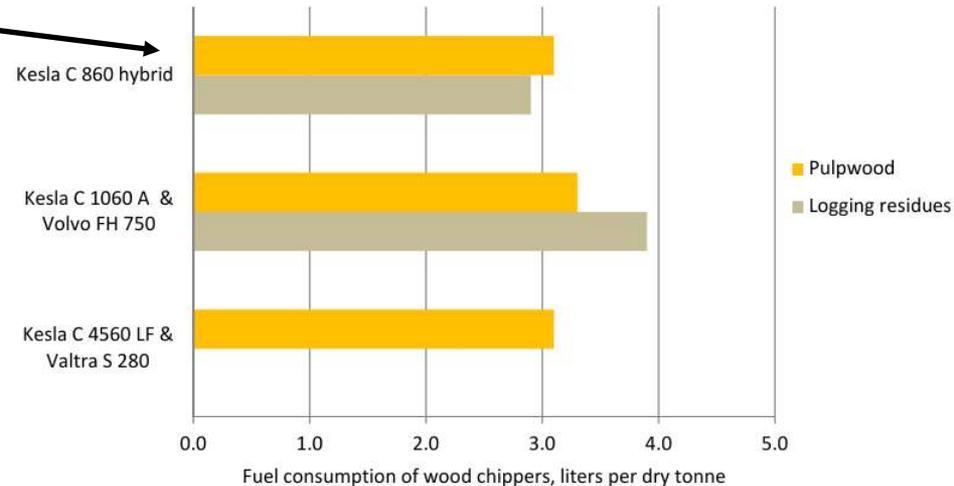


# Moins de pertes de récolte avec un seul passage



Rendements en matière sèches et énergie et consommation de carburant de 3 systèmes de récolte de miscanthus (démonstration en Bourgogne, Avril 2014; Ragaglini, 2014).

# L'utilisation d'un broyeur 'hybride' réduit la consommation de carburant



# Presse à balle adaptée aux tailles de vergers

- Cahier des charges: balles rondes (cf pailles), largeur < 2m, intégrant andaineuse
- La presse a permis de collect 60 à 80% des tailles de vergers (arbitrage avec taux de cailloux prélevés)
- Densité des balles: 140 – 250 kg MF m<sup>-3</sup>
- Débit de chantier: ~ 1 ha/heure
- Qualité de la biomasse: taux d'humidité entre 25 et 35%; taux de cendres < 5%



(Source: EuroPruning)

# Le briquetage de la biomasse facilite son transport



Résultats de tests  
avec des cultures  
énergétiques  
( © M. Nielsen, CF  
Nielsen, DK).

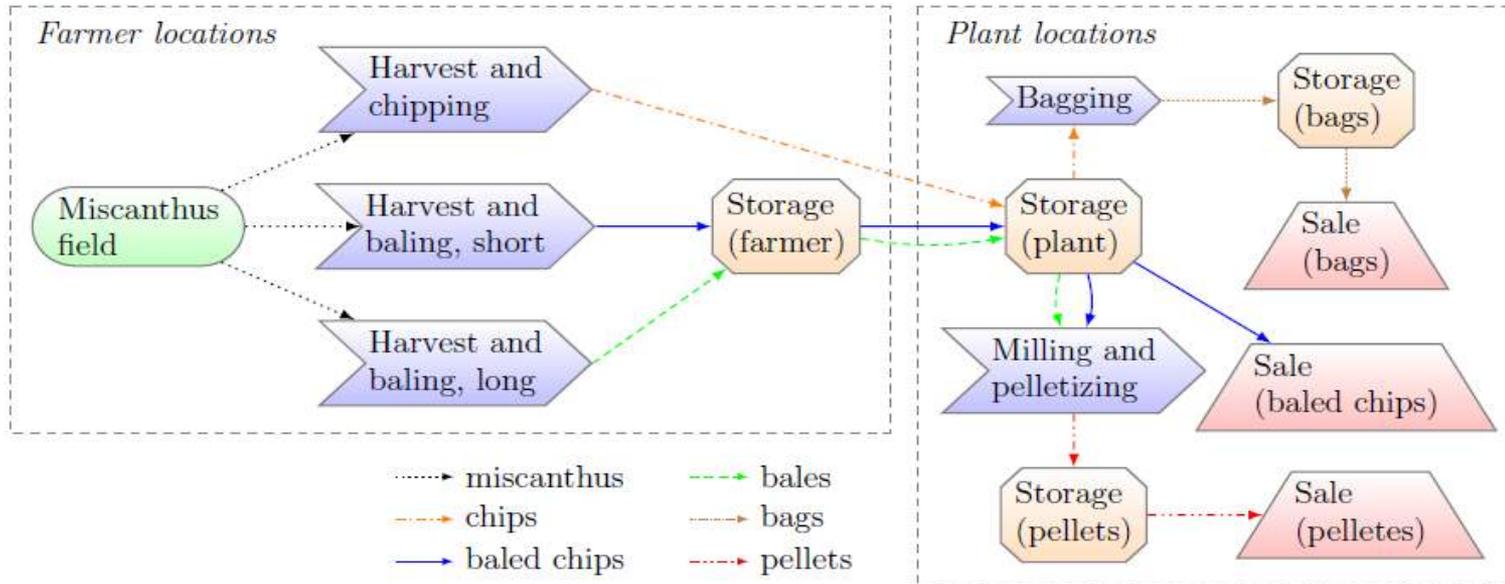
# Résultats en bref

- Toutes les cultures étaient adaptées au briquetage
- Compromis entre la densité des briquettes et la consommation d'électricité:
  - Les briquettes sont plus denses à faible température...
  - ...mais une température élevée consomme moins d'énergie
- Le briquetage peut réduire les coûts de transport de 10 à 20% par rapport aux balles (Nielsen, 2015; Bjorkvoll et al., 2015)
- Il améliore la conversion en biogaz (et en éthanol ?)

# Plan de la présentation

- Pourquoi s'intéresser à la logistique ?
- Quelques leviers pour améliorer son efficacité
- Exemples d'innovation :
  - Associations d'espèces
  - Systèmes de récolte
  - Densification
- Une vision holistique
- Conclusion

# Intégrer et optimiser

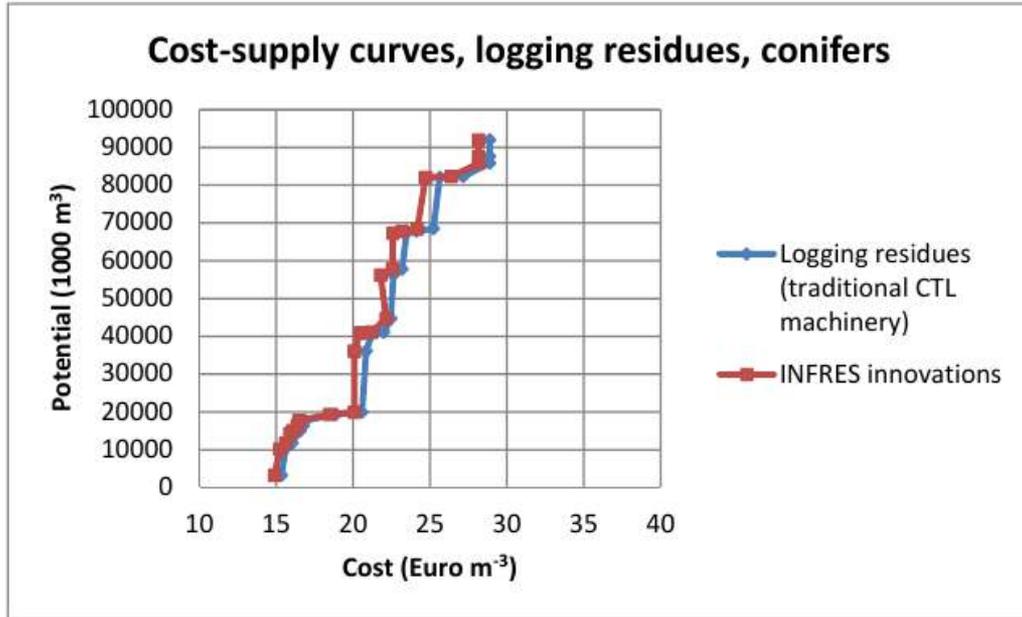


Représentation schématique de la chaîne de valeur de Bourgogne Pellets (Flatberg et al., 2014).

# Peu d'économies d'échelle... mais un effet densité marquant

Scénario	Production [t MS]	Coûts [k€]	Revenu [k€]	Profit [€/t MS]
Référence	6000	942.1	1 072.3	21.7
Briquelette 1	6000	858.5	1 031.1	28.8
Briquelette 2	6000	732.6	948.2	35.9
Briquelette 3	6000	682.5	910.0	37.9
Récolte automnale	6430	977.3	1 173.3	32.7

# Des compensations au sein des chaînes parfois décevantes...



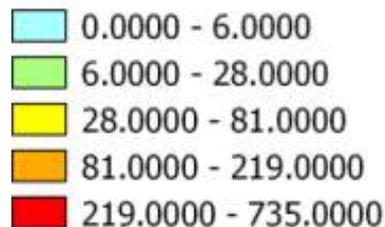
Courbe d'offre en biomasse issus de rémanents forestiers (conifères) avec ou sans les innovations du projet INFRES (Prinz et al., 2015)

# Les tailles: des potentiels significatifs



## Légende

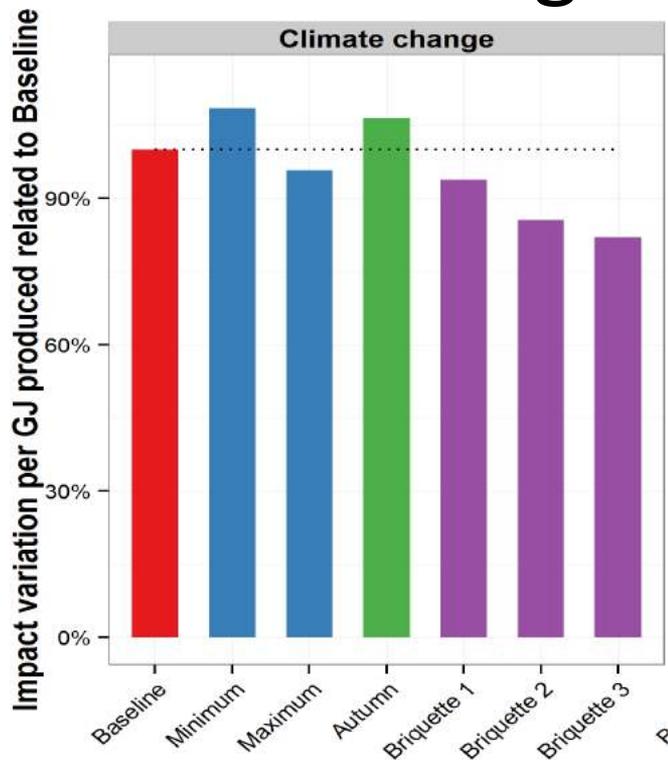
Production bois de taille  
( kt/an)



Potentiel France pour  
vigne et fruit à coques  
ou à noyaux:  
1,5 à 2 Mt/an.  
( Poutrin, 2014; projets  
EuroPruning et SuceLlog)

Coûts 'cycle de vie'  
d'approvisionnement:  
~57 €/tonne (balles)  
76-119 €/tonne (chips)

# Des arbitrages à prendre en compte



Emissions de GES de différents scénarios, en relatif par rapport à la référence actuelle chez Bourgogne Pellets :

- minimum/maximum : rendements min ou max
- Autumn : récolte en vert
- Briquette 1, 2 ou 3 : conditionnement sous forme de briquettes avec des capacités croissantes

# En conclusion

- Les projets 'logistiques' ont permis de documenter et tester un grand nombre d'options sur les chaînes d'approvisionnement
- Les innovations proposées sont déjà commercialisées (TRL élevés) ou plus prospectives (tailles), à valider
- Investir sur la logistique est payant... mais il est difficile de juxtaposer les meilleurs maillons de la chaîne
- Des outils sont mis à disposition via le projet *S2Biom* (FP7).

# Quelques recommandations

- Stockage et transport sont les points-clés en termes de coûts et dimensionnement (privilégier un sourcing local ou une densification).
- Il est important de suivre la qualité tout au long de la chaîne.
- Le cadre politique est déterminant pour les cultures pérennes.
- Comment résoudre le problème de la poule et de l'oeuf pour des filières émergentes ?
- Décloisonner les différentes opérations des chaînes.
- Créer des synergies avec d'autres opérateurs logistiques est essentiel.

# Perspectives (R&D)

- Quid des changements d'affection des sols (indirect et direct – voir exposé de S. Recous et F. Ferchaud) ?
- Les services écosystémiques sont une voie d'évaluation pertinente
- Les modélisations et bases de données à mettre en oeuvre sont complexes et difficiles à transférer (projet *S2Biom*)
- Des tests sur les prototypes développés sont encore nécessaires (autres conditions climatiques)
- Approvisionner la bio-économie: un beau sujet d'interdisciplinarité ?

Remerciements : EU FP7 / KBBE

Antti Asikainen (Luke), Daniel Garcia Galindo (CIRCE), Mikkel Nielsen (CF Nielsen).

Pour plus d'informations :

EuroPruning : [www.europruning.eu](http://www.europruning.eu)

INFRES : [www.infres.eu](http://www.infres.eu)

LOGIST'EC : [www.logistecproject.eu](http://www.logistecproject.eu)

Correspondance: Benoît GABRIELLE

[Benoit.Gabrielle@agroparistech.fr](mailto:Benoit.Gabrielle@agroparistech.fr)



# Project Partnership

 LogistEC project

**Research**

- 1 – INRA
- 2 – CIEMAT
- 3 – Risø DTU
- 4 – ECN
- 5 – RRes
- 6 – SINTEF
- 7 – SSSA (CRIBE)
- 8 – FCBA
- 9 – CENER

**Extension**

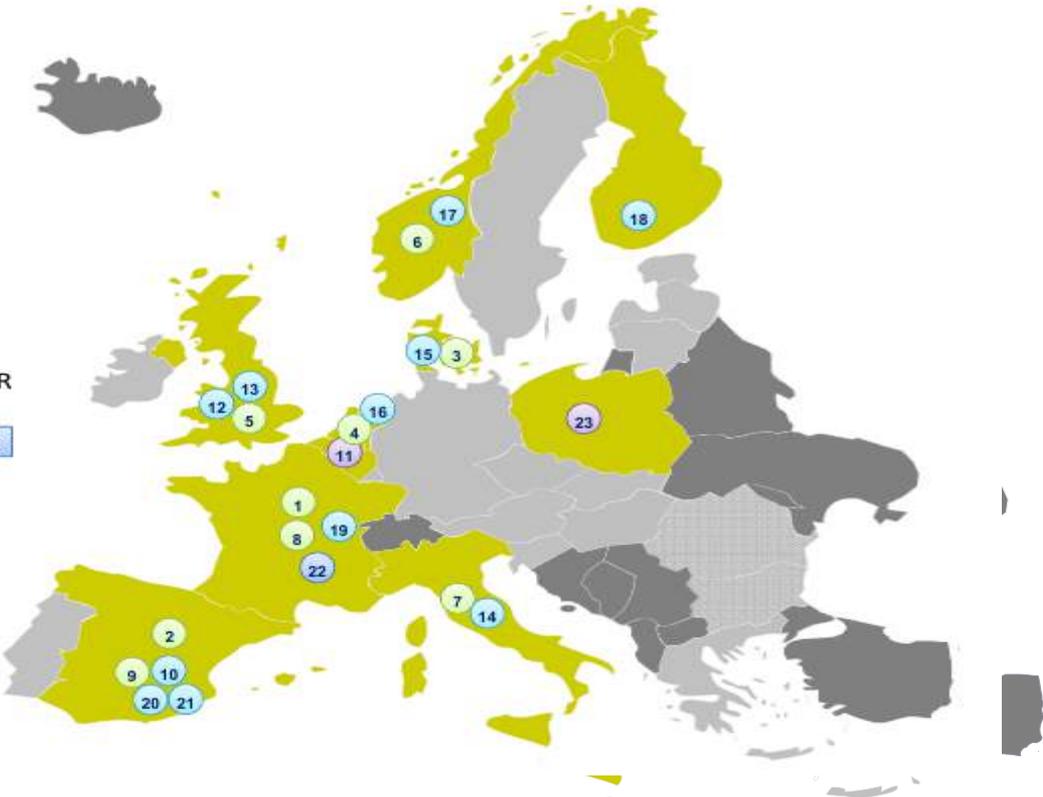
- 11 – AEBIOM
- 23 – PIMOT

**Industry**

- 10 – Acciona
- 12 – CRL
- 13 – SGB
- 14 – Nobili
- 15 – CFN
- 16 – Averinox
- 17 – MRBB
- 18 – MHG
- 19 – BP
- 20 – Biotrans
- 21 – BIOPOPLAR

**Management**

- 22 – IT



# Récolte en ensilage ou balles: un point de vue cycle de vie

