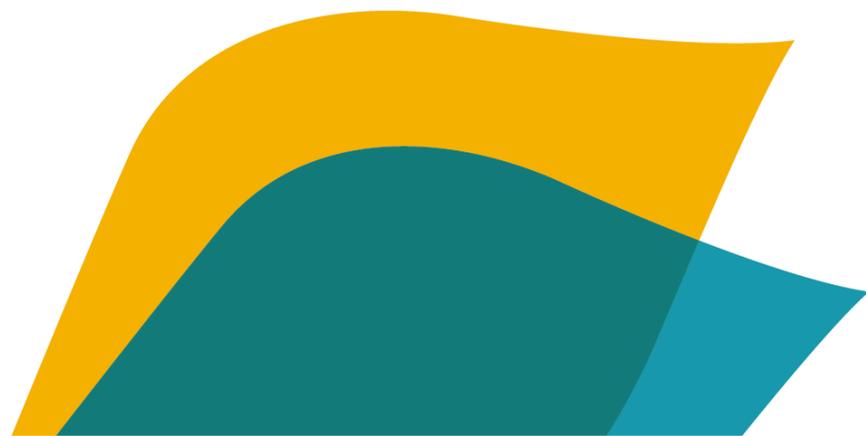


The logo for ARVALIS features a stylized leaf icon on the left, composed of overlapping yellow, teal, and blue shapes. To the right of the icon, the word "ARVALIS" is written in a bold, teal, sans-serif font. A thick teal underline is positioned below the text, tapering off to the right.

ARVALIS



La paille en élevage : optimisation de sa production, utilisation et alternatives

Chloé MALAVAL JUERY – Ingénieure Régionale Auvergne ARVALIS

Antoine BUTEAU – Ingénieur Régional Fourrages ARVALIS

*Introduction : Jean-Yves AYEL – Agriculteur, Président de la Commission
Nationale Céréales Fourragères d'ARVALIS*

La paille, une ressource incontournable mais convoitée



Production et utilisation de la paille

Co-produit des céréales

2023 → 7,4 millions d'ha
(FAM, 2024)

51 millions de T grains

+ 35 millions de T paille
(idele 2022)

Enfouissement
5 à 6 M de T

Bovins
14 à 16 M de T

Ruminants
16 à 18 M de T

Autres élevages
4 à 8 M de T



La paille: une denrée sous tension

- Seulement la moitié des systèmes d'élevage sont autonomes en paille
 - 50% en 2020 contre 56% en 2003 (*d'ap. réseau INOSYS 2022*)
- Baisse des surfaces de céréales à paille:
 - Structurelle -> tendance à la baisse des surfaces implantées en céréales à paille
 - Conjoncturelle 2024 -> difficultés d'implantation automne 2023
- Historiquement, dispo et prix de la paille uniquement fonction du climat
- Aujourd'hui, les usages de la paille se multiplient :
 - Paillage et alimentation animale
 - Litière: absorption, gestion des effluents et des dégagements gazeux, isolation thermique, sanitaire, bien-être
 - Entretien de la fertilité organique des sols, carbone
 - Valorisation énergétique (méthanisation, chaudières)
 - Matériaux de construction et d'isolation



Optimisation de la production de paille



Quels facteurs impactent la production de paille ?

Etude bibliographique S.DUBLANCHE, 2023

Facteurs génétiques

- **Espèces** (Larsen et al. 2012)
- **Variétés** (Larsen et al. 2012 et Derycke et al. 2018)
- **Hauteur de plante** (Derycke et al. 2018, Engel et al. 2003, Jørgensen et al. 2002)
- **Epaisseur / densité tige** (Engel et al. 2003 , Larsen et al. 2012)
- **Tallage** (Schillinger et al. 2020)

Rendement en grain

(Engel et al. 2003 , Larsen et al. 2012, Lee et al. 2005, , Jørgensen et al. 2002)



Sommet de l'élevage 2024

Facteurs environnementaux

- **Température**
- **Précipitations**
- **Rayonnement solaire**

(Gate 1995, Larsen et al. 2012 et Derycke et al. 2018)

Pratiques culturales

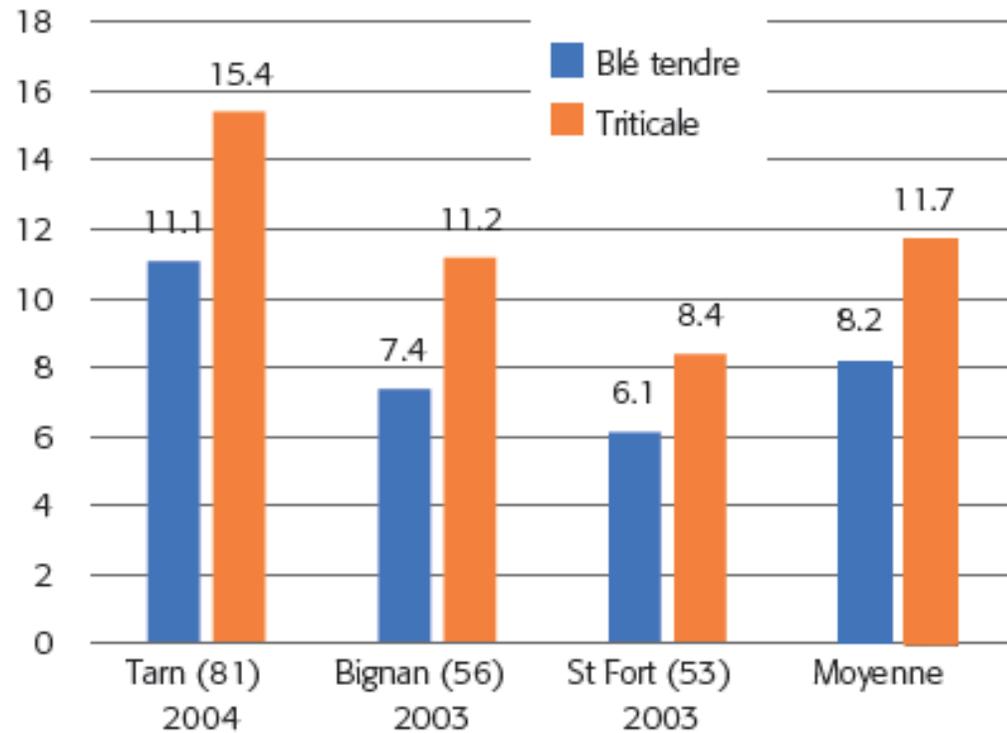
- **Fertilisation azotée** (Townsend et al. 2015, White et al. 2006, Engel et al 2003, Roth et al. 2020)
- **Protection des cultures** (Jørgensen et al. 2002, Roth et al. 2020)
- **Densité et Date de semis** (Derycke et al. 2018, Donaldson et al. 2001)



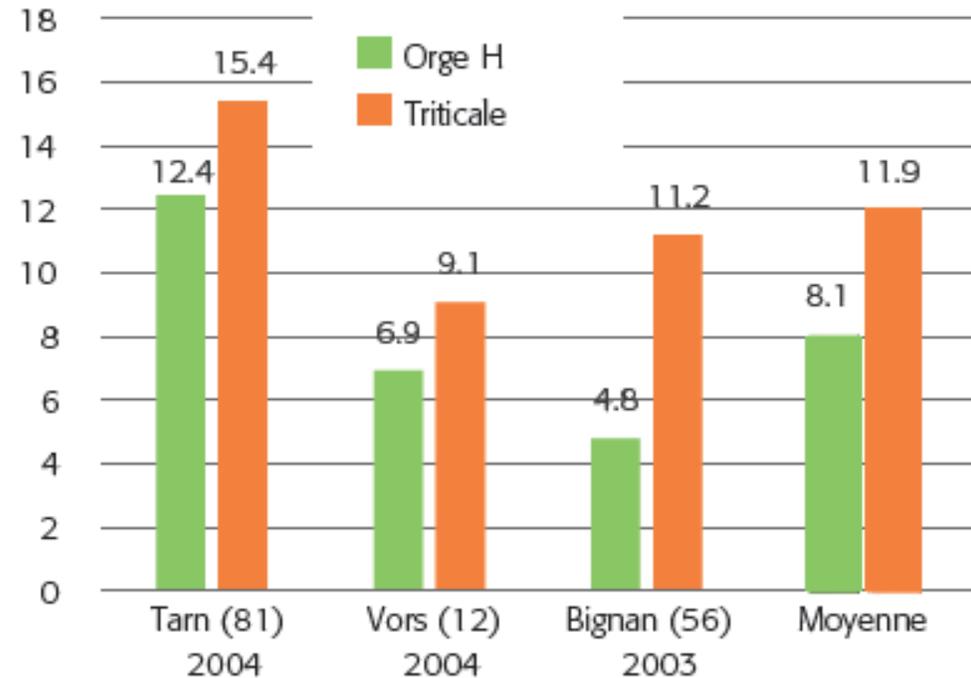
Optimiser la production de paille par le choix d'espèces

➤ Comparaisons inter-espèces de la production de paille : essais ARVALIS (2003-2004)

Rdt paille (t MS/ha)



Rdt paille (t MS/ha)



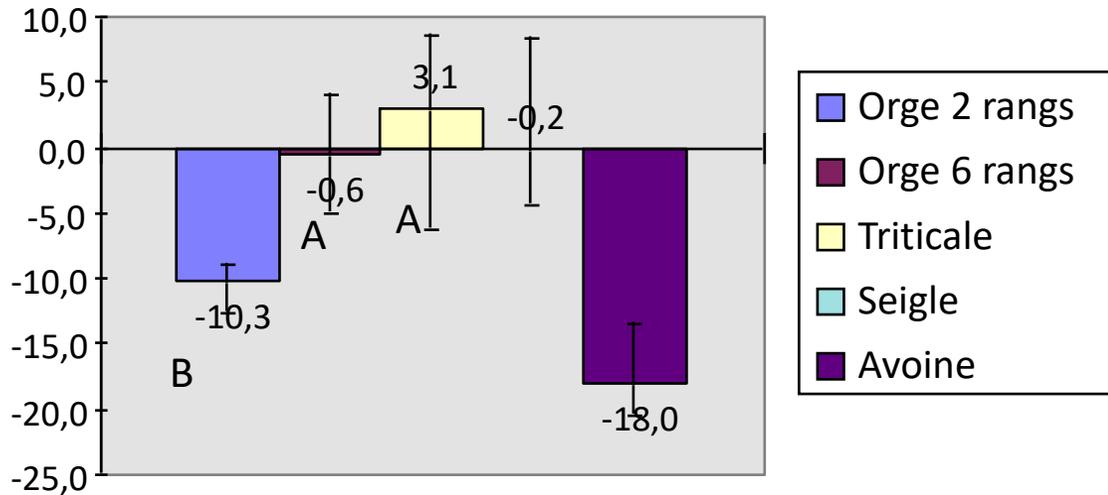
Le triticale est + productif en paille que le blé (+30%) et que l'orge d'hiver (+32%)



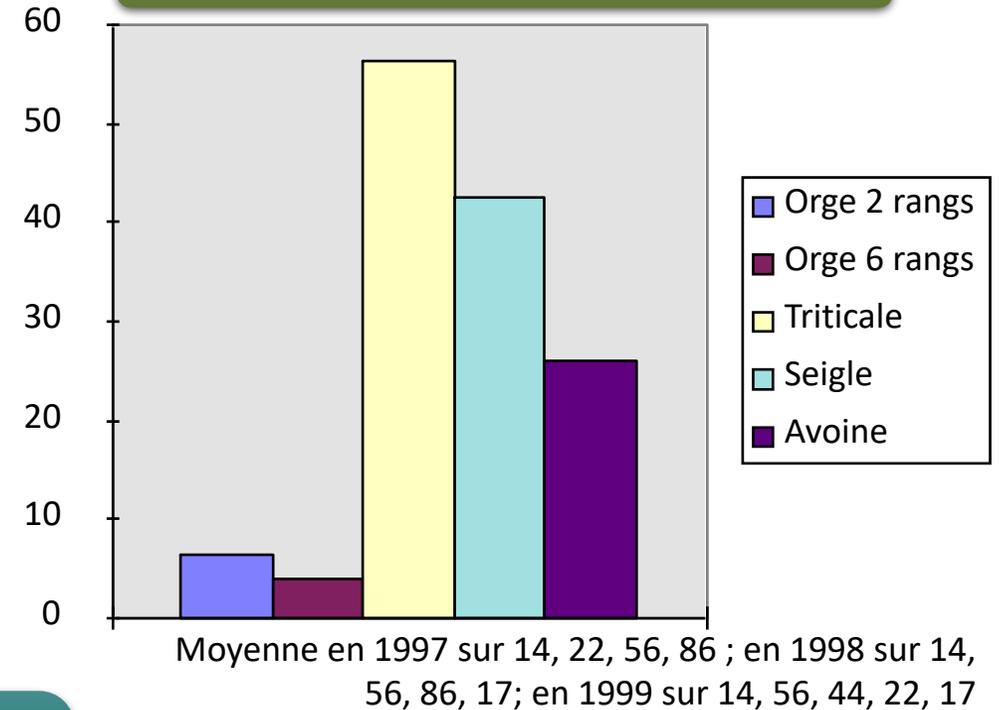
Quelles espèces en 2^{ème} céréale?

➤ Comparaison inter-espèces en 2^{ème} paille : résultats moyens de 18 situations ARVALIS Ouest 1997,98,99

Rendement GRAIN en % du blé/blé



Rendement PAILLE en % du blé/blé

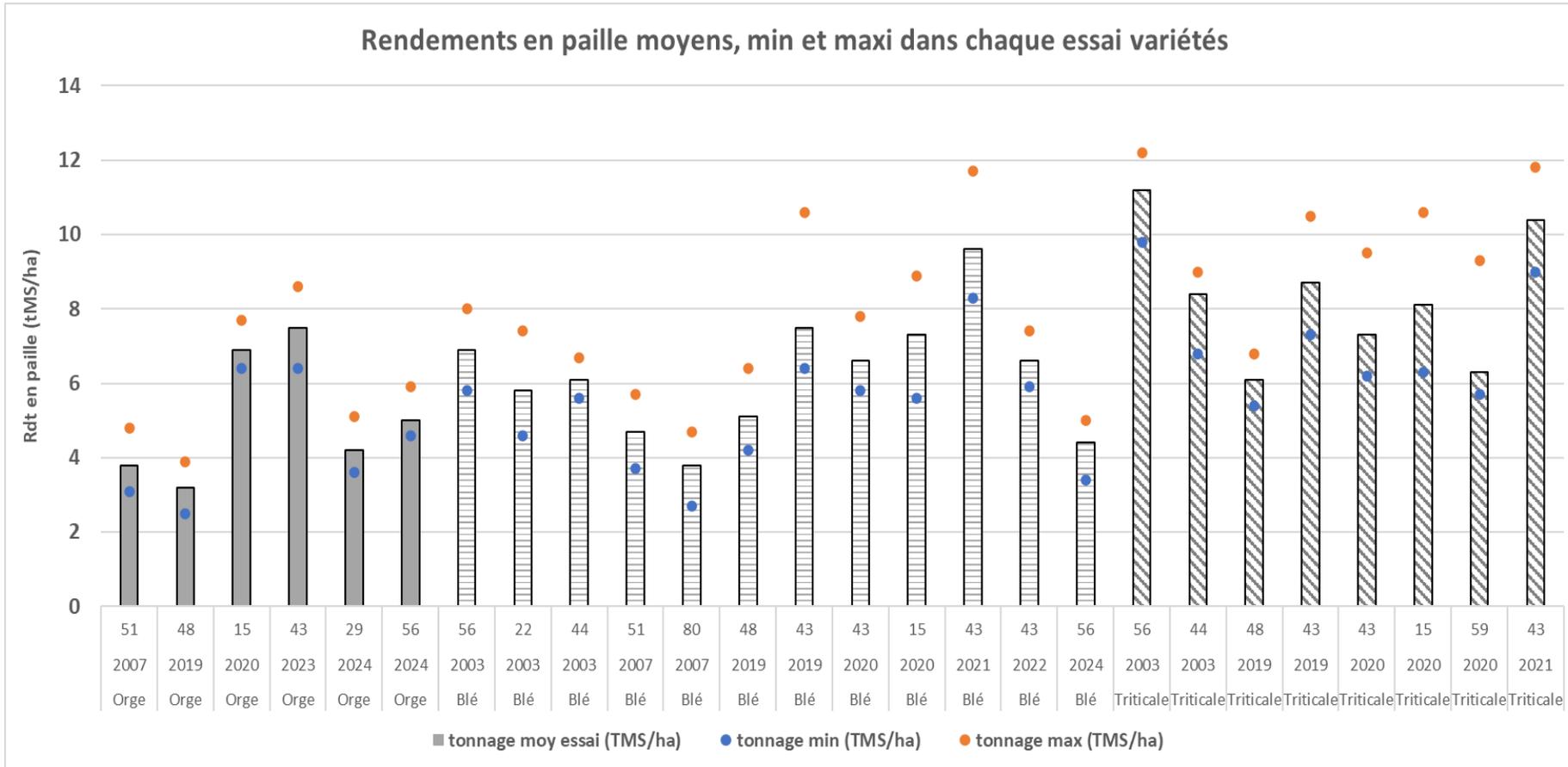


En 2^{ème} paille, le triticale reste plus productif en grain et paille que le blé.
=> Rôle du piétin échaudage



Enjeux autour du choix variétal

➤ Synthèse de 23 essais variétés blé, orge et triticale avec récolte de paille



Enjeu du choix variétal dans la production de paille selon les espèces (ordres de grandeur):

	Rdt paille moyen (tMS/ha)	Ecart moyen entre min et max (tMS/ha)
Orge (6 essais)	5.1	1.6
Blé (12 essais)	6.2	2.4
Triticale (8 essais)	8.3	2.9



Enjeux autour du choix variétal



➤ Etude ARVALIS 2005: Enjeu variétal et méthodologie pour caractériser les variétés

	Espèce	Année	Effet lieu	Effet variété	Interaction lieu x variété	Enjeu variétal (max – min)
ARVALIS	blé	2003	***	NS	NS	1,2 t/ha
	blé	2004	***	**	NS	1,4 t/ha
	blé	2004	***	**	*	2,7 t/ha
	triticale	2003	**	*	NS	2 t/ha

L'effet variétal existe et est souvent significatif mais les effets environnementaux sont souvent plus importants.

➤ Etude GIE Triticale – INRAE : effets génétiques et environnementaux sur la production de paille dans les essais multiloaux (programme adtm)

	Espèce	Année	Nb de lieux	Moyenne (t/ha)	Effet lieu	Effet variété	Interaction lieu x variété
Réseau	triticale	2005	3	7,41	***	*	*
GIE -	triticale	2006	3	8,50	***	NS	NS
INRAE	triticale	2007	2	6,07	***	***	NS

L'imprécision des mesures de la production de paille rend difficile le classement variétal.

Difficulté méthodologique:

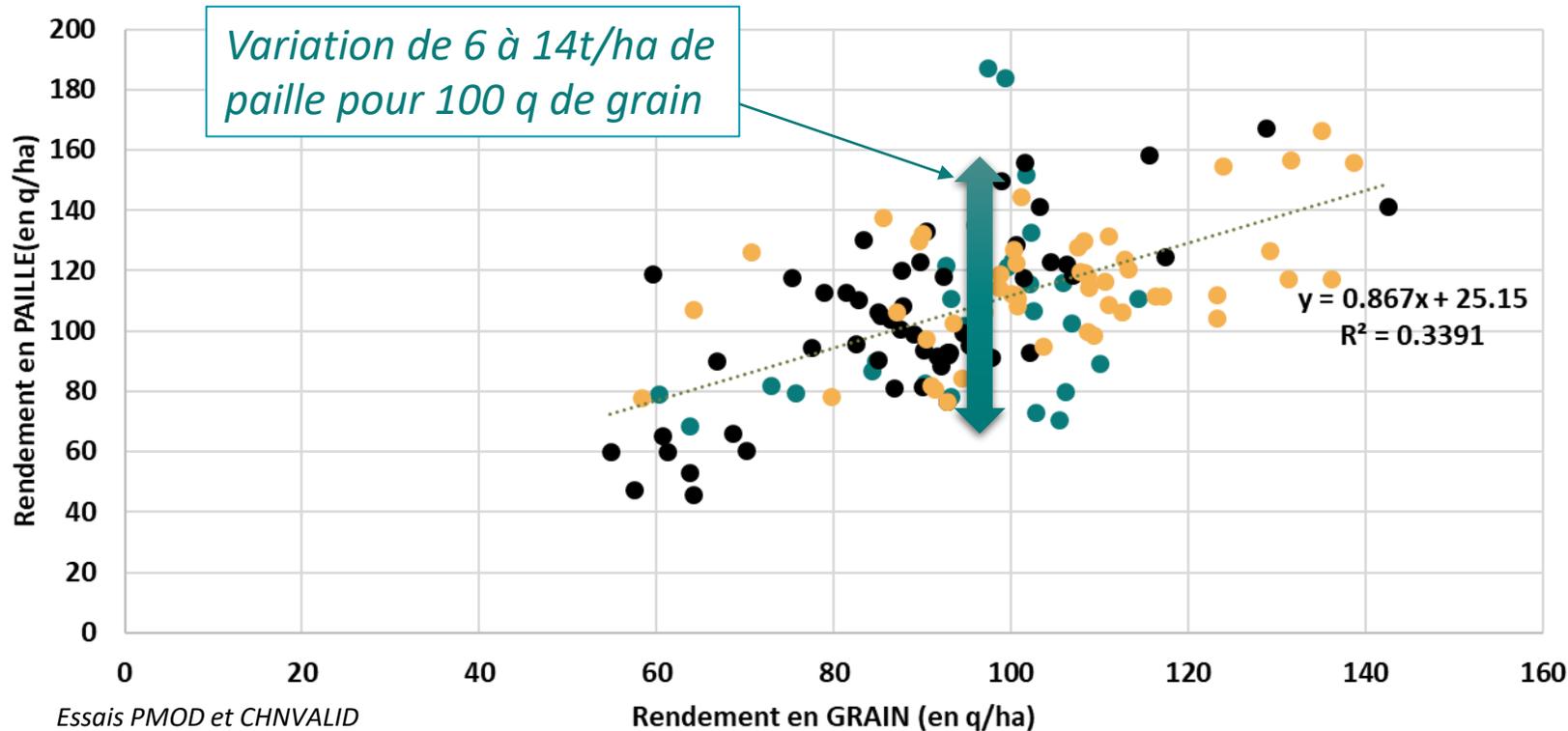
- récolte directe vs estimation par Grain/Paille (botillons)
- hauteur de coupe
- humidité paille très fluctuante

Production de paille et rendement en grain

➤ Essais physiologie / toutes variétés confondues

Estimation rendement en paille à partir de mesures G/P par botillons

Relation rendement paille et rendement grain
Essais physio OUEST 2004-2021_63 essais



● BRETAGNE ● PAYS DE LA LOIRE ● NORMANDIE Linéaire (TOUT)

Lien entre rendement grain et rendement paille visible

⇒ des facteurs de production communs

⇒ En général, les conditions favorables à la production de grain le seront à la production de paille

Mais forte variabilité de la production de paille pour un même rendement grain

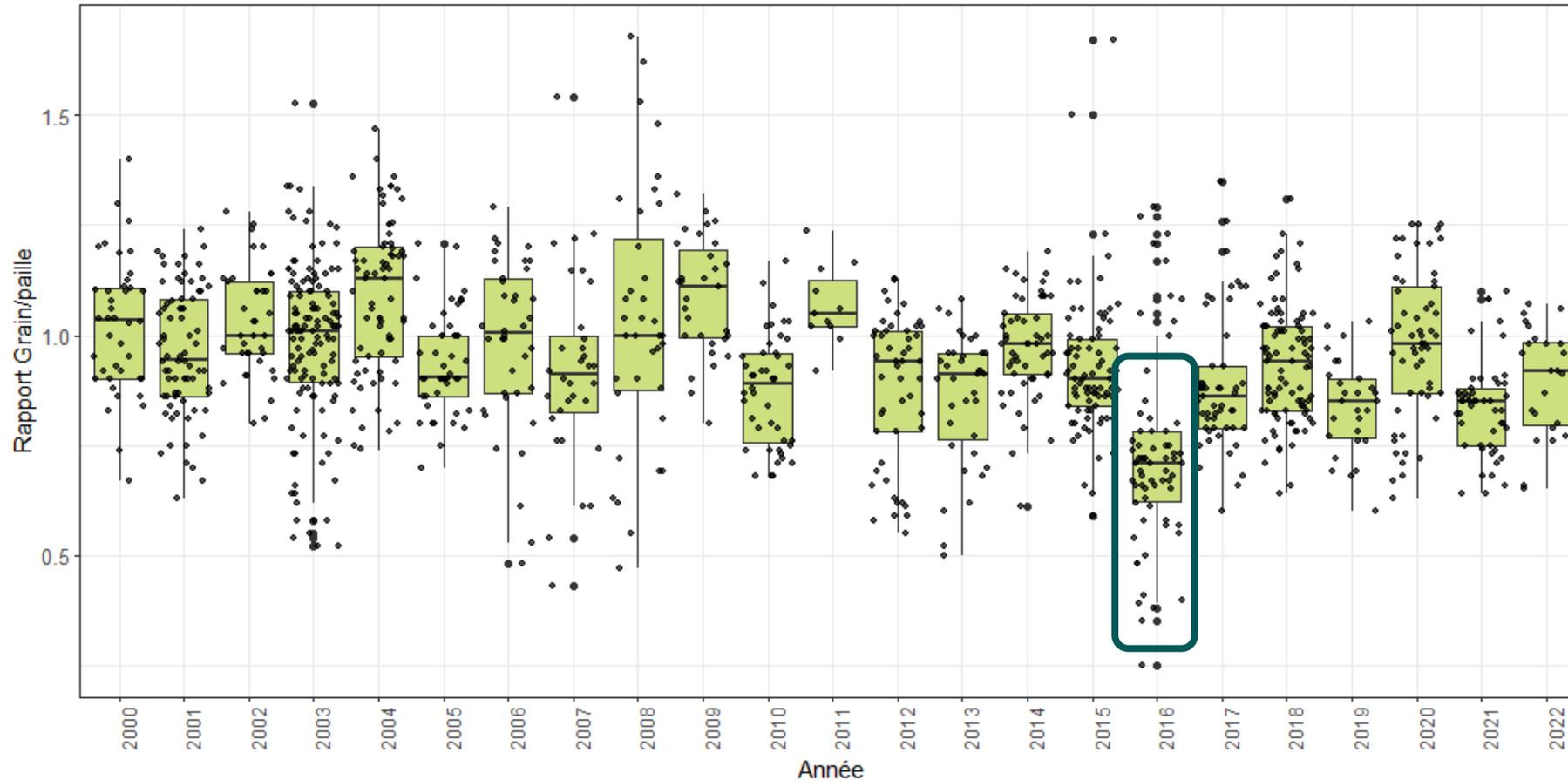


Effet année sur ratio Grain/Paille

Rapport Grain/Paille en fonction de l'année

Pour différents essais entre 2000 et 2022

Mesures G/P par botillons



Rappel /remplissage
des grains :

80% photosynthèse



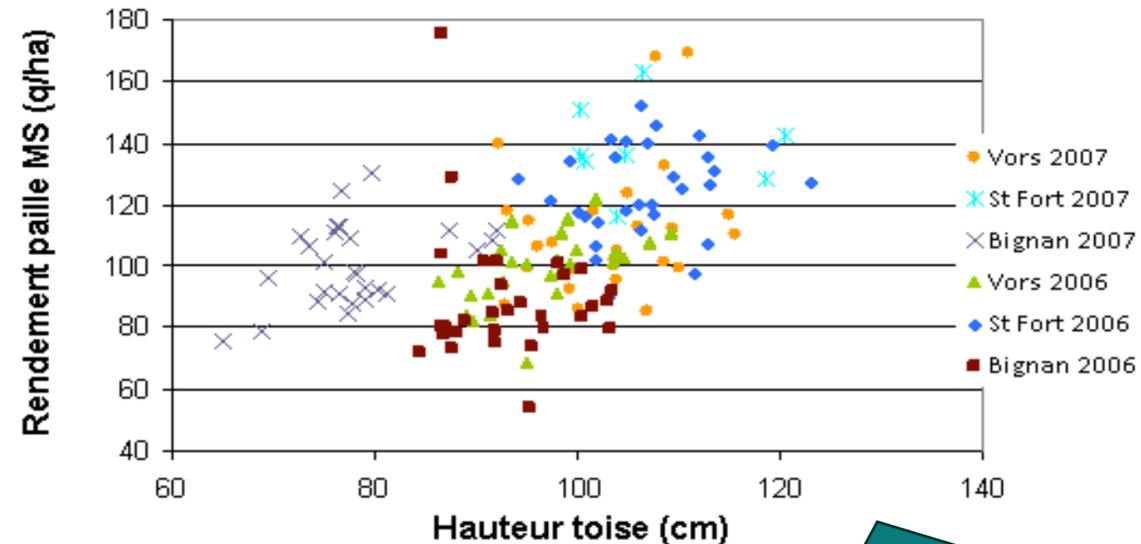
20%
remobilisation
du carbone
vers le grain

Selon climat et état des plantes, le rendement en grain (G) peut être affecté et pas le rendement en paille (P). Ex 2016: faible fertilité épi et forte pression fusarioses

Production de paille et hauteur

Coefficients de corrélations entre production de paille (tMS/ha), hauteur de paille et rendement grain – essais variétés Triticale

		Hauteur	Rdt grain (0%H)
Réseau GIE Triticale - INRAe	adtm 2005	0,10 NS (de 0,03 à 0,70)	0,45 NS (de -0,13 à 0,65)
	Collection 2005	0,32 NS	0,74 **
	Collection+adtm	0,32 NS	0,61 **
	adtm 2006	0,61 * (0,56 ; 0,57)	0,57 NS (0,25 ; 0,79)
	Collection 2006	0,47 NS	0,40 NS
	adtm 2007	0,32 NS (de 0,12 à 0,33)	0,26 NS (de -0,15 à 0,36)
ARVALIS	2006 (3 sites)	0.1 NS	0.09 NS
	2007 (3 sites)	0.02 NS	0.05 NS



Pour un même lieu la corrélation est très faible

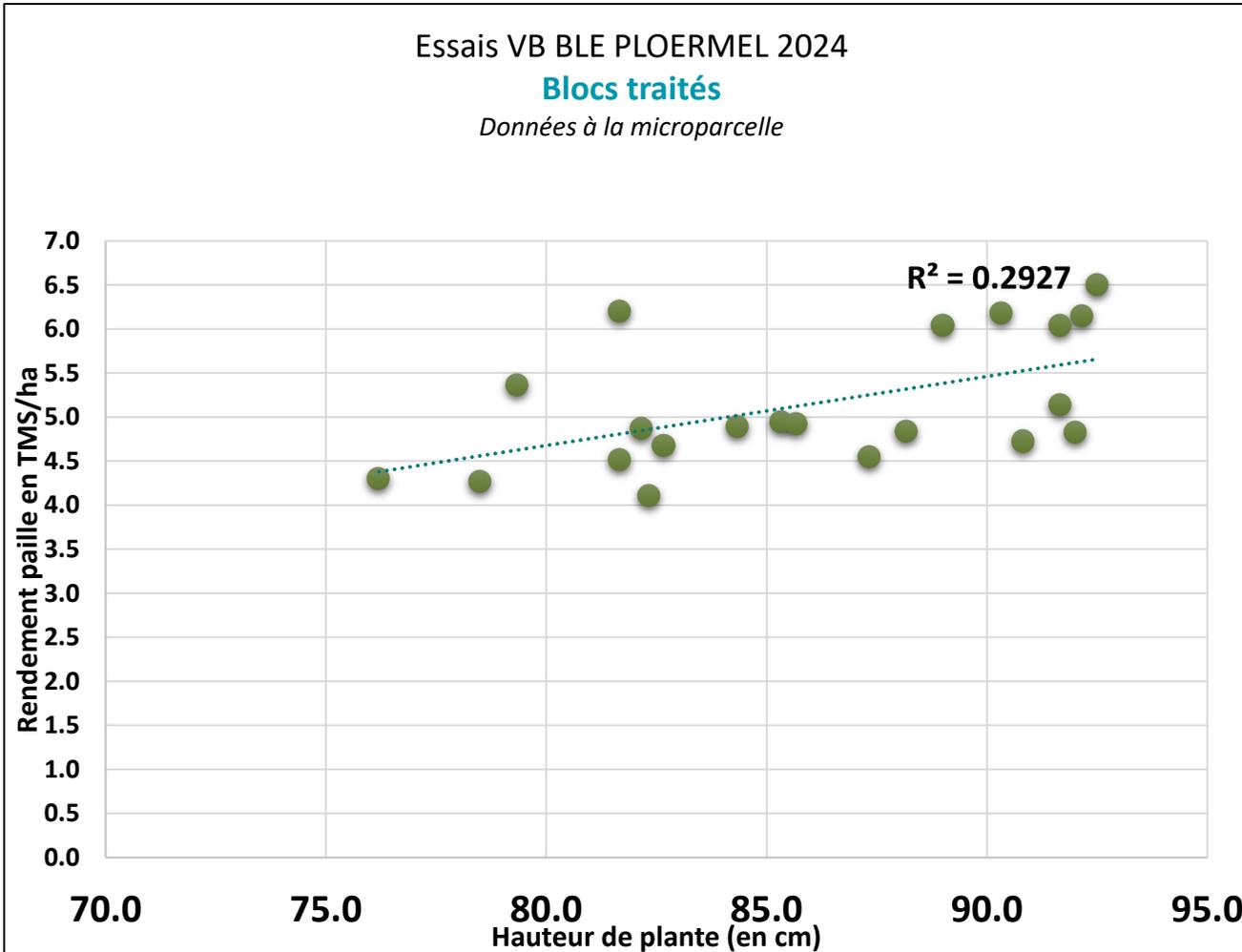
La corrélation entre la production de paille et la hauteur de paille est faible et très variable.
=> fort effet lieu et année >> effet variété



Production de paille et hauteur

➤ ARVALIS 2024, 6 variétés Blé tendre d'hiver, 3 blocs traités.

Relation rendement paille et hauteur des variétés



- Variation rendement paille : 4 à 6.5 tMS/ha
- Variation hauteur : 76 à 93 cm

Enjeu hauteur :

- Sous 80 cm : autour 4.5 tMS/ha
 - Au-dessus 90 cm : autour de 5.5 tMS/ha
- Enjeu de 1 tMS /ha pour un écart de hauteur de 10cm? (sur cet essai)*

Une corrélation positive mais faible

⇒ La hauteur n'explique qu'une faible partie du rendement en paille des variétés

« La relation entre hauteur et production de paille n'est peut-être pas linéaire : les variétés hautes ont tendance à produire + de paille mais ce niveau de production peut être atteint par des variétés courtes via d'autres facteurs (nb de tiges, épaisseur, etc). »
(A.Bouguennec *et al.*, 2013)



Expliquer et estimer la production en paille

➤ Modèle linéaire d'estimation du rendement en paille du blé tendre (travaux ARVALIS S.DUBLANCHE, 2023)

437 essais blé ARVALIS 1995 à 2022

Rendement en paille = rdt biologique obtenu à partir de mesures grain/paille en botillons

Variables	Coefficient	Significativité	Facteur
Biomasse à la floraison	+	***	
Quantité d'azote absorbé par le grain	+	***	 
Nombre d'épis/m²	+	***	 
Densité de semis	-	***	
INN à la floraison	-	***	
Somme du rayonnement entre épi 1 cm et floraison	-	**	
Somme des températures entre épi 1 cm et floraison	+	*	
Somme des précipitations entre floraison et maturité	+	***	
Somme des précipitations (P) – somme de l'ETP entre épi 1cm et floraison	+	***	

 Facteur variétal

 Pratiques culturales

 Facteur environnemental

Biomasse à floraison, la quantité d'azote absorbée par les grains et le nombre d'épis/m² sont les variables agronomiques les plus corrélées au rendement en paille.

Importance des variables climatiques!

Sommet de l'élevage 2024



Impact des maladies foliaires sur la production en paille

➤ 2 Essais variétés Orge avec mesure de la nuisibilité des maladies sur le grain et sur la paille.

ARVALIS et Chambre d'agriculture de Bretagne 2024, 7 variétés OH, 3 blocs traités, 1 bloc non-traité fongicide



L'écart T-NTF moyen est très important selon le site, cela s'explique par la nuisibilité des maladies des essais :

- **PLOERMEL : 9.7 q/ha (ramulariose)**
- **LANILDUT : 17.8 q/ha (helmintho, rouille)**

L'écart de rdt paille moyen entre les 3 blocs traités et le bloc non traité est de :

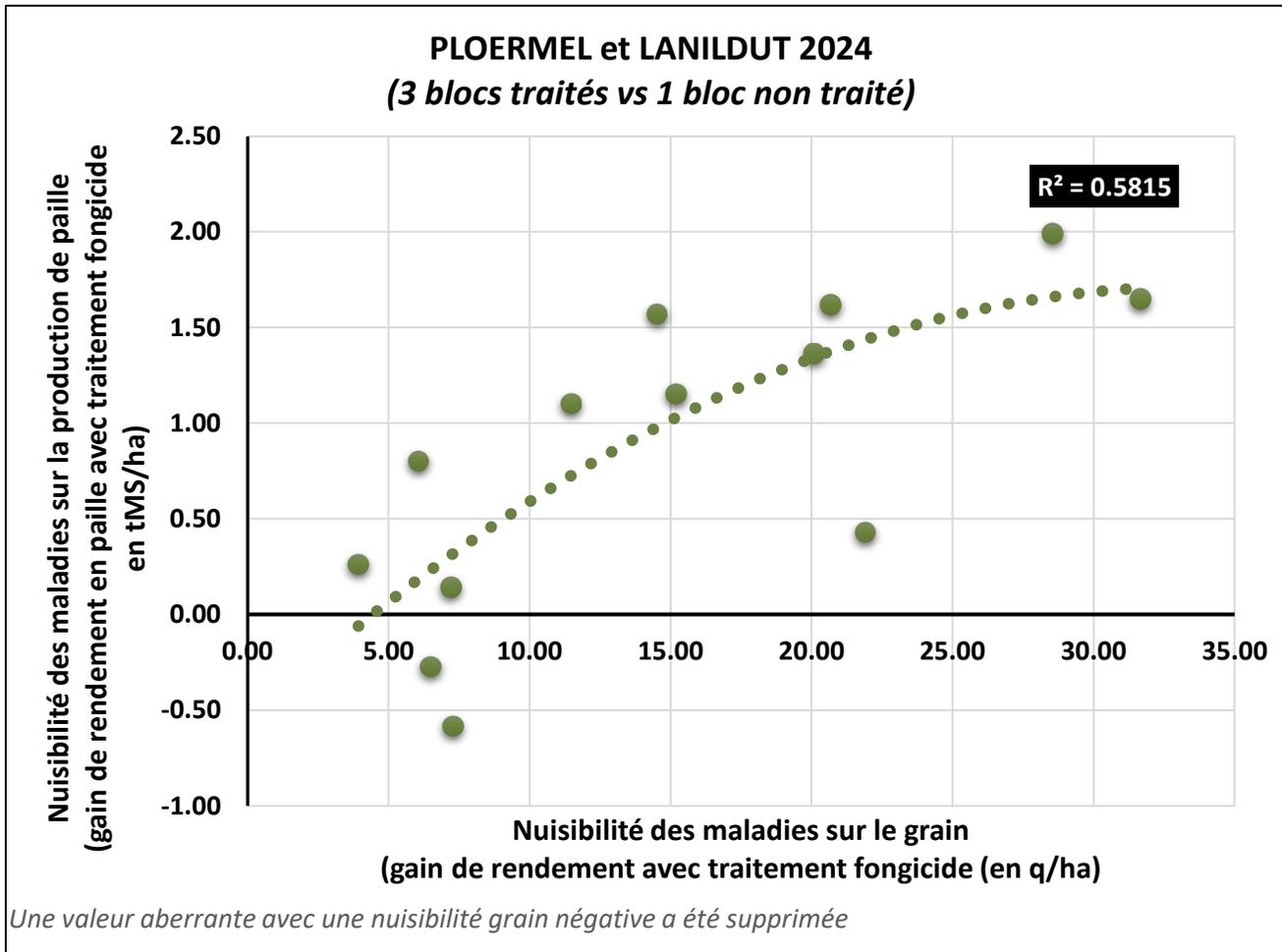
- **PLOERMEL : 0.28 tMS/ha**
- **LANILDUT : 1.51 tMS/ha**



Impact des maladies foliaires sur la production en paille

➤ 2 Essais variétés Orge avec mesure de la nuisibilité des maladies sur le grain et sur la paille.

ARVALIS et Chambre d'agriculture de Bretagne 2024, 7 variétés OH, 3 blocs traités, 1 bloc non-traité fongicide



L'écart T-NTF moyen est très important selon le site, cela s'explique par la nuisibilité des maladies des essais :

- **PLOERMEL : 9.7 q/ha (ramulariose)**
- **LANILDUT : 17.8 q/ha (helmintho, rouille)**

L'écart de rdt paille moyen entre les 3 blocs traités et le bloc non traité est de :

- **PLOERMEL : 0.28 tMS/ha**
- **LANILDUT : 1.51 tMS/ha**

Bonne corrélation entre nuisibilité des maladies sur rdt grain et sur rdt paille.

Enjeu de la protection fongique :

- Nuisibilité grain 10q/ha
⇒ nuisibilité paille: 0.5 à 1 tMS/ha
- Nuisibilité grain 30q/ha
⇒ nuisibilité paille: 1.7 à 2 tMS/ha
- Nuisibilité grain \approx 5q/ha
⇒ nuisibilité paille variable



Impact des maladies foliaires sur la production en paille

Exemple de l'essai variétés triticale 2024 à StPourçain sur Besbre (03, Sologne Bourbonnaise)
Nuisibilité maladies dans l'essai fongicide: 16q/ha. Ecart T-NT dans l'essai variétés: 6 à 31q/ha



Symptômes de rhynchosporiose



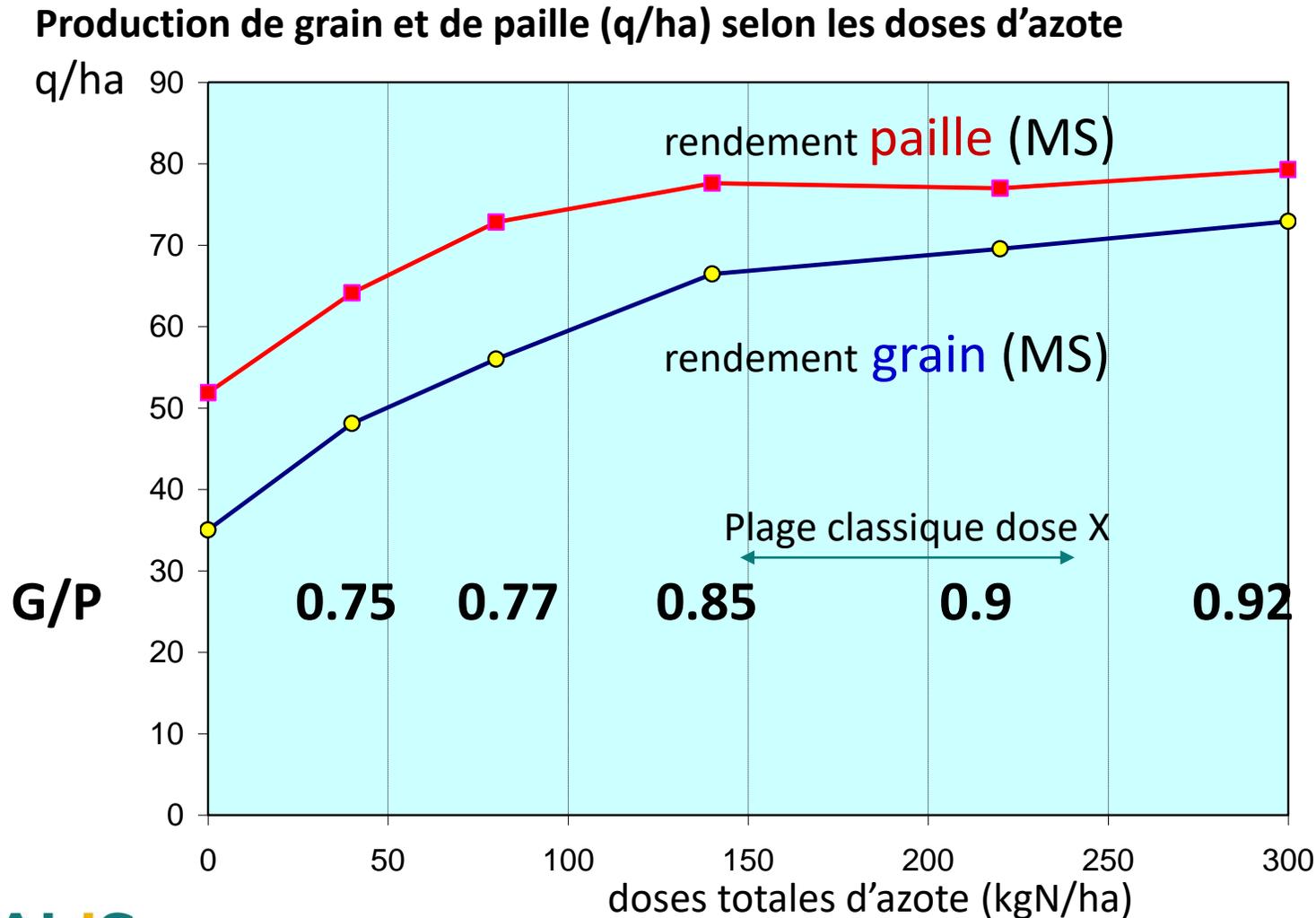
Andain de paille dans le bloc traité



Andain de paille dans le bloc non-traité

Impact de la fertilisation azotée

➤ Essai Arvalis 2005 à Mourmelon (51)



La réponse de la production de paille à l'azote est similaire à celle du rendement grain

Dose optimale paille = dose optimale grain

La dose d'azote modifie le rapport Grain/Paille

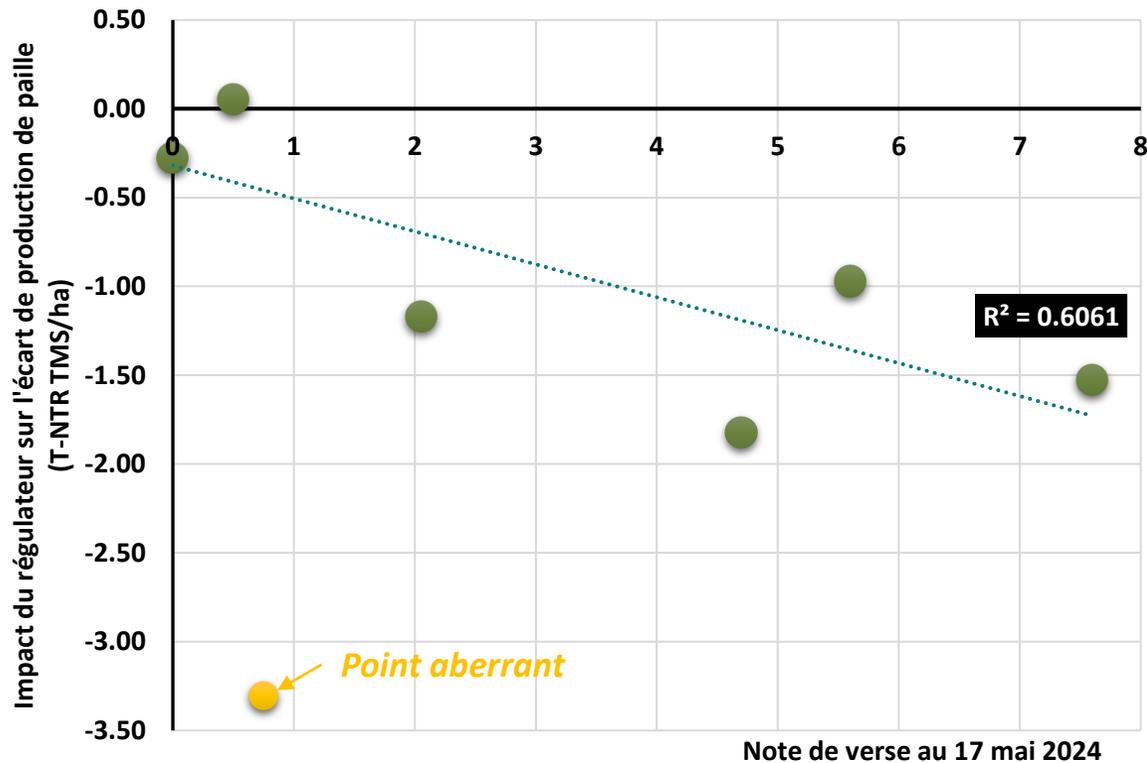
Pour des doses X agriculteur : G/P autour de 0.85 - 0.9

Impact du régulateur sur la production de paille

- 1 Essais variétés Orge ARVALIS 2024, 7 variétés OH, 3 blocs régulés, 1 bloc non régulé

PLOERMEL 2024

(3 blocs traités vs 1 bloc non régulé)



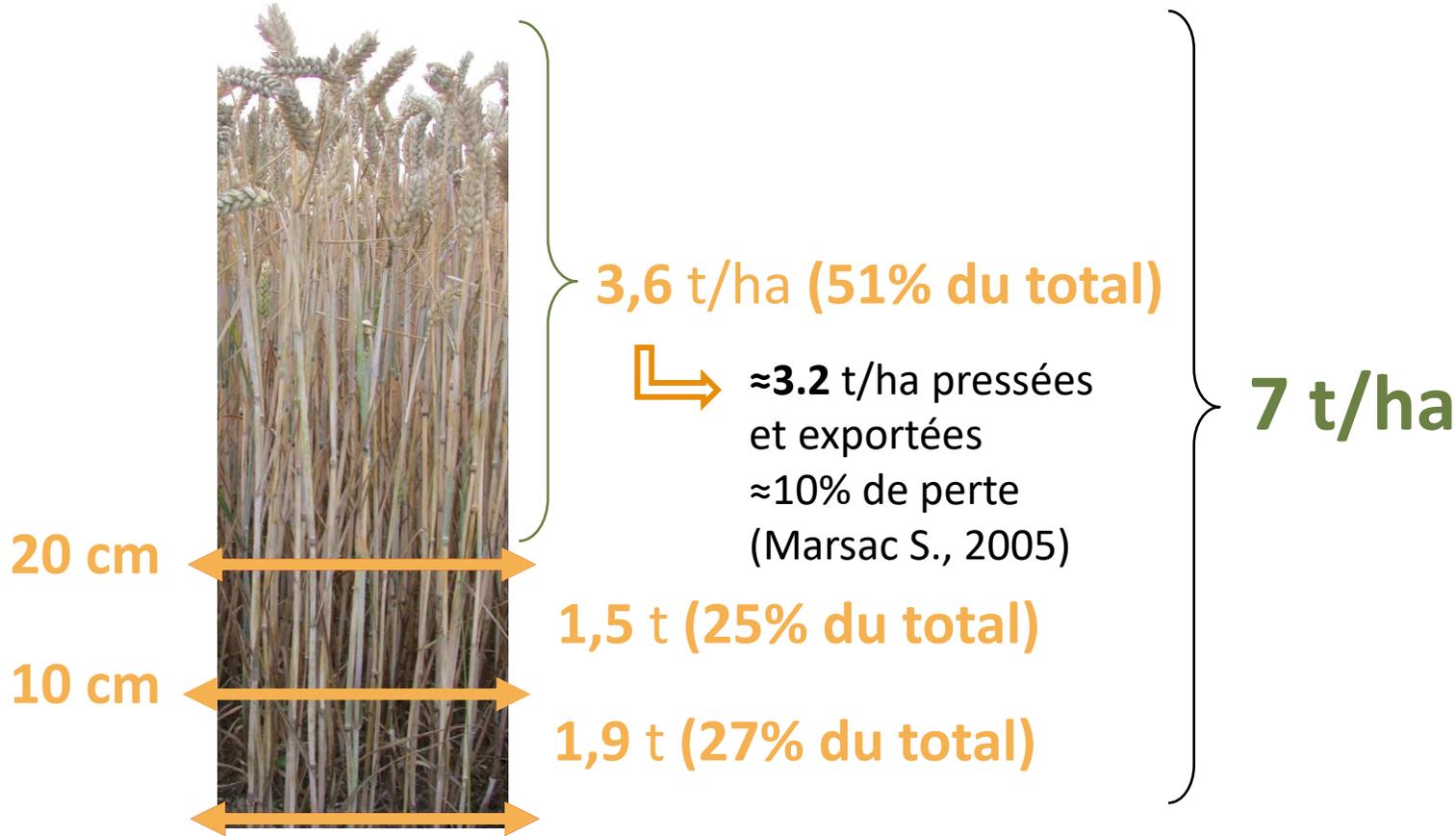
- L'écart de rdt paille entre les 3 blocs traités et le bloc non régulé est de -1.3 tMS/ha
- Pour les variétés d'orge qui n'ont pas versé **l'impact du régulateur semble neutre sur la paille**
- Par contre, **une verse précoce produit plus de paille en limitant la production de grain** car la biomasse n'a pas été remobilisée dans les grains

Une donnée semble aberrante sans explication KWS INNOVATRIS qui n'a pas beaucoup versé : note de 1.75 et écart T-NTR de 3q/ha mais avec une perte de 3.3 tMS/ha ! Cette donnée n'est pas prise en compte dans la regression



Production de paille: enjeux à la récolte

➤ Impact de la hauteur de coupe



Source REMY et MAUCORPS (1982)

La hauteur de coupe a un effet fort sur la production de paille qui n'est pas linéaire:

¼ de la paille est sous les 10 cm

Récolte comprise, moins de la moitié de la paille produite est réellement exportée.

Principaux facteurs de variation en grande parcelle de la quantité de paille exportée (*Etude ARVALIS 2014-2015-2016*):

- Andainage o/n
- Type de moissonneuse: batteurs conventionnels vs axiaux
- Orientation de l'exploitation (auto-conso o/n) => conditions de récolte (hygrométrie)

Utilisation de la paille en élevage



Le bâtiment: premier facteur d'économie de paille

- Aire d'exercice raclée ou caillebotis : économie de 30 % de paille par rapport au 100 % paillé
- Logette : 50-90 % de réduction de paille
- Ventilation du bâtiment
 - Naturelle
 - Brasseurs d'air



La consommation de paille moyenne par type de bâtiment et catégories animales

Kg de paille/animal/j	Vaches laitières	Vaches allaitantes	Jeunes Bovins
Aire paillée intégrale	10 à 12	7 à 8	5
Pente paillée	5 à 6	5	4
Aire paillée avec aire d'exercice raclée	8 à 10	6 à 8	4 à 5
Logettes gérées en lisier	0.3 à 0.5	0.3	0.2

Source : Institut de l'élevage



Utilisation de la paille par l'éleveur

- Ne pas « surpailer » : essai réalisé à Saint Hilaire en Woëvre – apport de 4.8 kg de paille/ JB/j vs 3.6 kg/ JB/jour → pas de différence de propreté

Modalités de paillage	4.8 kg/j/ JB	3.6 kg/j/ JB
Quantités distribuées en Fin essai (en Kg / box / paillage)	200	150
Etat de propreté des animaux en fin d'essai	A+	A-
Prise de poids entre 15/02 et abattage des JB (soit 180j)	275 kg	274 kg
GMQ sur les 180 derniers jours d'engraissement	1520 g/j	1510 g/j

- Apporter plus fréquemment en plus petite quantité : paillage 2 fois par jour : 10-20 % d'économie
- Curer au bon moment : dès que la température dépasse les 30°C en surface (attention au type de stockage du fumier)



Substitution de la paille



Les différentes alternatives

- **Menue paille de blé**

- Pas d'impact sur le bien-être animal
- Faible portance
- ↗ 50 % des quantités apportées par rapport au blé
- Manutention délicate (bottes peu compactes)
- Fort dégagement de poussière

- **Paille de colza**

- Pas d'impact sur le bien-être animal
- Une bonne portance de la litière
- Des quantités apportées proches du blé
- Des rendements paille moitié moins importants que le blé



Les différentes alternatives

- **Autres pailles**

- **Maïs**

- Moins absorbant que la paille
- A récolter sec et après broyage par la moissonneuse
- Sollicite fortement le matériel

- **Balle de riz**

- Produit absorbant
- Gisement très limité
- De préférence pour les logettes

- **Anas de lin**

- Produit très absorbant
- Gisement très limité



Les différentes alternatives

- **Autres végétaux**

- **Miscanthus**

- Intéressant surtout en litière malaxée
- Attention à la concurrence en surface/autres cultures

- **Fougères**

- Produit historique dans certaines régions
- Gisement très limité
- Utilisation identique à la paille

- **Joncs**

- Produit historique dans certaines régions
- Gisement très limité



Crédit photo CA Nelle Aquitaine



Les différentes alternatives

- **Les inorganiques**

- **Dolomie**

- Peu absorbant
- Intéressant si besoin d'amendement calcique
- Stockage pour 30 T (un camion)
- Surtout en sous-couche

- **Sable**

- Pour les logettes creuses
- Sédimentation en système lisier

- **Papier recyclé broyé**

- Très bon pouvoir absorbant
- Peu utilisé en France
- Peut prendre en masse



Utilisation des haies de l'exploitation

Essai CLIMATVEG Pays de la Loire



**Intervention
fréquente et/ou Haie
peu dense**

Élagage Lamier

6 kg/ml

**Intervention peu
fréquente et/ou Haie
très dense**

Abattage sur haie ancienne

560 kg/ml

Moyenne : 150 kg/ml

Chantiers réalisés en périodes creuses / respect de la législation

4-6 mois de séchage ensuite (après séchage $4\text{m}^3 = 1$ tonne)



Utilisation des haies de l'exploitation

1,5 kg a un pouvoir absorbant
équivalent à **1 kg**



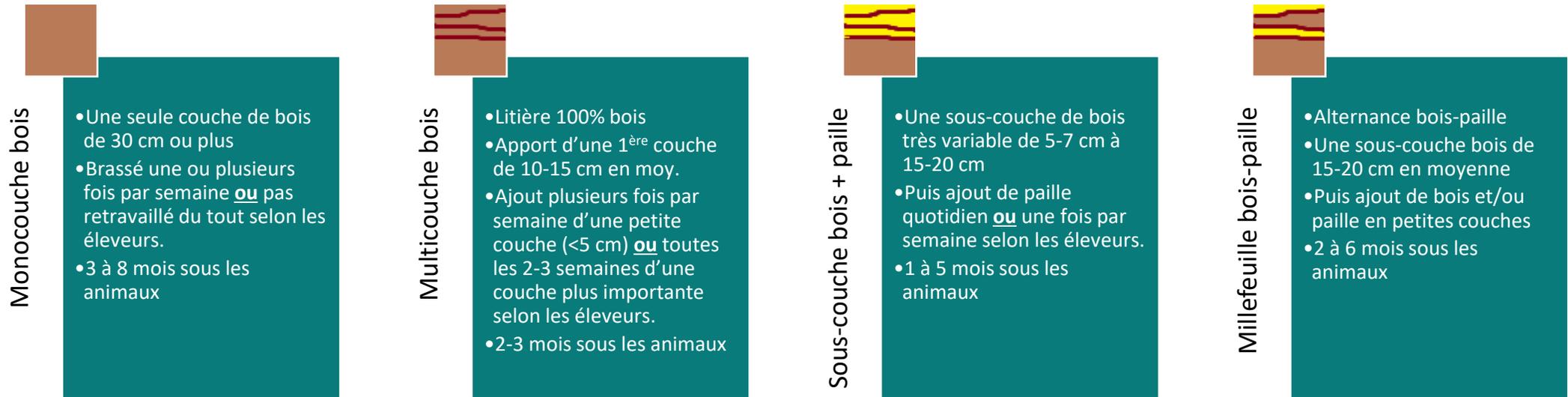
**Coût de production
moyen projet autour
de 70 € / T bois sec**



**Prix de "bascule" où la
plaquette est moins chère
= 105 € / T de paille**



Utilisation des haies de l'exploitation



Pour une utilisation optimale des plaquettes en litière, il est recommandé d'avoir un taux MS > à 75%



Temps de travail influencé par le nombre d'apport de paille/bois

Température de la litière 100 % bois : 14 °C – température de la litière bois + paille : 23 °C – température de la litière 100 % paille : 29°C



L'écorce de bois, sous-produit de la filière

Déchets de scieries (écorce + aubier) issus de feuillus.
Broyage et passage sur table de tri : taille < 60 mm.

↳ **Passage dans une pailleuse possible**

Caractéristiques du produit

60-90 % de MS très variable selon les conditions de stockage

Masse volumique : 240-315 kg/m³



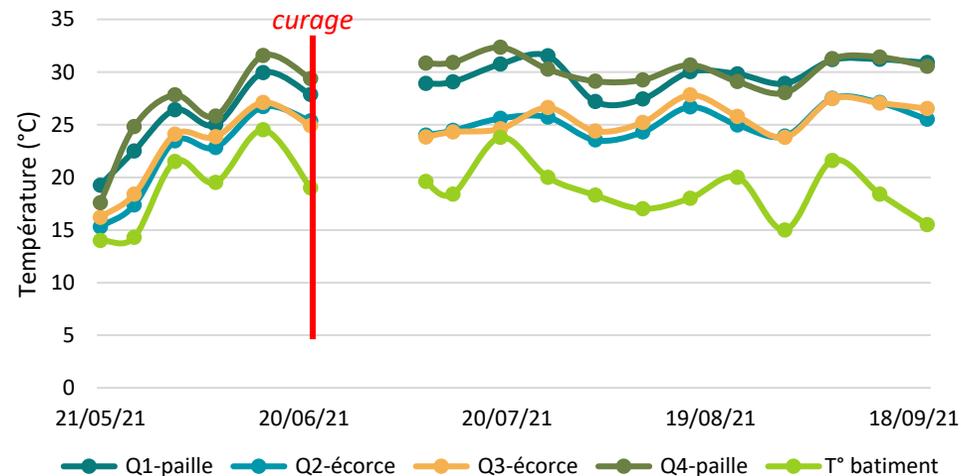
L'écorce de bois, sous-produit de la filière

- Comparaison 100 % écorce vs. 100 % paille
 - Pas de différence de croissance (1 800 g/j)
 - Pas de différence de propreté
 - Pas de problème de boiterie, de blessures ou problèmes respiratoires



L'écorce de bois, sous-produit de la filière

- Utilisation en sous couche de 10 cm puis apport 1 à deux fois par semaine
- Paille : 3.6 kg/JB/j – Ecorce 8.3 kg/JB/j (0.03m³)
- - 4.3 °C pour la litière écorce



L'écorce de bois, sous-produit de la filière

- Quelle valeur pour l'écorce ?
 - Produit encore peu développé et sans prix de marché.
 - Estimation du prix d'équivalence entre paille et écorce en tenant compte :
 - Des quantités utilisées
 - Du temps de paillage, curage
 - Des coûts de fonctionnement (paillage et curage)

Prix d'achat de la paille	Fourchette de prix d'achat de l'écorce
Paille : 80 €/t	8-15 €/m ³
Paille : 90 €/t	9-17 €/m ³
Paille : 100 €/t	10-18 €/m ³



L'écorce de bois, sous-produit de la filière



Avantages

- Litière qui ne monte pas en température (moins de risque infectieux)
- Pas de problème de comportement des animaux
- Pas d'odeur au curage
- Litière sèche
- Stabilisant pour zone d'abreuvement et alimentation
- Mécanisation possible
- Diminution du nombre d'apports



Inconvénients

- Nettoyage du matériel de paillage si utilisation pour l'alimentation (désileuse-pailleuse)
- Paillage délicat derrière le couloir d'alimentation (présence écorce dans l'auge)
- Profondeur de paillage limitée
- Litière plus froide pouvant être impactant pour les veaux naissants
- Stockage à l'abris nécessaire
- Filière peu développée : faible disponibilité

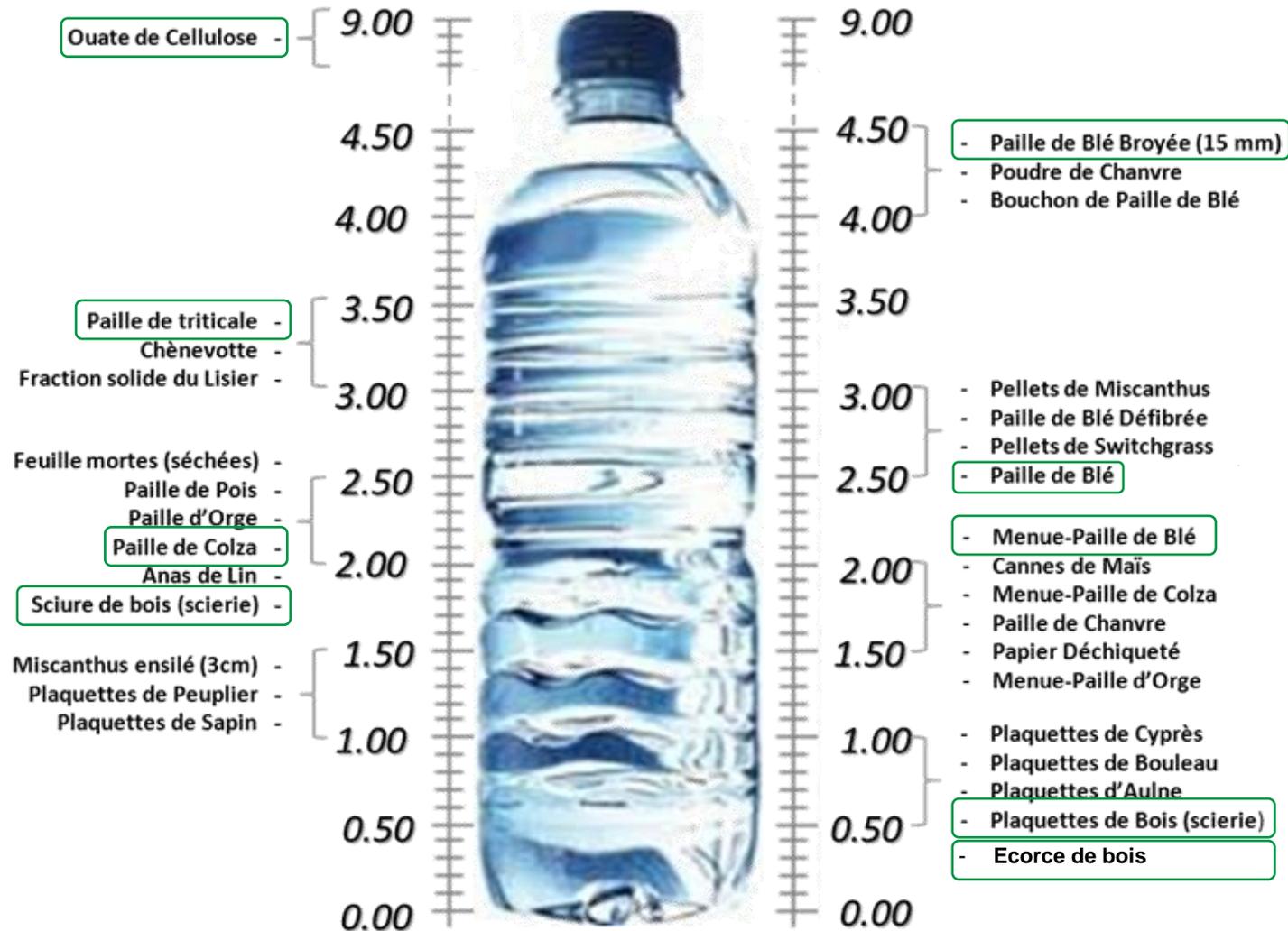


Préconisations / Vigilances

- Prévoir surface suffisante pour le stockage
- Vigilance sur la matière sèche pour une bonne utilisation
- Avec de logements à veaux, ingestion de la litière à surveiller
- Approvisionnement local à définir
- Anticiper les livraisons
- Fumier à utiliser comme amendement avec épandage à l'automne



Pouvoir d'absorption des différents matériaux (l/kg)



Conclusion

- Optimiser la production de paille passe par le choix de l'espèce et l'optimisation de la conduite
 - Production et capacités d'absorption : Triticale >> Blé et Orge
 - Effet variété significatif mais effet environnement + important => difficile de faire un classement variétal
 - Ne pas surestimer l'importance de la hauteur de la variété
 - Les maladies foliaires impactent fortement le rdt en paille => variété peu sensible, protection fongicide
 - La verse pénalise la récolte (surtout en grain) alors qu'un régulateur a peu d'effet sur la paille
- L'itinéraire de récolte impacte aussi: conditions de récolte, type de moissonneuse
- Des solutions pour limiter l'utilisation de la paille
- Impossible de remplacer l'intégralité de la paille de litière dans les élevages bovins français
- Mais des alternatives existent pour remplacer ou diminuer l'utilisation de la paille
- Problématiques :
 - Disponibilités de ces produits
 - Coûts
 - Manutention



Un outil en ligne pour les échanges paille-fumier

<http://www.paille-fumier.arvalis-infos.fr/index.php>



CALCULER

EN SAVOIR PLUS

Calculatrice d'échange Paille - fumier

Calculer les équivalences paille-fumier en termes de valeurs fertilisantes, de coûts d'engrais minéraux, de charges de mécanisation et de main-d'oeuvre pour votre échange.

1 2 3
- Votre échange -

Type de paille ⓘ

Votre paille ▼

N P₂O₅ K₂O MgO

Type de fumier ⓘ



La paille en élevage : optimisation de sa production, utilisation et alternatives

Chloé MALAVAL JUERY – Ingénieure Régionale Auvergne ARVALIS

c.malavaljuery@arvalis.fr

Antoine BUTEAU – Ingénieur Régional Fourrages ARVALIS

a.buteau@arvalis.fr