



L'albédo: levier d'atténuation du changement climatique dans les systèmes fourragers

Pierre MISCHLER, Institut de l'élevage



Étude réalisée avec la contribution financière du Compte d'Affectation Spéciale « Développement Agricole et Rural » du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, projet CASDAR IP n°19 ART 385665 - ALBEDO-prairies, pilotée par l'Institut de l'Élevage.

Avant de démarrer...

- Levez la main si votre réponse est « oui » aux questions suivantes:

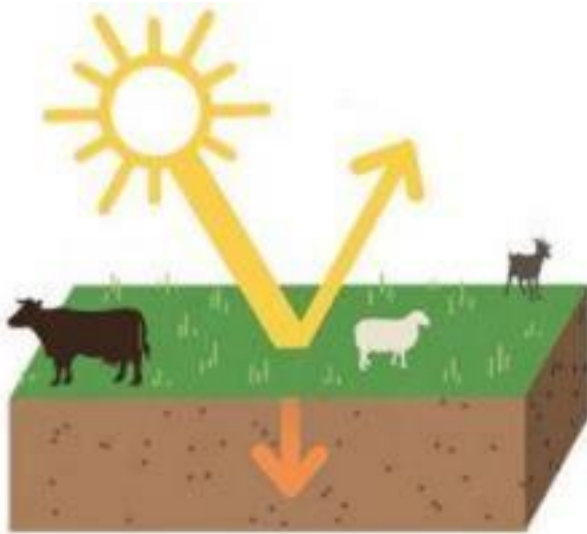
- Qui a entendu parler d'albédo?
- Qui sait ce qu'est l'albédo?
- Qui saurait l'expliquer à son voisin?
- Qui est volontaire pour l'expliquer à tout le monde?

Un petit brise-glace
afin de détendre
l'atmosphère...

Qu'est ce que l'albédo (α) ?

Un indice:

$$\alpha = \frac{\text{Rayonnement réfléchi}}{\text{Rayonnement incident}}$$



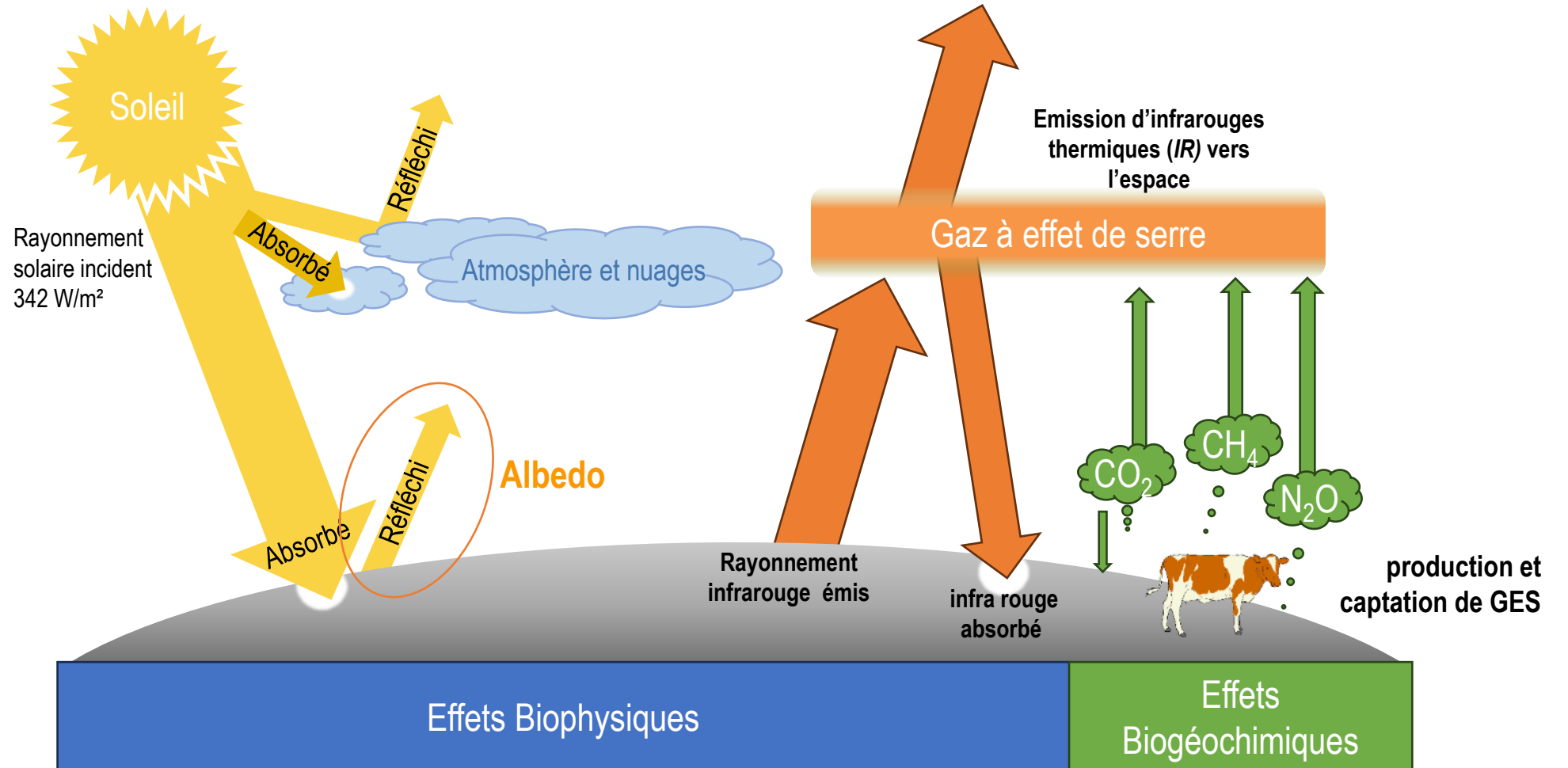
- C'est la fraction de l'énergie solaire qui est réfléchiée par une surface, vers l'espace.
- Sa valeur est comprise entre 0 et 1 (= 0 à 100% réfléchi)
- Une surface végétale, par exemple une prairie, se comporte en partie comme un miroir.
- Plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé

Le climat, comment ça marche ?

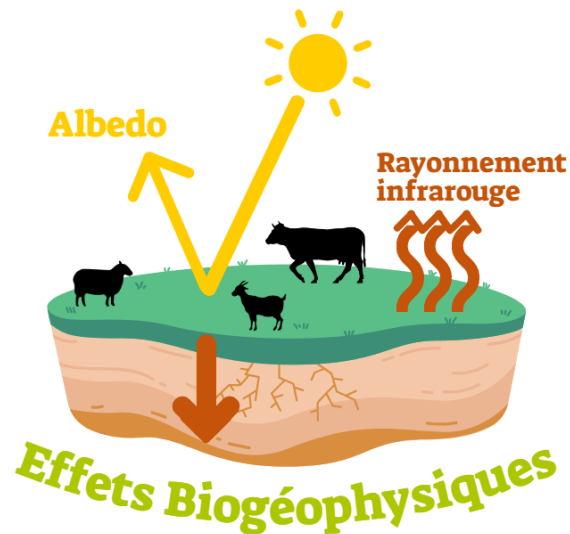
(de manière très très très simplifiée)

La lumière solaire et
le proche infra-rouge
ne sont pas retenus
par les ges

Les infra-rouges à
grande longueur
d'onde sont retenus
par les ges
= infra-rouges
thermiques = chaleur



L'albédo, ça peut servir à quoi??



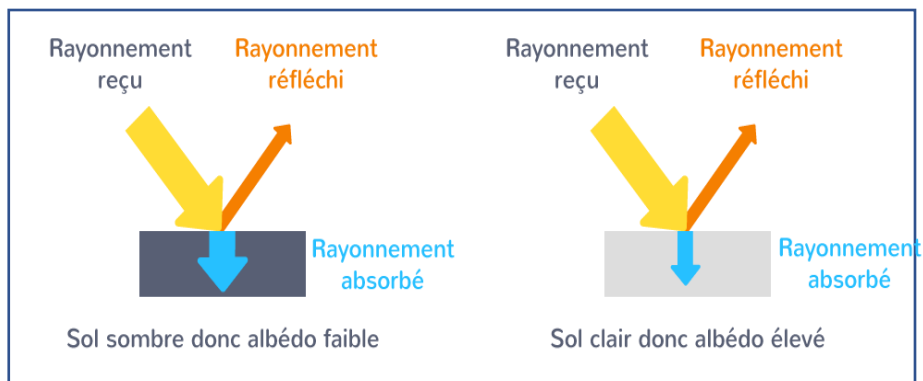
Augmenter l'albédo
en plus de stocker du
carbone dans le sol.

- Cet effet biophysique peut contribuer à atténuer le changement climatique :
 - si l'albédo d'une surface est élevé, on évite d'accumuler une partie de la chaleur reçue par le soleil : effet « refroidissant »
 - Un albédo élevé, réduit la quantité d'énergie disponible
- En complément du stockage du carbone sous prairie (effet biogéochimique). Exemples:
 - Rotation cultures-prairie temporaire: +370 kgC/ha/an
 - Rotation cultures seules: -59 kgC/ha/an

Launay C., Constantin J., Chlebowska F., Houot S., Graux A.I., Klumpp K., Martin R., Mary B., Pellerin S., Therond O. (2021) Estimating the carbon storage potential and greenhouse gas emissions of French arable cropland using high-resolution modeling. *Global Change Biology* 27, 1645-1661.

Qu'est ce qui fait varier l'albédo ?

- **Sa couleur** (y compris les ondes hors du spectre visible ! : on ne peut pas se fier uniquement à ce que l'on voit)
- **L'aspect de la surface** (pour les plantes, cires présente sur les feuilles, port des feuilles...)

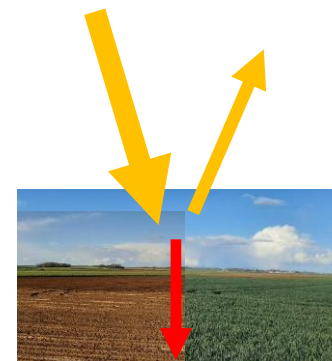


Source de l'image : Kartable

• Application en agriculture



α
élevé



α
intermédiaire

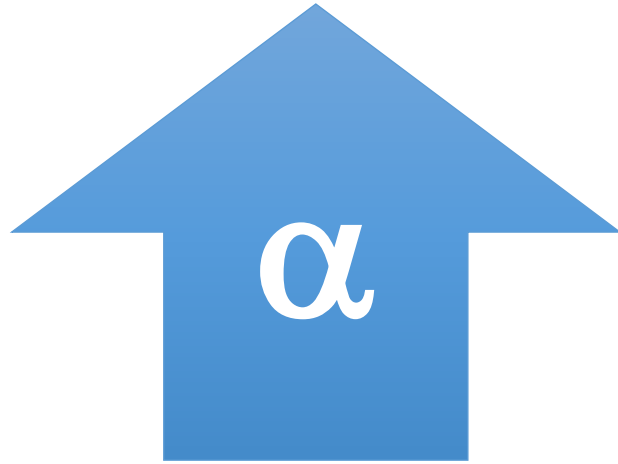


α
faible



- L'augmentation des sols nus ou visibles (albédo en baisse) favorisent l'absorption de la lumière et donc de l'énergie
- Le sol chauffe, restitue plus de chaleur, qui est retenue par les GES...
- **moins les sols sont couverts, moins ils renvoient de lumière = effet réchauffant**

Interpréter une mesure d'albédo:



Un albedo qui augmente veut dire qu'une part plus importante de l'énergie solaire est reflétée

Effet « refroidissant »



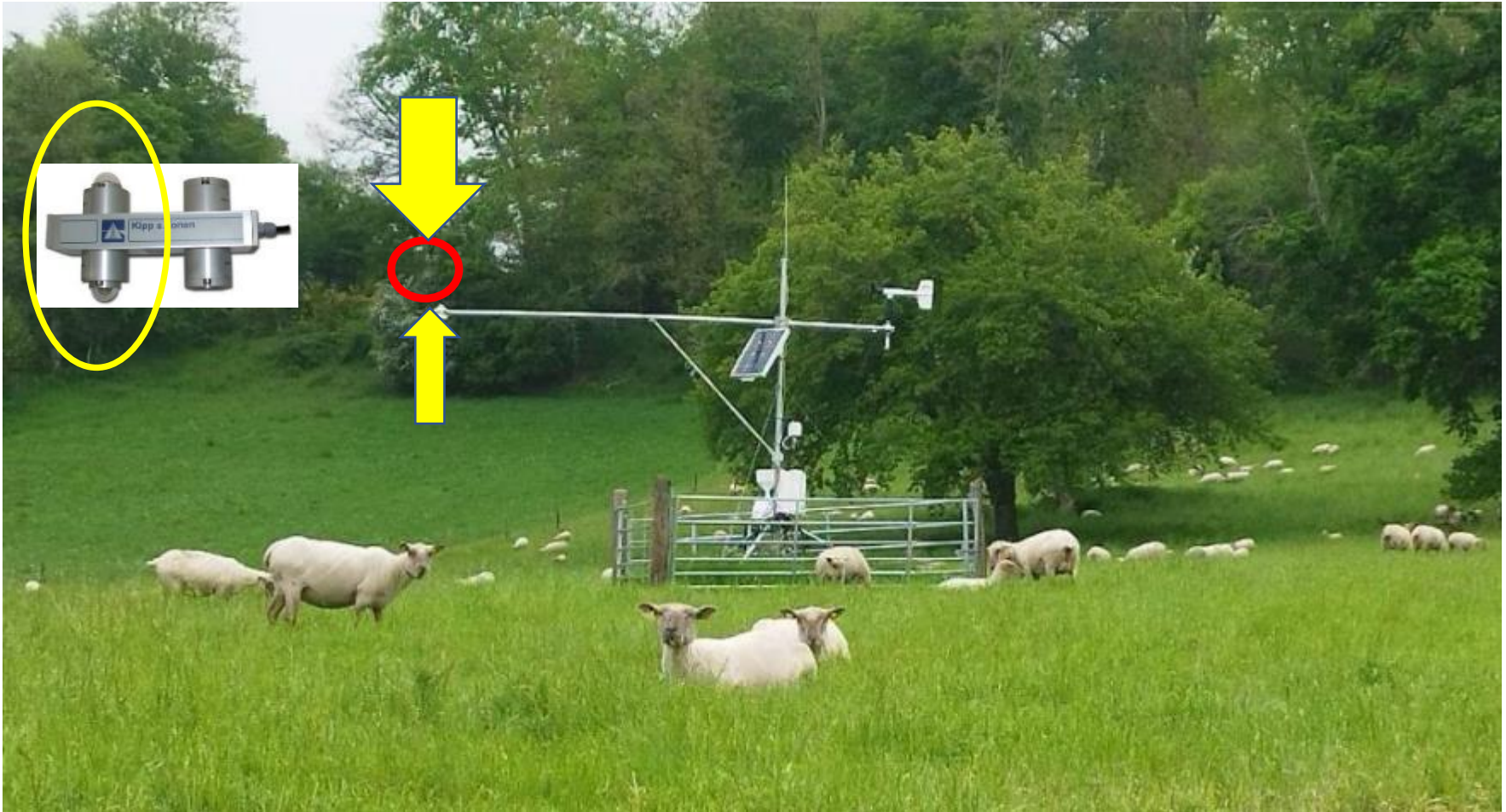
Un albedo qui diminue veut dire qu'une part moins importante de l'énergie solaire est reflétée

Effet « réchauffant »

Il faut augmenter
l'albédo de surface!

Comment mesurer l'albédo?

Avec un albédomètre



xx

Verdict: vous n'êtes pas un bon albédomètre!

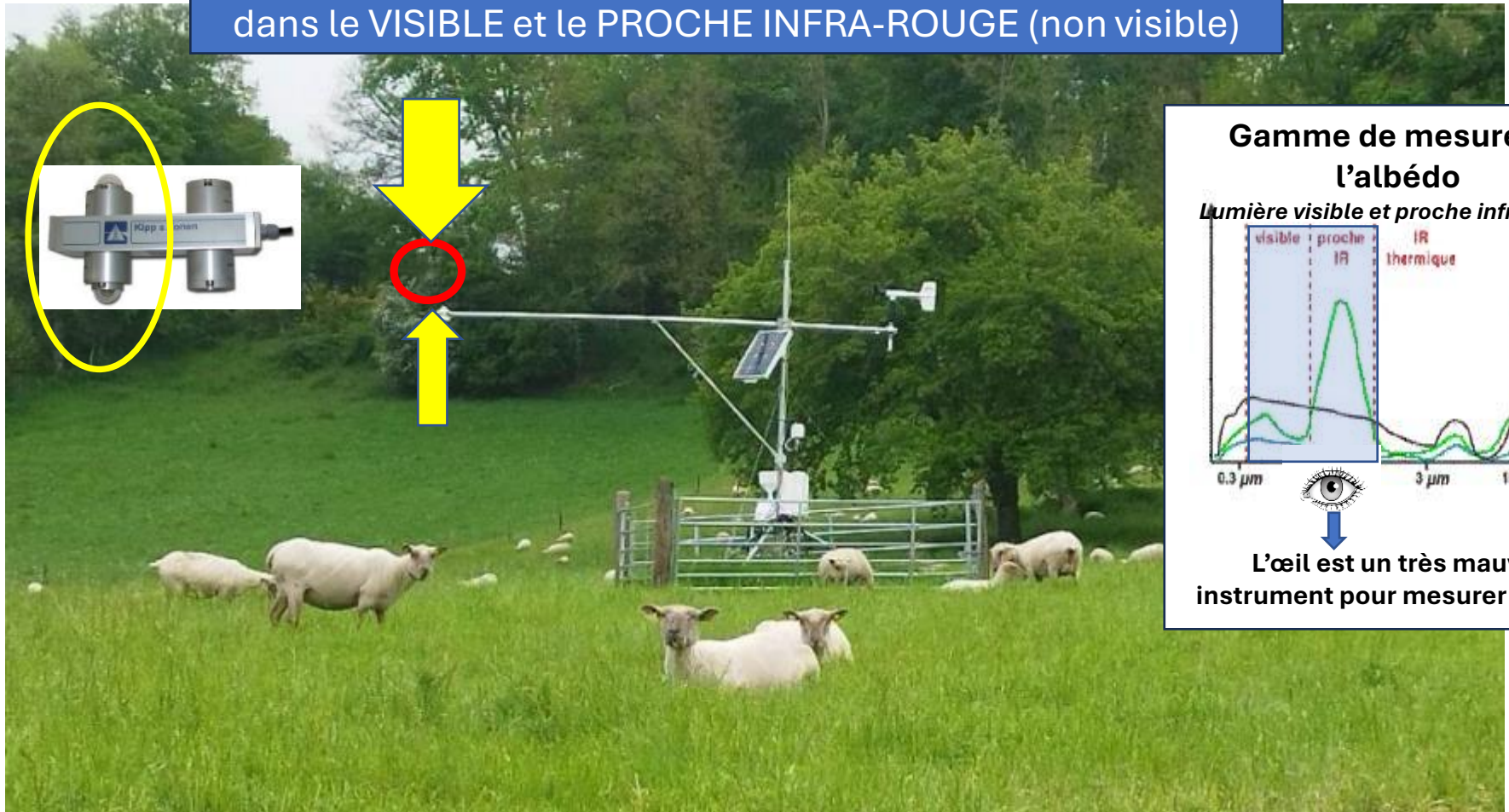
- Pouvez vous classer ces photos par niveau d'albédo croissant?
 - $A > B > C$?
 - $C > B > A$?
 - Autre classement?



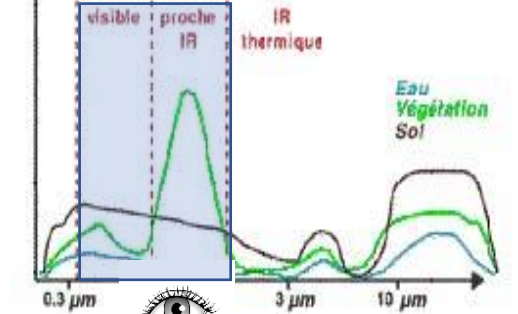
$\alpha_A = \alpha_B = \alpha_C = 0,23$: c'est la même chose
Ne pas se fier aux apparences!

Pourquoi n'êtes vous pas un bon albedomètre?

L'albédo se mesure
dans le VISIBLE et le PROCHE INFRA-ROUGE (non visible)



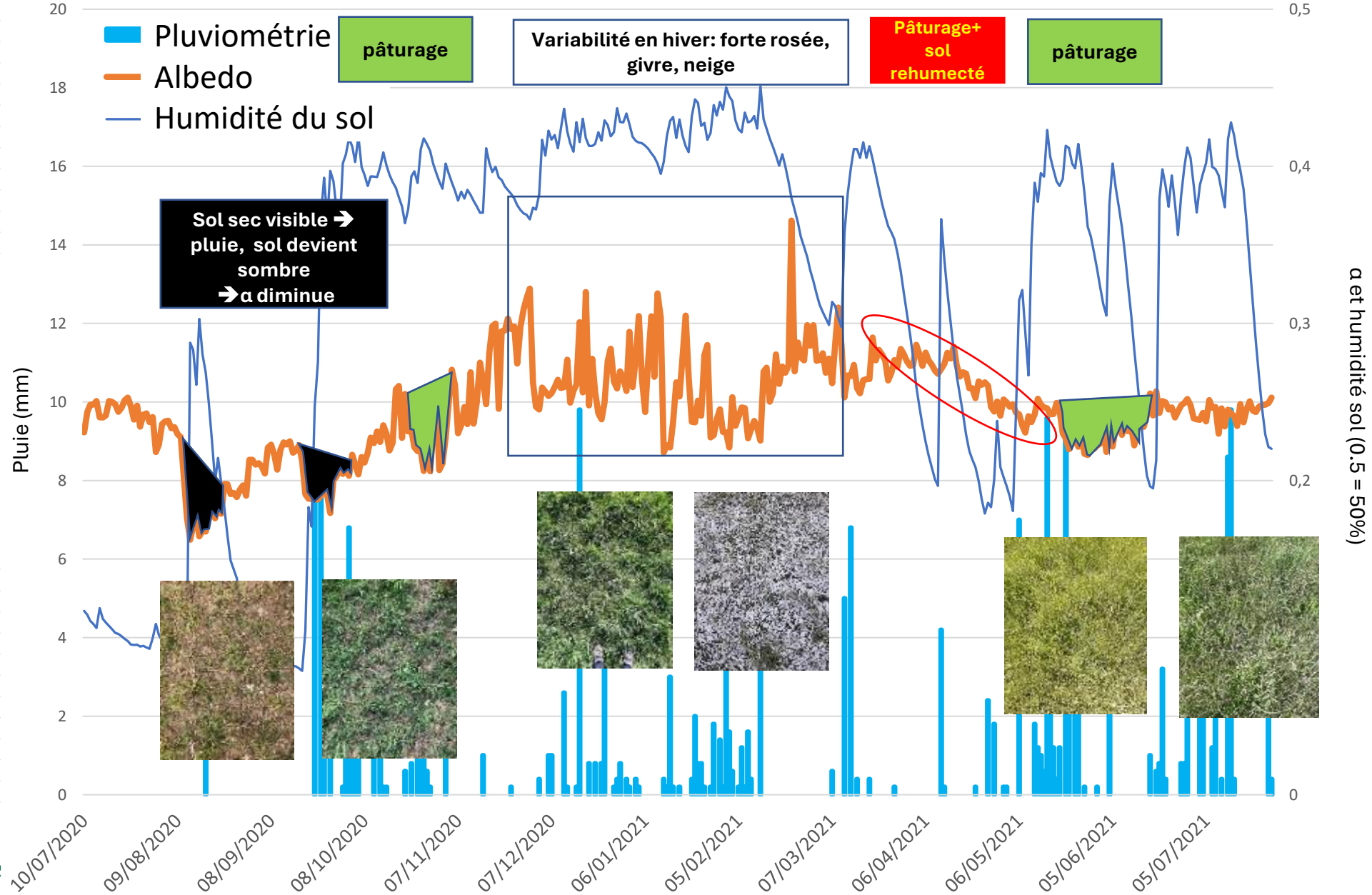
**Gamme de mesure de
l'albédo**
Lumière visible et proche infra-rouge



L'œil est un très mauvais
instrument pour mesurer l'albédo

Estimer l'albédo avec
sa vision?
Mon œil!

Quel effet des pratiques sur l'albédo des prairies ?



L'albédo n'est pas constant toute l'année, plusieurs choses peuvent le faire varier

(Ciirpo)

Quel est l'effet d'une prairie sur le climat?

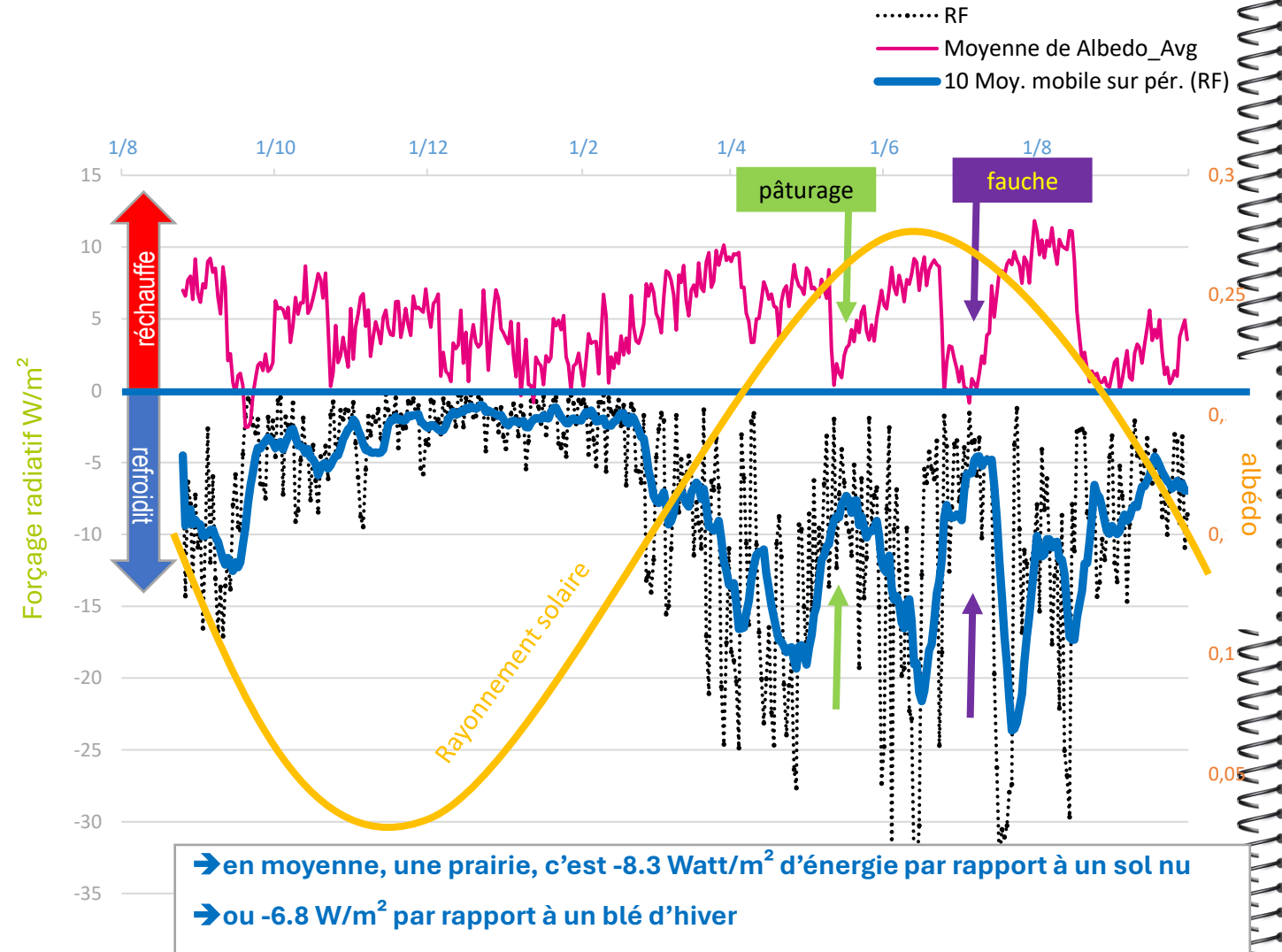
- La prairie:

- a un effet refroidissant sur le climat (forçage radiatif < 0)
- fauche et pâturage réduisent transitoirement cet effet
- Un chargement élevé et une fauche rase réduisent plus fortement

En été, priorité à un albédo élevé!

- L'effet refroidissant:

- est présent toute l'année
- mais plus important au printemps et en été parce qu'il y a plus de rayonnement solaire
- car la végétation renvoie + d'énergie solaire dans l'espace



C'est important cet effet refroidissant?

- Notre planète qui se réchauffe de 2°C en moyenne, c'est +4,5 Watt/m² d'énergie retenue par les gaz à effet de serre
- Imaginons un grille-pain d'une puissance de 1000 Watt: +4,5W/m² = 45 grille-pain/ha

C'est chaud!



- Soit à l'échelle de la Terre, 2295 milliards de grille pain pour 510 millions de km²
- Remplacer par exemple un sol nu par une prairie c'est comme éteindre 85 grille pain par hectare! (et inversement)



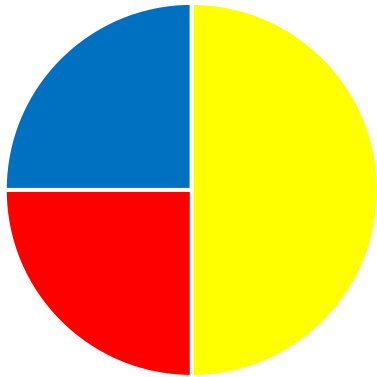
Oui, c'est important

Quel effet à l'échelle d'une exploitation agricole ?

Effet de la prairie dans un assolement, comparaison de systèmes:

- +10% d'herbe dans l'assolement...
- c'est comme si on enlevait $\approx 150\text{kg}$ équivalents $\text{CO}_2/\text{ha}/\text{an}$

Assolement 0% herbe



■ blé ■ maïs ■ colza

albédo

$\alpha = 0.164$

Forçage
radiatif

0
(référence)

Assolement 33% herbe



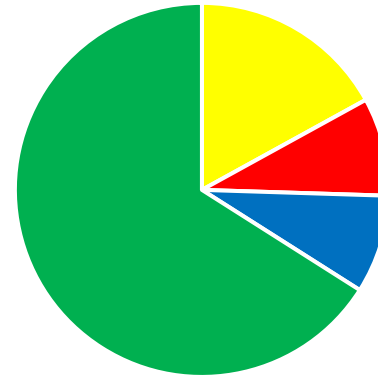
■ blé ■ maïs ■ colza ■ herbe

$\alpha = 0.191$

$-2.2\text{W}/\text{m}^2$

-482 kg
 $\text{eqCO}_2/\text{ha}/\text{an}$

Assolement 66% herbe



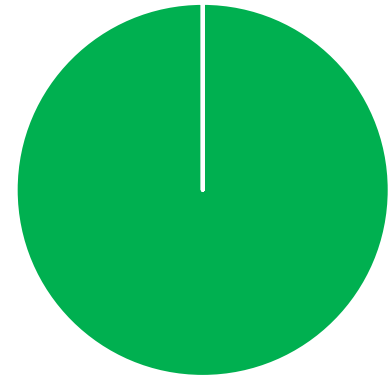
■ blé ■ maïs ■ colza ■ herbe

$\alpha = 0.219$

$-4.5\text{W}/\text{m}^2$

-482 kg
 $\text{eqCO}_2/\text{ha}/\text{an}$

Assolement 100% herbe



■ herbe

$\alpha = 0.246$

$-6.7\text{W}/\text{m}^2$

-482 kg
 $\text{eqCO}_2/\text{ha}/\text{an}$

Le projet ALBAATRE-Systèmes

L'ALBédo, un moyen pour Atténuer et s'AdapTer au REchauffement climatique grâce à des Systèmes de culture fourragers destinés à l'élevage des ruminants

- Acquérir des connaissances nouvelles sur
 - les dynamiques des processus biogéophysiques sur des systèmes fourragers, afin de compléter les acquis existant en cultures de vente et en prairies
 - l'identification des espèces prairiales les plus réfléchissantes en vue de reconstituer l'albédo de prairies multi-espèces.
- Co-construire de nouveaux systèmes fourragers résilients intégrant les enjeux d'adaptation au CC et d'atténuation.
- Evaluer via la modélisation et la télédétection l'impact climatique territorial des changements d'usage des sols liés aux systèmes de cultures co-construits.
- Produire un outil de calcul rapide d'albédo en ferme à des fins de conseil



Projet porté par



En partenariat avec



Étude réalisée avec la contribution financière du Compte d'Affectation Spéciale « Développement Agricole et Rural » du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, projet CASDAR IP n°19 ART 385665 - ALBEDO-prairies, pilotée par l'Institut de l'Élevage.

Pour mesurer l'effet refroidissant d'une ferme, il faut des mesures de terrain

- 2020-2023: références en prairie
 - Mesures sur 7 sites (dont 1 INRAE)
 - 3 années contrastées (2021-22-23)
 - 21 situations
- 2024-2027: références nouvelles plantes
 - Fourrages: maïs, sorgho, colza fourrager, méteil récolté en vert
 - Concentrés: féverole, blé, triticales+pois
 - Et+ encore: chaumes, repousses, sol nu

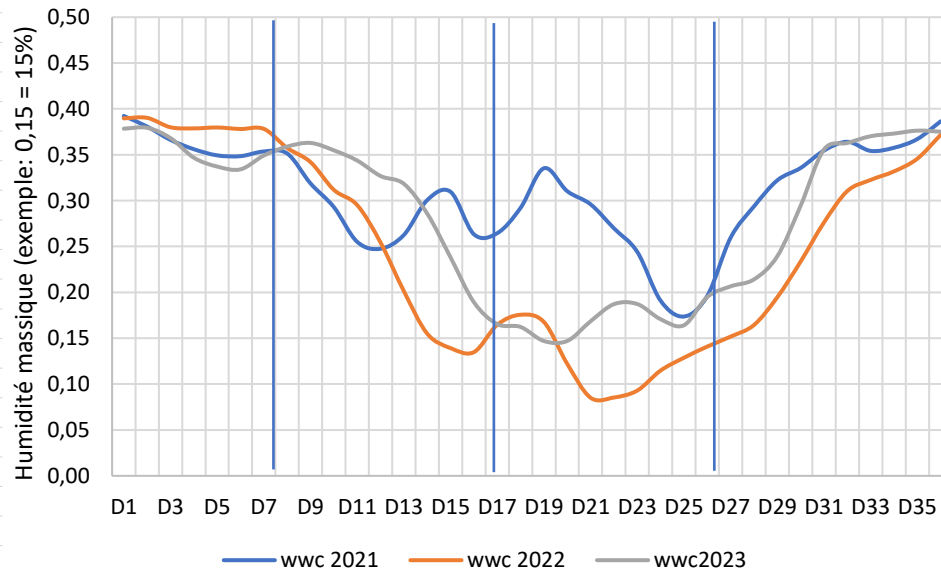


Produire de la
donnée, c'est être plus
précis et fiable

Des mesures réalisées en conditions météo contrastées

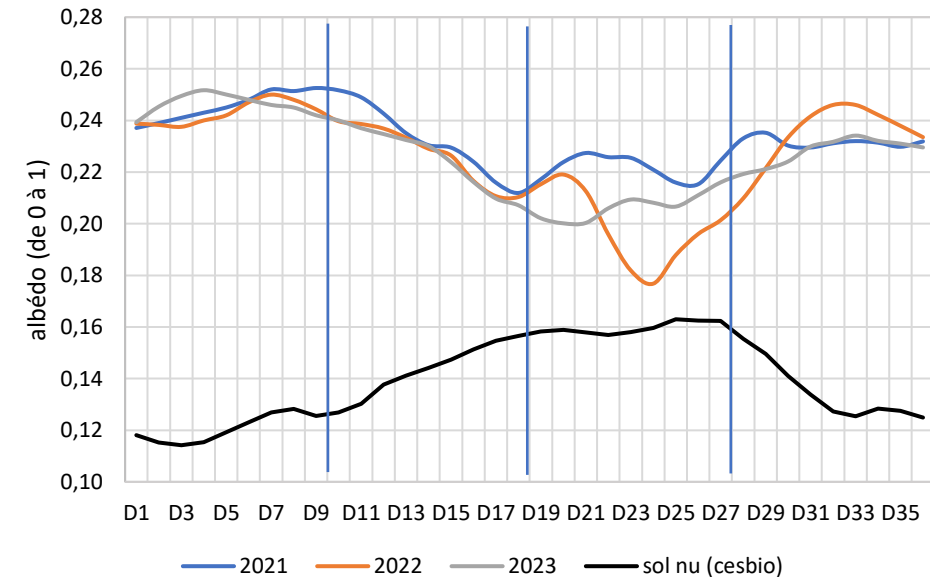
- 2021-23: 3 années météo contrastées en prairie
 - 2021: douce et humide
 - 2022: chaude et sèche
 - 2023: chaude et humide
- 2021-23: des variations différentes d'albédo
 - 2021: année où la baisse estivale d'albédo est la plus faible
 - 2022: forte baisse estivale d'albédo en lien avec la sécheresse
 - 2023: situation intermédiaire

Humidité massique moyenne du sol des 7 prairies étudiées (sur 12 cm de sol)



Avec la sécheresse l'albédo des prairies baisse, mais reste malgré tout à un niveau relativement élevé

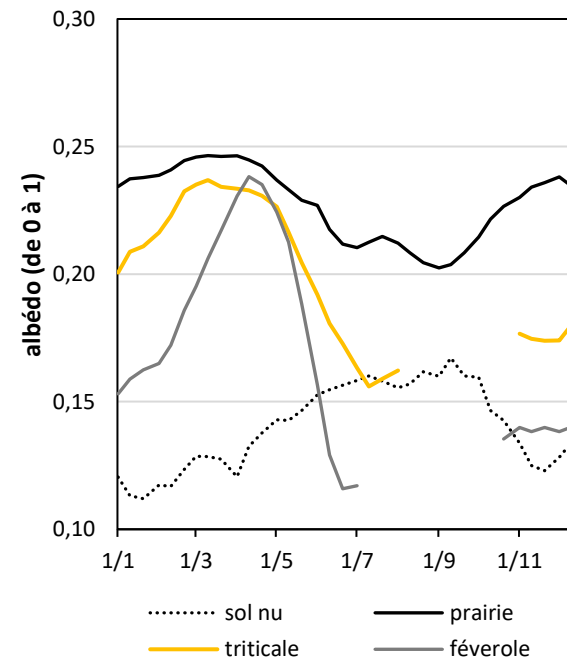
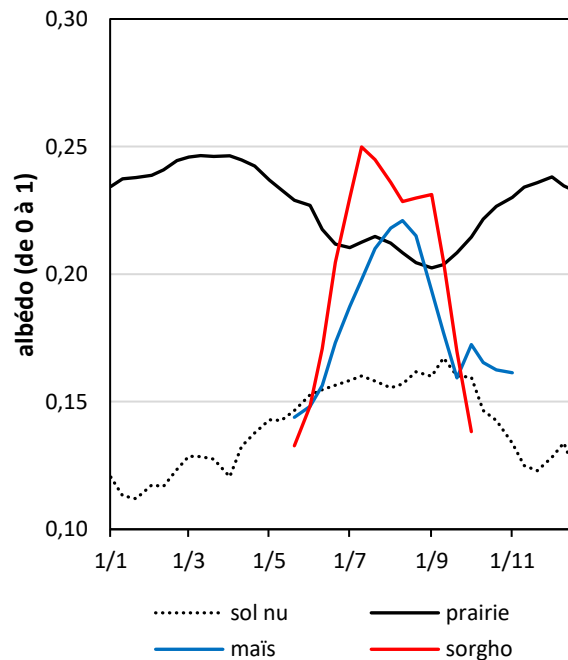
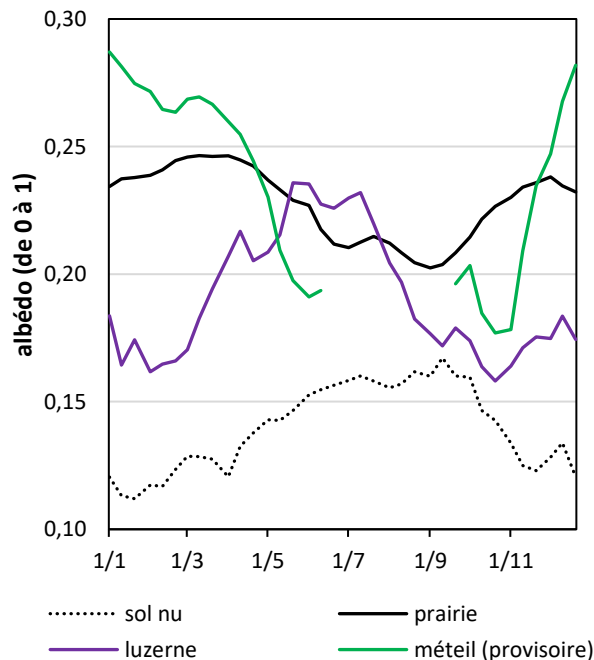
Albédo moyen de 7 prairies françaises de 2021 à 2023



Des mesures d'albédo sur plusieurs espèces végétales

- 2024-27: de nouvelles références sur une diversité de plantes
 - Fourrage à couvert « permanent »: 2 années de Luzerne, 1 méteil récolte en vert
 - Fourrages annuels: 3 situations maïs, 1 sorgho multi-coupe,
 - Cultures annuelles 2 situations en blé d'hiver, 1 féverole d'hiver

- La prairie est en tête de classement, en moyenne annuelle,
- Surtout si on tient compte de la nécessité de maximiser l'effet albédo de mars à septembre pour un effet refroidissant plus important, en raison du rayonnement solaire plus important.
- Sorgho et luzerne présentent un intérêt pendant cette période grâce à leur albédo estival élevé (mais ne dure pas)
- Cependant, ne pas oublier que la mise en place d'un couvert intermédiaire pour éviter un sol nu/mal couvert à cette période est un atout (moutarde, colza fourrager, sorgho entre 2 prairies, ...)



Des mesures servant à imaginer des systèmes à la fois adaptés au changement climatique tout en l'atténuant

Co-conception de nouveaux systèmes avec des agriculteurs, des conseillers agricoles, ...

Atelier 1 (2024)

- Partage d'informations : albedo, changement climatique, leviers d'action...
- Conséquences du changement climatique pour les fermes laitières de la région
- Identification avec les participants de leviers d'adaptation
- choix de leviers

Modélisation

- Cas d'étude inspiré d'une ferme, ici Trévarez
- Calibration dans une année climatique « moyenne » (2024) : équilibre entre la production des surfaces et les besoins des animaux ; calcul de l'albédo
- Projection dans une année de sécheresse (2025) : mise en évidence du déficit
- Intégration de leviers d'adaptation pour limiter le déficit ; calcul de l'albédo du nouveau système

Atelier 2 (2025)

- Présentation des résultats
- Discussion pour valider les choix réalisés
- Évaluation du nouveau système



Des mesures servant à imaginer des systèmes à la fois adaptés au changement climatique tout en l'atténuant

Co-conception de nouveaux systèmes avec des agriculteurs

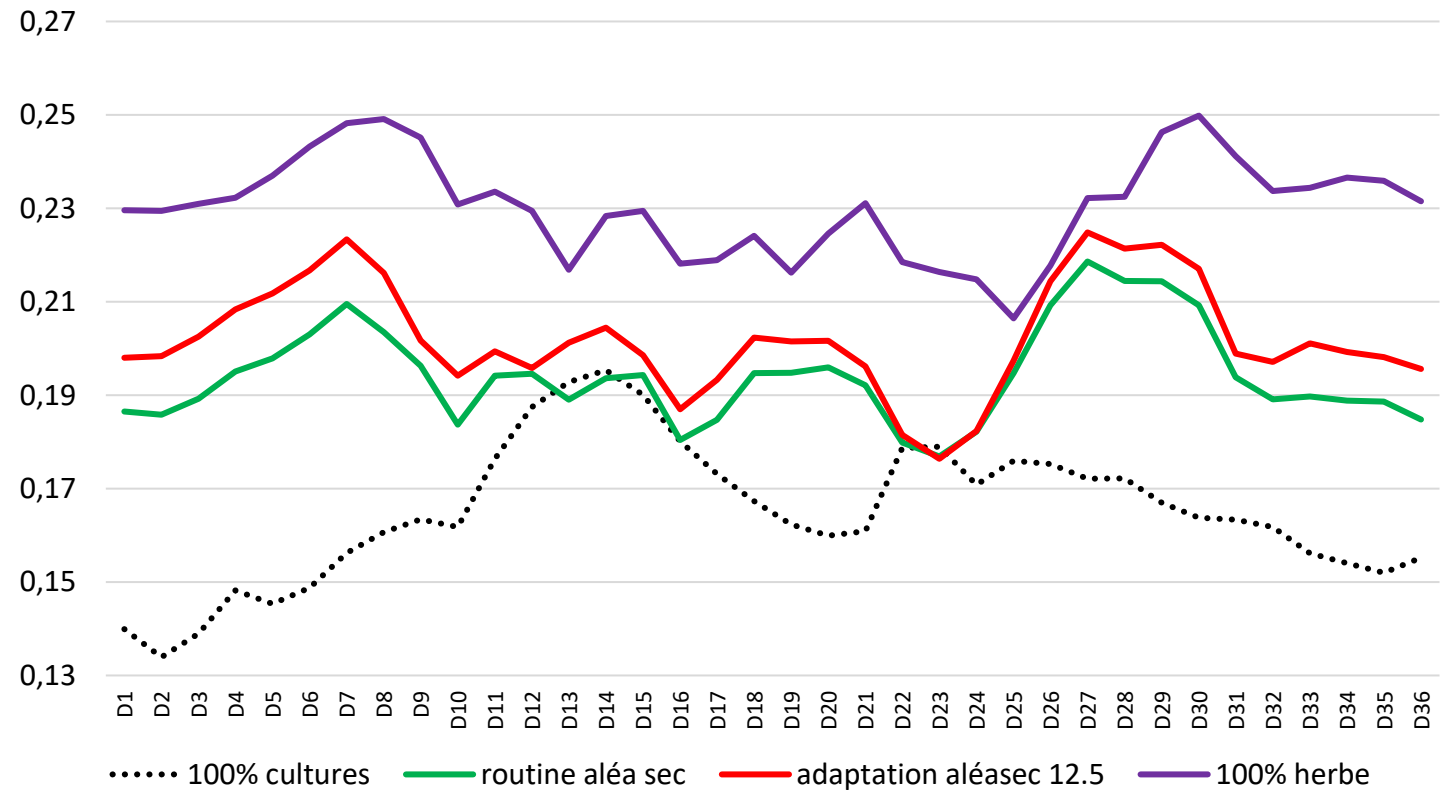
- Le système en routine « Finistère » avec aléa
 - 57% prairies
 - Le reste: blé (8.1%), maïs (34.4%)
- Le système adapté à l'aléa
 - +12.5 ha herbe
 - 12,5 ha maïs
 - Modification de la ration en hiver sur le troupeau principal : 20% maïs / 80% ensilage

On éteint 6 grilles pain par hectare sur la SAU totale, ce n'est pas négligeable ramené à l'échelle de la France.

Résultat: une hausse d'albédo

- ✓ Un système dont l'albédo est moyen
- ✓ +4% lié à l'ajout de prairies
- ✓ Gain d'effet refroidissant significatif $-0,65\text{W/m}^2$, soit $-137\text{ kg équivalent CO}_2/\text{ha/an}$

Albédo , ferme laitière Finistère (routine, aléa sec)



$\alpha = 0.165$

$\alpha = 0.194$

$\alpha = 0.202$

$\alpha = 0.23$

Des mesures servant à imaginer des systèmes à la fois adaptés au changement climatique tout en l'atténuant

Effet albédo des rotations dans 6 fermes expérimentales (résultats provisoires)

ferme	2021	2022	2023	2024	2025	2026	Albédo moyen	Forçage radiatif (W/m²)	Durée prairie (sur 6 ans)
Trévarez	Prairie	Prairie	Prairie	Maïs	Maïs→Blé	Blé	0,203	≈-3,52	≈3,3 ans
Derval	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie	Maïs→Blé	Blé	0,225	≈-5,03	≈4,3 ans
Thorigné	Prairie	Prairie	Prairie →Tri+Pois	Tri+Pois →CoF →Féverole Hiv.	Féverole hiver →Méteil Ensilé	Méteil ensilé	0,210	≈-3,58	≈2,8 ans
Mourier	Prairie I	Prairie I	Prairie I	Rénovation prairie P I→ Colza fourrager →P II	Prairie II	Prairie II	0,230	≈-5,17	≈5,7 ans
Jalogny	Prairie	Prairie	Prairie	Sorgho fourrager	RGI+TV	RGI+TV	0,210	≈-4,15	≈5,5 ans
Pradel	Prairie	Prairie	Prairie	Prairie→Luzerne	Luzerne	Luzerne	0,202	≈-3,41	≈3 ans
Rotation de référence	Maïs	Blé	Colza	Blé	Féverole	Blé	0,164	0 (référence)	0

Résultat:

- ✓ Une part d’herbe importante favorise un albédo élevé et un effet refroidissant plus important
- ✓ Un petit écart d’albédo peut faire une grosse différence d’effet refroidissant

En équivalents CO2, c'est entre -600 et -1000 kgéqCO2/ha/an. (résultats provisoires qui seront consolidés fin 2026).

Que peut-on déjà tirer de ces travaux?



- L'herbe c'est bien:
 - il faut la maintenir le plus possible parce qu'elle couvre le sol, généralement plus sombre toute l'année
 - elle stocke du carbone dans le sol et en plus elle renvoie vers l'espace une partie de l'énergie solaire
- Couvrir le sol est d'une manière générale pertinent pour atténuer le changement climatique:
 - Les couverts en interculture sont à favoriser pour leur gain d'albédo, le stockage de carbone et l'aliment qu'ils fournissent
 - Maintenir de la végétation permet aussi de favoriser une évapotranspiration, qui elle-même peut avoir un effet refroidissant (mais local)
- Le sorgho multi-coupe, le luzerne, le colza fourrager grâce à leur développement végétatif important sont de bons candidats pour un albédo élevé en été
- Il existe d'autres pistes à explorer:
 - L'effet variétal en cultures: en blé, il existe des écarts de 20% d'albédo entre variétés
 - L'effet espèce dans une prairie multi-espèce: il y a des écarts entre graminées, entre légumineuses
 - Le travail du sol simplifié qui laisse davantage de résidus en surface, avec un albédo plus élevé

Pour tout savoir:
rendez vous à la MNE
à Paris le 10/06/27
pour le séminaire
final du projet



Merci de votre attention

Retrouvez les diaporamas de nos conférences
sur **idele.fr**



Venez échanger avec nos ingénieurs
sur notre
stand B08 (Hall 6)

