



INSTITUT DE RECHERCHE
ET DE DÉVELOPPEMENT
EN AGROENVIRONNEMENT

Les journées St-Rémi
Horticoles et Grandes
cultures
8 décembre 2022

Impact de diverses régies d'engrais verts, de fumiers et de paillage sur le rendement et le calibre de l'ail en production biologique.

Présenté par: Christine Landry *agr. biol. Ph.D.*

*Collaborateurs: Julie Mainguy agr. Bac., Mylène
Marchand-Roy agr. M.Sc., Aurélie Demers agr. Bac. et
Maude Langelier biol. M.Sc.*

Le travail d'une équipe et de collaborateurs

■ Producteurs

- Sébastien Grandmont
- Marie-Pierre Dubeau



■ Club agroenvironnemental de l'Estrie

- François Gendron, agr.
- Maggie Bolduc, agr.
- Techniciens, étudiants, stagiaires



■ MAPAQ

- Geneviève Legault, agr., DRE
- Jonathan Roy, agr., DRCA
- Julie Marcoux, DRE



■ Financement

- Programme Innov'action – volet 1



■ IRDA

- Techniciens, ouvriers agricoles
- Étudiants et stagiaires



Pourquoi un projet en fertilisation de l'ail?

- **Explosion de l'engouement pour l'ail du Québec**

- Producteurs Ail Québec
- Nouveauté : Guide ail CRAAQ
- Événements spéciaux: Ex. Semaine de l'ail

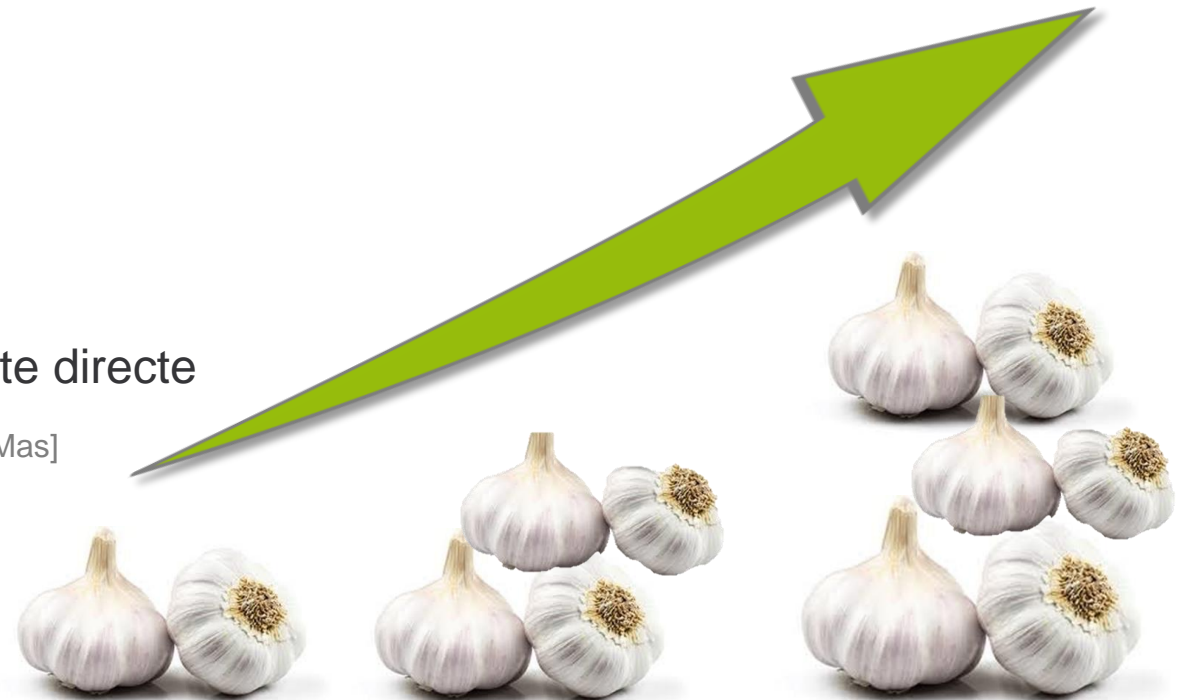
- **Marché en plein essor**

- 110 ha biologiques cultivés en 2021

- **Belle valeur économique**

- 22 à 26 \$ / kg calibre moyen et gros, vrac, vente directe

[Portail Bio Québec 2022; Le Petit Mas]



Fertilisation de l'ail : la quantité de N à apporter

- **Besoins N élevés :
110 kg N_{eff} / ha**



Couture I. et Coll. 2019

Dans l'ail Music, réponse rendements à l'azote **4 fois sur 10**.

60 kg N_{total} granules de fientes de poule (CE = 100 %) semble être une dose économiquement judicieuse

Ail, oignon, poireau

États ou Provinces	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Références
	----- kg/ha -----			
Québec	110	30-190	20-185	CRAAQ, 2010

[Guide de référence en fertilisation, 2^e édition, CRAAQ 2010]

États ou Provinces	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Références
	----- kg/ha -----			
Ontario	110	0-180	0-230	OMAFRA, 2011
New-York (Northwest)	28-56	0-224	0-224	Stewart, 2020
Michigan	118	168	112	Goldy et coll., 2000
Mid-Atlantic ¹	140	168	168	Wyenandt et coll., 2020
Mid-West	78-140	28-280	0-280	Egel, 2018
Pennsylvanie	140	168	168	Ford et coll., 2014
Minnesota	56-134	0-168	0-224	Rosen et Eliason, 2005

¹ Delaware, Maryland, New Jersey, Pennsylvania, Virginia, West Virginia.

[Chapitre 3, Landry et coll., Guide de production ail biologique, 2020]

- Ail planté à l'automne
- Paillis vs sans paille
- Ratio $N_{\text{eff}} / P_{\text{total}}$ élevé
- Disponibilité et coûts des produits bio N_{eff}
- Dispose de peu d'informations sur la synchronisation avec les besoins de la culture.



L'utilisation des engrais de ferme

■ Les engrais N_{eff} libèrent trop rapidement le N disponible pour application d'automne.

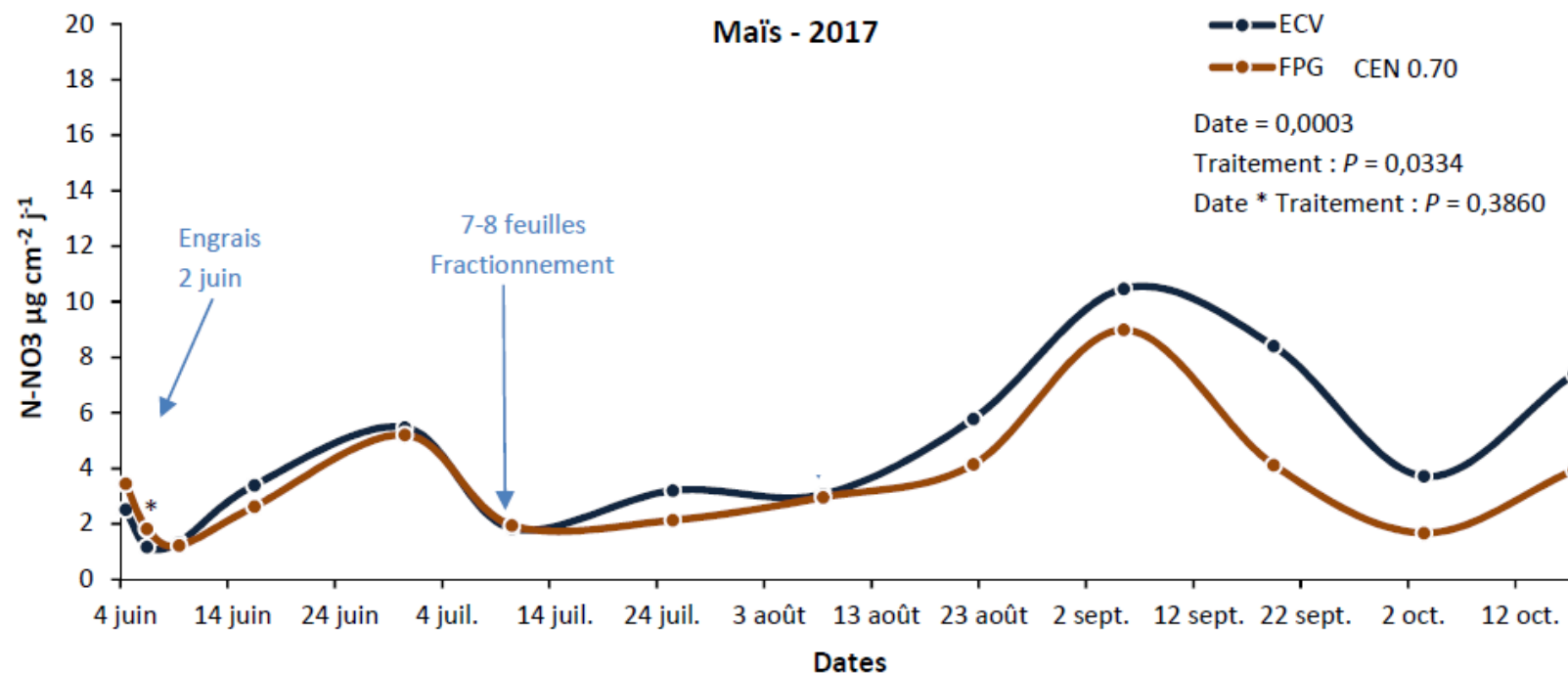


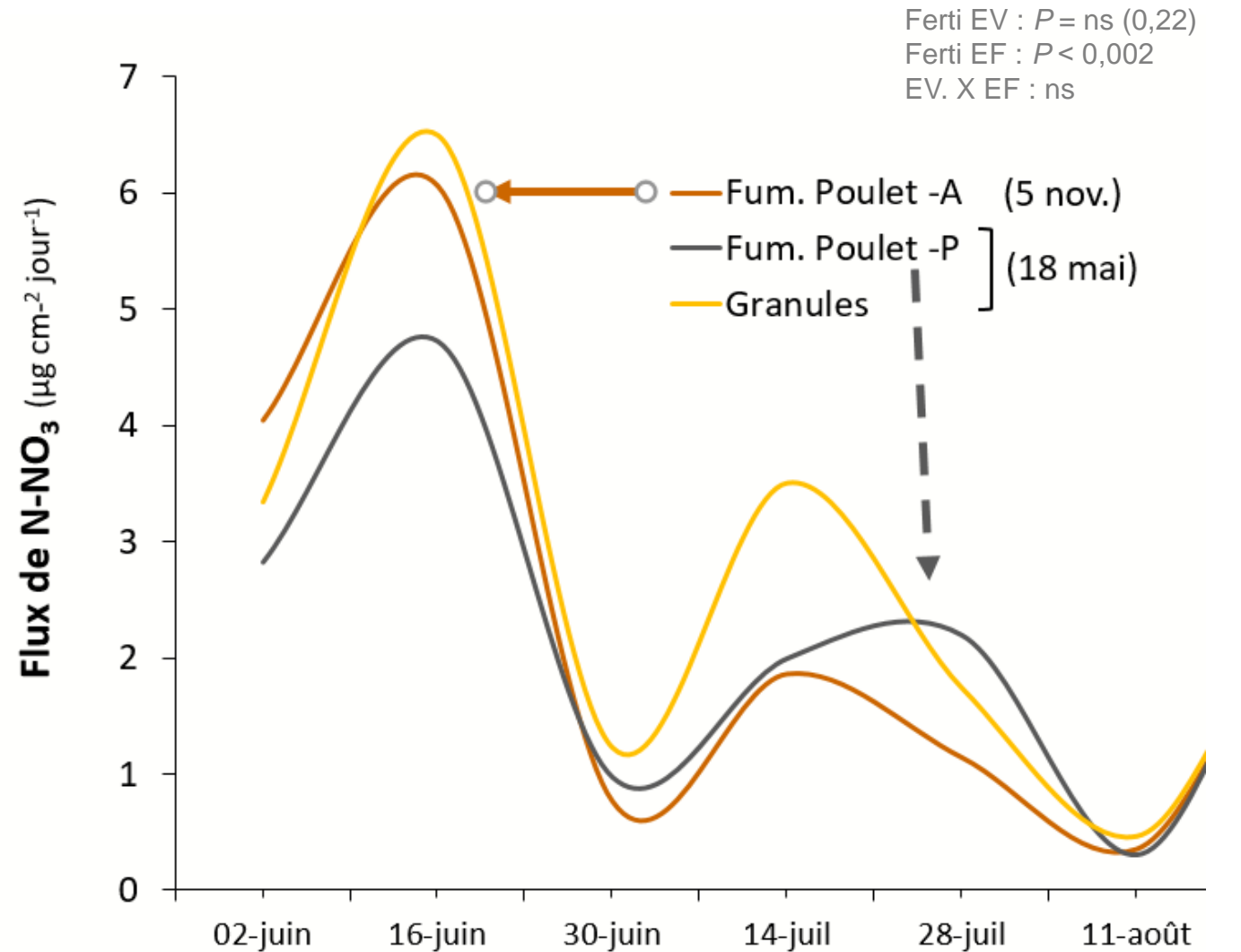
Figure 11. Flux de nitrate dans les sols fertilisés avec de l'engrais de synthèse ou les fientes granulées de poules (CEN à 0,70) pendant la saison de croissance du maïs en 2017. À chacune des dates, un astérisque (*) indique que les valeurs sont distinctes significativement au seuil $P \leq 0,1$.

Ex. Fientes granulées de poules :
Faible indice de stabilité (ISB: 10)

L'utilisation des engrais de ferme

- Les engrais plus résistants :
manque de N_{eff} en saison ?

Ex. **Fumier poulet grillé (Broiler):**
+ résistant (ISB: 45)



L'usage des engrais verts (EV) reconnu et pratiqué en grandes cultures



Cultures maraîchères : en développement



- Effet engrais verts dérobés, prairie ou fauchés-récoltés comme fertilisants sur le rendement de légumes (ex. brocoli, choux-fleur). (Giard-Laliberté 2022ab)

- Prairie en intercalaire dans le maïs sucré, servant d'EVfr pour une culture de brocolis l'année subséquente
- Prime-vert no. 20-006-3.1.-F

- Utilisation de granules de luzerne dans le brocoli sur buttes plastifiées.
- Prime-vert no. 19-001-3.1-F

- Enquête et essais d'intégration d'EV dans la rotation chez 5 producteur maraîchers diversifiés en Chaudière-App. (fraise, carotte, citrouille, maïs sucré).
- Prime-vert vol.2 no. 7137309

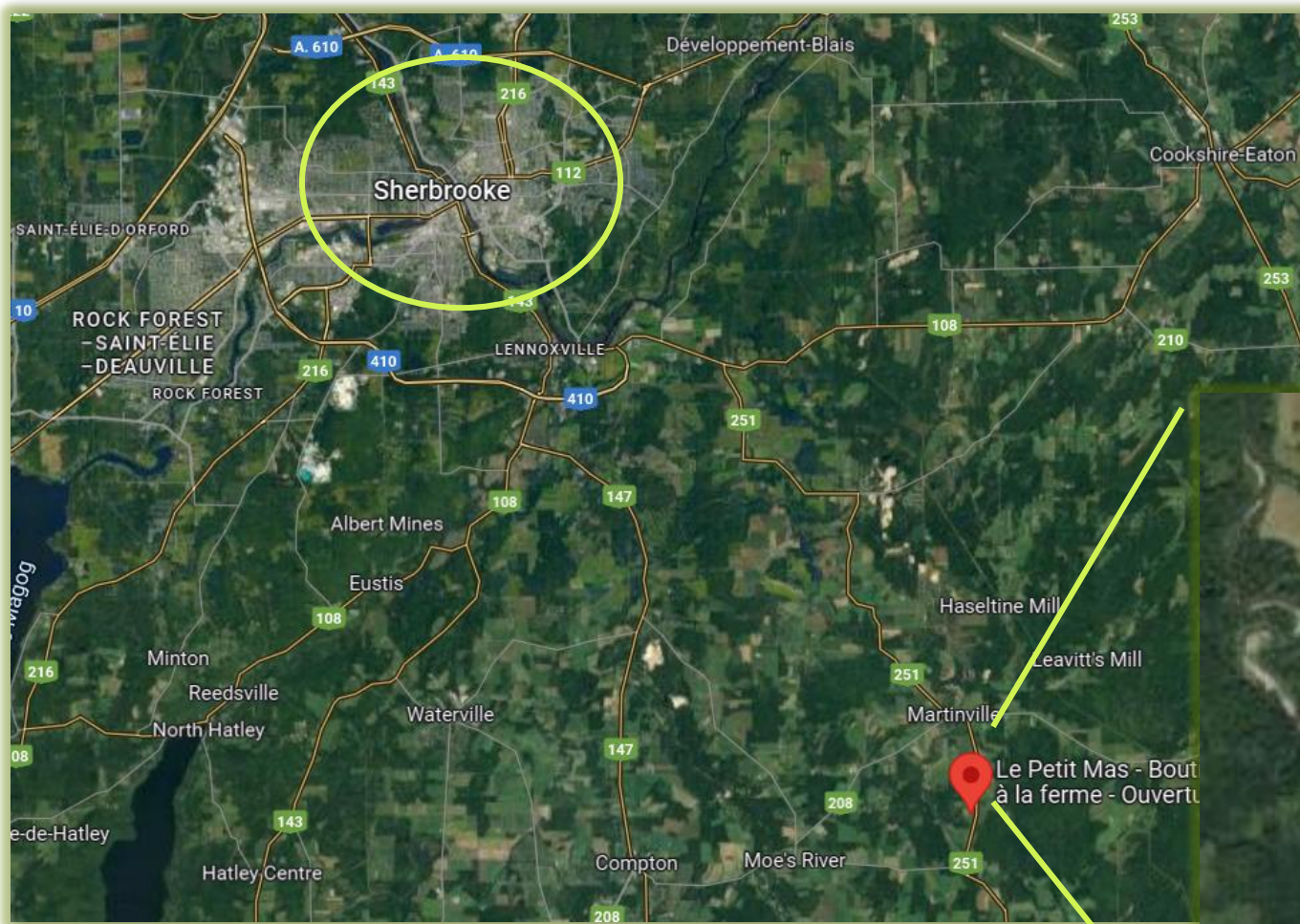
- **Principal** : Développer une stratégie de fertilisation combinant **EV** + **EF** pour combler les besoins en N de l'ail sans sur-fertiliser en P.

- **Sous-objectifs:**
 - Le N_{eff} pouvant être retiré des EV ?
 - Automne: EF plus résistant (*Broiler*) ?
 - Les apports en N : 110N vs 60N ?
 - L'impact de la paille ?
 - Les exportations en N, P, K et S ?



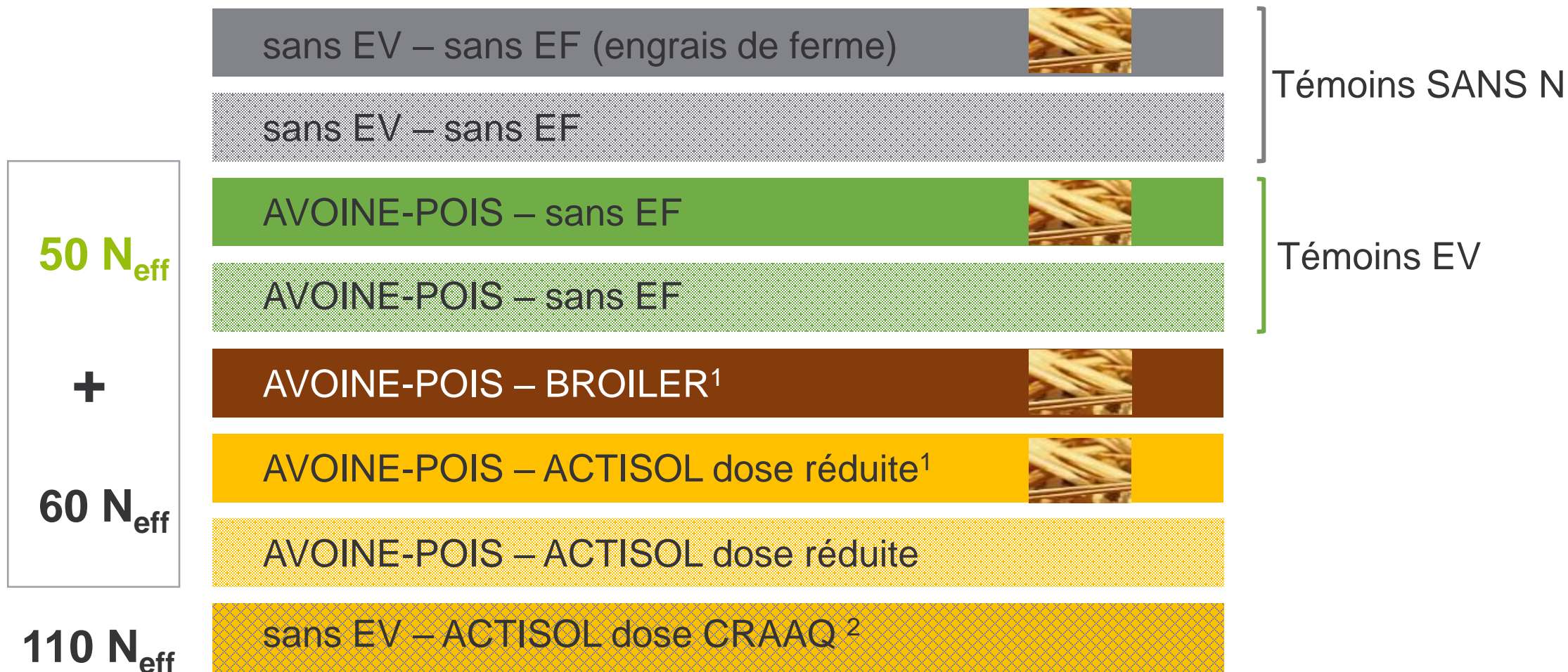
Projet à la ferme Le Petit Mas en Estrie

irda



Traitements comparés

8 traitements



¹ 45 N_{eff} en 2020 et 60 N_{eff} en 2022; ² 95 N_{eff} en 2020 et 110 N_{eff} en 2022

Apports par les EV

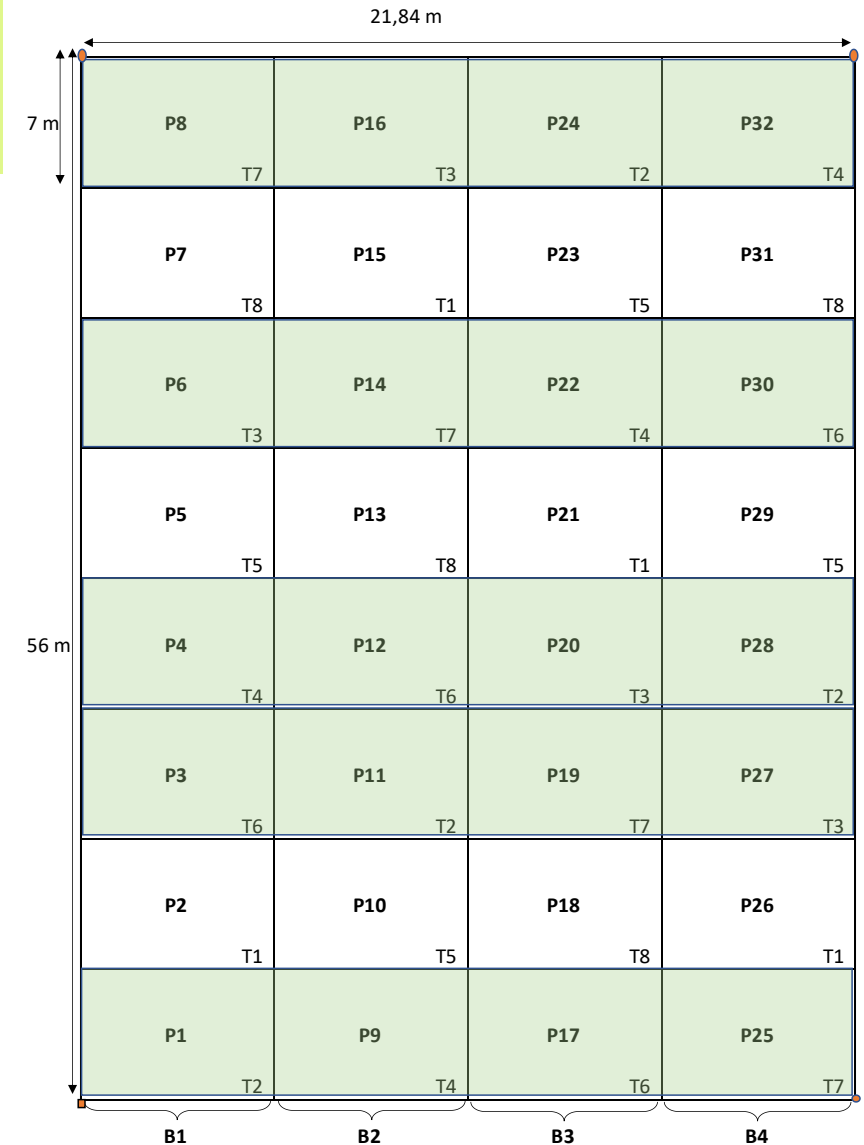
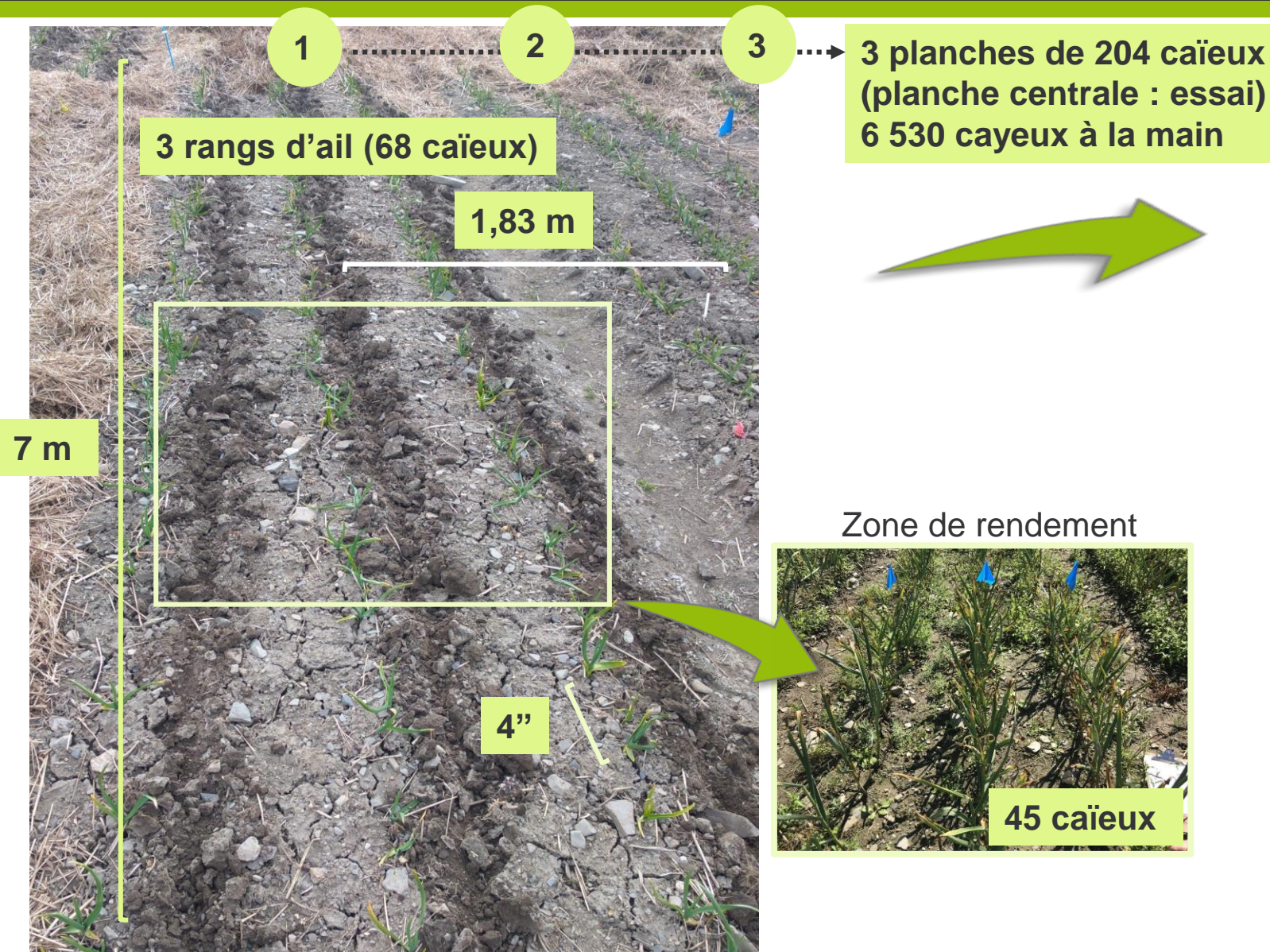
Année	Biomasse	N _{total}	N	N _{eff}	P _{tot}	K ₂ O
	T ha ⁻¹ b.h.	kg ha ⁻¹ b.s.	%	----- kg ha ⁻¹ b.s. -----		
2019	28	79	2,34	35	12	134
2021	40	82	1,75	30	15	186

2019: semis 25 juin
enfouissement 20 août

2021: semis 29 juin
enfouissement 21 août



Mise en place du dispositif expérimental



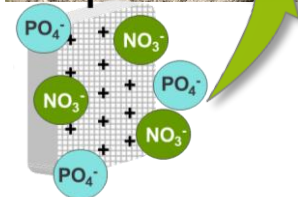
- Variété Music **calibre 5** (40-50 g)
- Bulbes sélectionnés avec un écart du poids moyen de $\pm 5 \%$ (+ de 1 900 bulbes)
- Bulbes décortiqués mécaniquement
- Caïeux de poids similaires sélectionnés pour la zone de rendement ($\pm 7,5 \%$)
- Total de 1 440 caïeux ensachés pour les zones de rendement



Objectif: Tenter de contrôler la variabilité du rendement dû à la génétique des bulbes mères.

Mesures à l'étude

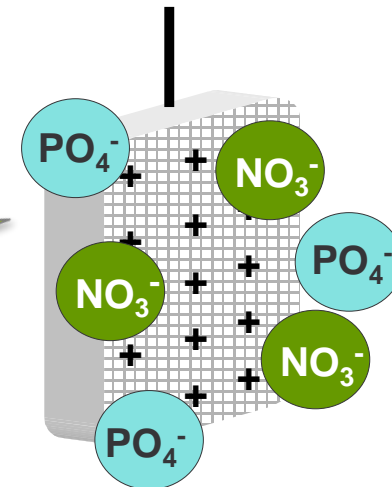
- **EV et EF :**
 - Évaluer la biomasse d'EV
 - Caractériser les EV et EF (composition en éléments)
- **Sol :**
 - Disponibilité dans le sol NPK (ponctuel)
 - Suivi *in situ* des flux N-NO₃ et P-PO₄
 - Suivi de la température du sol
- **Nutrition :**
 - Prélèvements NPKS à divers stades
- **Rendement :**
 - Total et vendable, calibre
 - Pertes, maladies, etc.



Suivis de la dynamique du N et P disponibles



- Suivi automne : dès enfouissement EV – fin saison
- Suivi saison: dès dégel sol jusqu'à récolte
- 3 MEI anioniques / parcelle
- MEI insérée dans la zone utile de prélèvement (0-20 cm)



Chronologie des opérations culturales

Automne

Semis EV
fin juin

Sélection bulbes
et caïeux
début sept.

Plantation
début sept.

Paillage
fin sept.

Enfouissement
mi-août

Printemps - été

Stade
Reprise
fin avril

Pré-
bulbaison
fin mai

Bulbaison
fin juin

Récolte et
Classement
fin
juillet/début
août

Fientes
granulées
de poule
+ Sulfate
de
potasse

Mélange
Avoine-pois
(90-90 kg/ha)

Broiler +
Poudre os

MEI

MEI

sol

sol

sol

sol/plants

sol/plants

sol/plants



Météo: deux saisons différentes!

Cycle 2019-2020

AUTOMNE 2019

- Plus doux que normales 1981-2010
- « Tempête de l'Halloween »
- Novembre plus froid

PRINTEMPS – ÉTÉ 2020

- Chaud et sec
 - T max moyenne : 23,5°C
 - T min moyenne : 11,7°C
 - Précipitation cumul. : 339 mm



(63 % en 6 fois – 29 évènements)

Cycle 2021-2022

AUTOMNE 2021

- 5ème plus chaud septembre des 100 dernières années au Québec
- Précipitations normales en Estrie

PRINTEMPS – ÉTÉ 2022

- Frais et pluvieux
 - T max moyenne : 21,1°C
 - T min moyenne : 8,6°C
 - Précipitation cumul. : 321 mm








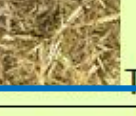




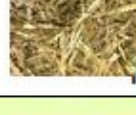

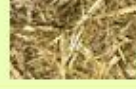



(62% en 21 fois – 49 évènements)

Dispositif en automne

Nbr réduit de traitements

1. sans paille – 0 EV – 0 EF
2. paille – 0 EV – 0 EF
3. sans paille – EV – 0 EF
4. paille – EV – 0 EF
5. paille – EV - Broiler

Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4
T7	 T3	 T2	 T4
T8	 T1	T5	T8
 T3	T7	 T4	T6
T5	T8	 T1	T5
 T4	T6	 T3	 T2
T6	 T2	T7	 T3
 T1	T5	T8	 T1
 T2	 T4	T6	T7

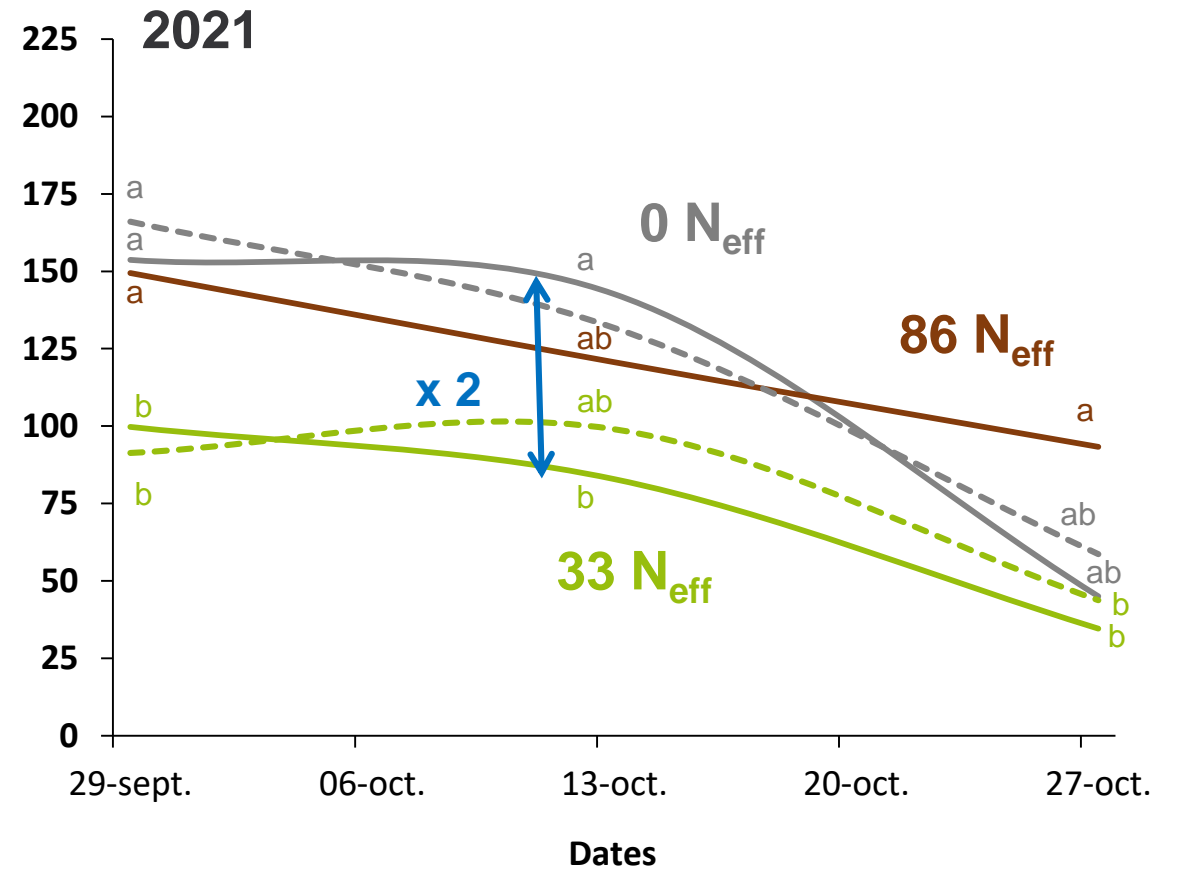
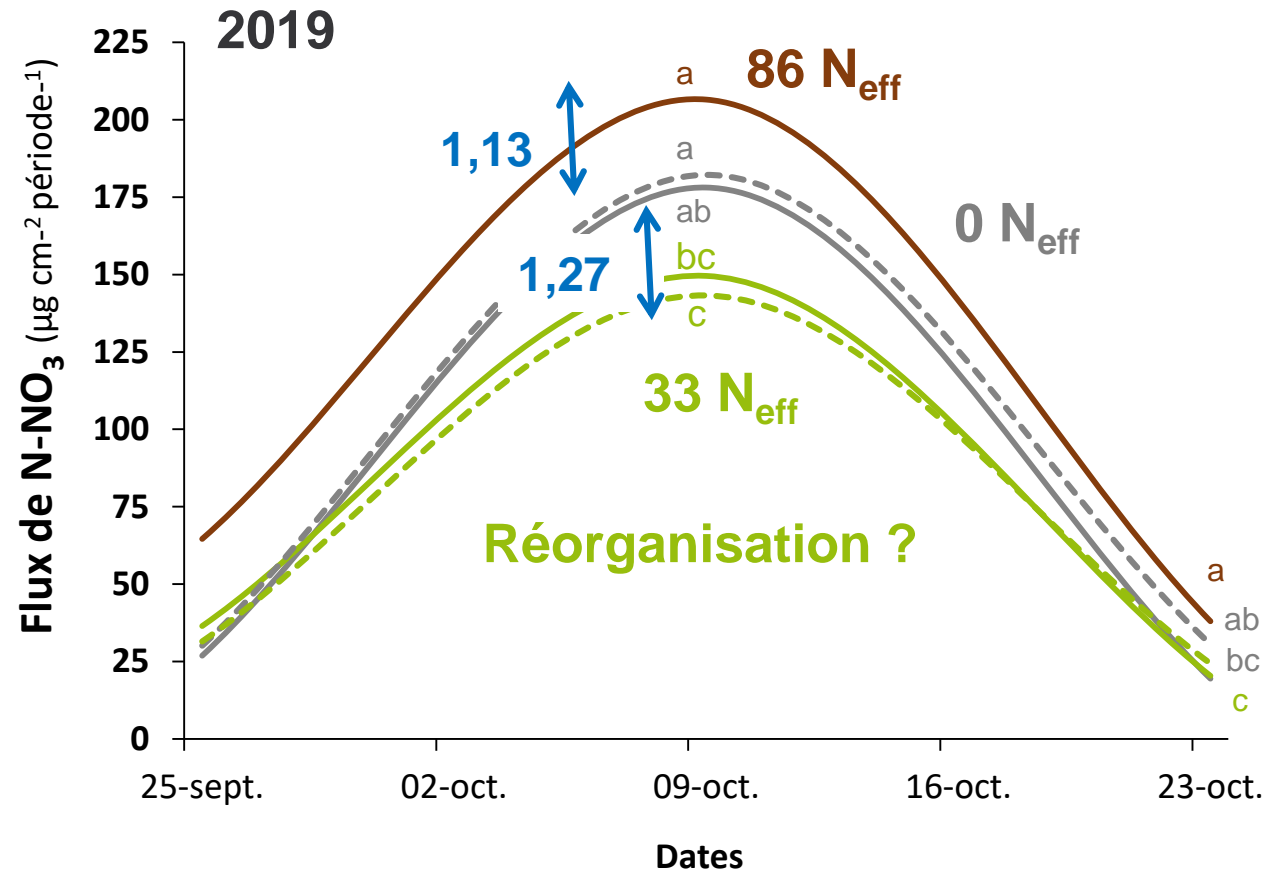
* En fin de saison après la plantation, l'engrais Actisol n'est pas encore appliqué, ce qui explique qu'il n'y ait que 5 régies différentes.

Suivi des flux de N-NO₃ en automne (années 2019 et 2021)



- Paille_0 EV - 0 EF
 - Paille_EV - 0 EF
 - Paille_EV - Broiler
 - 0 EV - 0 EF
 - EV - 0 EF
- Régies : $P < 0,0001$
Régie X Année x période: $P < 0,0001$

- Le Broiler ↑ les flux N-NO₃ 1/2 années.
- Les EV ↓ Flux sous le sol témoin 2/2 années.

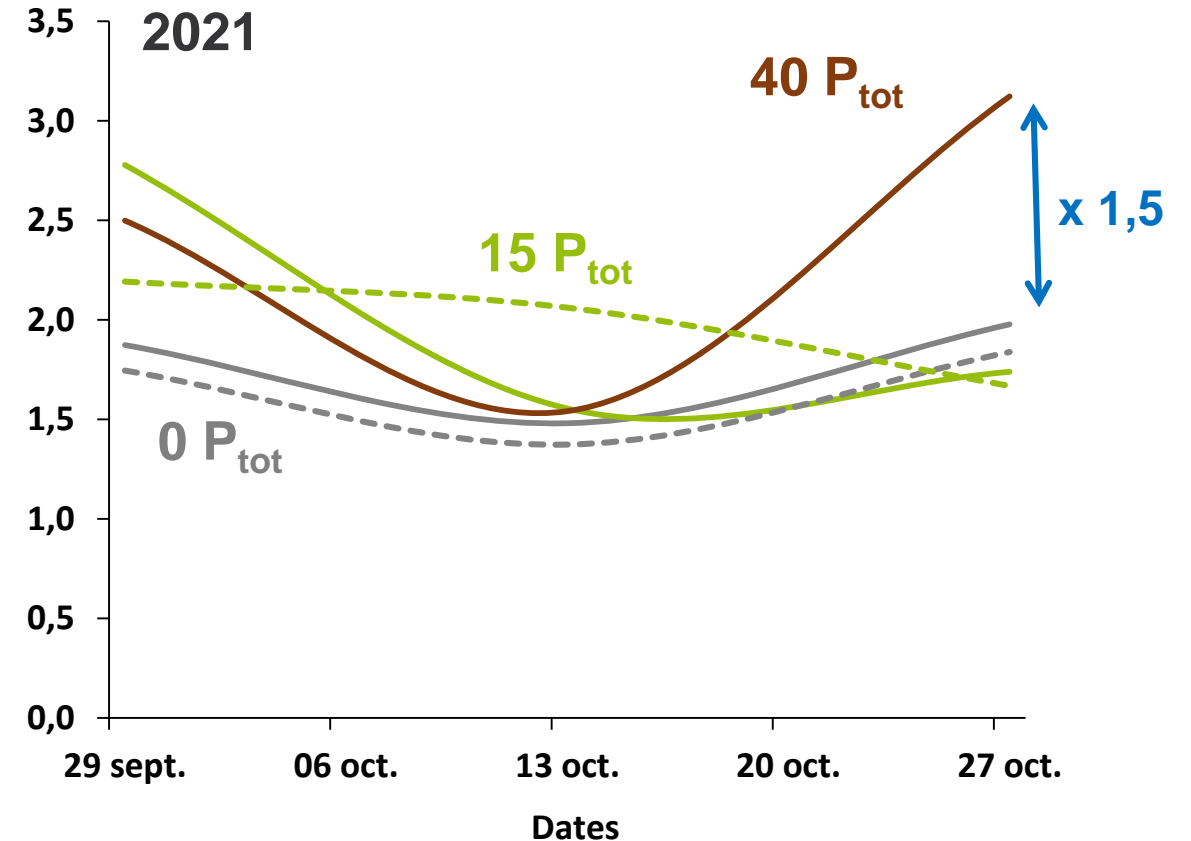
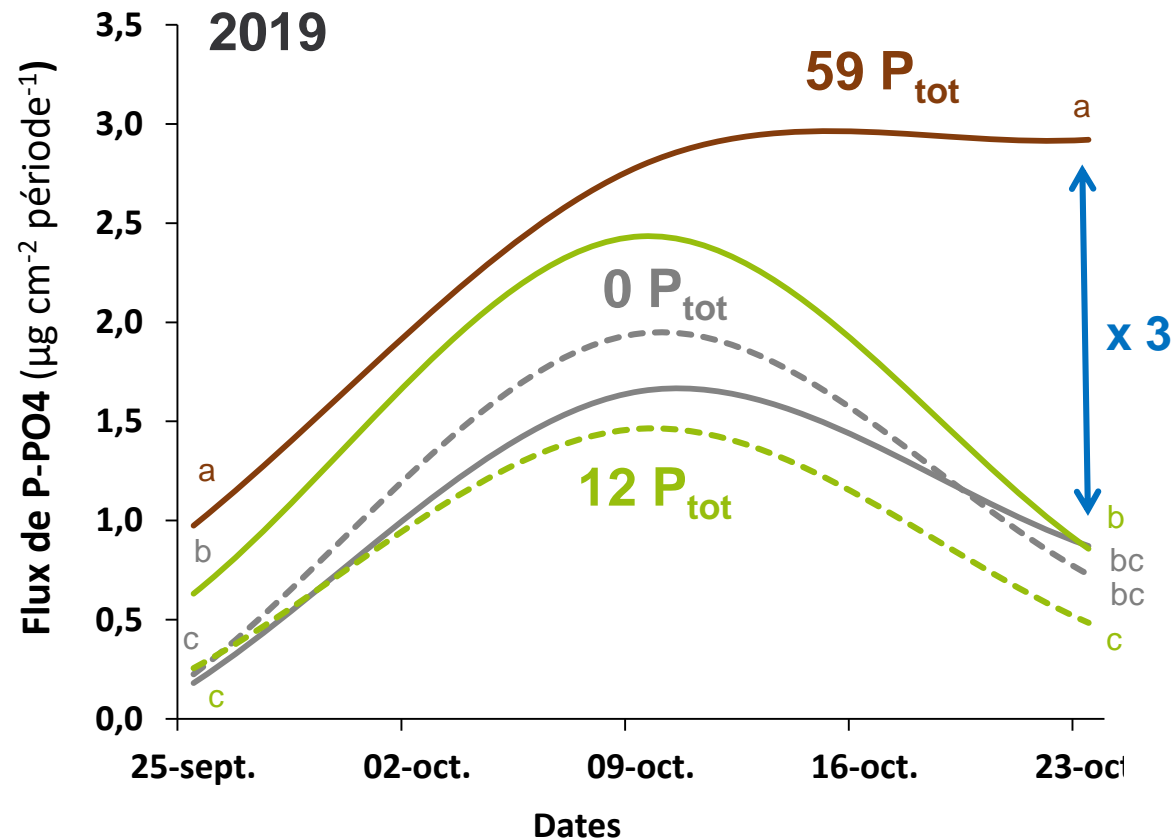


Suivi des flux de P-PO₄ en automne (années 2019 et 2021)



- Paille_0 EV - 0 EF Régies : $P < 0,0001$
- Paille_EV - 0 EF Régie X Année x période: $P < 0,0001$
- Paille_EV - Broiler
- - - 0 EV - 0 EF
- - - EV - 0 EF

- Le Broiler ↑↑ les flux 2/2 années
- Pas d'effet spécifique EV






Fin saison 2019: paramètres du sol

Régies : $P = ns$

$P < 0,0007$

$P < 0,0127$

Régies fin automne* 2019	P soluble à l'eau	N-NO ₃ résiduel	Potentiel de minéralisation du N-NO ₃
	mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	
 Paille – 0 EV – 0 EF	5,1	19 c	10 c
 Paille – EV – 0 EF	5,1	22 cb	15 cb
Sans paille – EV – 0 EF	5,4	23 cb	20 a
Sans paille – 0 EV – 0 EF	6,3	26 b	18 ab
 Paille – EV - Broiler	6,4	36 a	18 ab

Note: Seuil environnemental critique $P_{\text{eau}} = 9,7 \text{ mg L}^{-1}$

























* En fin de saison après la plantation, l'engrais Actisol n'est pas encore appliqué, ce qui explique qu'il n'y ait que 5 régies différentes.



Dispositif en automne

Nbr réduit de traitements

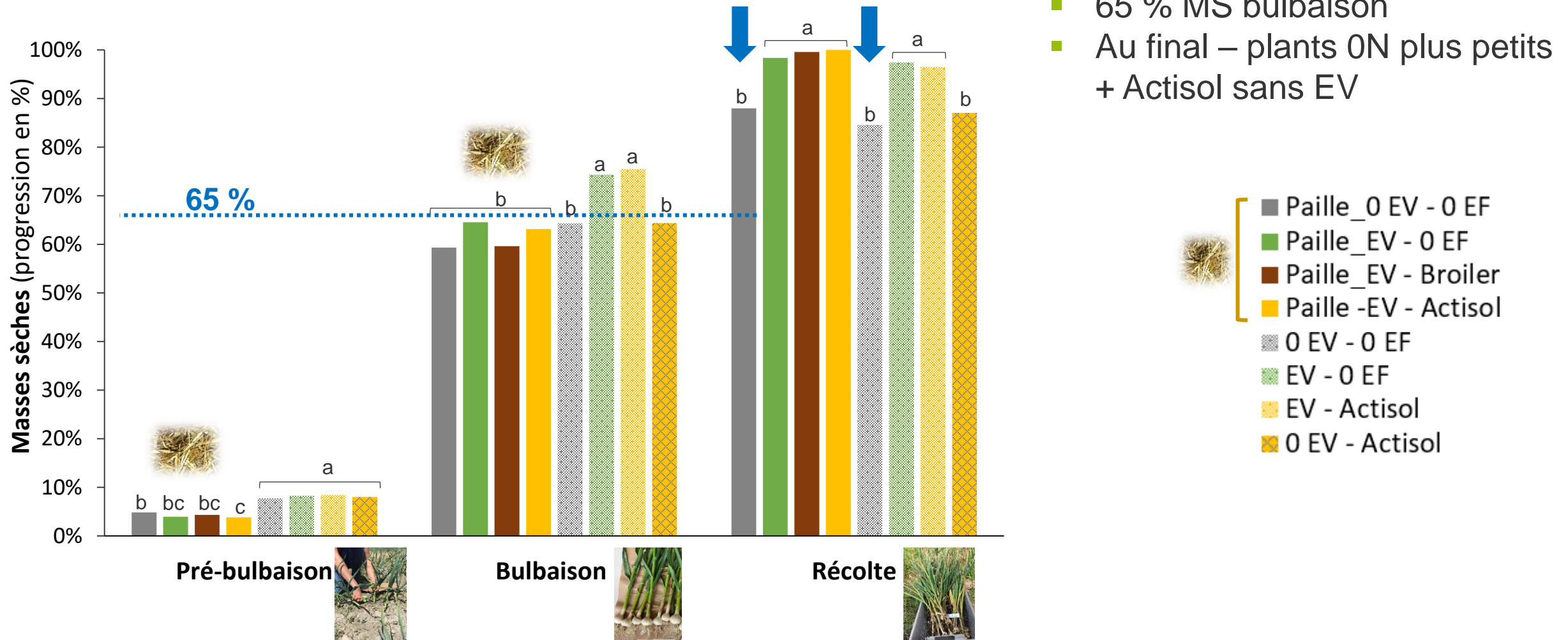
1. sans paille – 0 EV – 0 EF
2. paille – 0 EV – 0 EF
3. sans paille – EV – 0 EF
4. paille – EV – 0 EF
5. paille – EV - Broiler
6. sans paille – EV – Actisol 60
7. paille – EV – Actisol 60
8. sans paille – 0 EV – Actisol 110

Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 4
	 3	 2	
	 1	T5	
 3			T6
T5		 T1	T5
	T6	 T3	 2
T6	 2		 3
 1	T5		 1
 2		T6	

Masses sèches des plants (2020)

Régies : $P < 0,0001$

Régie X Année x période: $P < 0,0001$

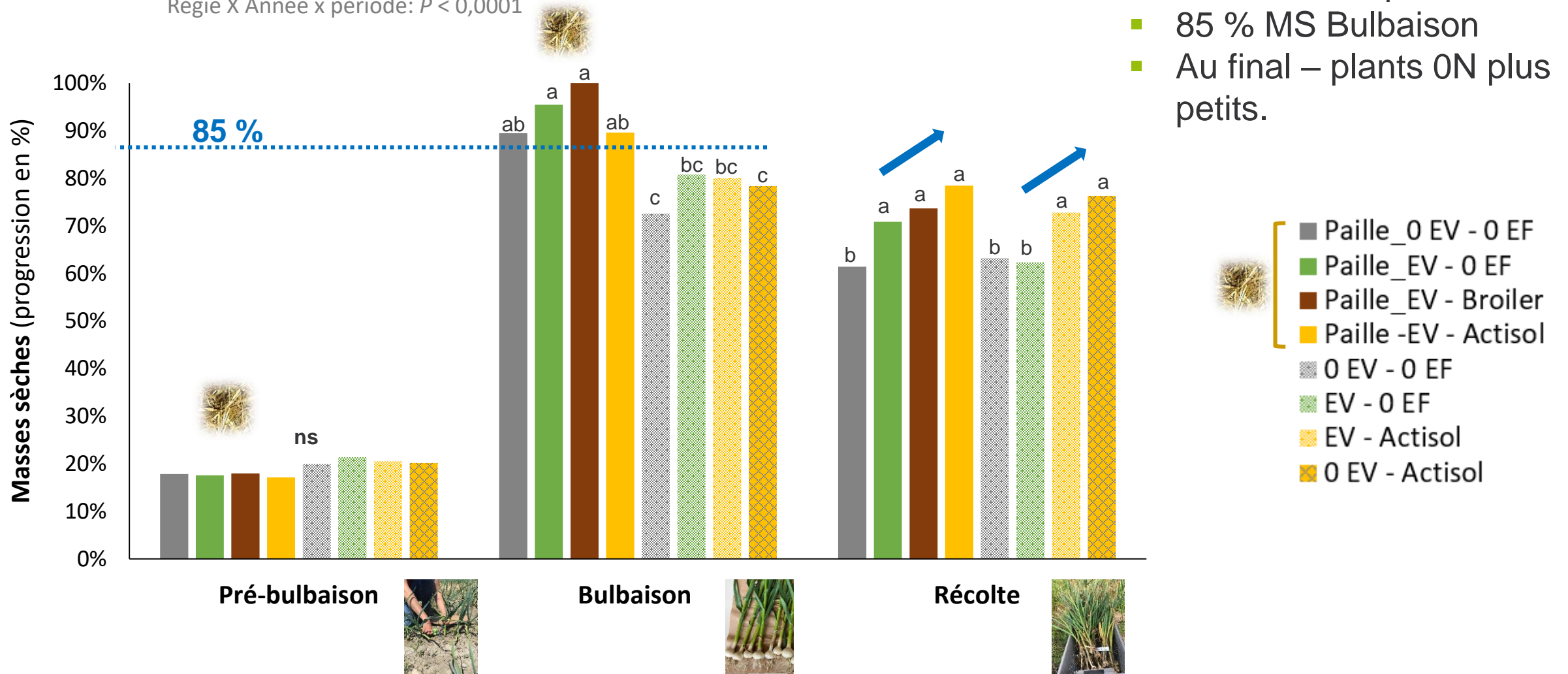


- Délai avec paille – 1 semaine
- 65 % MS bulbaison
- Au final – plants 0N plus petits + Actisol sans EV

Masses sèches des plants (2022)

Régies : $P < 0,0001$

Régie X Année x période: $P < 0,0001$

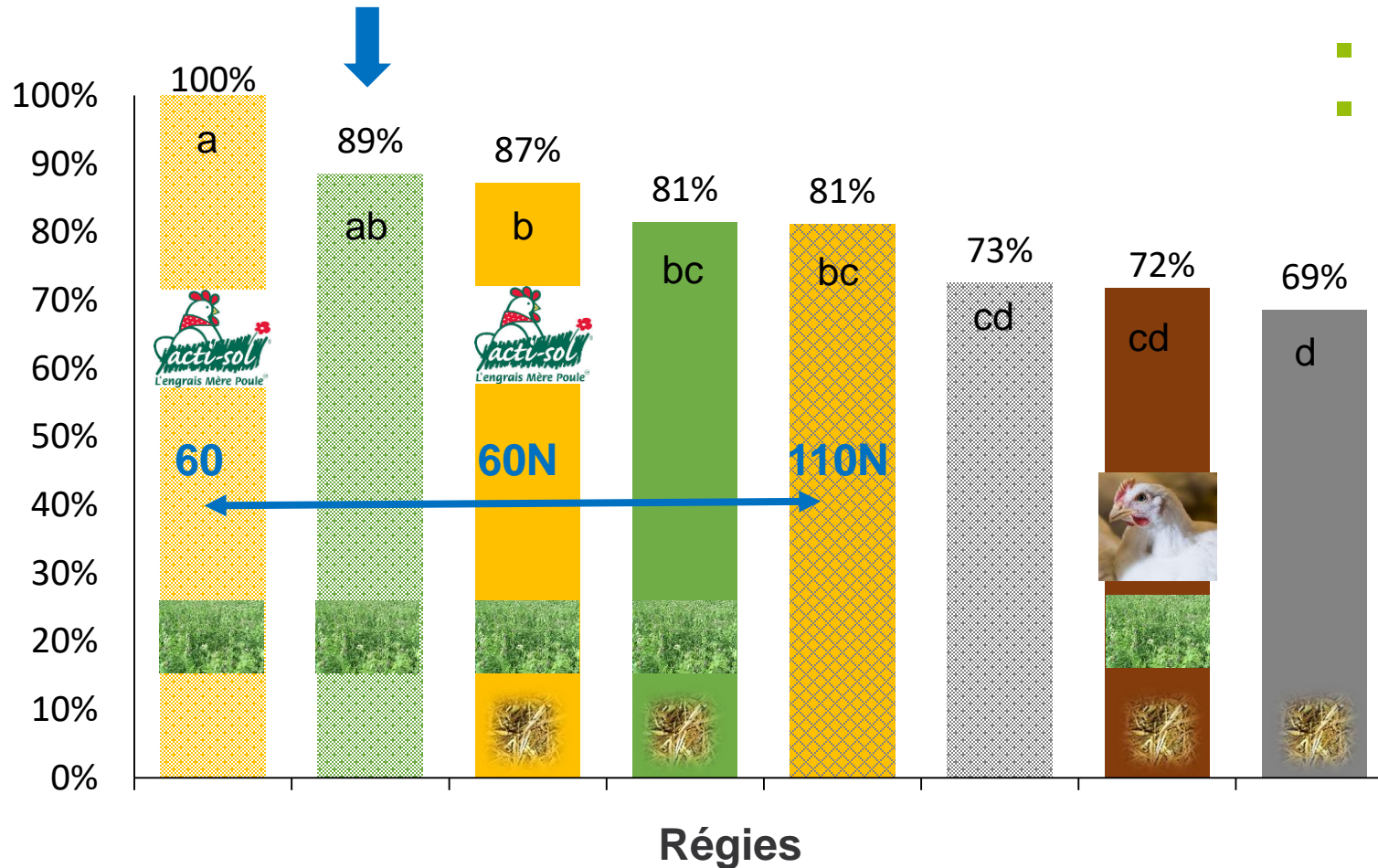


Rendements vendables: kg ha⁻¹ (2020)

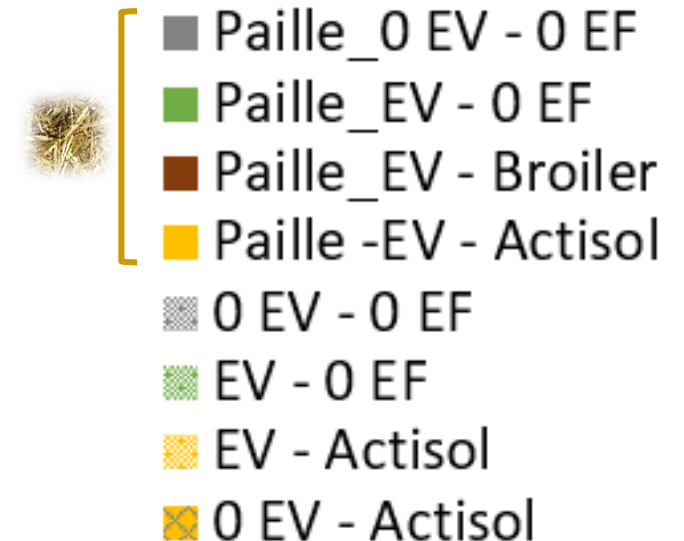
Régies : $P < 0,0001$

Régie X Année : $P < 0,0026$

Rendement vendable (kg ha⁻¹ à 53 % d'hum.)



- Très peu de gain avec Broiler (-30%)
- Actisol dans 2/3 meilleurs rdt
- EV dans les 4 meilleurs rdt
- Actisol60_EV mieux que Actisol110
- Paille : pas de lien direct avec rdt



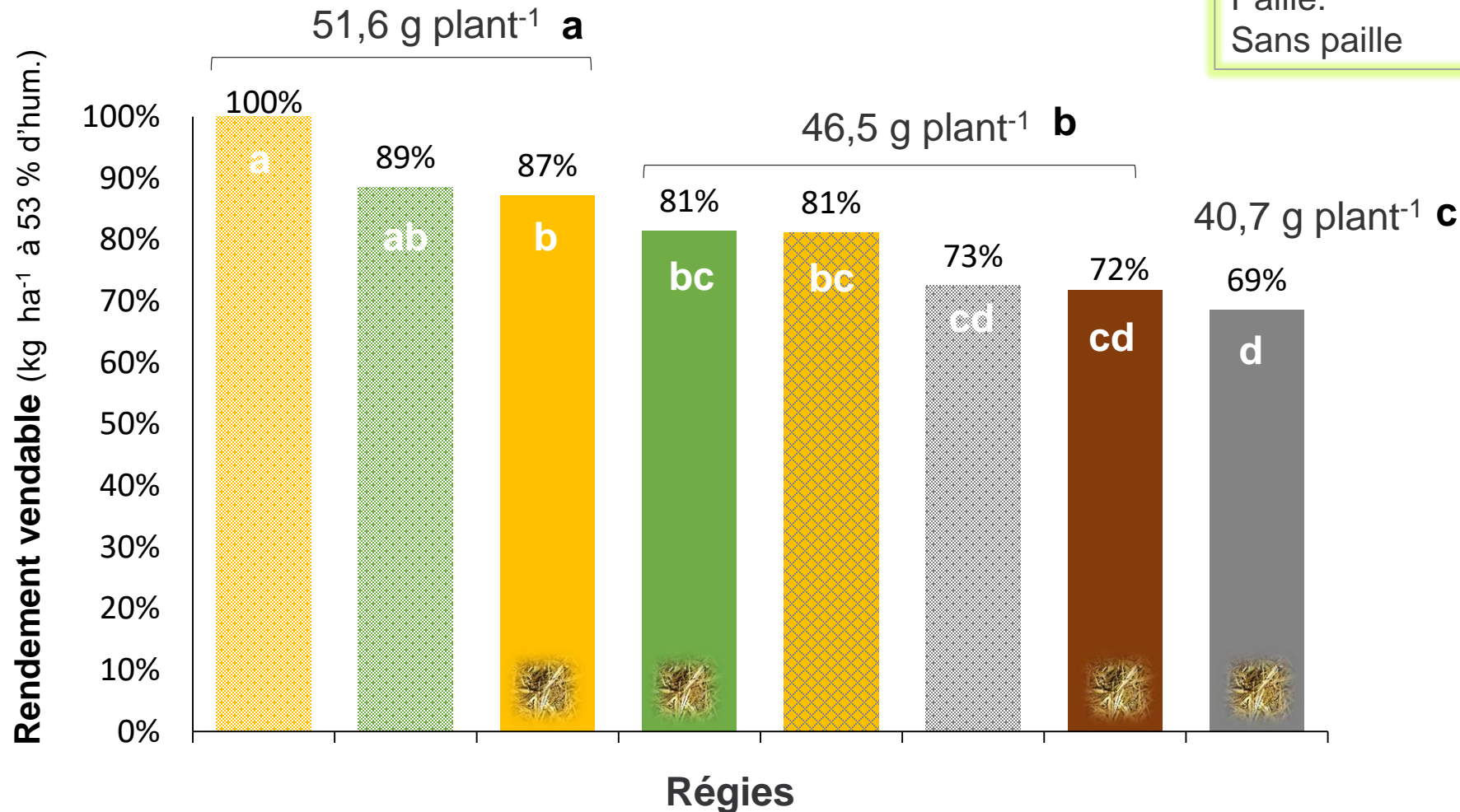
Rendements vendables: g plant⁻¹ (2020)

Régies : $P < 0,0001$

Régie X Année : $P < 0,0026$

% de levée (zone de rendement)

Paille: 2020: 78 %; 2022: 89 %
Sans paille 2020: 84 %; 2022: 88 %



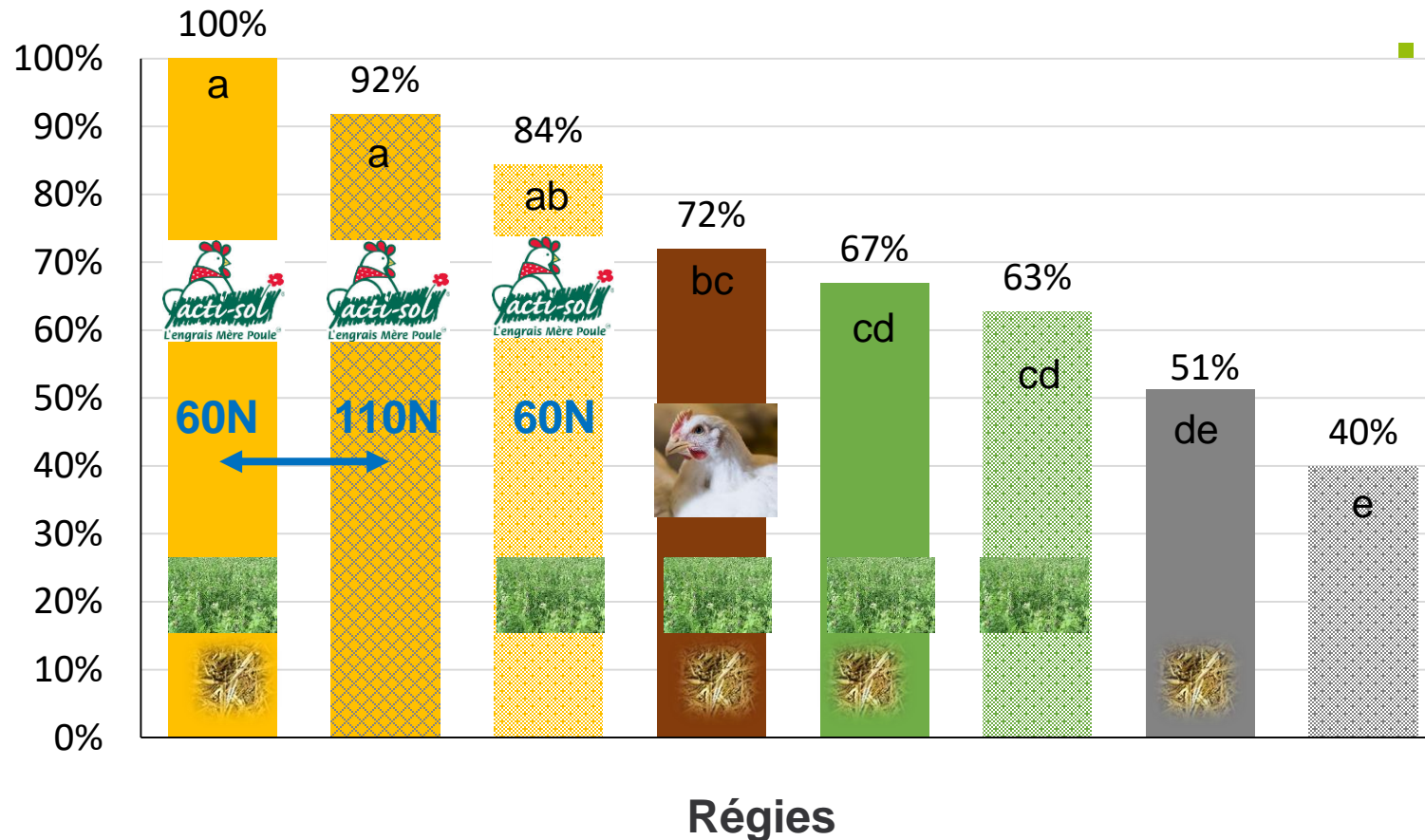
- Paille_0 EV - 0 EF
- Paille_EV - 0 EF
- Paille_EV - Broiler
- Paille -EV - Actisol
- 0 EV - 0 EF
- EV - 0 EF
- EV - Actisol
- 0 EV - Actisol

Rendements vendables: kg ha⁻¹ (2022)

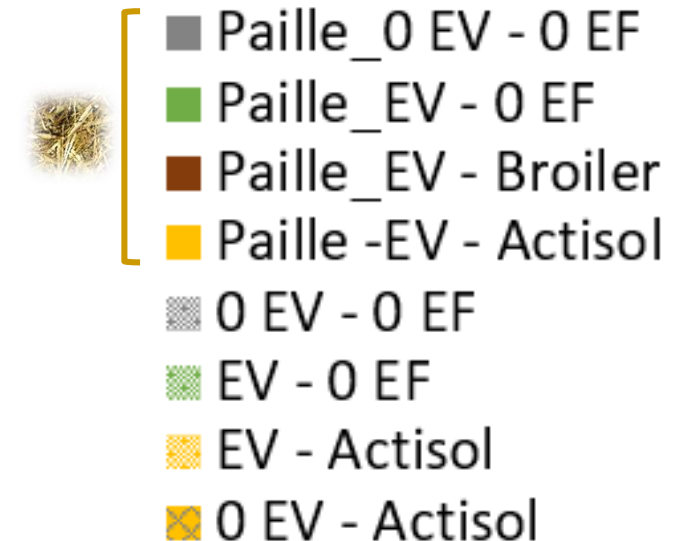
Régies : $P < 0,0001$

Régie X Année : $P < 0,0026$

Rendement vendable (kg ha⁻¹ à 53 % d'hum.)



- 30% moins de gain avec Broiler
- Actisol dans 3/3 meilleurs rdt
- EV dans 3/4 meilleurs rdt
- Actisol60_EV mieux que Actisol110
- Paille : pas de lien direct avec rdt



Rendements vendables: g plant⁻¹ (2022)

Régies : $P < 0,0001$

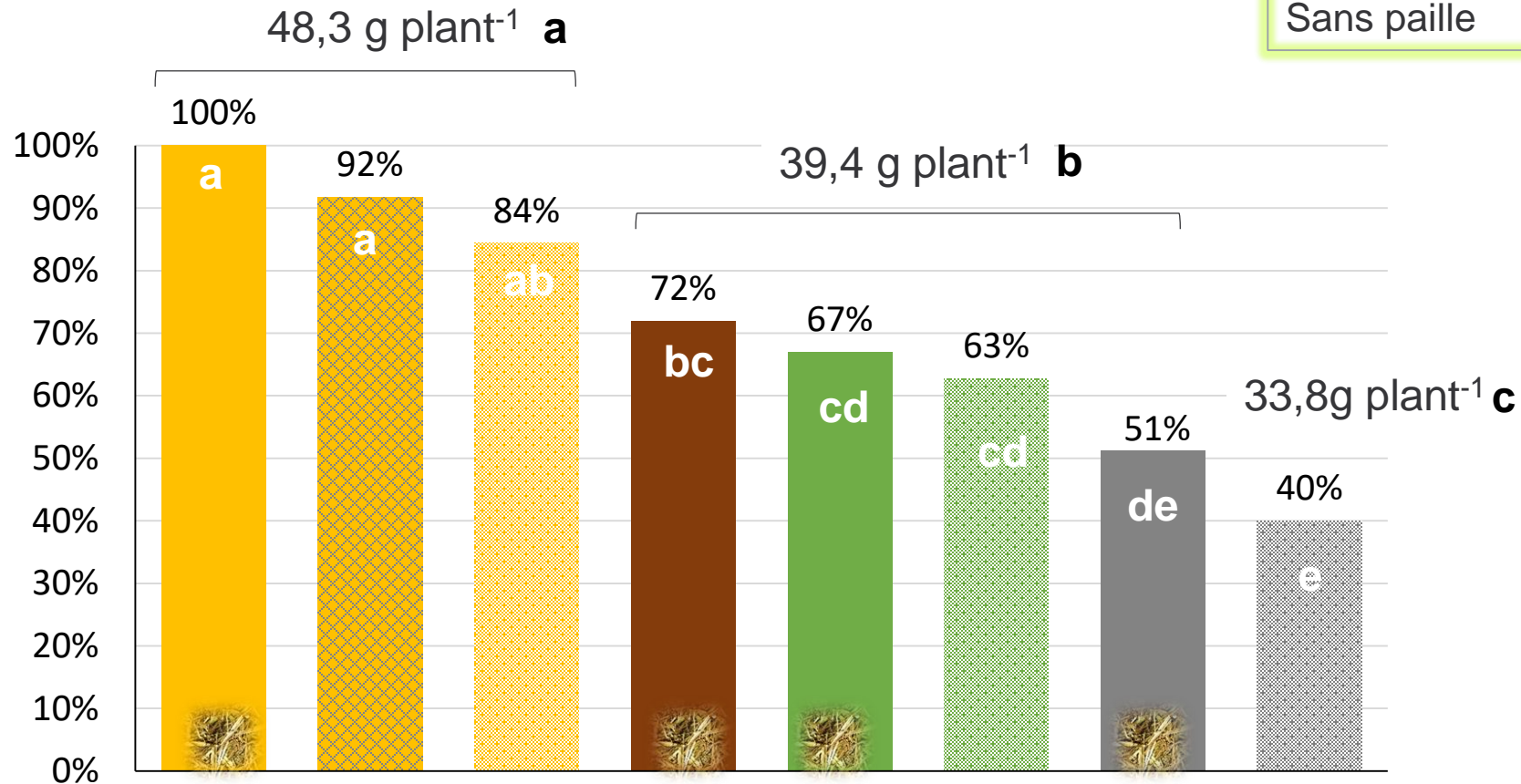
Régie X Année : $P = 0,0026$

% de levée (zone de rendement)

Paille: 2020: 78 %; 2022: 89 %

Sans paille 2020: 84 %; 2022: 88 %

Rendement vendable (kg ha⁻¹ à 53 % d'hum.)



- Paille_0 EV - 0 EF
- Paille_EV - 0 EF
- Paille_EV - Broiler
- Paille -EV - Actisol
- 0 EV - 0 EF
- EV - 0 EF
- EV - Actisol
- 0 EV - Actisol

Nbre de caïeux par bulbe et poids moyen des caïeux

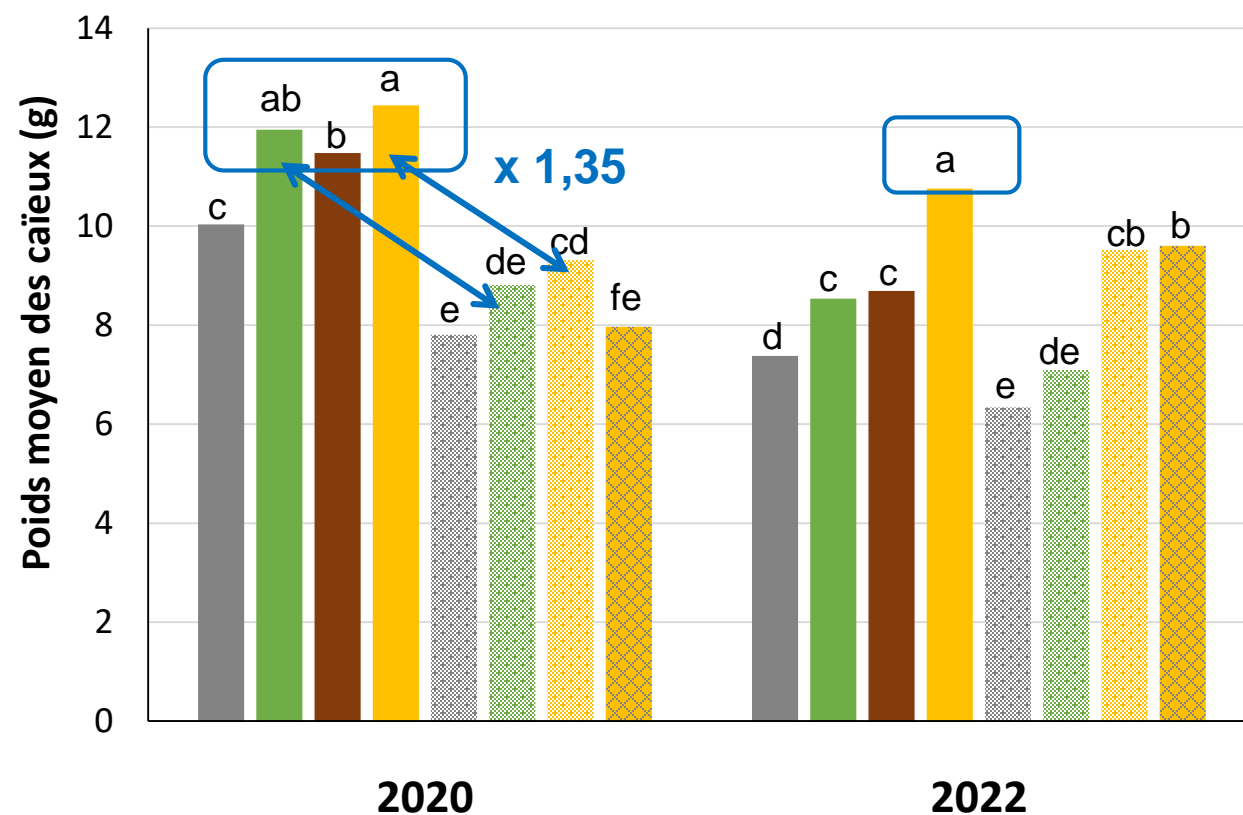
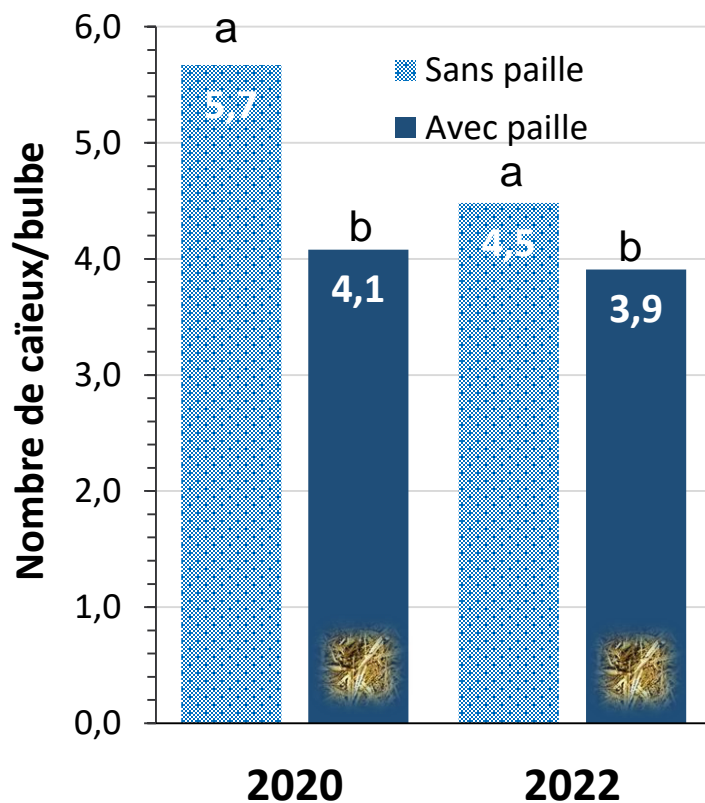
années 2020 et 2022

Régies : $P < 0,0001$
Régie X Année : $P < 0,0001$



- Paille_0 EV - 0 EF
- Paille_EV - 0 EF
- Paille_EV - Broiler
- Paille -EV - Actisol
- 0 EV - 0 EF
- EV - 0 EF
- EV - Actisol
- 0 EV - Actisol

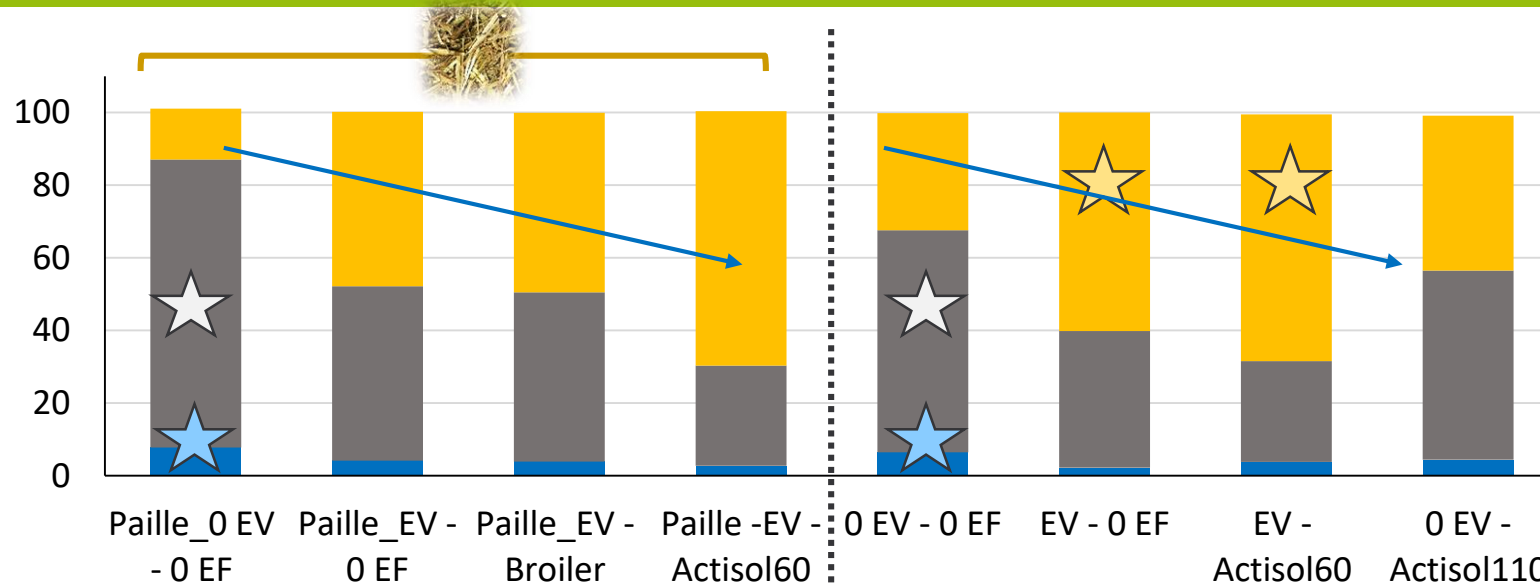
Régies : $P < 0,0001$
Régie X Année : $P < 0,0001$



Proportion des calibres (rendement commercialisable) (années 2020 et 2022)

2020

Proportion selon calibre
des bulbes



Calibres

■ % > 51 g

Régies : $P < 0,0001$

Régie X Année : $P = 0,0058$

■ % 30-50 g

Régies : $P = 0,0001$

Régie X Année : $P = 0,0254$

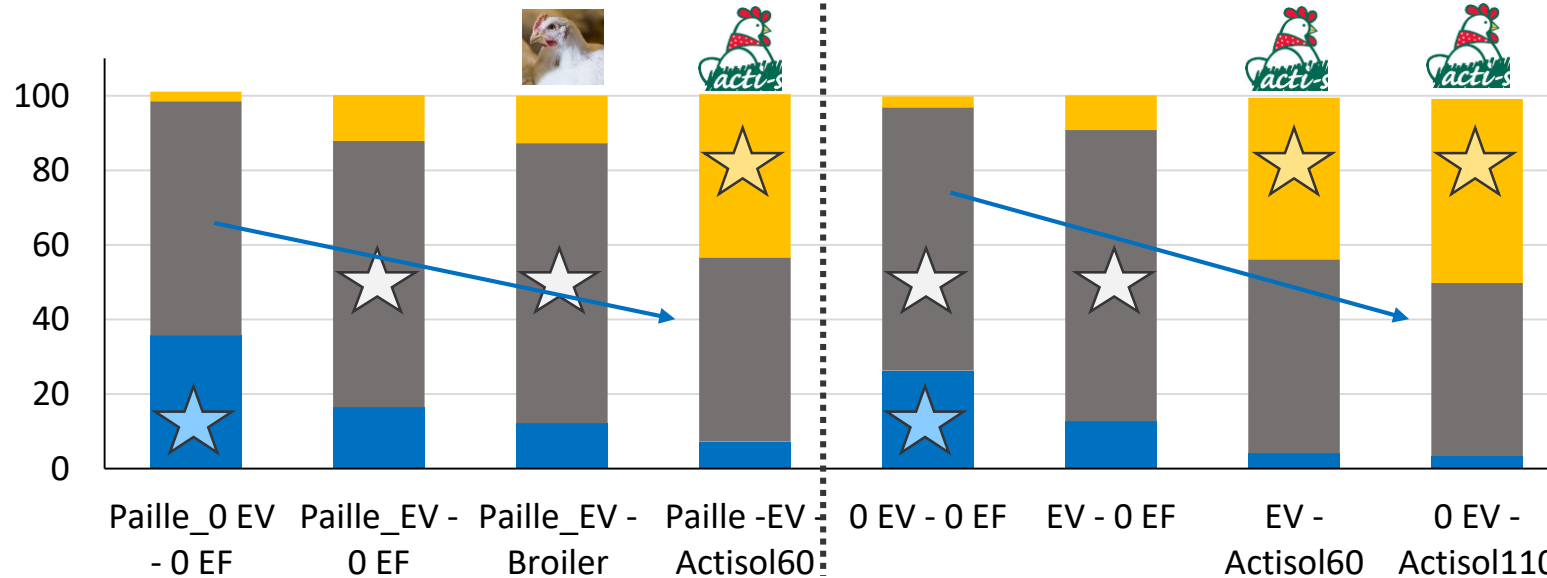
■ % < 30 g

Régies : $P = 0,0003$

Régie X Année : $P = 0,0006$

2022

Proportion selon calibre
des bulbes



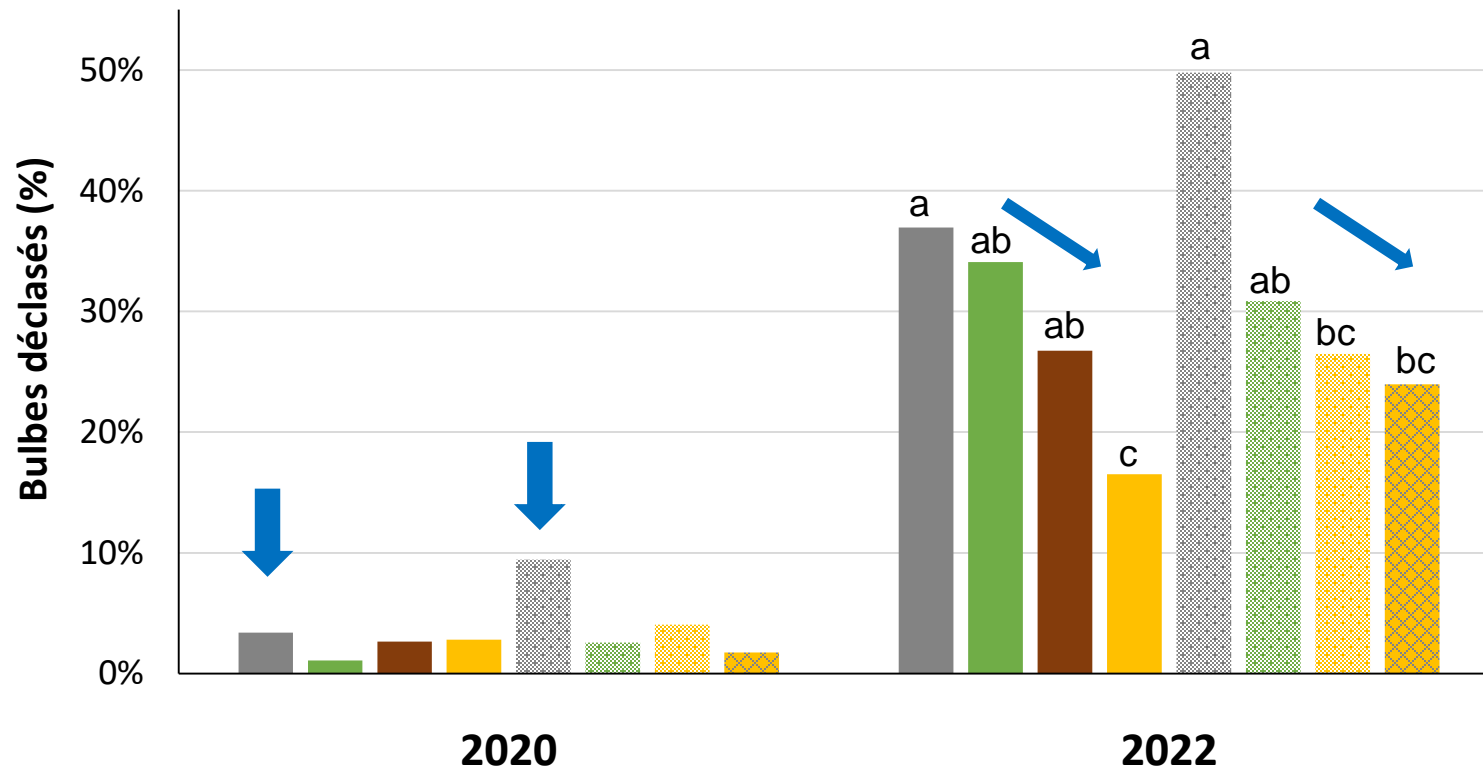
Proportion de bulbes déclassés (2020 et 2022)

Régies : $P = 0,0122$

Régie X Année : « $P = 0,1335$ »



- Beaucoup plus de pertes en 2022
- Effet de dose de N plus que de paille
- Bulbes déclassés pour éclatement – maladie ?



Prélèvements et Exportations pour les meilleurs Rdt

Prélèvements * (moy. 2020 et 2022).

Année	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	SO ₃
	-----kg ha ⁻¹ -----			
2020	89	39	77	NA
2022	76	31	76	41



États ou Provinces	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Références
	-----kg/ha-----			
Québec	110	30-190	20-185	CRAAQ, 2010

**L'ail prélèverait environ 120 kg SO₃ / ha
ou 48 kg S/ha**

Exportations * (moy. 2020 et 2022).

Année	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	SO ₃
	-----kg ha ⁻¹ -----			
2020	70	34	42	NA
2022	55	24	35	31



[Espagnacq, 1988 dans CTILF, 2021; variétés françaises cité dans Chapitre 3, Landry et coll., Guide de production ail biologique, 2020]

* Moyenne des meilleurs rendements

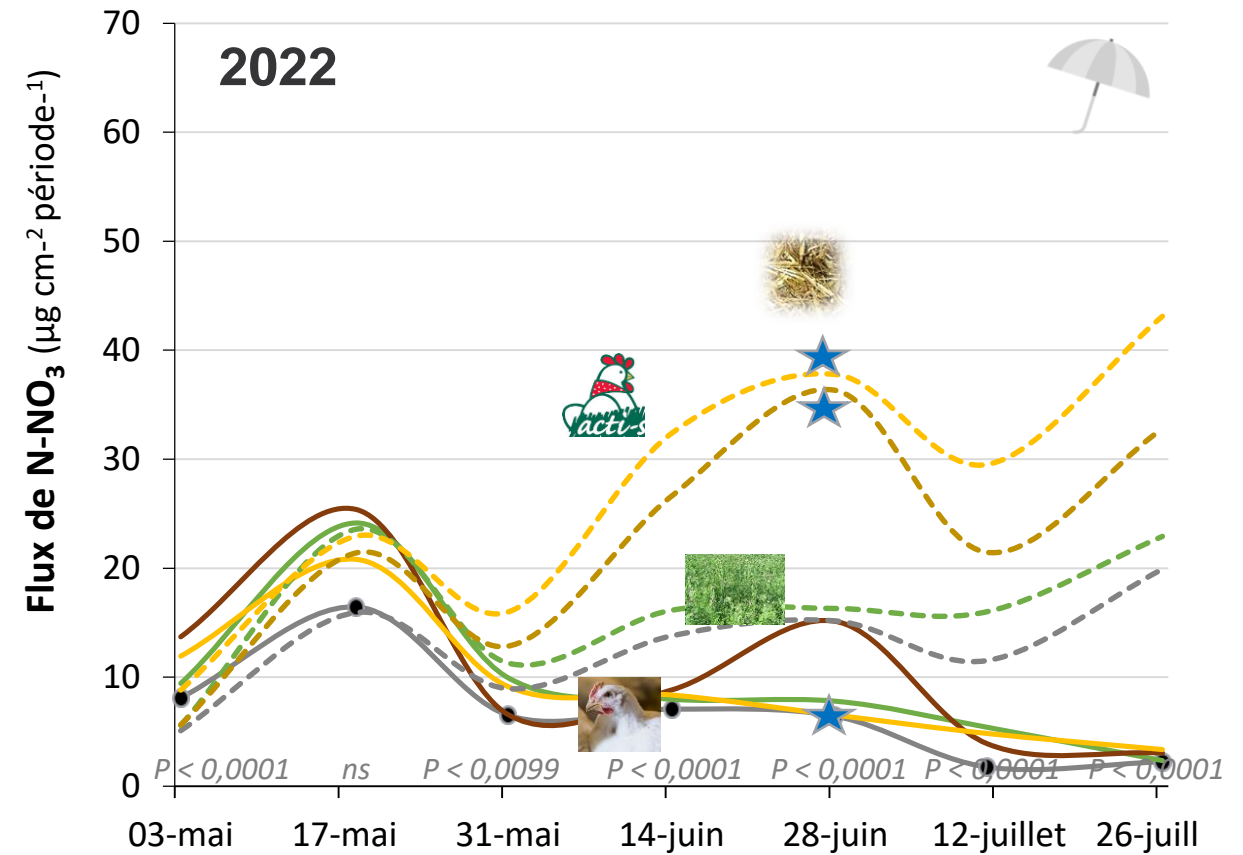
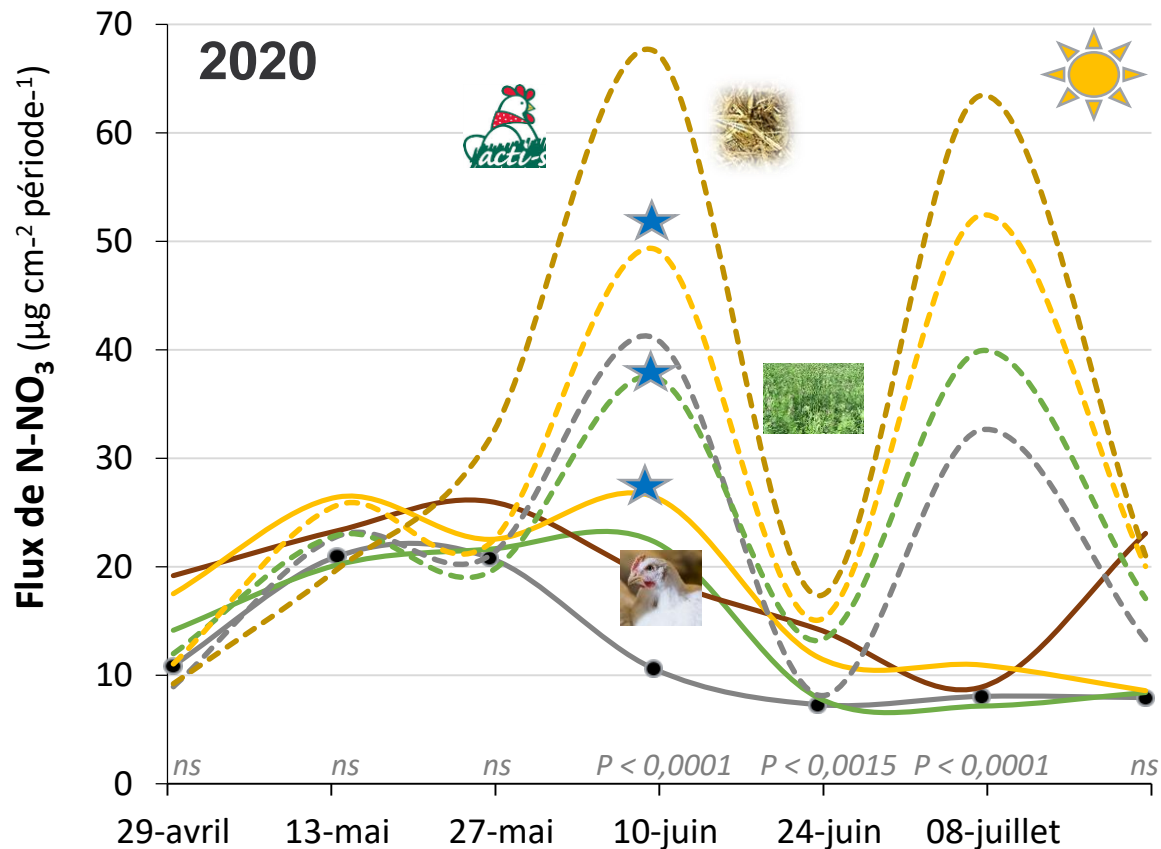
Suivi des flux de N-NO₃ en saison (années 2020 et 2022)

Régies : $P < 0,0001$

Régie X Année x période : $P < 0,0128$

— Paille_0 EV - 0 EF - - - 0 EV - 0 EF
— Paille_EV - 0 EF - - - EV - 0 EF
— Paille_EV - Broiler - - - EV - Actisol
— Paille -EV - Actisol - - - 0 EV - Actisol

■ Fort effet de la paille : ↑ Flux N
■ Actisol > EV > Broiler (paille)



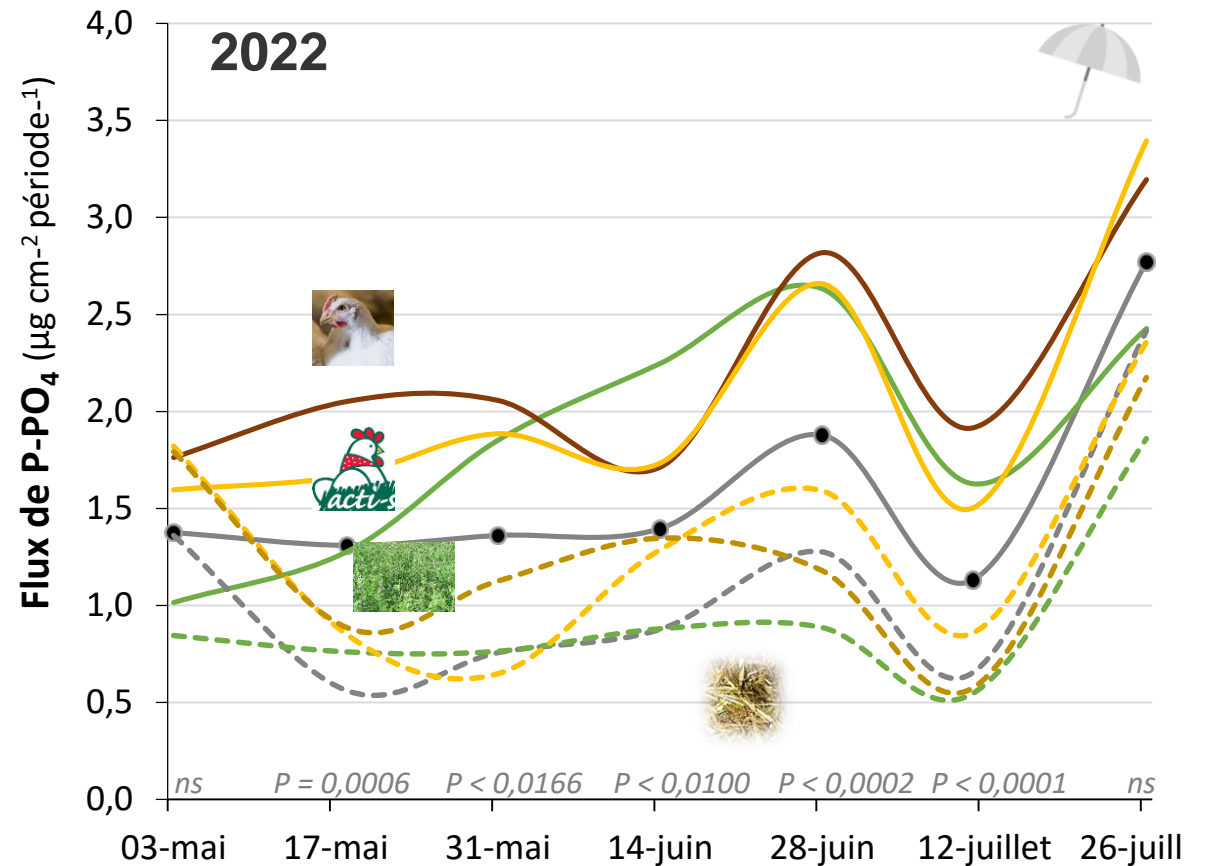
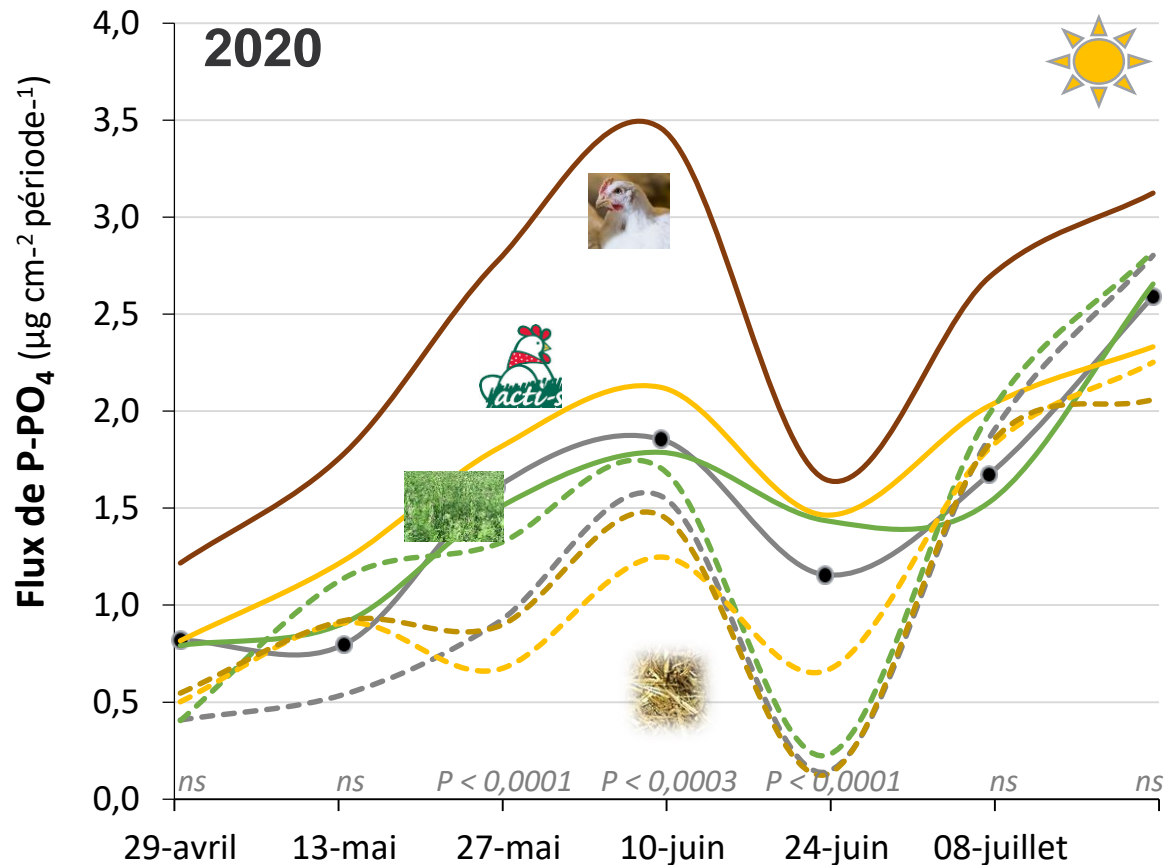
Suivi des flux de P-PO₄ en saison (années 2020 et 2022)

Régies : $P < 0,0001$

Régie X Année x période : $P < 0,0001$

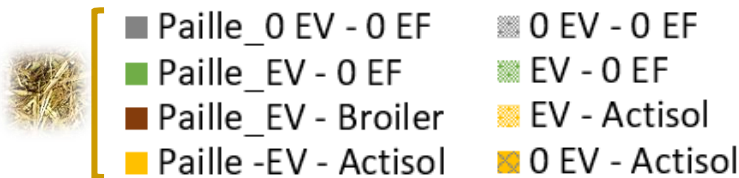
— Paille_0 EV - 0 EF - - - 0 EV - 0 EF
 — Paille_EV - 0 EF - - - EV - 0 EF
 — Paille_EV - Broiler - - - EV - Actisol
 — Paille -EV - Actisol - - - 0 EV - Actisol

■ Fort effet de la paille : ↓ Flux P
 ■ Broiler > Actisol > EV

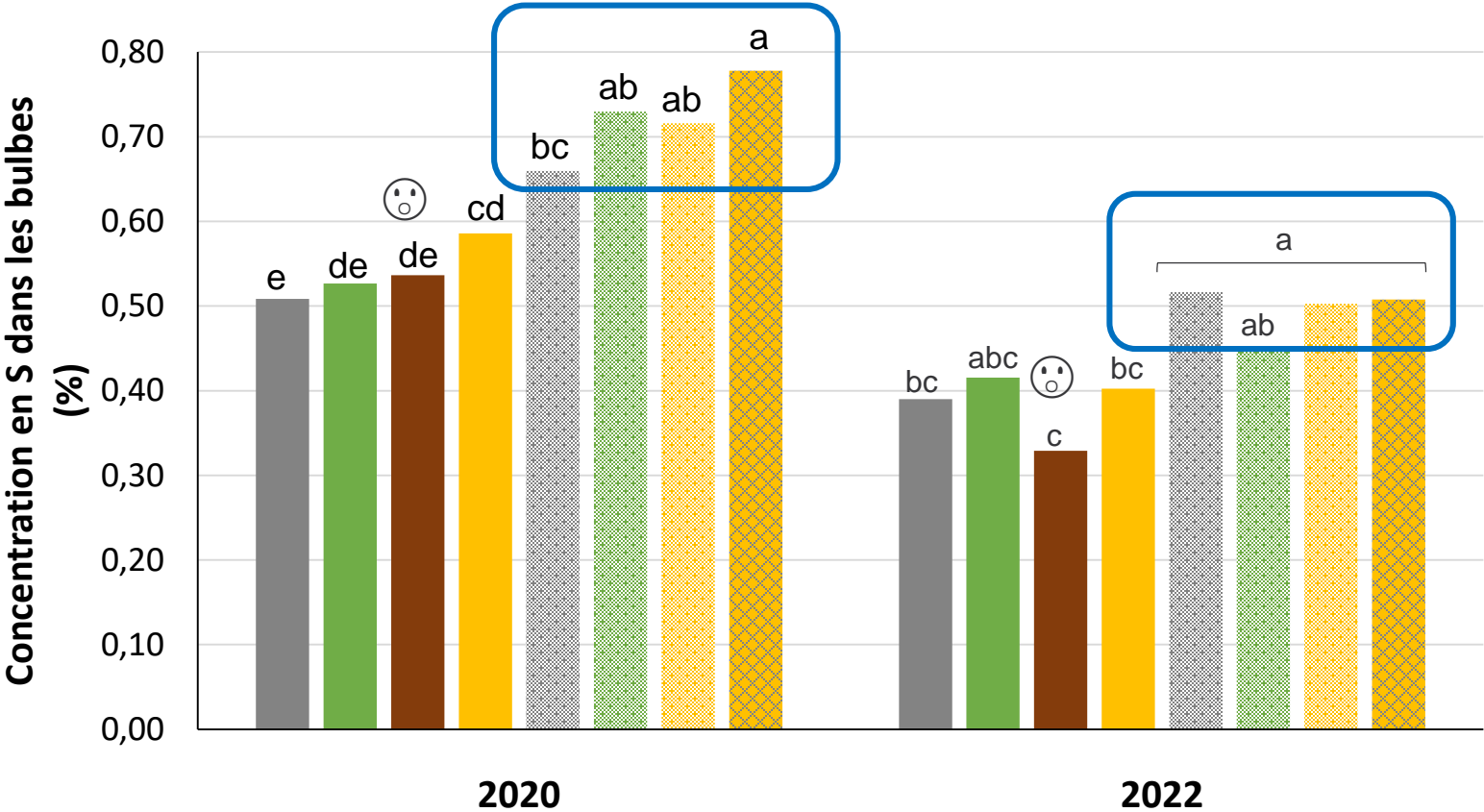


Concentration en S dans les bulbes (%)

Régies : $P < 0,0001$
Régie X Année : $P < 0,0496$



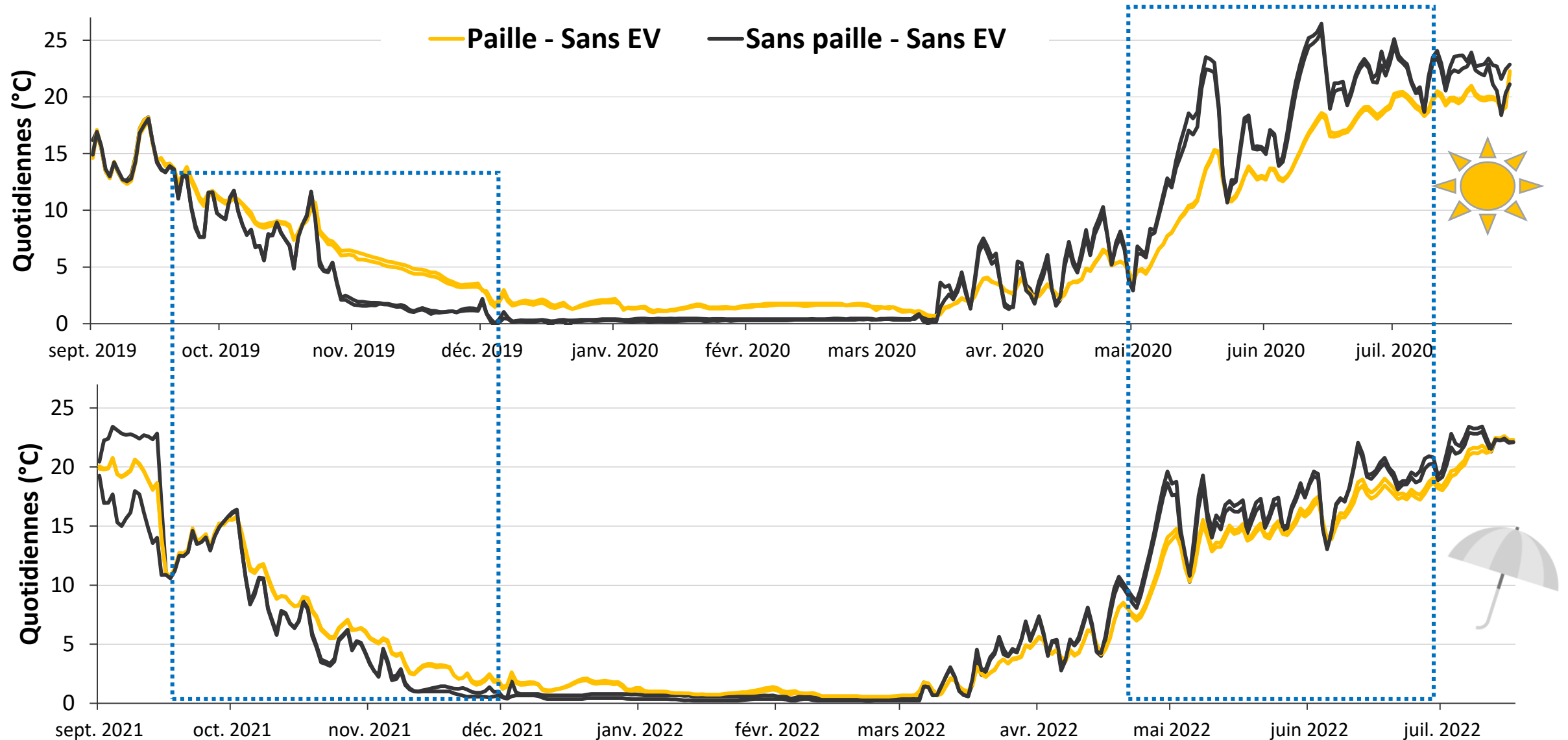
- Effet de paille plus que de type de fertilisants.
- Broiler = témoin



2022	Contenu en S		Apports en S
	(%)	kg T ⁻¹	kg ha ⁻¹
EV avoine-pois (4646 kg ha ⁻¹)	0,15	1,5	7,0
Actisol 60 N _{eff} (1 600 kg ha ⁻¹)	0,43	4,3	6,8
Actisol 110 N _{eff} (2 900 kg ha ⁻¹)			12,5



Température du sol selon le paillage ou non et selon la présence d'EV ou non, pour les cycles de l'ail 2019-2020 et 2021-2022

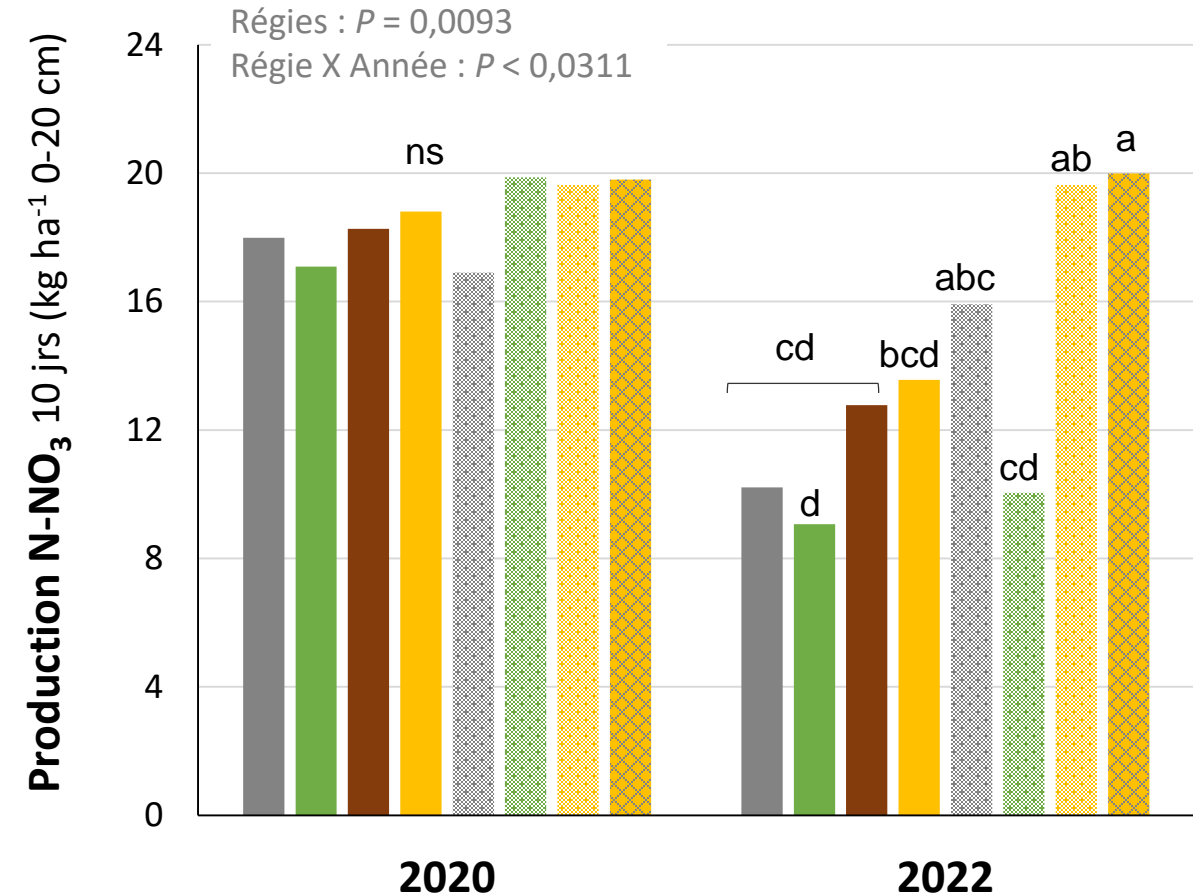
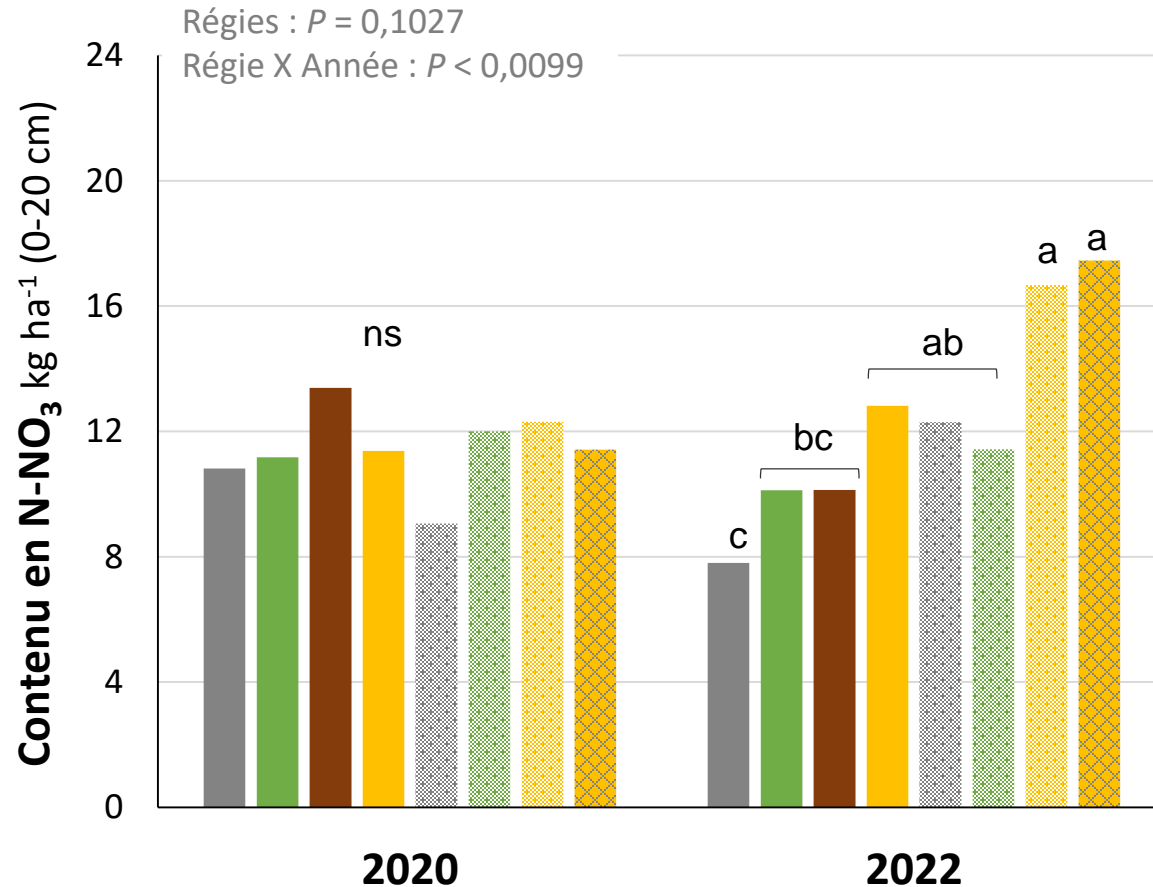


N-NO₃ résiduel et potentiel de production de N-NO₃ post-récolte (années 2020 et 2022)



- Paille_0 EV - 0 EF
- Paille_EV - 0 EF
- Paille_EV - Broiler
- Paille -EV - Actisol
- 0 EV - 0 EF
- EV - 0 EF
- EV - Actisol
- 0 EV - Actisol

- Effet d'engrais de ferme surtout.
- Moins avec paille en 2022



Après deux cycles complets de culture en ail bio:

- La régie avec Broiler n'apparaît pas gagnante: - 30 % Rendement vs meilleur. Flux de P élevé.
- Actisol : efficace à générer du N disponible et de plus hauts rendements. N résiduel attention.
- EV : semble favoriser de meilleurs rendements. EV+Actisol_60 mieux que 100_Actisol.
- La paille :
 - diminue le nitrate résiduel et le potentiel de minéralisation en automne.
 - pas d'effet sur les rendements (kg/ha) mais influence la grosseur des caïeux (↑)
 - délai de une semaine sur le développement
 - stabilise la température du sol.
 - diminue les flux de NO₃ mais hausse flux PO₄.
 - effet sur le S ?
- Le S: besoin de connaissances (impact de la régie). Moins de prélèvement qu'attendu.
- Le K : Considérer celui des EV (134-186 kg K₂O ha⁻¹)? Moins de prélèvement qu'attendu.

Merci - Questions

