



Soufre via le Sulfate de Magnésium

27 octobre 2021



comifer

Comité Français d'Étude et de Développement
de la Fertilisation Raisonnée

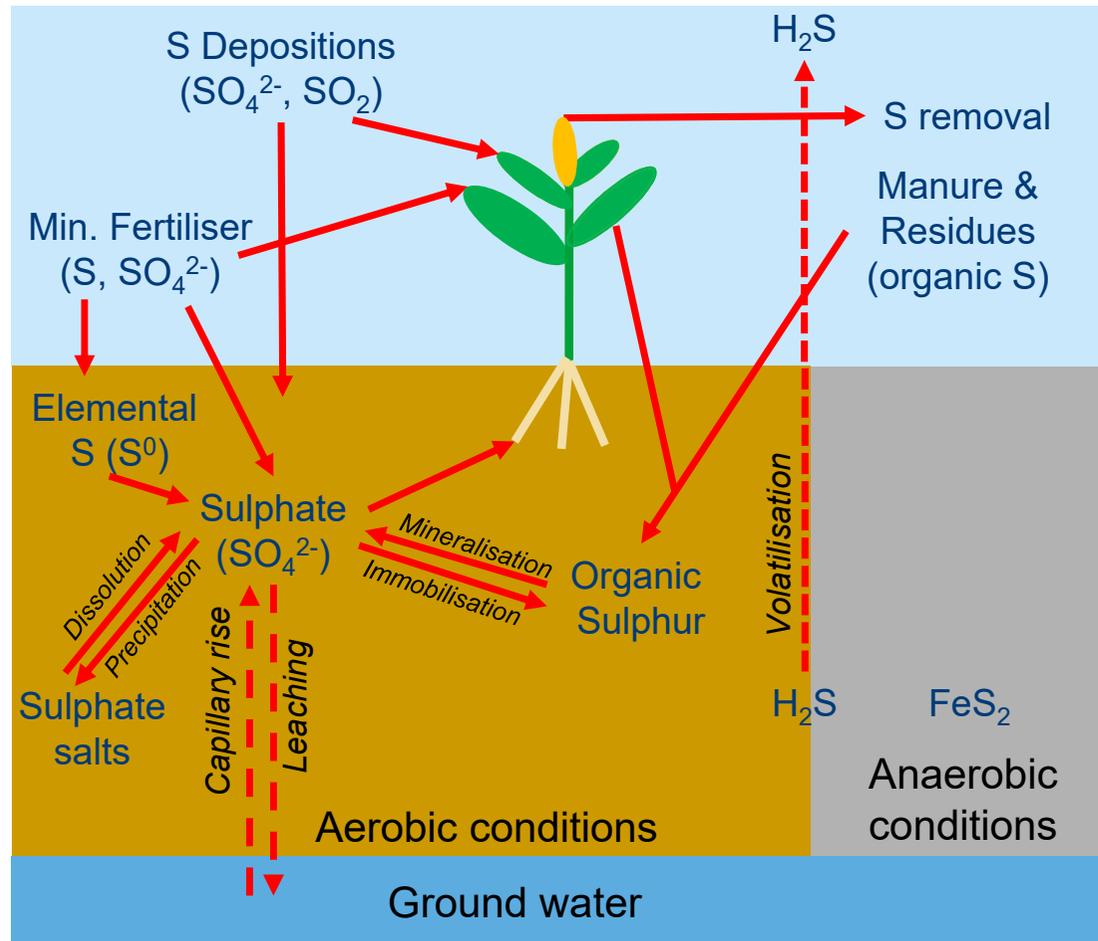
K+S France



L'AGRICULTURE PAR CŒUR

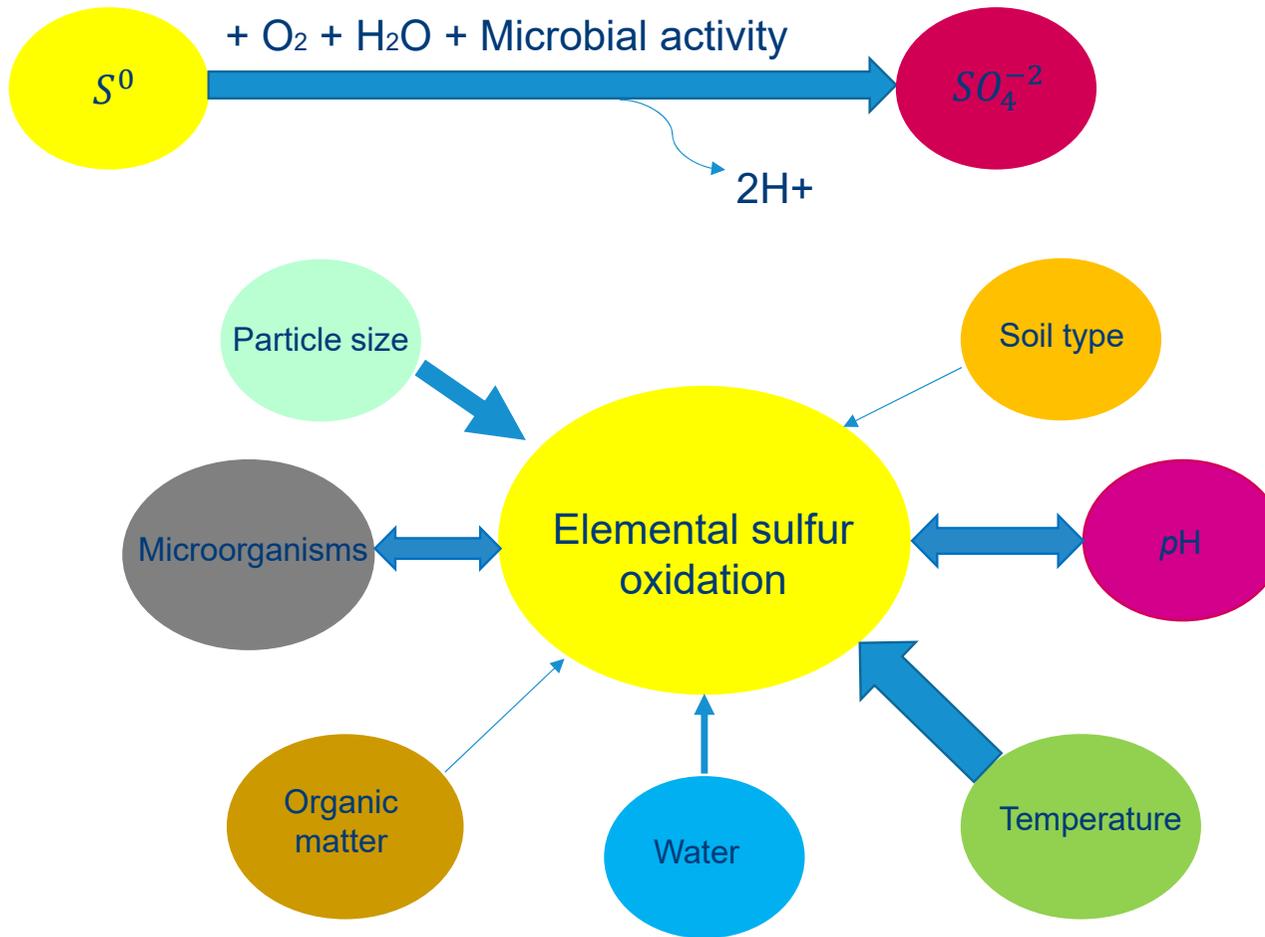


Le Soufre dans le sol



Soufre
S
32,07
16

Factors affecting elemental sulphur oxidation



Les engrais minéraux soufrés

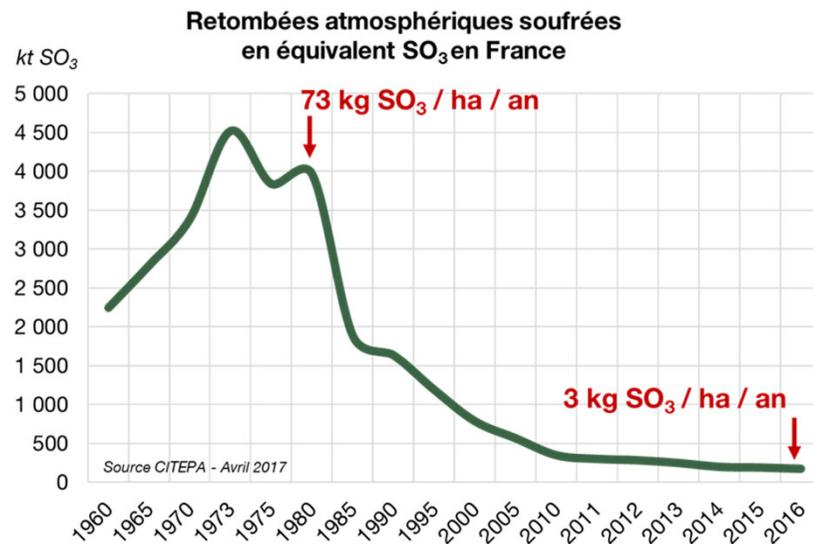
Formes de S disponibles sur le marché :

- Sulfate
 - La forme la plus utilisée dans les engrais
 - Associé à un ou plusieurs autres éléments : N, P, K, Mg
 - Forme directement assimilable par la plante.
- Thiosulfate
 - Transformation relativement rapide en sulfate
 - Forme liquide associée à N, K
 - Matière première pour des engrais foliaires
- S élémentaire (micronisé)
 - Oxydation en sulfate par les micro-organismes du sol plus longue
 - Effet acidifiant sur le sol
 - Utilisé essentiellement comme fongicide



Le soufre: indispensable aux cultures !

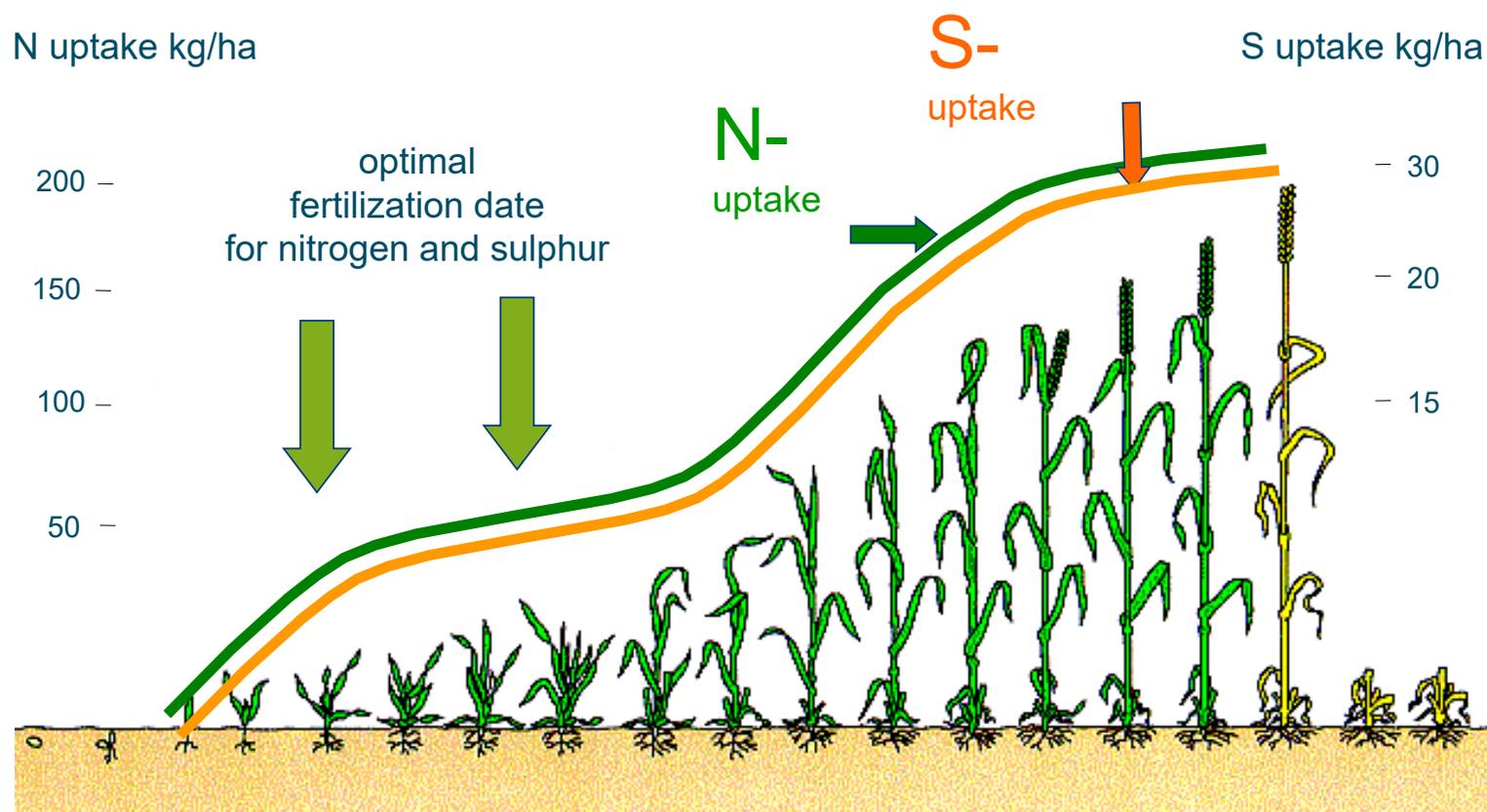
- Dans le sol :
 - Cycle similaire à celui de N avec minéralisation du S_{org}
 - Ion sulfate non retenu par le sol et sensible au lessivable hivernal:
 - de 60 à 125 kg SO_3/ha
 - Chute des dépositions atmosphériques:



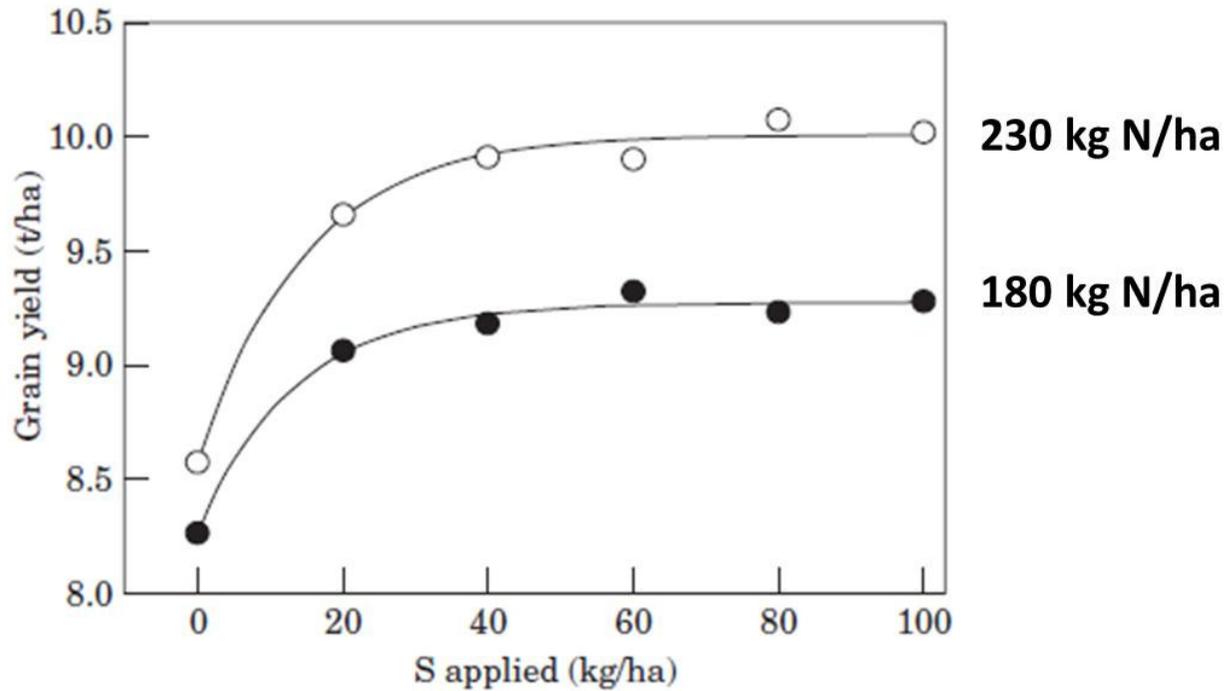
- Dans la plante :
 - Absorption forme sulfate SO_4^{2-}
 - Synthèse protéine (avec N)
 - Acides aminés essentiels
 - Peu mobile dans la plante: carence s'exprimant d'abord sur les feuilles jeunes (à ne pas confondre avec carence N sur feuilles âgées)
 - Cultures exigeantes: crucifères, liliacées, graminées fourragères, légumineuses



Nitrogen and sulphur uptake of winter cereals



Wheat grain yield influenced by N and S

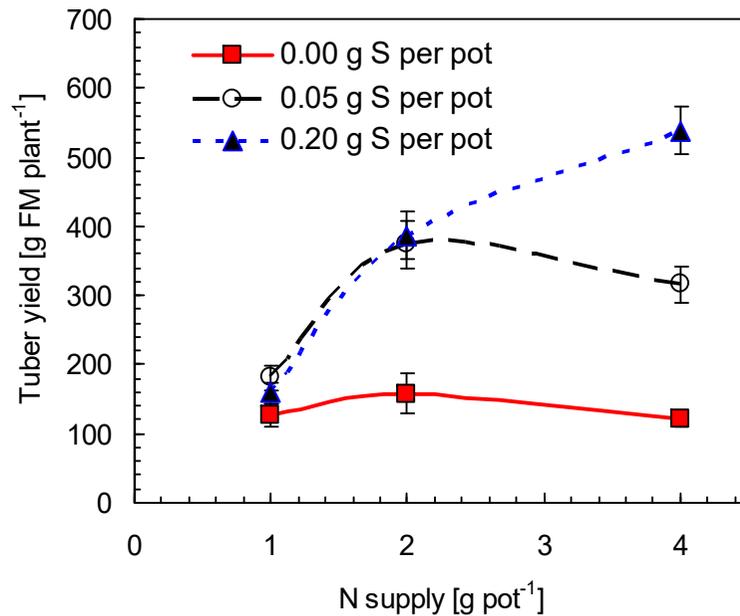


Crop response to S fertilization depends on the amount of N applied. Deficiency of S may be induced by a high amount of applied N.

(Source: Zhao et al 1999; Journal of Cereal Science 30: 1–17)

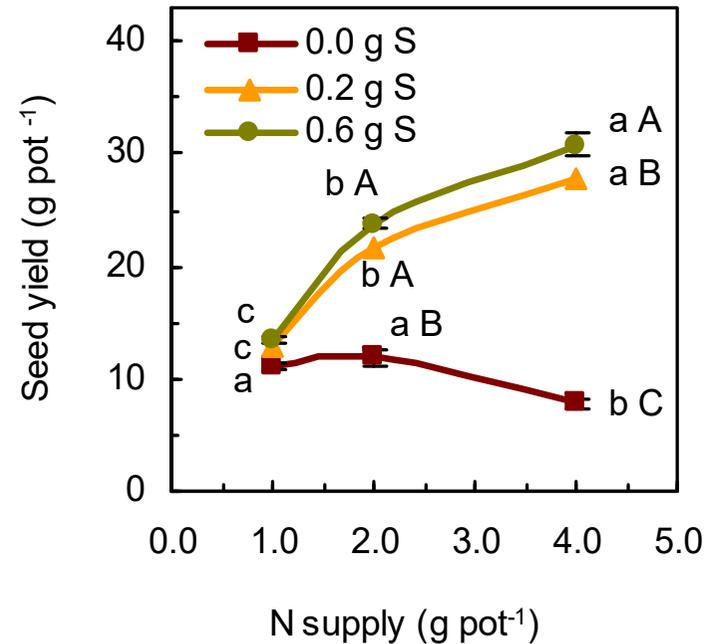
N x S interaction en crucifères

Choux rave



Source: Gerendás et al., 2008

Moutarde

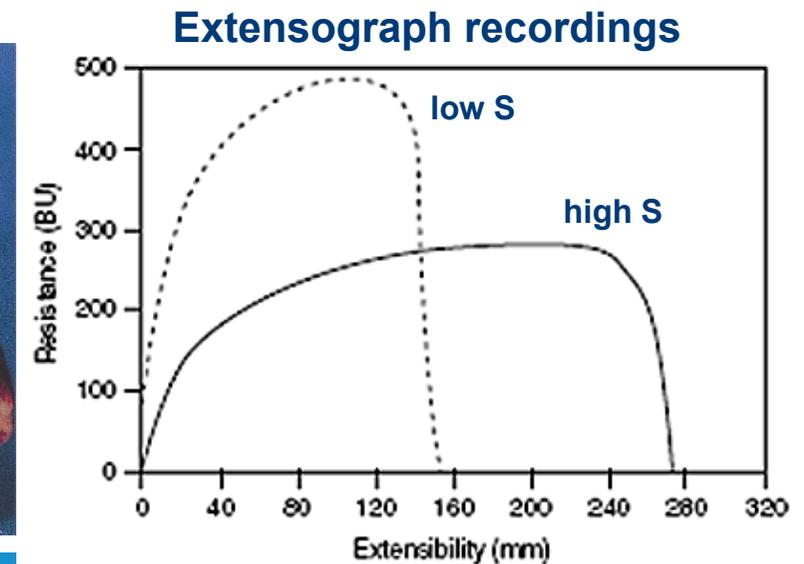
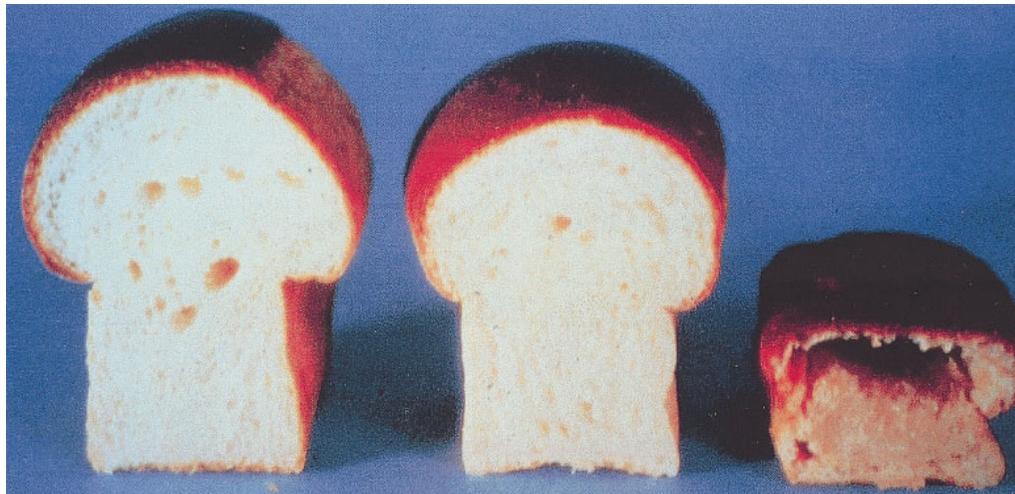


Source: Gerendás et al., 2009

➔ High N use efficiency depends on adequate S supply!

Significance of sulphur for quality of bread wheat

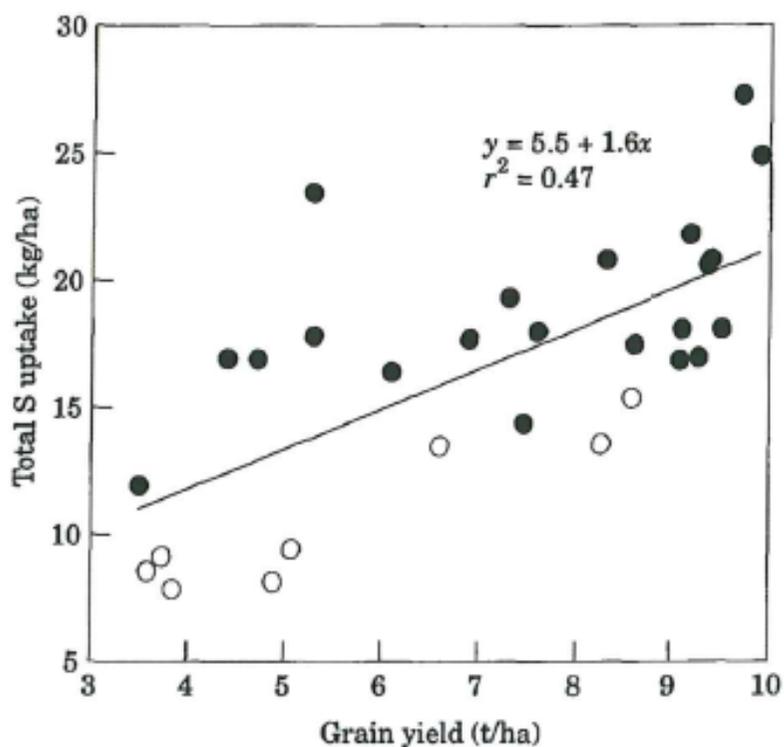
- La carence en S entraîne des pâtes plus fermes et moins extensibles.



Treatment	High S + S	High S	Low S
Flour S (mg g ⁻¹)	1.9	1.7	0.8
Flour N:S ratio	15.9	16.9	30.9
Loaf volume (mL)	1055	930	475

(Source: Zhao et al., 1999, Journal of Cereal Science 30: 1–17)

Soufre et rendement en grain du blé



Corrélation entre l'absorption de soufre et le rendement en grains du blé d'hiver

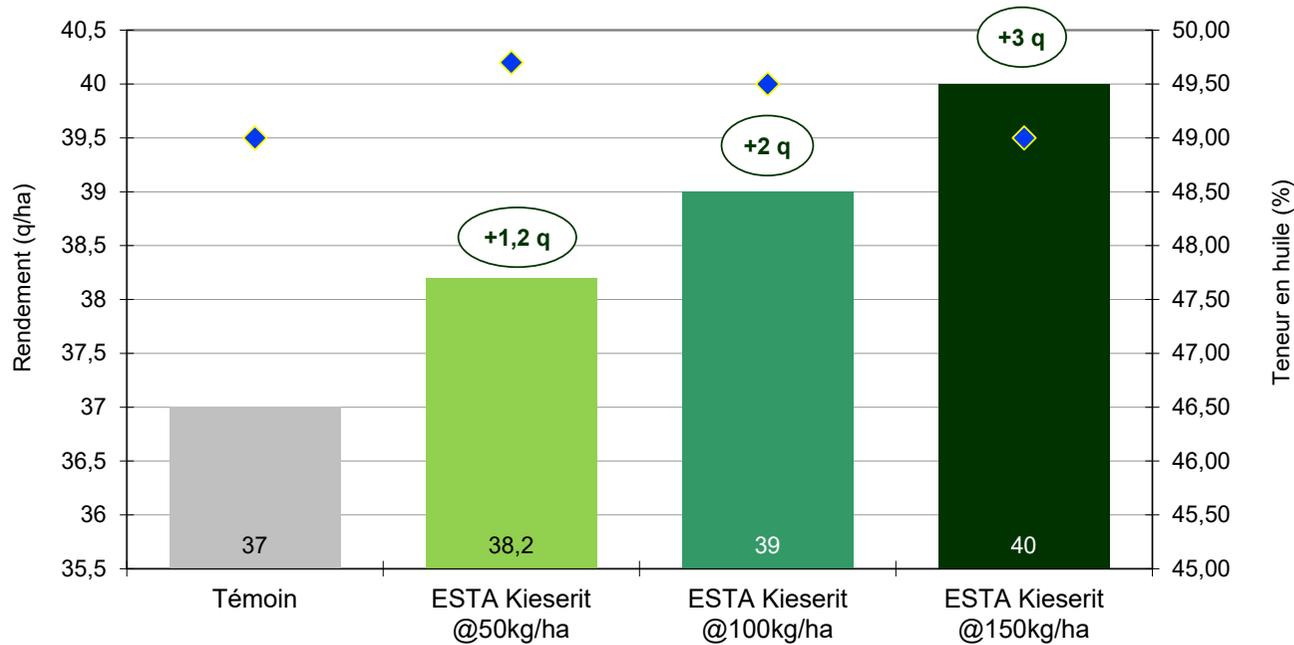
- Carence en soufre
- Pas de carence

(Source: Zhao et al. 1999)

Sulfate de Magnésium : doses et efficacité au champ

ESTA Kieserit sur colza d'hiver

Essai SadeF- Aspach-le-Bas (68)

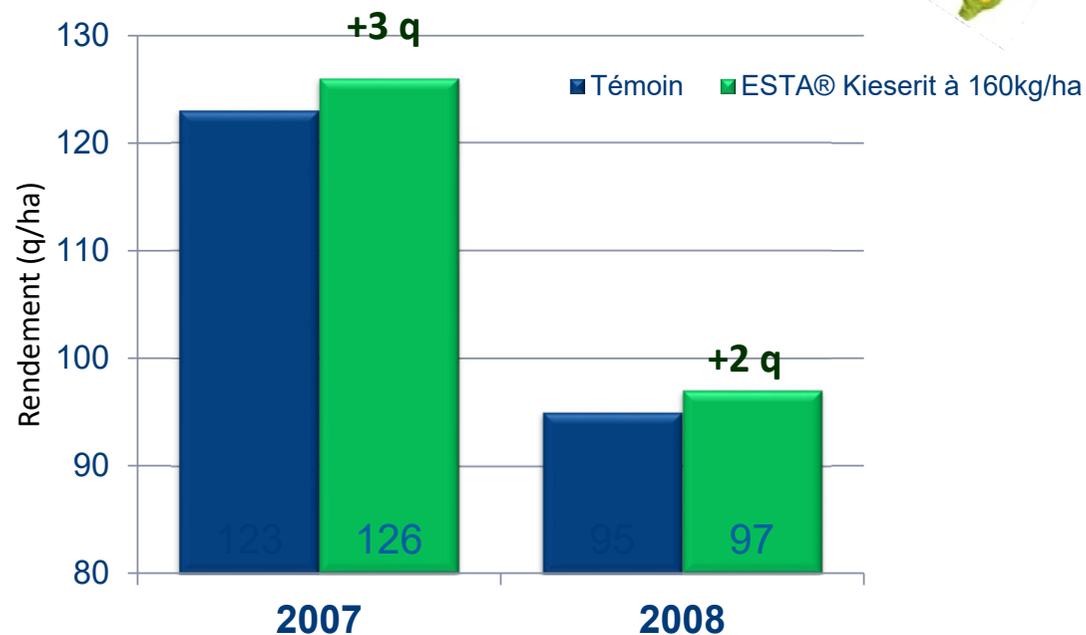


Nutriments en kg/ha				
MgO	0	12,5	25	37,5
SO ₃	0	25	50	75



Sulfate de Magnésium : doses et efficacité au champ

ESTA® Kieserit sur maïs grain
Essais SADEF (68)

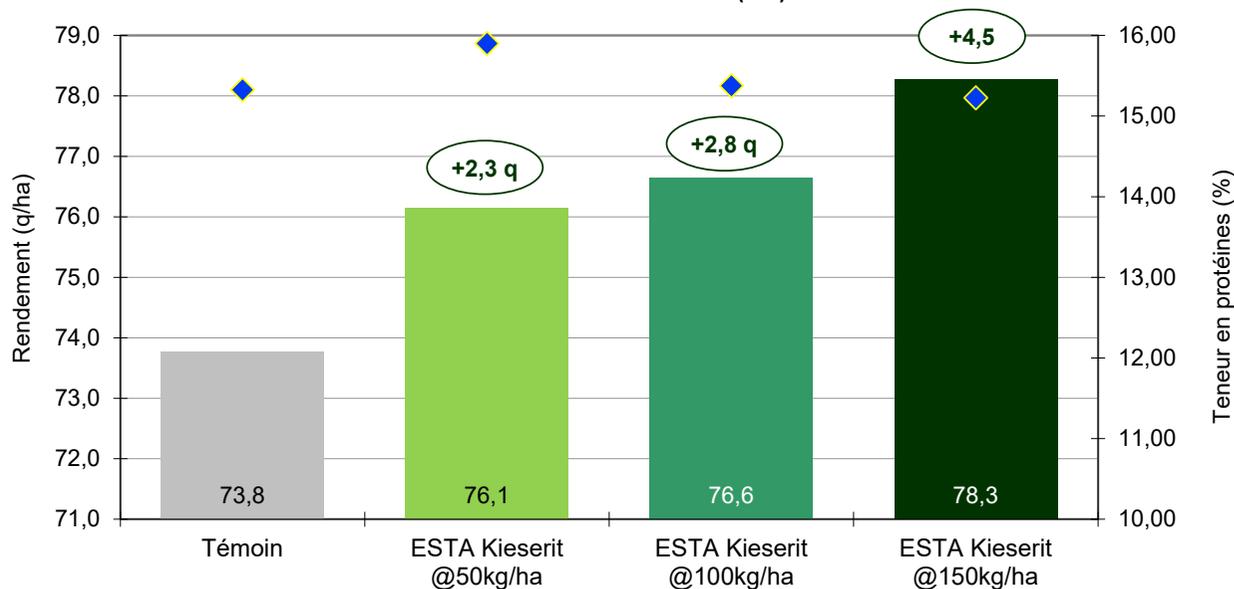


Nutriments en kg/ha	
MgO	40
SO ₃	80

Sulfate de Magnésium: doses et efficacité au champ



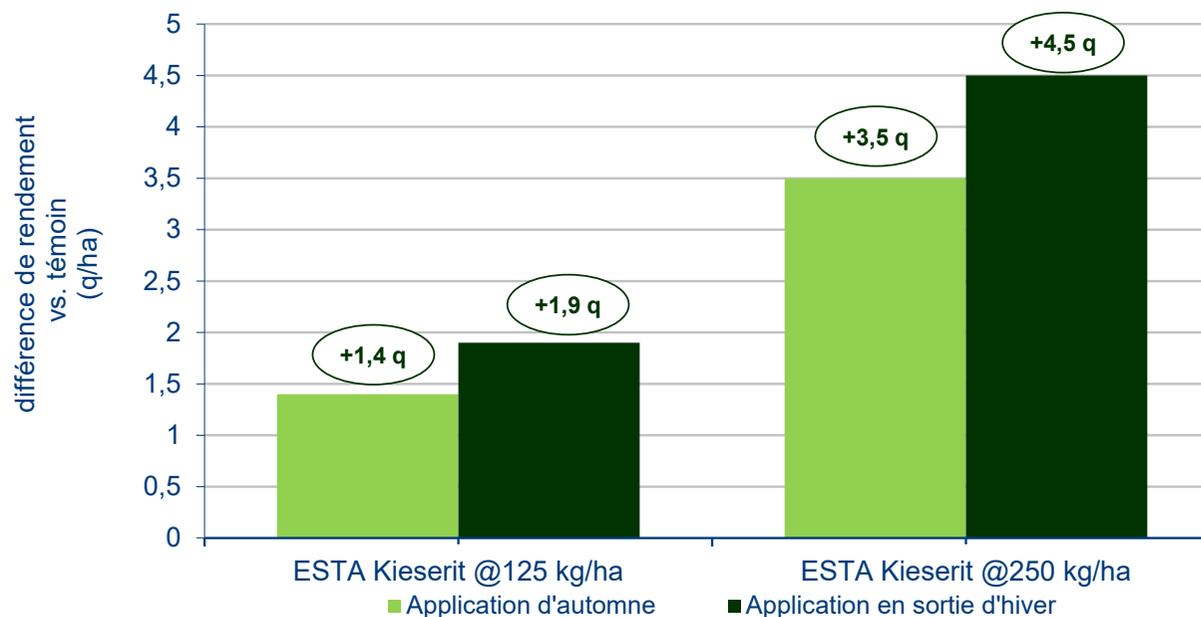
ESTA Kieserit sur blé d'hiver
Essai Antedis- Villaine (28)



Nutriments en kg/ha				
MgO	0	12,5	25	37,5
SO ₃	0	25	50	75

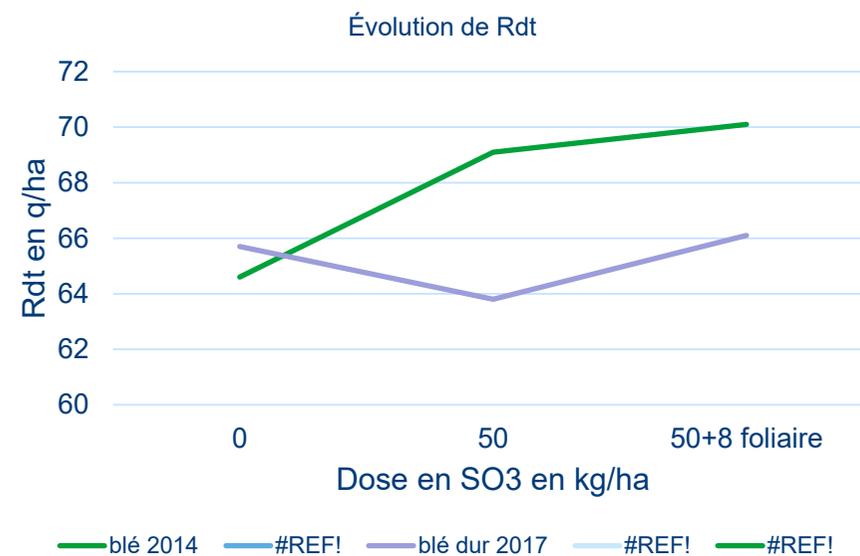
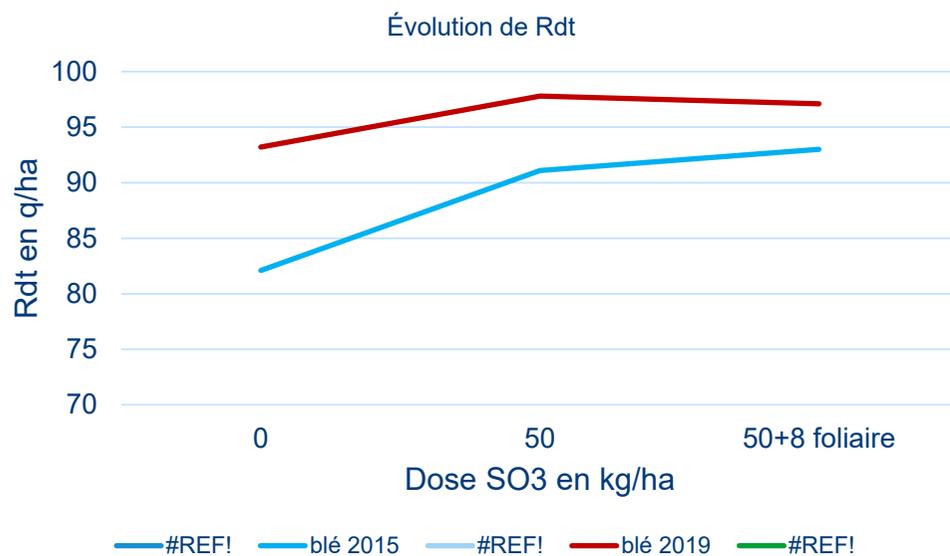
Sulfate de Magnésium : doses et timing d'apport

Effet dose et époque d'application de l'ESTA Kieserit
sur le rendement en blé d'hiver
Essai K+S KALI, Allemagne



Nutriments en kg/ha		
MgO	31,25	62,5
SO ₃	62,5	125

Sulfate de Magnésium : essai blé longue durée



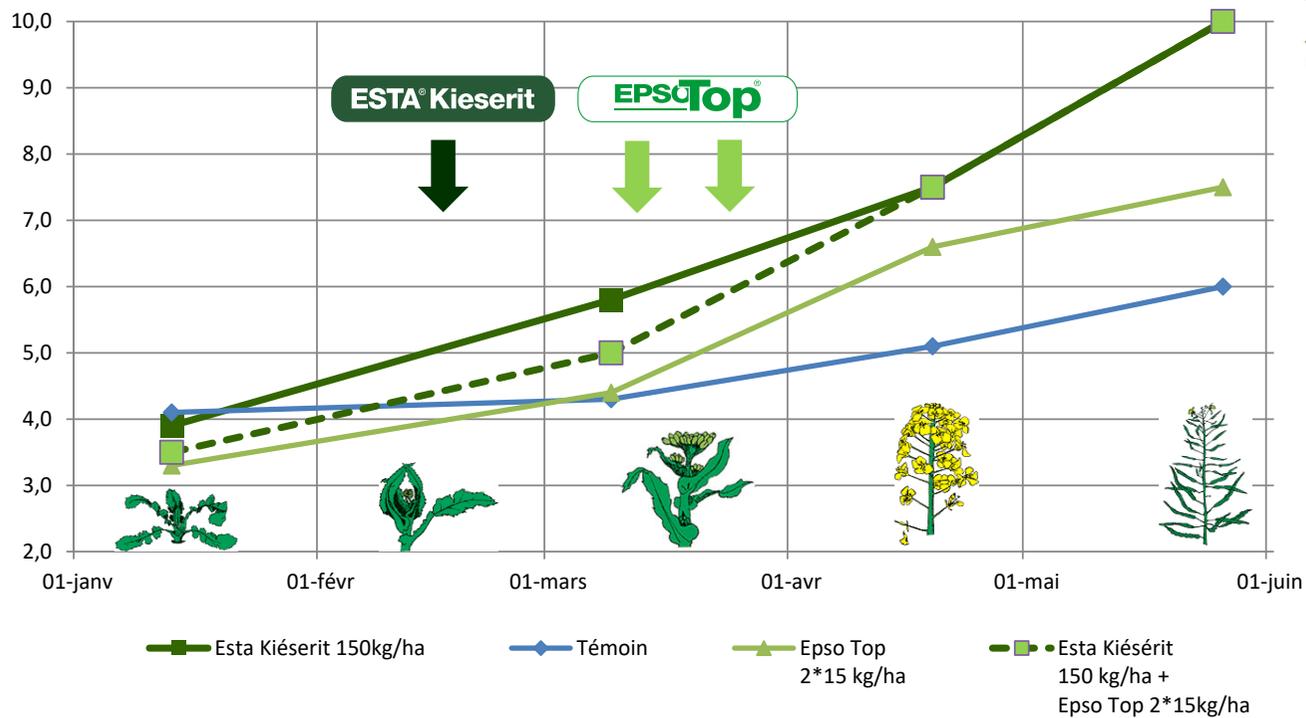
Argilo-limoneux (terre d'Aubue)
 pH 7,7
 CEC: 200
 MO: 2,5% meq



Sulfate de Magnésium: essai longue durée

Année 3

Fertilisation Mg+S sur Colza
Essai Terrena - Prinçay (86) - 2016
Notation vigueur [0-10]



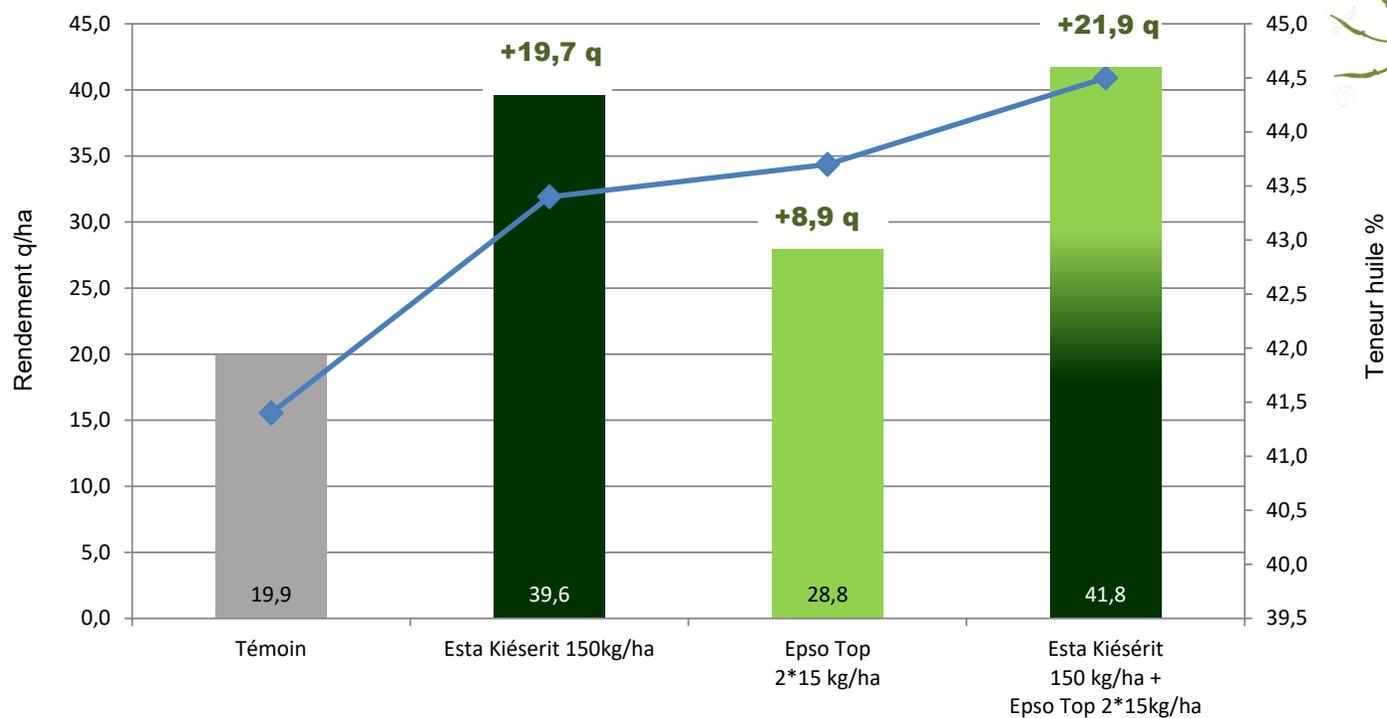
Sol calcaire: Aubue moyenne
2% MO, pH 7,9
Bien pourvue en P, K, faible en Mg
Pas d'apport organique
Non labour

Sulfate de Magnésium : essai longue durée

Année 3

Fertilisation Mg+S sur Colza

Essai Terrena - Prinçay (86) - 2016



Sol calcaire: Aubue moyenne
2% MO, pH 7,9
Bien pourvue en P, K, faible en Mg
Pas d'apport organique
Non labour

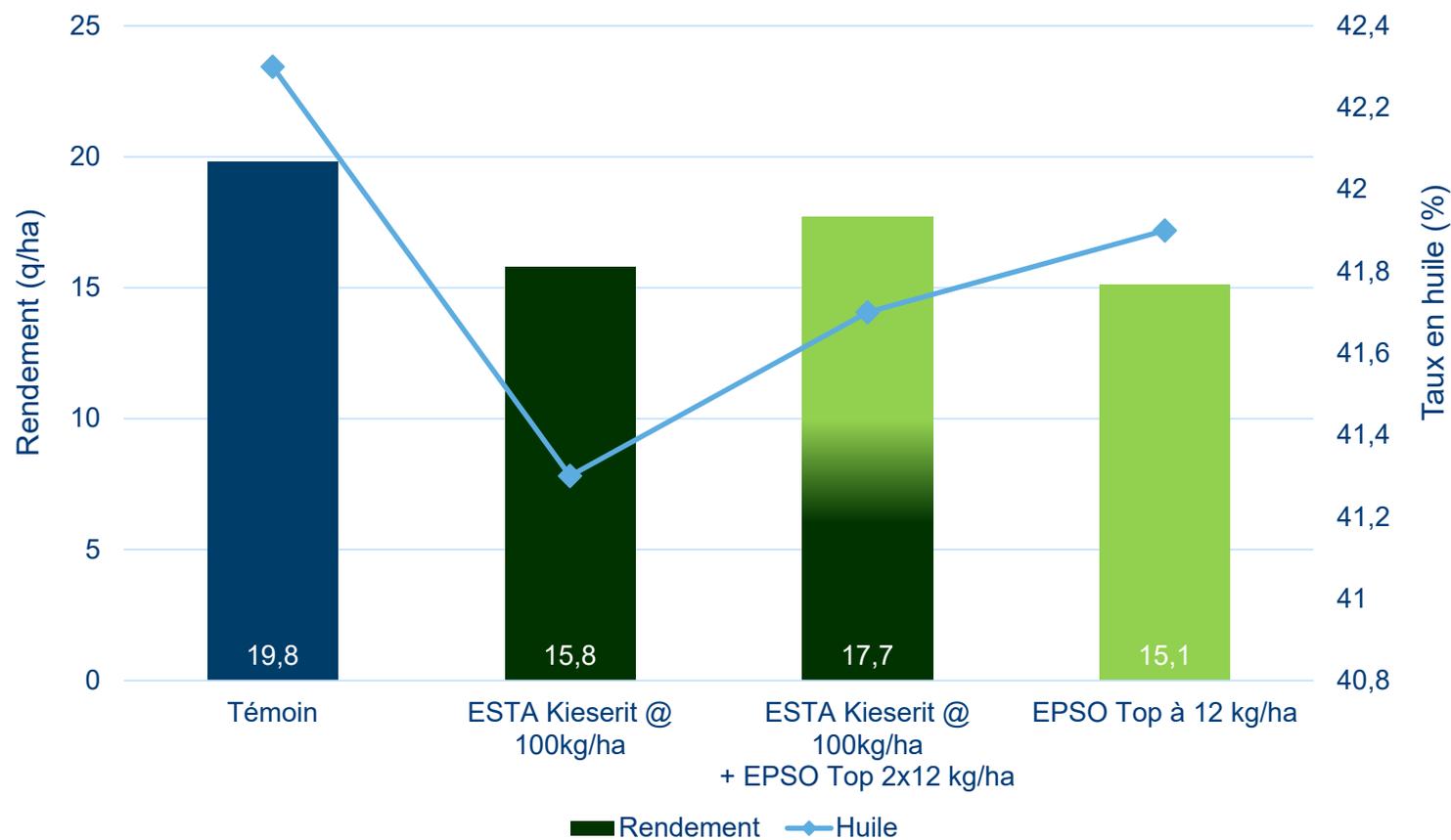
■ Rendement q/ha ◆ Teneur huile %



Sulfate de Magnésium : essai longue durée

Année 5

Fertilisation Mg+S sur Tournesol
Essai Terrena - Prinçay (86) – 2018



Argilo-limoneux (terre d'Aubue)
pH 7,7
CEC: 200
MO: 2,5% meq





Essai en sols de craie de Champagne

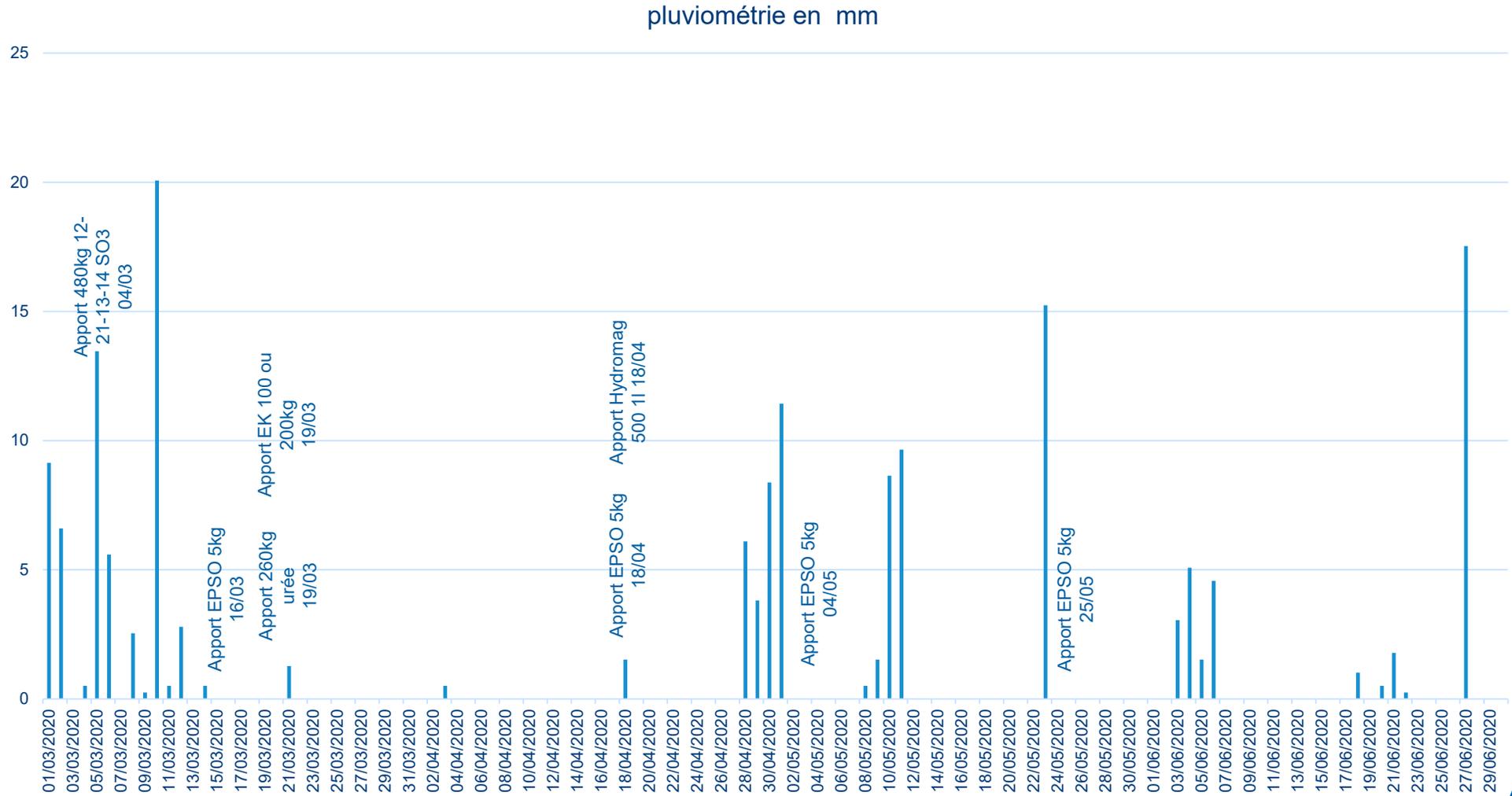
Protocole Magnésium/Soufre sur Blé

- 7 Modalités toutes avec une fertilisation optimale en N, P₂O₅, et K₂O

Modalités	Dose SO3 en kg/ha	Printemps	1 ^{er} noeud	Dfe
Témoin = M0	0	0	0	0
M1	50	ESTA Kieserit 100kg		
M2	50+8 foliaire	ESTA Kieserit 100kg	12,5kg EPSOTop	12,5kg EPSOTop
M3	8 foliaire		12,5kg EPSOTop	12,5kg EPSOTop
M4	100	ESTA Kieserit 200kg		

- 1/ Analyse de sol prévue le 7 février
- 2/ Analyse foliaire fin février
- 3/ Analyse foliaire en cours de développement
- 4/ Analyse de la récolte : RDT et protéines
- 5/ Analyse technico-économique

Itinéraire technique vs précipitations



Plan de l'essai et NDVI

Modalités	Printemps 19/03	1 ^{er} noeud	Dfe	MOYENNES ndvi 14/04
Témoins = M1	0	0	0	0,58333
M2	ESTA Kieserit 100kg			0,58333
M3	ESTA Kieserit 100kg	12,5kg EPSOTop	12,5kg EPSOTop	0,59333
M4		12,5kg EPSOTop	12,5kg EPSOTop	0,60333
M5	ESTA Kieserit 200kg			0,59333
M6	0	0	0	

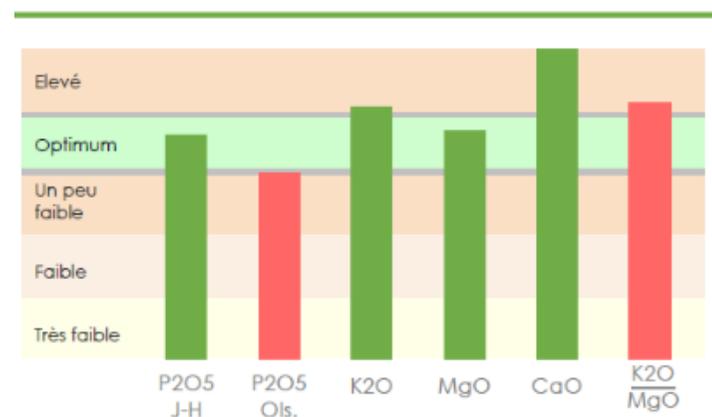
0,65	0,62	0,63	0,61	0,64	0,61
M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6
0,52	0,55	0,56	0,57	0,58	0,57
0,58	0,58	0,56	0,6	0,59	0,58

Analyse de sol et analyse foliaire (début mars 2020)

• Analyse de sol

Eléments majeurs échangeables

		Optim.		Optim.	
*Phosphore - P2O5 <small>NFX 31-161 - Jorel-Hébert</small>	0.21 g/kg	0.16	*Calcium - CaO <small>NFX 31-108 Dosage ICP AES</small>	12.0 g/kg	3.1
*Phosphore - P2O5 <small>NF ISO 11263 - Olsen</small>	0.080 g/kg	0.08	*Sodium - Na2O <small>NFX 31-108 Dosage ICP AES</small>	0.007 g/kg	
*Potassium - K2O <small>NFX 31-108 Dosage ICP AES</small>	0.32 g/kg	0.18	K2O / MgO	2.3	1 - 2
*Magnésium - MgO <small>NFX 31-108 Dosage ICP AES</small>	0.13 g/kg	0.1			



• Analyse foliaire épi 1cm

	N total %	P tot %	K tot %	Ca tot %	Mg tot %	Na tot %	B mg/Kg	Cu mg/Kg	Fe mg/Kg	Mn mg/Kg	Zn mg/Kg	S total %
Valeur	3,11	0,39	2,31	10,9	0,17	0,032	4,93	9,11	5760	437	40,3	0,279
Intervalle	3-5	0.3-0.6	3.5-5.5	0.4-1	0.12-0.25	/	6-12	7-15	10-300	35-100	25-70	0.2-0.3

Analyse foliaire 2, 3 et 4

- Analyse foliaire (fin avril 2020 : milieu montaison)

	N total %	Soufre %	P tot %	K tot %	Ca tot %	Mg tot %	Na tot %	B mg/Kg	Cu mg/Kg	Fe mg/Kg	Mn mg/Kg	Zn mg/Kg
Intervalle	2.5-4	/	0.25-0.5	3.3-4.5	0.35-1	0.1-0.23	/	5-10	5-10	10-300	30-100	20-70
Témoin 1	4,05	0,382	0,4	4,22	0,45	0,1	0,009	5,27	8,5	92,4	70,6	27,1
ESTA Kieserit 100kg	3,68	0,371	0,4	3,7	0,45	0,09	0,01	6,48	19,5	96,9	105	26
ESTA Kieserit 100kg + Epso 2x12,5kg	3,82	0,345	0,39	3,68	0,46	0,09	0,007	5,68	11,1	96,1	80,6	25,3
Epso 2x12,5kg	3,87	0,385	0,43	4,09	0,44	0,1	0,009	5,48	9,46	138	75,8	26,1
ESTA Kieserit 200kg	3,07	0,296	0,38	3,39	0,36	0,09	0,009	4,63	8,3	95	79,4	23,5
Hydromag 500 : 2x0,8l	3,53	0,37	0,39	3,56	0,44	0,1	0,01	5,96	12,5	84,5	90,1	24,8
Témoin 2	3,57	0,339	0,42	3,62	0,34	0,09	0,008	4,76	5,08	79,1	66,5	24,4
Témoin 3	3,65	0,397	0,42	3,66	0,45	0,1	0,009	6,52	9,19	87,8	69,2	26,8

- Analyse foliaire (début juin 2020 : épisaison)

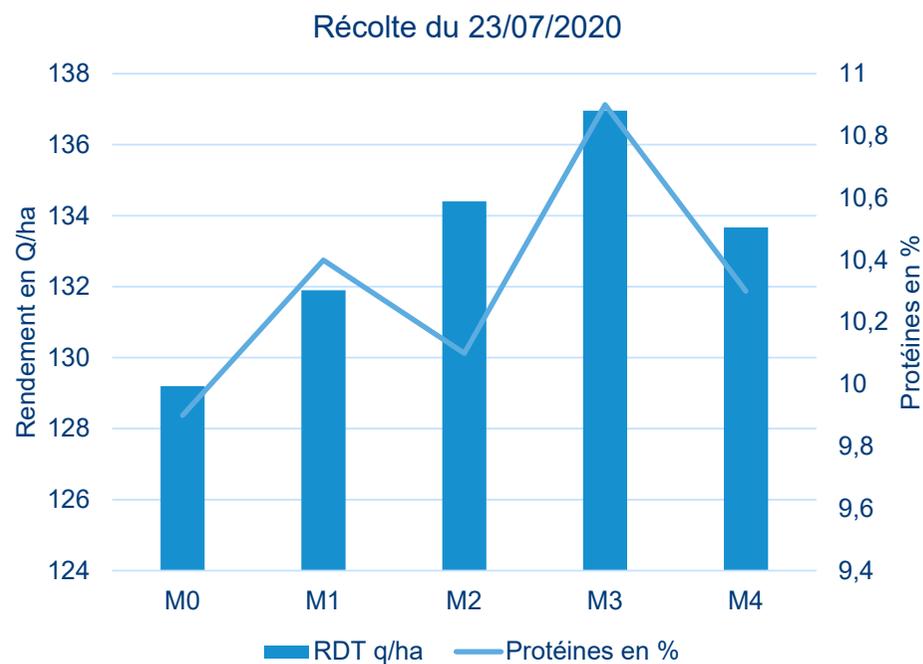
	N total %	Soufre %	P tot %	K tot %	Ca tot %	Mg tot %	Na tot %	B mg/Kg	Cu mg/Kg	Fe mg/Kg	Mn mg/Kg	Zn mg/Kg
Intervalle	1.75-3		0.21-0.51	1.51-3	0.21-1	0.16-1	/	5-10	5-50	10-300	16-200	21-70
Témoin 1	1,82		0,24	1,11	0,17	0,09	0,005	5,11	5,64	53,9	38,1	19,9
ESTA Kieserit 100kg	1,98		0,28	1,18	0,18	0,1	0,006	6,33	6,65	76,5	47,6	24,5
ESTA Kieserit 100kg + Epso 2x12,5kg	2,17		0,31	1,15	0,16	0,1	0,006	5,4	5,51	97,5	44,2	24,6
Epso 2x12,5kg	2,01		0,26	1,51	0,28	0,11	0,006	5,77	6,94	119	50,3	20,3
ESTA Kieserit 200kg	1,85		0,29	1,16	0,17	0,1	0,005	4,78	7,76	169	46,1	24,6
Hydromag 500 : 2x0,8l	2,15		0,27	1,44	0,23	0,11	0,005	5,42	6,59	72	45,9	22,1
Témoin 2	2,25		0,32	1,13	0,14	0,1	0,005	5,46	4,82	103	49,8	24,8
Témoin 3	2,06		0,28	1,22	0,17	0,1	0,005	4,63	6,02	83,7	49,4	24,5

- Analyse foliaire (3 juillet 2020 : maturité) 3 couleurs pour comparer les modalités

	N total %		P tot %	K tot %	Ca tot %	Mg tot %	Na tot %	B mg/Kg	Cu mg/Kg	Fe mg/Kg	Mn mg/Kg	Zn mg/Kg
ESTA Kieserit 100kg	1,127		0,099	1,475	0,539	0,108	0,003	6,31	4,523	50,589	62,579	12,2
ESTA Kieserit 100kg + Epso 2x12,5kg	1,217		0,123	1,511	0,524	0,113	0,002	6,156	4,246	44,793	66,235	13,693
ESTA Kieserit 200kg	1,263		0,099	1,367	0,447	0,099	0,003	5,47	4,418	55,541	66,586	11,781

Résultats récolte

- Rendement et qualité



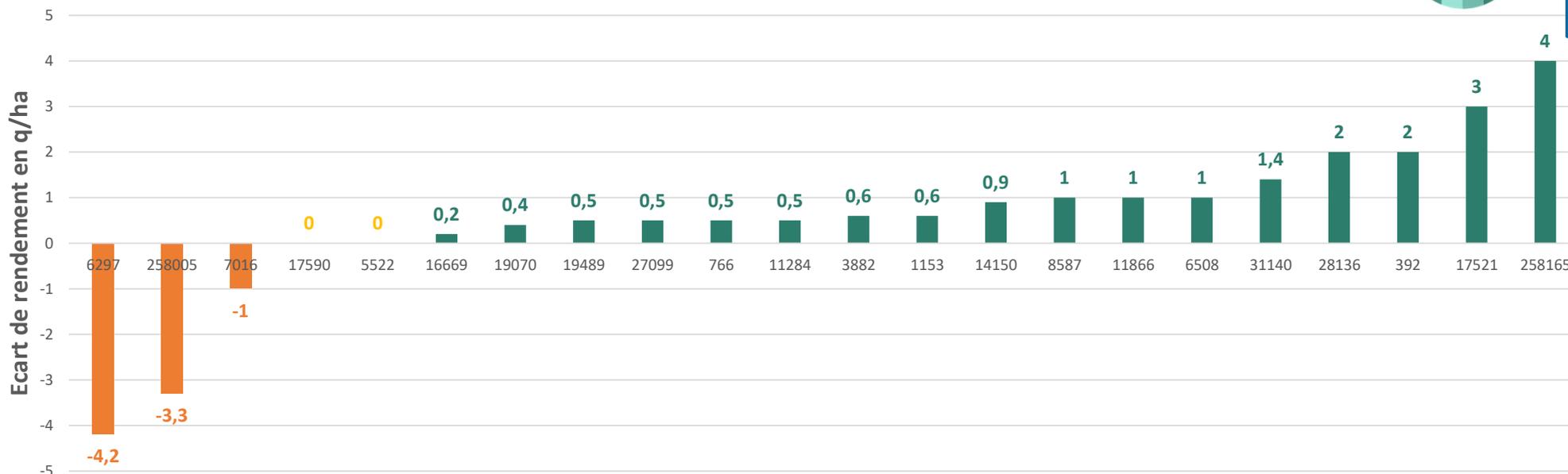
Modalité	SO3 en kg/ha	Surface récoltée	Rendement en t (benne sortie du champ)	Rendement en Q/ha	Protéines
M0 Témoin	0	0,797	10,21	128,1	9,9
M1 EK 100kg	50	0,797	10,42	131,9	10,4
M2 EK 100kg+ Epso 2x12,5kg	50+8	0,797	10,62	134,4	10,1
M3 Epso 2x12,5kg	8	0,797	10,82	136,96	10,9
M4 EK 200kg	100	0,797	10,56	133,67	10,3
Moyenne				132,49	10,21

Répartition des écarts de rendements (Epsos Top 8% - Epsos Top 2%) en q/ha



22 testeurs ayant respecté 100% du protocole

2020



NB - Les résultats sont filtrés uniquement sur les testeurs ayant respecté à 100% le protocole à savoir: 2 à 3 applications d'Epsos Top à 8% sur modalité Test et 2% sur modalité Témoin.

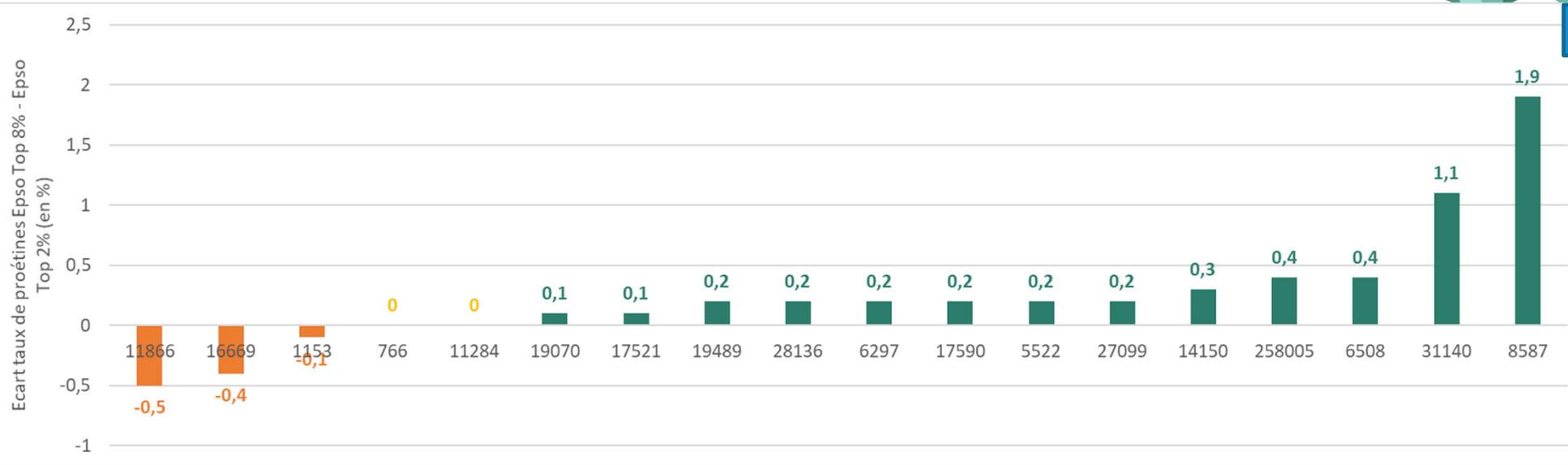


Répartition des écarts des taux de protéines (Epsa Top 8% - Epsa Top 2%) en %



18 testeurs ayant respecté 100% du protocole

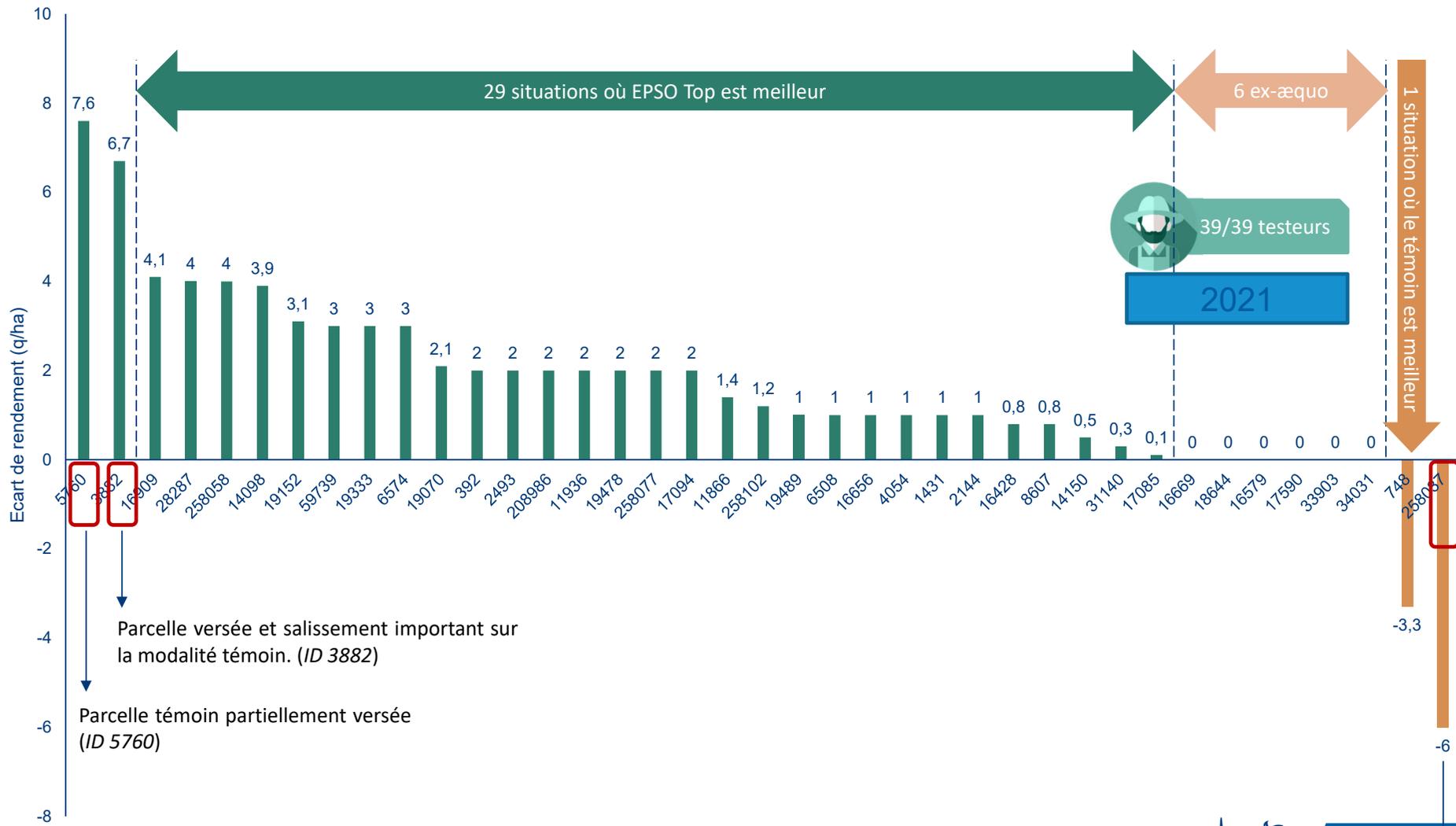
2020



NB - Les résultats sont filtrés uniquement sur les testeurs ayant respecté à 100% le protocole à savoir: 2 à 3 applications d'Epsa Top à 8% sur modalité Test et 2% sur modalité Témoin.



Répartition des écarts de rendements [Test-Témoin] par situation



Répartition des écarts de protéines [Test-Témoin] par situation

