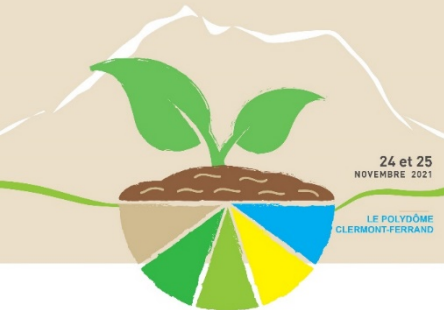


# 15<sup>E</sup> RENCONTRES

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE  
ET DE L'ANALYSE



Le rendez-vous biennal des professionnels de la fertilisation raisonnée

comifer  
Centre Français de Recherche et de Développement  
en Fertilisation Raisonnée

Gemas  
Association Française des  
Généralistes Agronomes

INRAE

AgroTechnoPôle



## ECO-EPANDAGE : QUELLES TECHNOLOGIES DISPONIBLES POUR ATTEINDRE LES OBJECTIFS EN PRODUITS SOLIDES

**Emmanuel Piron** – INRAE – TSCF – AgroTechnoPôle - Clermont-Ferrand / Montoldre  
**François Pinet** - Manufacture Française des Pneumatiques Michelin / Clermont-Ferrand

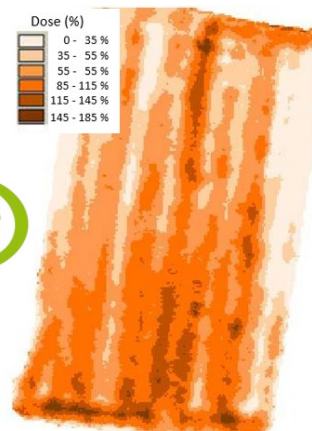
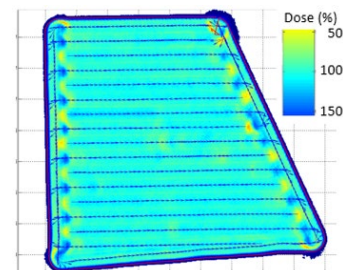
technologies et systèmes d'information  
**TSCF**  
pour les agrosystèmes

UCA  
UNIVERSITÉ  
Clermont  
Auvergne



# Introduction

- L'épandage ne fait pas exception dans le contexte global de réduction des impacts environnementaux
  - En minéral : qualité d'application très bien maîtrisée : majorité surface dans  $\pm 10\%$  dose cible
  - En organique : beaucoup plus de variabilité : majorité surface plutôt dans  $\pm 50\%$  dose cible, avec :
    - Un gros risque de biais global sur la dose massique
    - Une grosse dispersion des doses massiques dans la parcelle
    - Un raisonnement massique et non en unités fertilisantes
  - Impacts de l'opération sur les sols : poids important des épandeurs
  
- Norme EN 130080 (produits organiques solides) de 2003 insuffisante → Eco-épandage
  - Eco-épandage, qu'est-ce que c'est ?
  - Quels critères / quelles exigences / quelles différences EN13080 / Eco-épandage ?
  - Technologies constatées efficaces



- Démarche sous l'impulsion des constructeurs, 2010

- 5 partenaires :



- Référentiel proposé :

- Plus exigeant que EN13080
- Garantissant une meilleure maîtrise des doses
- Démontrant objectivement la performance des machines
- Engageant pour le constructeur vis-à-vis de l'utilisateur

- Première Certification Environnementale dans le domaine des Agroéquipements

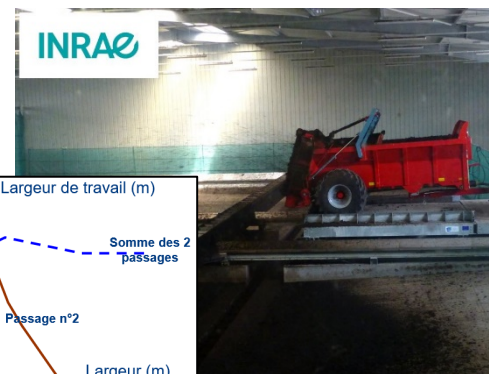
- Initialement « Certification » → « Marque » depuis 2020

# Référentiel Eco-épandage

## Critères évalués / Niveaux d'exigences

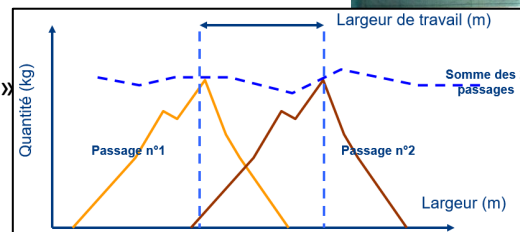
### Mesures :

- INRAE (méthodes validées, labo certifié)
- Banc : CEMOB (Transversal et longitudinal avec la même vidange + Nappe surfacique)



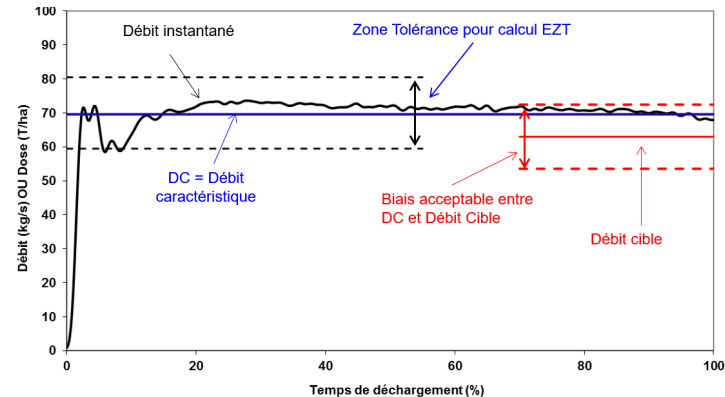
### Performances « Répartition transversale » :

- CV < 20% (EN13080 exige CV < 30%) = « **non problématique** »



### Performances « Répartition longitudinale » :

- Dispersion : EZT > 70% (EN13080 exige EZT > 35%)  
→ **Doublement de l'exigence**
- Limitation du biais : Débit critique (DC) ∈ [DC ± 15%]  
→ **Exigence nouvelle**
- Dispersion et Biais à limiter à Vitesse constante ET variable (DPA)  
→ **Capacité à respecter ces deux exigences = Problématique**



### Performances « Respect des sols » :

- Charge essieu < 13 T
  - Pression interface < 1,5 bar
- Exigences nouvelles  
± problématique**

# Maîtrise de la dose

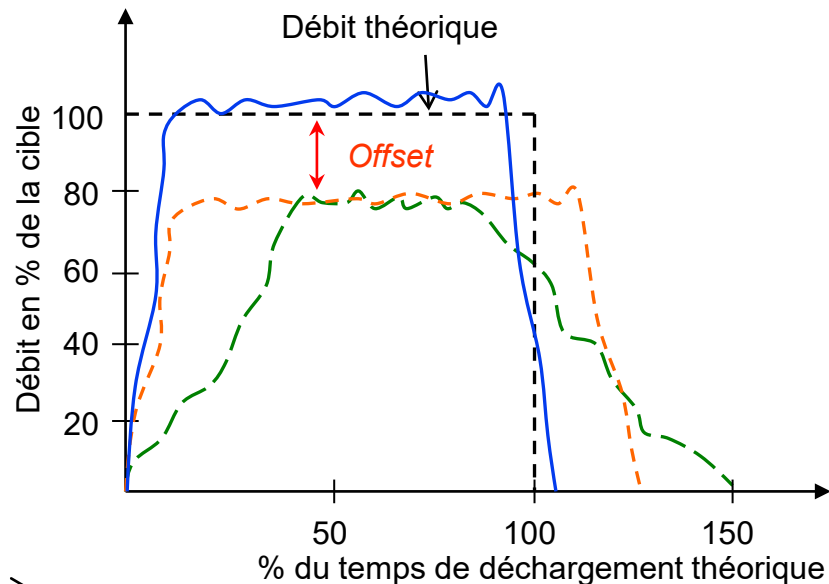
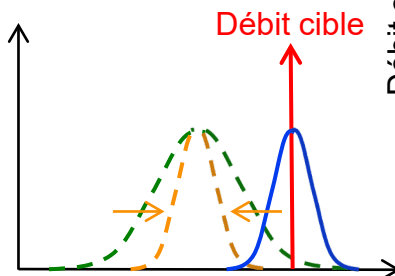
## Un problème majeur : maîtriser le débit massique

- **Dose** : objectif à atteindre
  - Fixée initialement
  - Eventuellement variable géographiquement (en minéral, ce serait la modulation)
- **Largeur** : paramètre variable
  - Fixé initialement
  - Ou éventuellement mesurée temps réel (minéral = gestion sections)
- **Vitesse** : paramètre variable
  - Fixé initialement
  - Plus généralement mesurée temps réel : DPAE
- **Débit** : facteur de régulation de la dose
  - Doit être mesurable
  - Doit être pilotable
  - Problème majeur en organique solide !

$$Dose = \frac{Débit}{Largeur \times Vitesse}$$

Sans contrôle (Impact nature produit, ...)

- 1 – Maîtriser la « forme » de courbe (suppression variabilités)
- 2 – Maîtriser « Offset » de courbe (suppression variabilités)



# Solutions technologiques

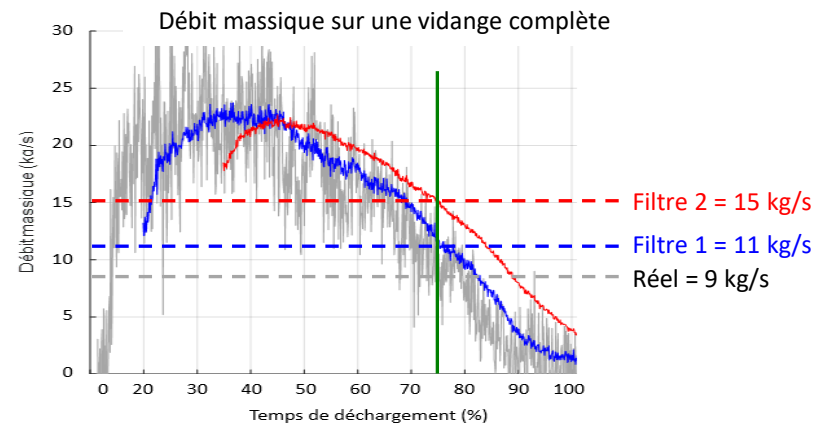
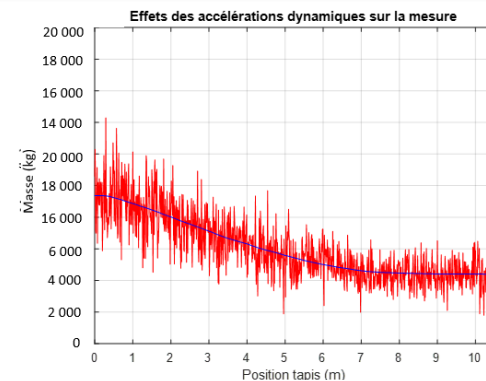
## Pesée « dynamique »

### Principe

- Peser en continu caisse + produit
- Dérivée signal → Débit instantané
- Asservir vitesse tapis à la différence Débit réel – Débit cible

### Défauts

- Pesée d'étendue de mesure importante (50 tonnes ou +) → pour fournir mesure débit [5 – 50kg/s]
- Signal de pesée bruité (mesure dynamique) → débit encore plus bruité (dérivée)
- Nécessite donc un filtrage → retard
- Risques de sur ou sous-compensation
- **Non suffisant utilisée seule**



# Solutions technologiques

## Tablier accompagnateur

### Principe

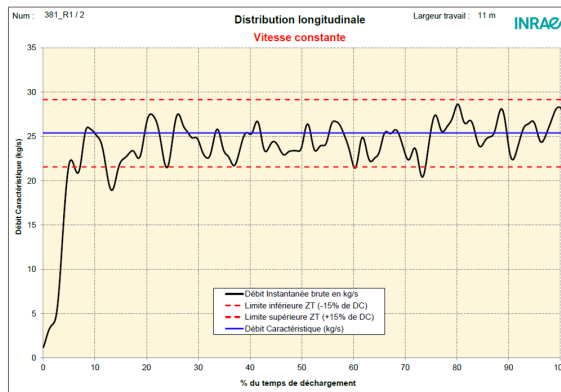
- Eviter les éboulements avant de caisse par un tablier synchrone au tapis
- Assurer une section d'alimentation constante du début à la fin

### Avantages

- Régulation sans retard, sur une information sans « bruit » (mesure de position tapis)
- Evolution de masse volumique assez faible lors de la vidange
- Assure une EZT très bonne

### Défauts

- « Complexité » mécanique
- Obligation de présence d'une sécurité fin vidange
- Section alimentation non bornée en partie supérieure
- Légère augmentation de Mu fin vidange
- **Non suffisant seul (Mu non estimée)**





### Principe

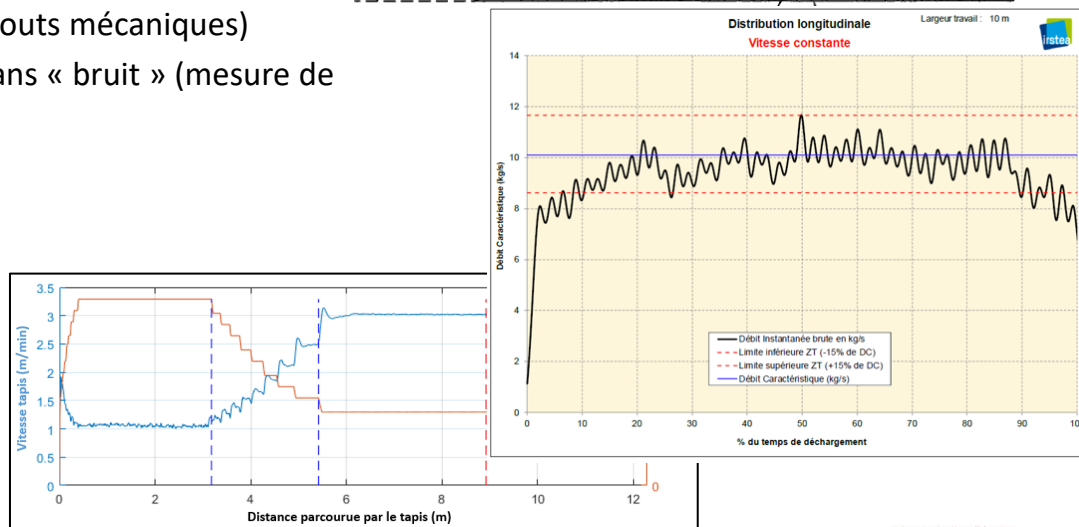
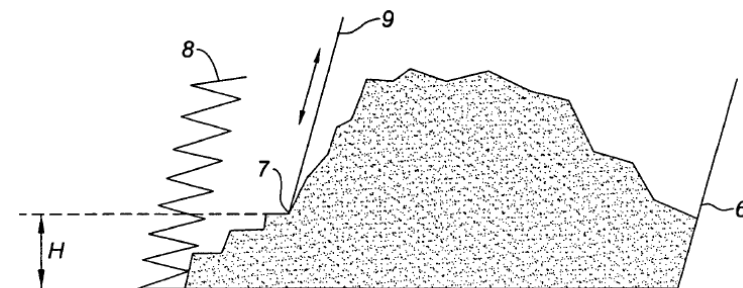
- Suivre en arasant le niveau de produit au niveau des éparpilleurs
- Asservir la vitesse tapis pour garantir Débit = S \* V = Cste
- Estimer en continu S par la hauteur de porte (mesure de niveau)

### Avantages

- Simplicité de réalisation / robustesse (pas d'ajouts mécaniques)
- Régulation sans retard, sur une information sans « bruit » (mesure de position hauteur de porte et de vitesse tapis)
- Section alimentation bornée sur 4 côtés
- Assure une EZT très bonne
- Vidange complète systématique possible

### Défauts

- Légère évolution masse volumique (foisonnement) mais compensable
- **Non suffisant seul (Mu non estimée)**





### Aucune technologie ne permet seule la maîtrise de débit

- Tablier accompagnateur + pesée globale (mesure de  $\mu$ )  
L'exemple de BUCHET
- Pesée dynamique + porte en restriction de section (supprime dispersion)  
L'exemple de ROLLAND ROLLFORCE
- Suivi de contour + pesée globale (mesure de  $\mu$ )  
L'exemple de PICHON M12



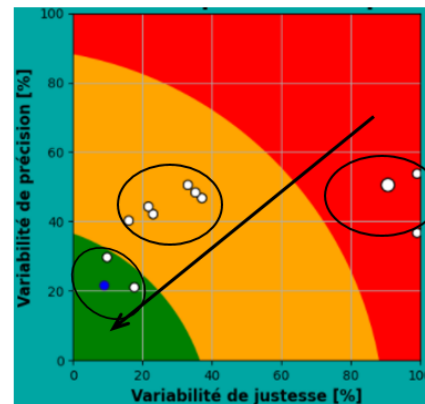
### Au-delà d'Eco-épandage, maîtriser la dose c'est ...

- Maîtriser ses intervalles de passage  
(jalonnage / Guidage)
- Piloter / ajuster le débit à la vitesse d'épandage  
(DPAE)

cf. **MaidOr** <https://prt-pee.tscf.inrae.fr/maidor/definition>

Logiciel INRAE d'autoformation → impact outils de maîtrise de dose

Evaluation de la qualité de l'épandage



# Les grandes étapes des technologies pneumatiques pour limiter l'impact au sol du passage des véhicules

Années 70:

de la structure bias (cf. figure 1) à la **structure radiale** (cf. figure 2)

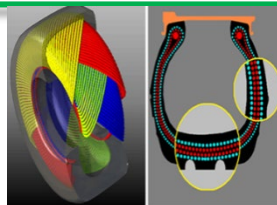


Figure 1 : Structure pneu bias

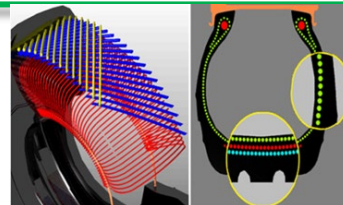


Figure 2 : Structure pneu radial

Répartition homogène des pressions de contrainte dans l'aire de contact

Années 80/90:

évolution des **rappports d'aspect**, hauteur du flanc en pourcentage de la largeur du pneu (cf. figure 3)

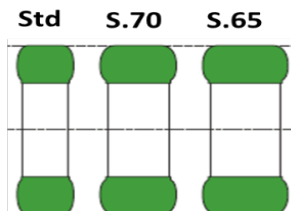


Figure 3 : Rapport d'aspect des pneus pour un diamètre donné série 85 (std), 70 et 65

Augmentation de la largeur de bande de roulement en contact avec le sol et réduction de la pression nécessaire pour supporter une charge donnée

Années 2000/2010:

**norme « IF » et « VF »** : Pour une dimension de pneu donnée, les pneus IF peuvent supporter une charge supplémentaire de 20 % à la même pression. Le gain est de 40 % avec des pneus VF (cf. figure 4)

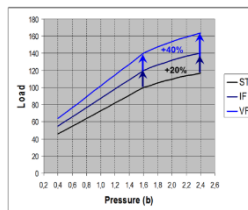


Figure 4 : Capacité de pression/charge des pneus standard, IF et VF

Par exemple, un pneu pour épandeur remorque Michelin CargoxBib High Flotation 750/60 R30.5 peut transporter 6400 kg à 1,5 bar (pour une vitesse max de 40 km/h) tandis que son équivalent VF Trailxbib 750/60 R30.5 n'a besoin que de 1,2 bar pour la même charge/vitesse

# Les grandes étapes des technologies pneumatiques pour limiter l'impact au sol du passage des véhicules

L'utilisation des systèmes de gonflage centralisé des pneus  
(CTIS, Central Tire Inflation System)



Permet de **différencier la pression de gonflage** qui est utilisée dans les **différents usages** du tracteur et, en particulier, d'utiliser toujours dans le champ la pression la plus basse possible

Par exemple, un pneu pour épandeur remorque Michelin CargoxBib High Flotation 750/60 R30.5 transportant 6500 kg doit être gonflé à **1,5 bar** pour supporter une utilisation à 40 km/h sur route, cette pression peut être réduite à **1 bar** lorsque le véhicule roule à moins de 10 km/h sur le champ.

**L'impact positif de ces évolutions sur le rendement des cultures** a été étudié sur des pneumatiques Michelin et montré par des études spécifiques menées pendant plusieurs années à **Harper Adams University** (Royaume-Uni), à **l'Université de l'Illinois** (États-Unis) et dans le Mato Grosso par **l'UFMT au Brésil** (Université fédérale du Mato Grosso). Des améliorations significatives des rendements des cultures de céréales, de soja et de coton ont été analysés avec des **gains allant jusqu'à 4%**.

L'utilisation de ces solutions pneumatiques, même si elle satisfait la qualification selon la marque Eco-épandage, ne garantit cependant pas dans leur application réelle une limitation des impacts au sol de l'opération d'épandage : il est **impératif d'appliquer les bonnes consignes de pression et d'équiper aussi le tracteur d'équipements pneumatiques adéquat**.

**Le sol mémorise en effet l'impact le plus pénalisant du convoi.**

# Conclusion

- Qualité d'épandage pas incompatible avec critères de robustesse / contenance épandeurs
- Eco-épandage :
  - Assure une machine apte à maîtriser la dose
  - Sensibilise aux impacts négatifs sur les sols (tassement)
- Doit s'accompagner d'une utilisation cohérente (Guidage, ...) cf. volet formation Eco-épandage
- Eco-épandage ne peut être obtenue qu'avec combinaison de technologies (Variabilité / Biais)
- Coûts additionnels non prohibitifs (souvent charge fixe de développement diluée car calculateurs, actuateurs, capteurs déjà présents)
- Se justifie pleinement dans contexte valorisation matières organiques produites

**Merci de votre attention**