

MARS 12-14

LES JOURNÉES DE PRINTEMPS

**ESA D'ANGERS,
55 RUE RABELAIS**



Association Francophone pour
les Prairies et les Fourrages



Titre de la session

Président(e) de session



Association Francophone pour
les Prairies et les Fourrages

MARS
12-14

LES JOURNÉES DE PRINTEMPS

ESA D'ANGERS,
55 RUE RABELAIS

<https://afpf-asso.fr/journees-de-printemps-2024>

L'albédo (α) des prairies:

un atout en plus des prairies dans l'atténuation du changement climatique

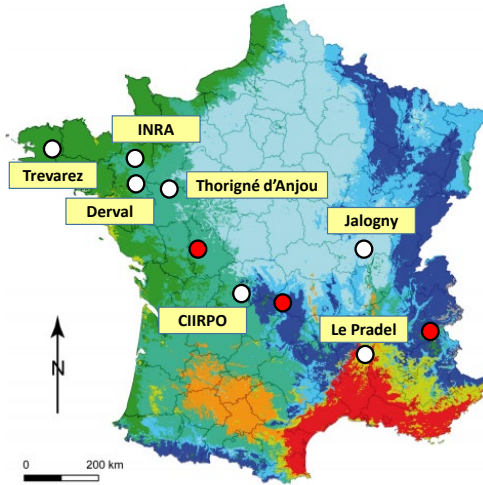
Pierre Mischler, Institut de
l'élevage



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?**

Le projet Casdar RT Albédo-Prairies: objectifs



- Un réseau de mesures d'albédo dédié à la prairie
- Un partenariat recherche–développement - formation

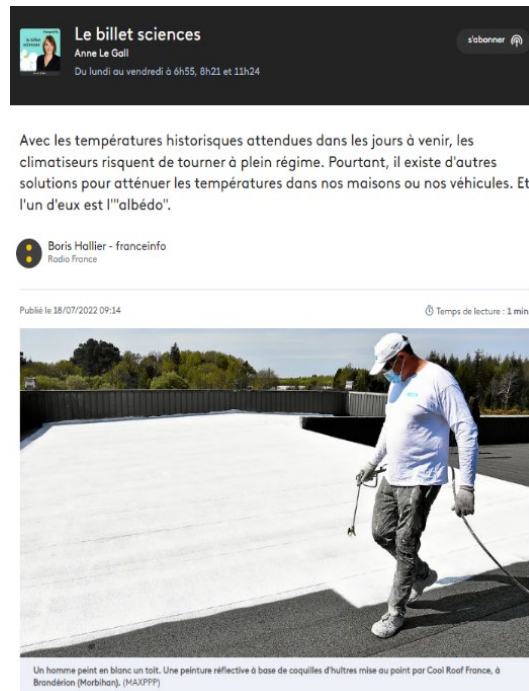


Dans un contexte de changement climatique (CC): nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), de séquestrer du carbone dans le sol...l'effet albédo, est un autre levier d'atténuation du CC.

- Mieux caractériser la variabilité spatio-temporelle de **l'albédo** des prairies en France, pour différentes modalités de gestion et de situations pédoclimatiques.
- Identifier et quantifier des leviers d'augmentation de l' α dans un but d'atténuation du changement climatique, de la parcelle aux territoires.
- Analyse des effets de l' α , comparés aux autres piliers de l'atténuation du changement climatique : le stockage de C et la réduction de GES.
- *Potentiellement, renforcer les arguments en faveur d'un élevage herbivore durable qui repose sur une utilisation optimale des prairies.*

L'albédo (α) ...un levier d'atténuation plutôt mal connu

- Mis en avant pendant les récentes canicules,
- Des reportages à ce sujet dans les médias



Le projet Casdar Albédo-Prairies: objectifs

L'albédo (α), c'est quoi?

- C'est le % de lumière solaire réfléchi par une surface, quelle qu'elle soit (valeur entre 0 et 1)

Quand l'albédo de surface augmente, cela réduit la quantité d'énergie absorbée par la surface terrestre (en Watt/m²), énergie qui permet de réchauffer l'atmosphère



- L'albédo a un rôle important sur le climat, il a déjà joué un rôle majeur par le passé (la terre « boule de neige »: *Cryogénien, Huronien, Sturtien, Marinoen*)

Leçon (très, très) rapide (et imparfaite) de climatologie

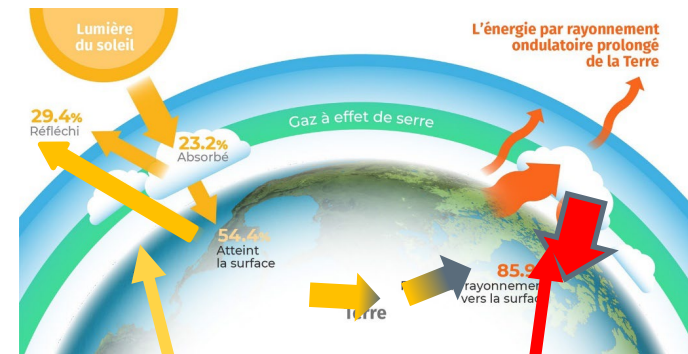
La chaleur (Infra Rouges à grande longueur d'onde) est retenue par les GES

La lumière visible et le proche infra-rouge, ne sont pas/peu retenus

- L'effet de serre généré par les GES, induit un forçage radiatif (FR) qui permet à la terre, à l'équilibre, d'avoir une température moyenne de 15°C au lieu de -18°C.
- **Les GES ajoutés par les activités humaines augmentent la quantité d'Infra-Rouges retenue dans l'atmosphère qui sont émis par la surface, ils ont un FR positif (effet réchauffant)**
- **Augmenter l'albédo réduit la quantité d'énergie qui atteint la surface, qui restitue moins d'énergie. Cela induit un FR négatif (effet refroidissant) => Effet biogéophysique**
- NB: accroître le stockage de CO₂ dans le sol retire ce GES de l'atmosphère. Cela induit un FR négatif => Effet biogéochimique

Quelle est l'importance du FR lié à l'α d'une prairie?

D'après <https://www.qcm-svt.fr/QCM/public-affichage.php?niveau=Tale-Ens-Sc&id=1324>



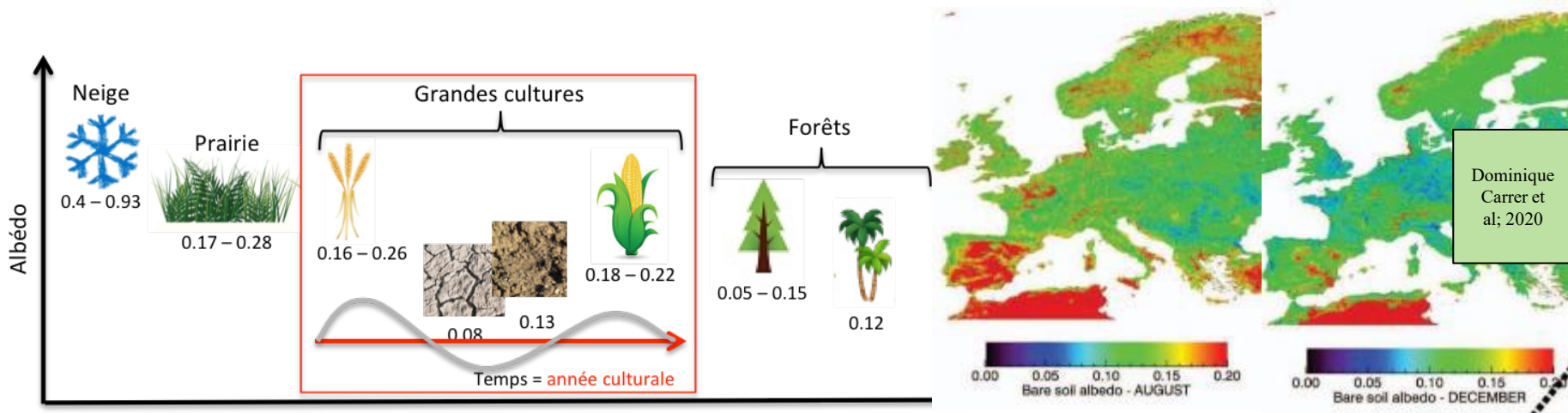
Un albédo élevé réduit la quantité d'énergie reçue à la surface
=
Effet refroidissant

Les GES empêchent la chaleur de partir
=
Ça chauffe

Le forçage radiatif représente la différence de bilan radiatif (la puissance radiative reçue et la puissance radiative émise par le système Terre) induite par un facteur climatique donné (e.g. émission de GES, changement d'occupation du sol). S'il est positif le forçage radiatif entraîne un réchauffement du système terre, s'il est négatif il entraîne un refroidissement du système terre.

L'albédo, ça peut servir à quoi?

- atténuer le changement climatique en réduisant la quantité d'énergie qui reste sur la planète, en complément du stockage de carbone dans le sol.



- Un sol nu est généralement sombre,**
 - il a un α faible, il est « réchauffant »
 - En France, il se situe souvent entre 0.10-0.15 (Carrer et al 2018)
- Un végétal a un α plus élevé, il a un effet « refroidissant », par rapport à un sol nu plus sombre**
- La prairie a un α élevé → quantifié par le projet Albédo-prairies**

Comment ça marche?

Exemple...la glace qui fond au pôle Nord



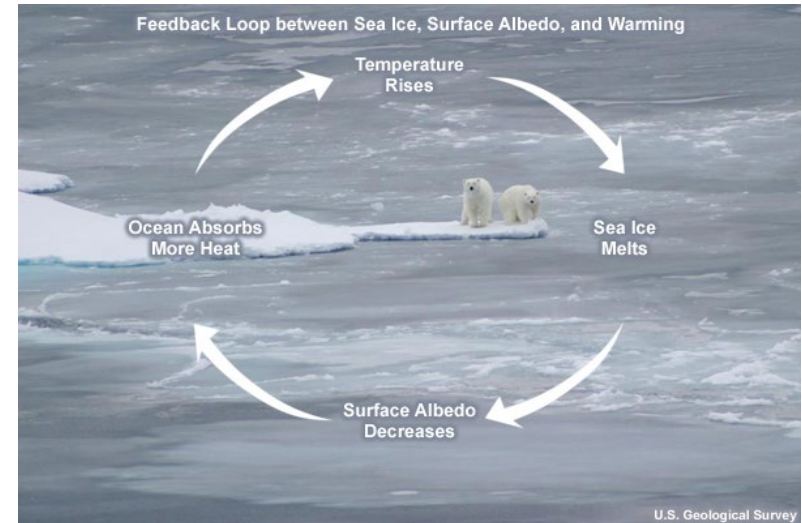
α élevé



α intermédiaire



α faible

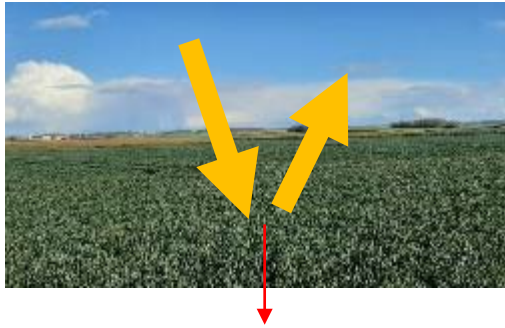


La fonte des glaces favorise l'absorption de la lumière et donc de l'énergie (et inversement)

On parle dans ce cas, de boucle de rétroaction positive
C'est-à-dire un phénomène qui s'amplifie

Comment ça marche?

Exemple...augmentation de la surface de sol nu, par « céréalisation »



α + élevé



α intermédiaire

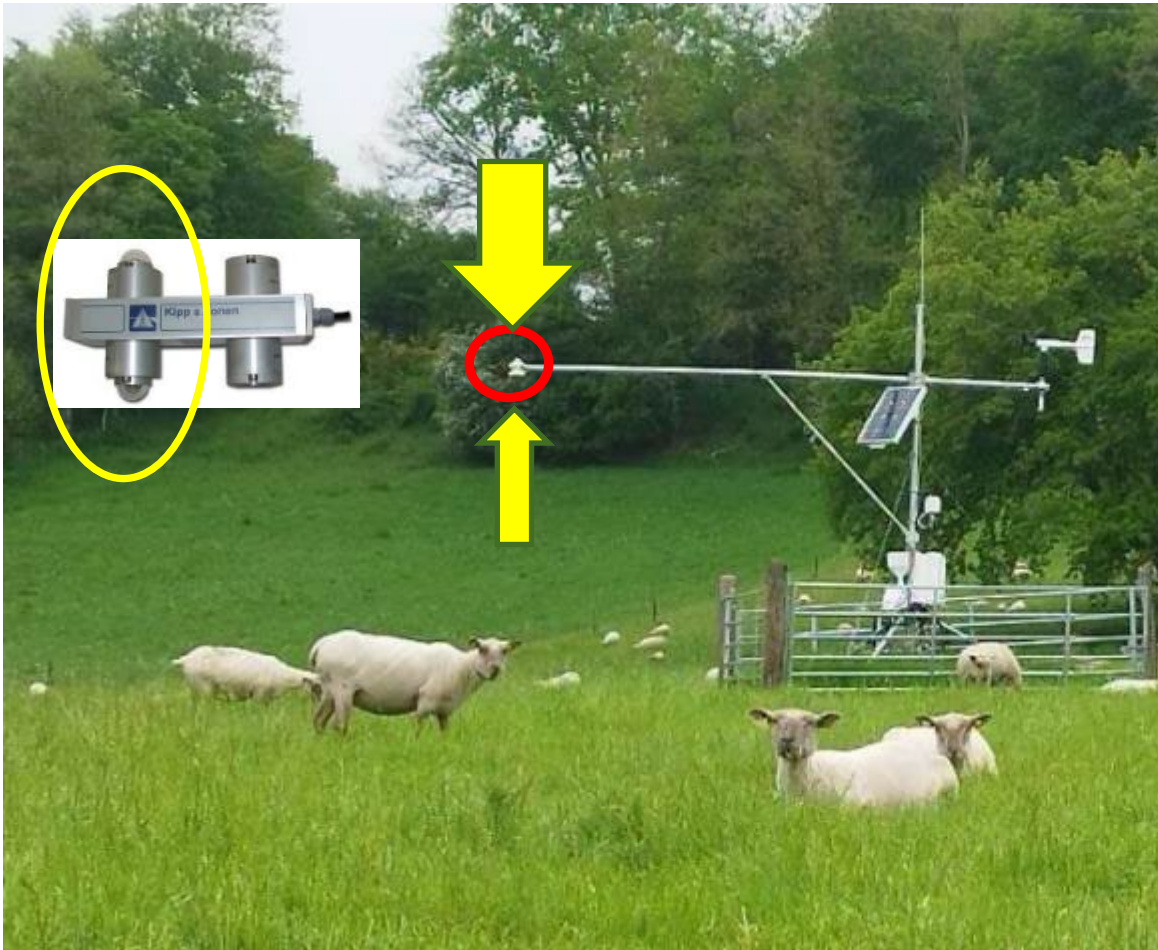


α + faible



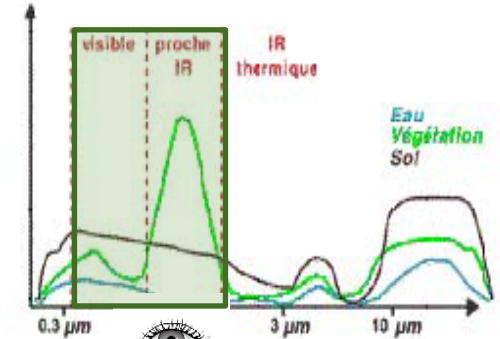
- **Application en agriculture:**
 - Augmenter l'albédo, en couvrant les sols nus, généralement sombres en France, c'est renvoyer davantage d'énergie hors du système terre
 - C'est réduire l'énergie qui reste (IR grande longueur d'onde) et qui est retenu par les GES
- Une hausse d'albédo = moins d'énergie potentiellement retenue par les GES

Comment mesure-t-on l'albédo?



Gamme de mesure de l'albédo

Lumière visible et proche infra-rouge

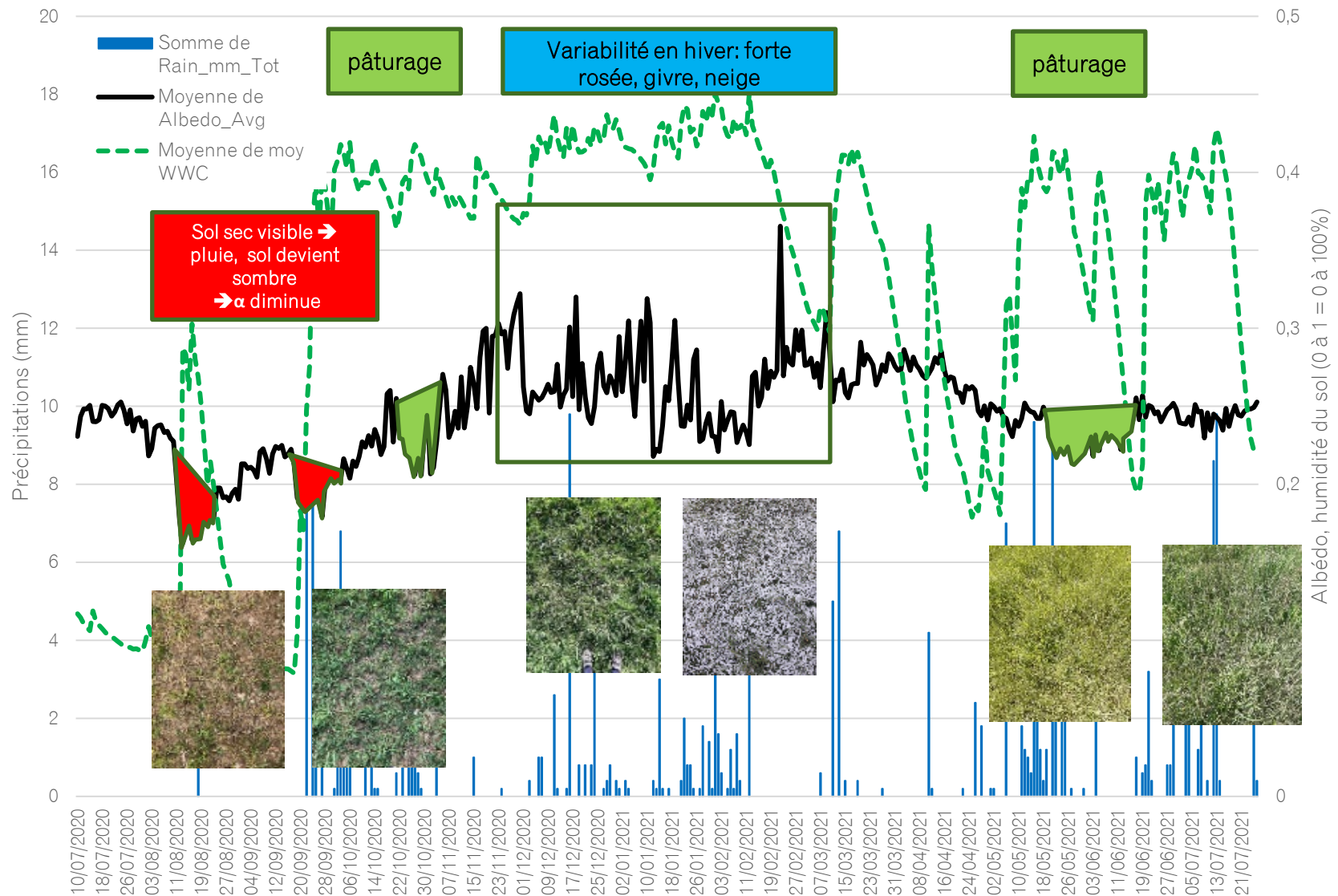


L'œil est un très mauvais instrument pour mesurer l'albédo

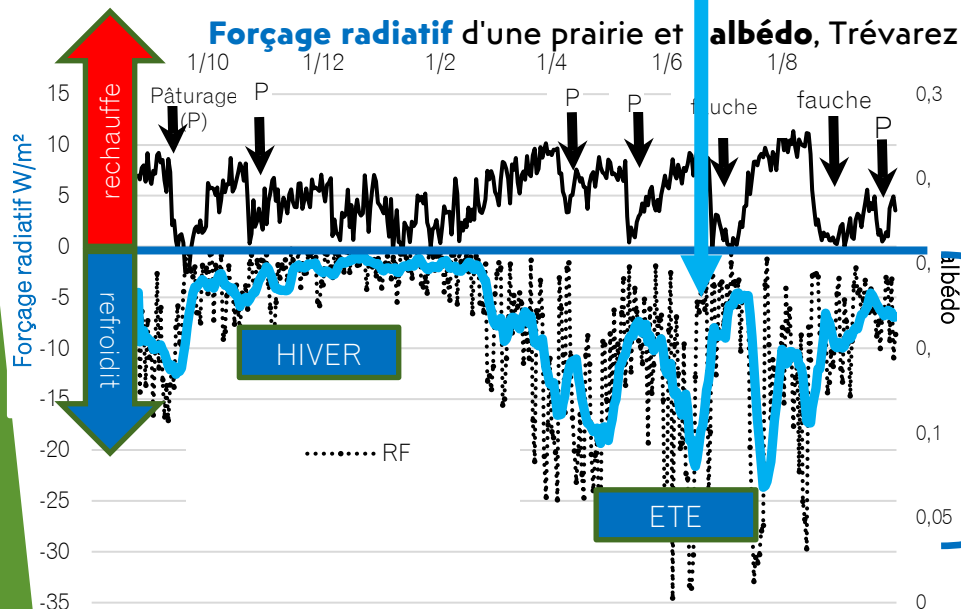
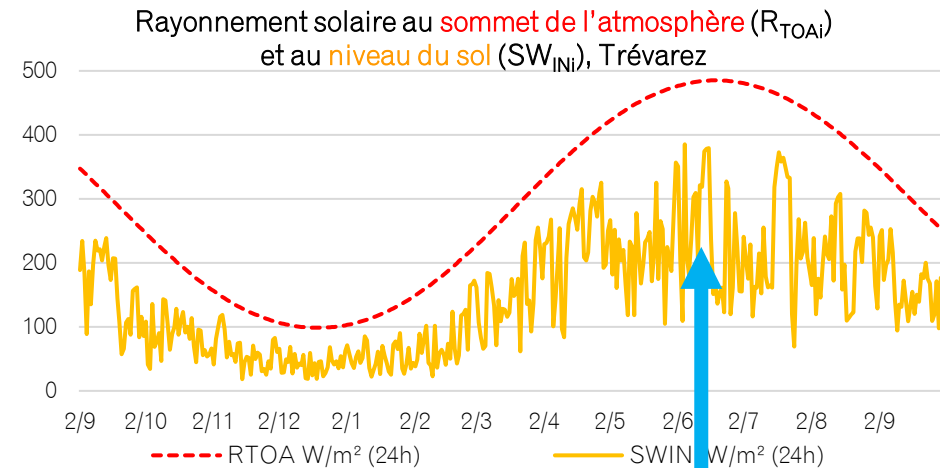
- Des mesures ont lieu chaque seconde, agrégées par période de 10 mn, soit 144 données /jour pour:
 - Albédo,
 - Rayonnement
 - T°C,
 - HR%
 - Humidité massique sol (%)
- Les 144 données/j sont moyennées pour avoir une donnée d'α journalière

Comment quantifier les variations d'albédo ?

(ex: site du Mourier)



La prairie a-t-elle un effet refroidissant sur le climat?



- **Le forçage radiatif = énergie (W/m^2), se calcule à partir**

- du rayonnement solaire,
- de la transmittance de l'air (nébulosité),
- de l' α ($\alpha_{prairie} - \alpha_{référence}$)

- **La prairie a un effet refroidissant**

- d'autant plus **important en jours longs**
- Légèrement limité par: fauche et pâture (si chargement élevé)
- Davantage limité en cas de sécheresse (2022).

**quantité d'énergie renvoyée
par rapport à un sol nu :**

-8.5 Watt/m²

-8.5 Watt/m², ça représente quoi en énergie?

(*petit calcul d'ordre de grandeur, imagé*)

- Limiter le réchauffement climatique à +2°C = +4.5W/m² d'énergie dans l'atmosphère

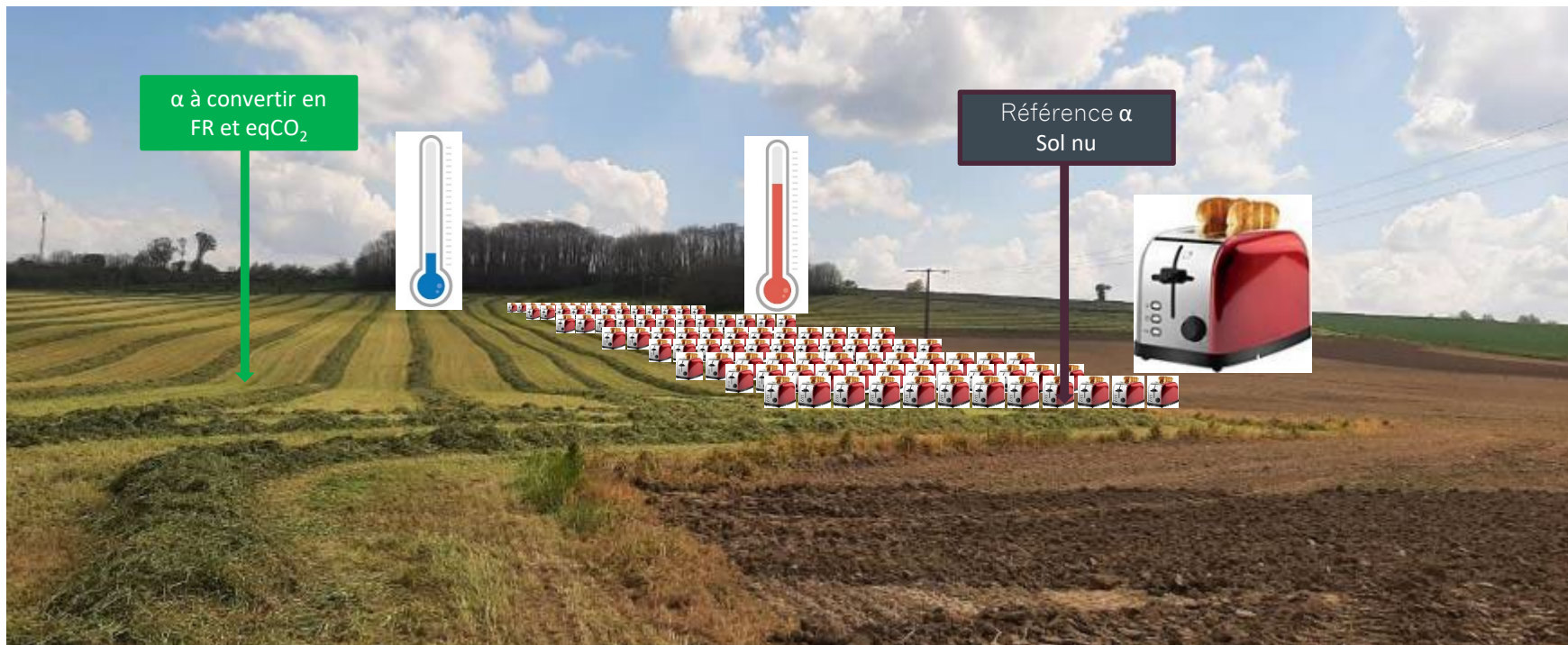
- 4.5W/m² = 45000 Watt / hectare
- Pour imaginer, prenons l'exemple d'un grille-pain de 1000 Watt



- Ramené à la surface de la Terre = 510 millions km² = **2295 milliards de grille-pain**

- 8.5 W/m², de manière imagée c'est...

Quand on passe ... d'une prairie → à un sol nu



→ comment comparer des W/m² et des équivalents CO₂?

Une 1^{ère} estimation en kg éqCO₂, de l'effet albédo d'une prairie

- Préambule: l'évolution de l'albédo d'une surface peut-être rapide: de quelques heures (retournement d'une prairie) à quelques semaines / mois (semis d'une prairie, culture, couvert)
- Il existe des méthodes de conversions complexes, dépendantes ou non du temps (Bright & Lund 2021). Une des difficultés: CO₂ = émissions locales mais impact global / émissions ponctuelles (pulse) ou cumulées, ...Albédo = effet davantage local, bien que cela puisse concerner de très grandes surfaces, impact peut être global

Dans le cas des prairies (cultures, ...) on observe une dépendance temporelle de la modification d'albédo car la variation d'albédo dépend du développement de la végétation, des pratiques... donc le FR_α varie au cours du temps. Vu que le FR_α n'est pas constant, les méthodes qui utilisent une intégration dans le temps sont à privilégier TDEE et GWP.

Selon Bright *et al.* (2016), TDEE et GWP ont des définitions et des interprétations différentes

- le GWP compare le FR d'une émission unique de CO₂ au temps initial,
- pour la TDEE, le FR est assimilé à un ensemble cumulé d'émissions de CO₂

➔ il est difficile de dire actuellement qu'une est plus correcte que l'autre.

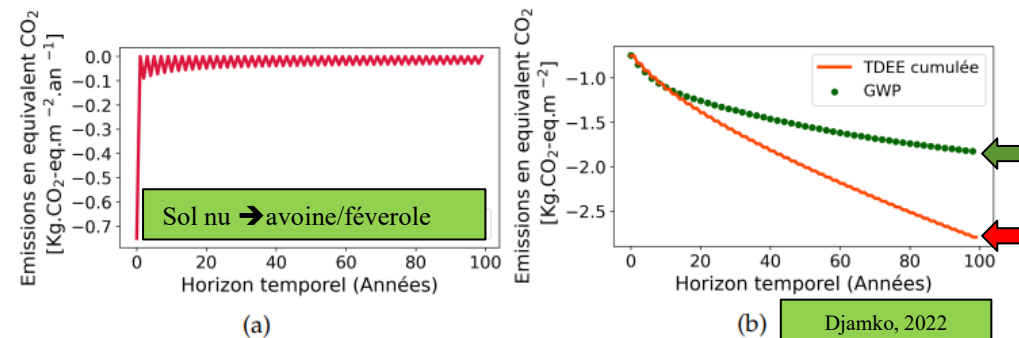
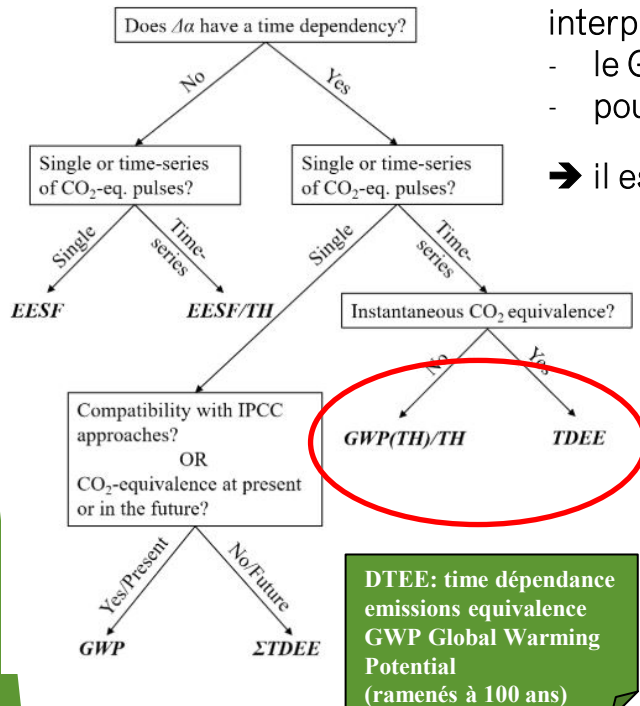


FIGURE 5.16 – TDEE : Time Dependent Equivalent Emission (a); GWP : Global Warming Potential (b). ΣTDEE : Somme cumulée de TDEE.

Une 1^{ère} estimation du FR en kg éqCO₂, de l'effet albédo d'une prairie

- Que représente l'effet α par rapport au stockage du carbone d'une prairie ?
- Nécessité pour comparer, de convertir les W/m² en équivalents CO₂.

Passage d'un blé → prairie

Référence <i>blé $\alpha=0.167$, moy annuelle</i>	Prairie / ref blé pdl	
	FR (W/m ²)	Kg eqCO ₂ /ha/an
Trévarez	-6.4	-1358
Méjusseaume	-5.5	-1167
Derval	-7.9	-1676
Thorigné	-6.1	-1295
Mourier	-9.1	-1931
Jalogny	-5.6	-1188
Pradel	-6.6	-1401

- -1400 kg éqCO₂/ha/an, par rapport à un blé d'hiver ($\alpha=0.167$)

- -1800 kg éqCO₂/ha/an, par rapport à un sol nu ($\alpha=0.150$)

NB1: en France, l'albédo des sols nus se situe généralement entre 0.10 et 0.15, sauf sols calcaires

NB2: ils sont rarement nus en permanence, c'est pourquoi une culture que remplacerait une prairie est plus réaliste pour le calcul

Estimation du FR: selon l'état d'une prairie

prairie bon état

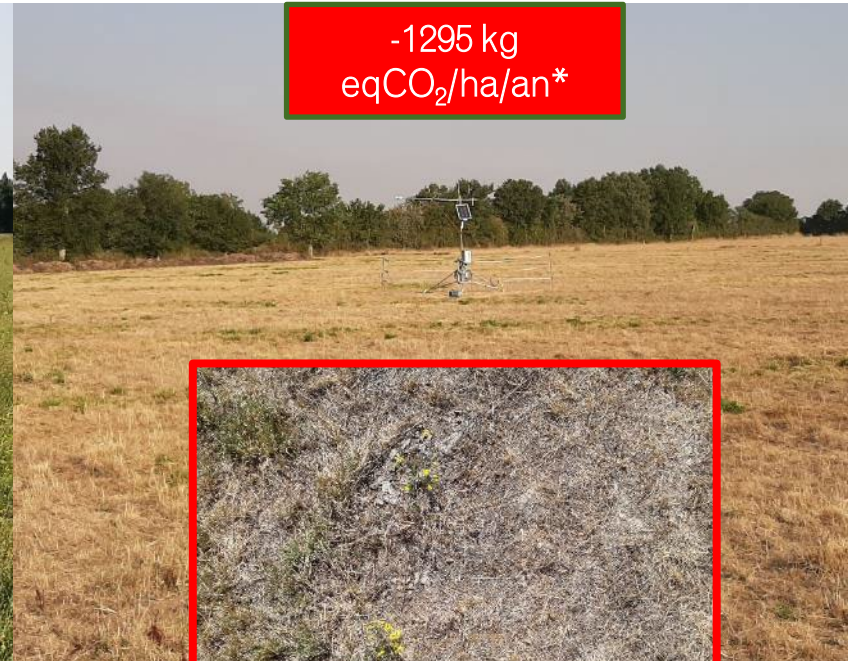
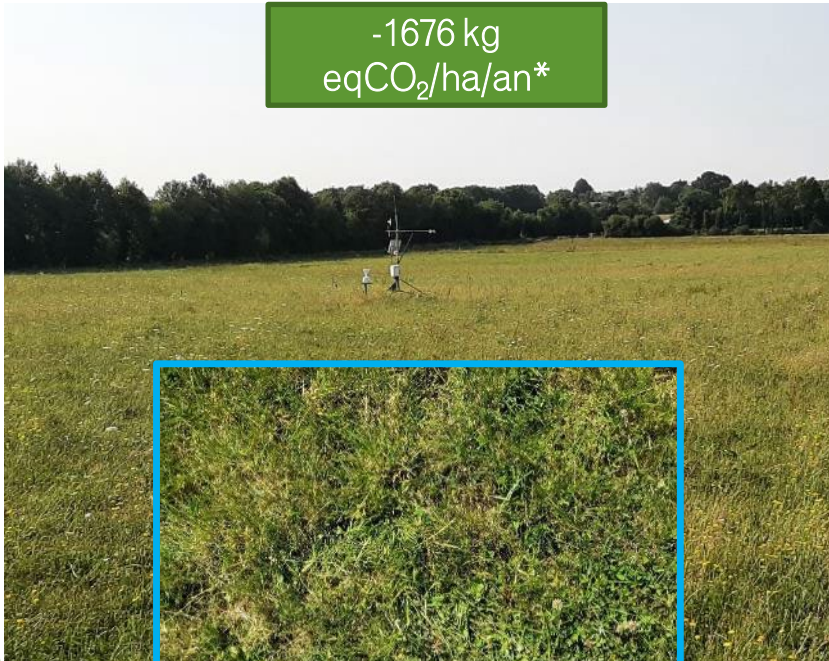
/

prairie dégradée

Sécheresse 2022

-1676 kg
eqCO₂/ha/an*

-1295 kg
eqCO₂/ha/an*



18/07/22

19/07/22



Référence**

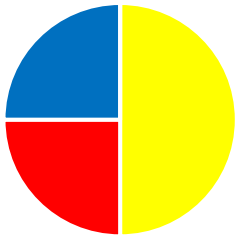
+381 kg eqCO₂/ha/an**

* Référence = albédo d'un blé d'hiver; **référence prairie « bon état »

Estimation du FR: selon la transition d'un système à l'autre

La prairie dans un assolement, comparaison de systèmes à un assolement avec 0% d'herbe

Assolement 0% herbe



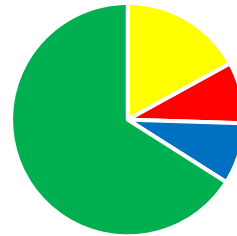
■ blé ■ maïs ■ colza

Assolement 33% herbe



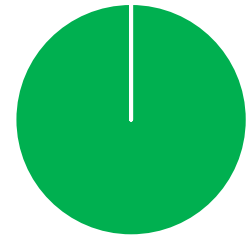
■ blé ■ maïs ■ colza ■ herbe

Assolement 66% herbe



■ blé ■ maïs ■ colza ■ herbe

Assolement 100% herbe



■ blé ■ maïs ■ colza ■ herbe

Assolement système de
référence, 0% herbe

Calcul de l'albédo de l'assolement ($\text{sim}'\alpha$) → conversion en FR → conversion en eqCO_2
(comparé au système de référence)

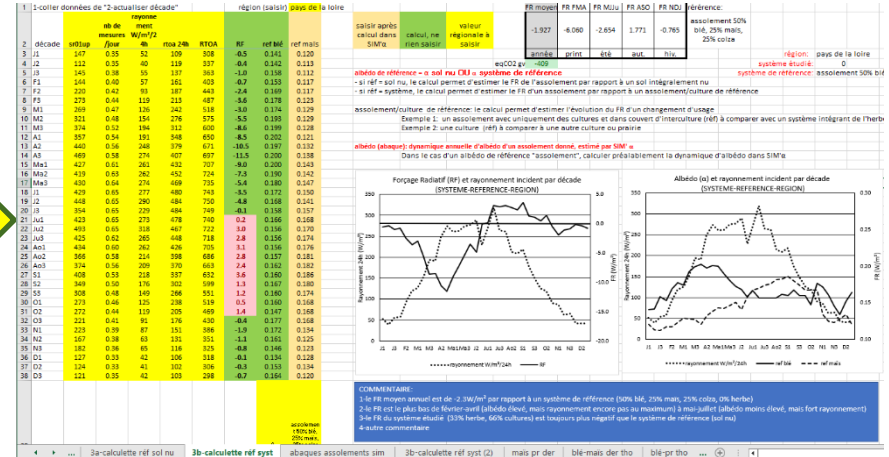
- **Modélisation avec Sim'α, d'assolements identiques pour 2 régions: Occitanie et Pays de la Loire**
- **Utilisation de courbes d'albédo des prairies adaptées à la région**
- **On évalue l'effet du changement d'usage des sols sur l'albédo (système initial → système transformé)**

Estimation du FR: calculateur Sim'α

Sim'α: calcule l'albédo d'un assolement

The screenshot shows the Excel interface for the Sim'α calculator. The 'Accueil' tab is active, displaying standard Excel ribbon options like 'Fichier', 'Accueil', 'Insertion', etc. The main data area contains a table with columns for years (from 2010 to 2020) and rows for different crops and parameters. The table is organized into sections for different crops, with some cells highlighted in green and others in orange.

Utilitaire de calcul : α en W/m^2



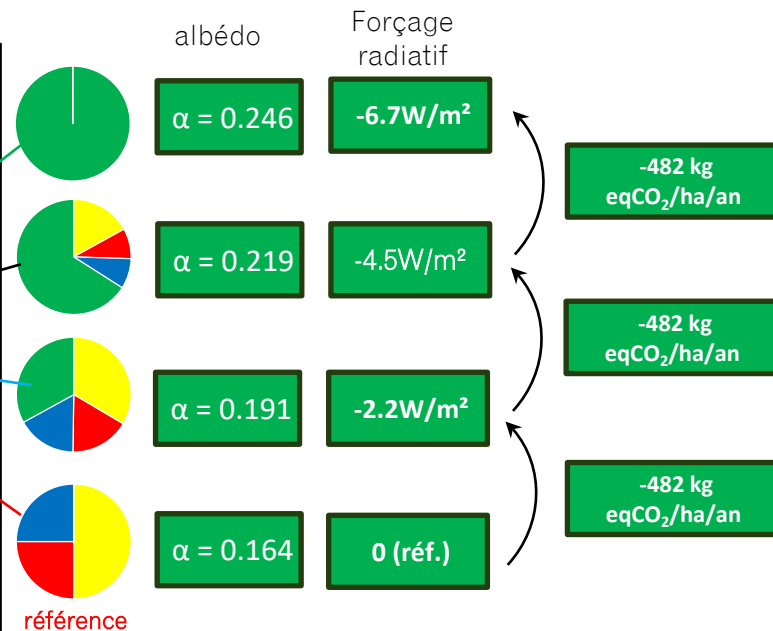
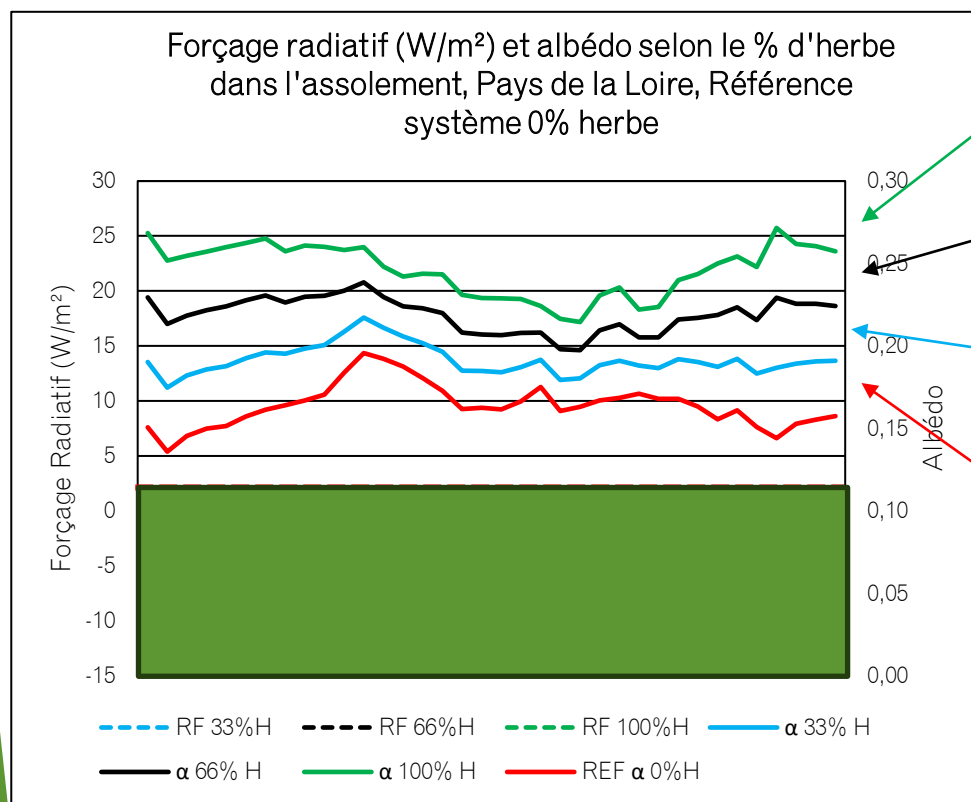
Conversion des W/m^2 en $kgeqCO_2/ha/an$

Présentation résultats GWP 100

- Beaucoup de manipulations....mais, ça permet déjà de faire certaines simulations

The screenshot shows a document titled 'CO2-eq. Characterizations of albedo changes' by Ryan M. Bright. It includes contact information and a reference to a 2016 paper. Below this, there is a table with results for different crops and parameters. The table has columns for 'Input or General Parameters', 'Temporary ΔAlbedo', and 'Permanent ΔAlbedo'. The results are presented in a table with rows for different crops and parameters, showing values for both temporary and permanent albedo changes.

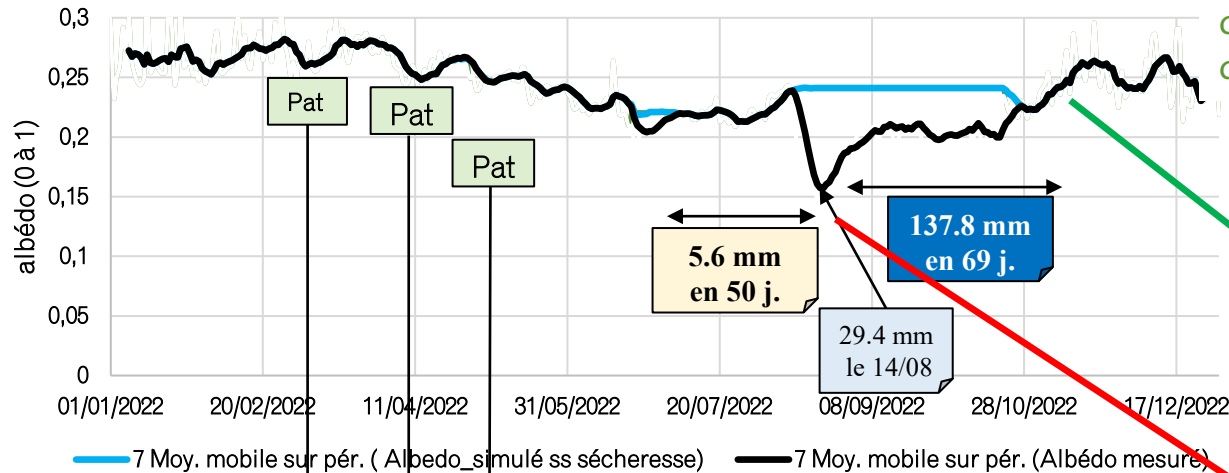
Estimation: selon la transition d'un système à l'autre



- +10% d'herbe en plus, c'est comme si l'on retirait dans cet exemple l'équivalent de -144 kg eqCO₂/ha/an

Effet de la sécheresse de 2022

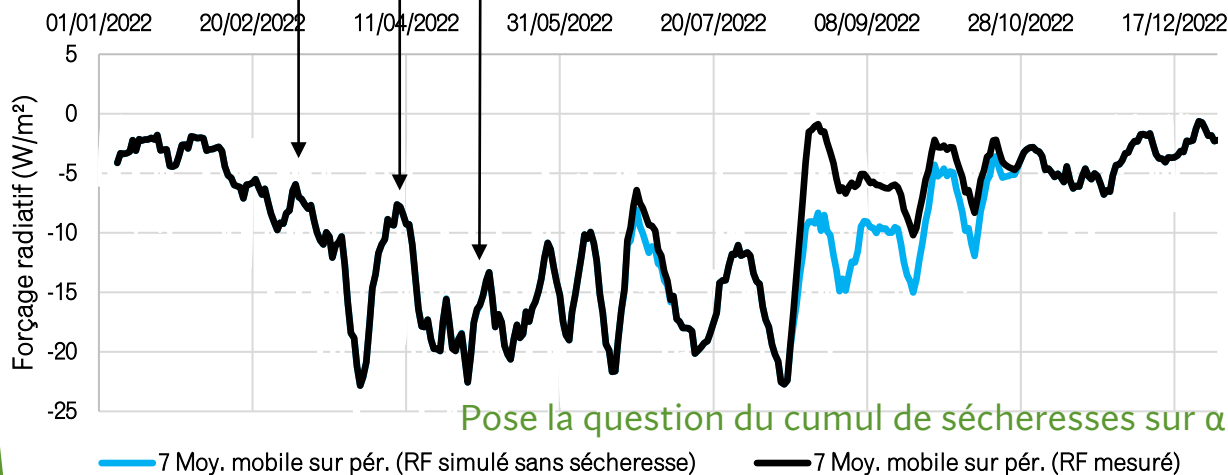
Effet de la sécheresse de 2022 sur l'albédo-Derval



Il a été observé, une forme d'effondrement de l'albédo qui duré de 1 à 2.5 mois, selon le site.



Effet de la sécheresse de 2022 sur le Forçage Radiatif - Derval



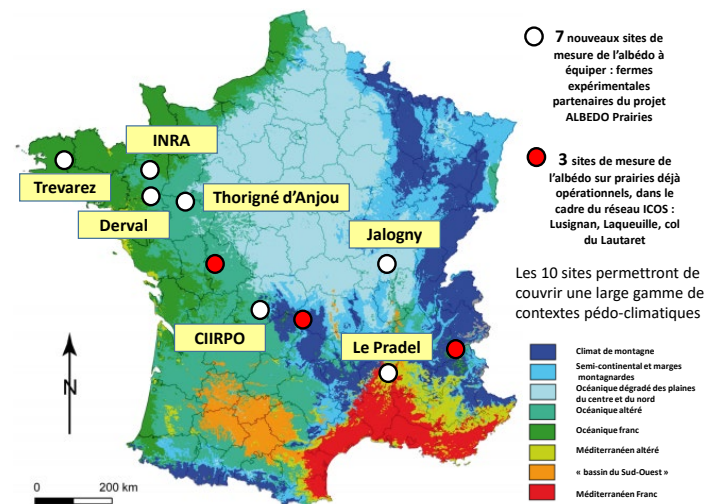
Pose la question du cumul de sécheresses sur α ?

- La prairie a un effet « refroidissant » sur le climat: FR négatif
 - ≈ -1400 kg équivalent CO₂/ha/an, si elle remplace un blé tendre d'hiver **et qu'elle reste en place**,
 - L'ordre de grandeur est comparable à la séquestration du CO₂ dans le sol, en termes de FR
- Pour bénéficier au mieux de l'effet albédo: couvrir un maximum le sol,
 - De préférence avec de l'herbe... et retourner une prairie = l'effet inverse
 - Les couverts entre 2 cultures ont aussi un effet favorable (Ceschia et al. 2017, Innovations agronomiques)
 - y éviter un surpâturage qui laisse le sol longtemps visible
 - Attention, la sécheresse abime les prairies et réduit leur effet « refroidissant »
- L'herbe dans un assolement un atout, pour atténuer le CC,
 - grâce au stockage de carbone dans le sol (ça, on le savait)
 - et l'effet albédo (maintenant, on le sait).

Une suite, mais pas que..

FAM Connaissances ALBAATRE-Systèmes: objectifs

- **Acquérir des connaissances nouvelles sur**
 - les dynamiques des processus biogéophysiques, dont l' α , de systèmes fourragers pour estimer leur impact sur le FR ;
 - de reconstituer l'albédo de prairies diversifiées à partir des réflectances de chaque espèce pour quantifier ces effets individuels en équivalents CO₂.
- **Co-construire, des systèmes fourragers intégrant les enjeux d'adaptation au changement climatique et d'atténuation**
- **Evaluer l'impact climatique territorial des changements d'usage des sols liés aux systèmes co-construits.**
- **Produire un outil de calcul rapide d'albédo (Sim' α) à des fins de conseil**
- **Communiquer activement: « tour de France » de l'albédo**



- **Partenaires** : Idele, fermes expé trevareze, mauron, derval, thornigné, ciirpo, jalogny, pradel, [inrae, cnrs, UPS toulouse = cesbio], Inrae saclay, LSCE
- **Financement** : casdar + cofinancement thèse
- **Contact Idele** : P. Mischler



Le CIIIRPO

INRAE



Merci aux partenaires du projet: *Cesbio (Inrae, CNRS, UPS-Toulouse, IRD, CNES), aux fermes expérimentales partenaires et à l'AFPF*

Ce projet a été financé par le CASDAR



Association Francophone pour
les Prairies et les Fourrages



Effet de quelques pratiques & conclusion

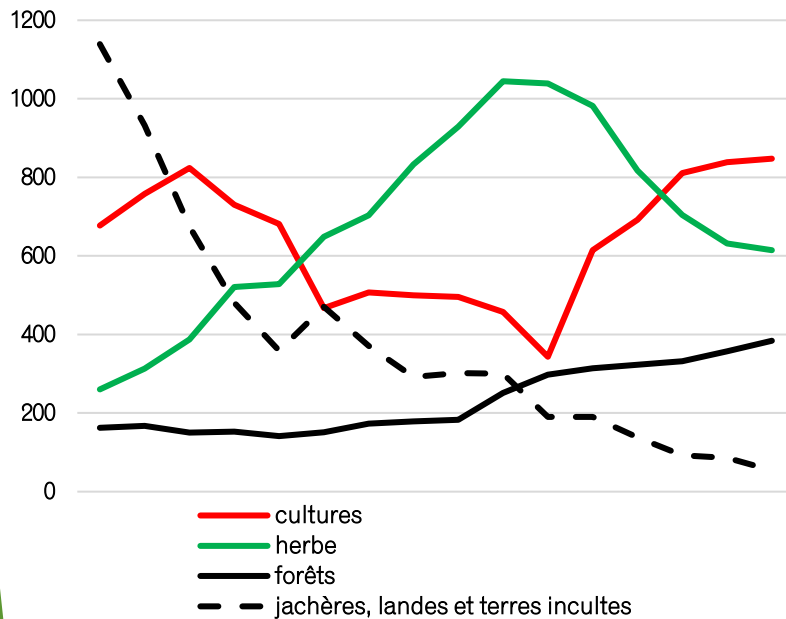
Pratique simulée (Sim'α)	Pays de la Loire	Occitanie	référence
ajouter + 10% d'herbe / SAU	- 144 kg eqCO ₂ /ha/an	-107 kg eqCO ₂ /ha/an	Système 0% herbe
culture intermédiaire partout	-49 kg eqCO ₂ /ha/an	-50 kg eqCO ₂ /ha/an	Système 0% herbe
2 pâturages (≈30-40 ugb/ha/j) + 1 fauche	+157 kgeqCO ₂ /ha/an	+146 kg eqCO ₂ /ha/an	Système 100% herbe

NB: pour un assolement avec 50% herbe: $+146 \times 50\% = +73 \text{ kg eqCO}_2/\text{ha/an}$

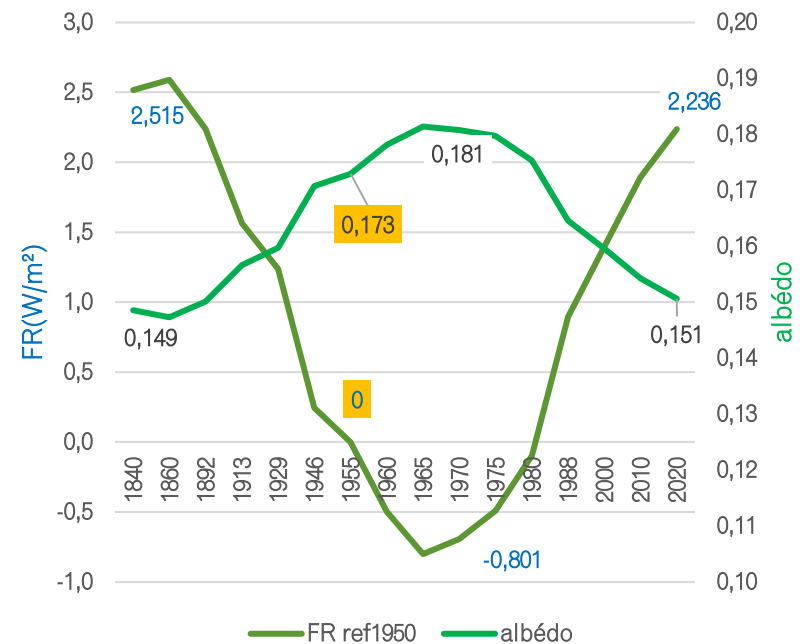
- La prairie a un effet refroidissant : $\approx -1400 \text{ kg équivalent CO}_2/\text{ha/an}$, si elle remplace un blé **et qu'elle reste en place**,
- Un ordre de grandeur comparable à la séquestration du CO₂ dans le sol, en termes de forçage radiatif.
- Pour bénéficier au mieux de l'effet albédo: couvrir un maximum le sol,
 - De préférence avec de l'herbe... retourner une prairie = l'effet inverse
 - Les couverts entre 2 cultures ont aussi un effet favorable (Ceschia et al. 2017, Innovations agronomiques)
 - y éviter un surpâturage qui laisse le sol longtemps visible
 - Attention, la sécheresse abîme les prairies et réduit leur effet « refroidissant »
- L'herbe dans un assolement un atout, pour atténuer le CC,
 - grâce au stockage de carbone dans le sol (*çà, on le savait*)
 - et l'effet albédo (*maintenant, on le sait*).

La Bretagne de 1840 à 2020 : effet de l'occupation du sol sur α

Evolution des grands types de surfaces
(x1000 ha)



évolution albédo et Forçage radiatif induit,
Référence = 1955



L'agriculture bretonne avait un FR positif (**effet réchauffant**) avant 1955: moins de surfaces en herbe, beaucoup de surfaces cultivées: alimentation humaine, traction animale.

Elle a eu un FR négatif (**effet refroidissant**) entre 1955 et 1980, jusqu'à -170 kg eqCO₂/ha/an, grâce au maximum d'herbe implantée lors de cette période

Elle est redevenue « réchauffante » après 1980 avec la régression des surfaces en herbe, le fort développement du maïs et la progression des forêts, qui entraîne une baisse de l'albédo de ce territoire

- Travaux de Petra Sieber, université d'Upsalla (S), 2022

P. Sieber et al.

Agricultural and Forest Meteorology 321 (2022) 108978

Table 3

Annual albedo per plot, net shortwave irradiance at the surface and at the top of the atmosphere (TOA), and global climate impact of albedo change on one hectare during one year expressed as radiative forcing (RF) and as carbon dioxide equivalents (CO₂e) using global warming potential (GWP) with time horizons of 100 and 20 years. RF and GWP shown here were calculated relative to bare soil. Values are mean (SD) of the Monte Carlo simulation results. T = terminated.

	Albedo [-]	Net shortwave irradiance		Climate impact per hectare and year		
		SW _{Surf,net} [Wm ⁻²]	SW _{TOA,net} [Wm ⁻²]	RF [10 ⁻¹¹ Wm ⁻²]	GWP ₁₀₀ [kg CO ₂ e]	GWP ₂₀ [kg CO ₂ e]
Winter barley	0.222 (0.00092)	92.7 (0.087)	152.2 (0.062)	-11.0 (0.170)	-1202 (18.6)	-4418 (68.3)
Ley extensive (Ulleråker E)	0.216 (0.00091)	93.2 (0.087)	152.6 (0.062)	-10.2 (0.169)	-1113 (18.4)	-4091 (67.7)
Ley grass	0.215 (0.00091)	93.4 (0.086)	152.7 (0.061)	-10.0 (0.169)	-1087 (18.4)	-3997 (67.7)
Ley clover	0.209 (0.00092)	93.8 (0.087)	153.1 (0.062)	-9.3 (0.169)	-1019 (18.4)	-3746 (67.6)
Rye (Ultuna S)	0.209 (0.00092)	93.8 (0.087)	153.0 (0.062)	-9.5 (0.169)	-1035 (18.4)	-3804 (67.8)
Ley extensive	0.207 (0.00093)	94.1 (0.088)	153.2 (0.063)	-9.0 (0.170)	-980 (18.6)	-3602 (68.3)
Rye	0.206 (0.00092)	94.1 (0.087)	153.2 (0.062)	-9.1 (0.169)	-994 (18.4)	-3655 (67.6)
Ley grass T	0.201 (0.00092)	94.6 (0.087)	153.6 (0.062)	-8.2 (0.170)	-899 (18.5)	-3303 (68.0)
Winter rapeseed	0.200 (0.00091)	94.7 (0.086)	153.6 (0.061)	-8.3 (0.168)	-901 (18.3)	-3313 (67.3)
Winter wheat	0.182 (0.00092)	96.3 (0.086)	154.7 (0.061)	-6.1 (0.169)	-665 (18.4)	-2443 (67.6)
Spring barley	0.180 (0.00092)	96.5 (0.086)	154.9 (0.061)	-5.7 (0.168)	-624 (18.3)	-2295 (67.4)
Spring wheat	0.172 (0.00092)	97.2 (0.086)	155.3 (0.061)	-4.9 (0.168)	-535 (18.3)	-1965 (67.3)
Oats	0.171 (0.00092)	97.2 (0.086)	155.4 (0.061)	-4.8 (0.169)	-527 (18.4)	-1938 (67.7)
Peas	0.164 (0.00092)	98.0 (0.085)	155.9 (0.061)	-3.8 (0.170)	-411 (18.5)	-1512 (68.1)
Bare soil	0.134 (0.00092)	100.7 (0.084)	157.8 (0.060)	0	0	0



- Mesures d'albédo quotidien au champ de cultures, de prairies temporaires, ...
- Conversion en W/m² et en kg eqCO₂/ha/an, par rapport à un sol nu

	GWP ₁₀₀ [kg CO ₂ e]	
Winter barley	-1202 (18.6)	
Ley extensive (Ulleråker E)	-1113 (18.4)	
Ley grass	-1087 (18.4)	
Ley clover	-1019 (18.4)	
Rye (Ultuna S)	-1035 (18.4)	
Ley extensive	-980 (18.6)	
Rye	-994 (18.4)	
Ley grass T	-899 (18.5)	
Winter rapeseed	-901 (18.3)	
Winter wheat	-665 (18.4)	
Spring barley	-624 (18.3)	
Spring wheat	-535 (18.3)	
Oats	-527 (18.4)	
Peas	-411 (18.5)	
Bare soil	0	

ology 321 (2022) 108978

change on one hectare
horizons of 100 and 20
ated.

GWP₂₀ [kg CO₂e]

-4418 (68.3)
-4091 (67.7)
-3997 (67.7)
-3746 (67.6)
-3804 (67.8)
-3602 (68.3)
-3655 (67.6)
-3303 (68.0)
-3313 (67.3)
-2443 (67.6)
-2295 (67.4)
-1965 (67.3)
-1938 (67.7)
-1512 (68.1)
0

- En prairies temporaires, un forçage radiatif (FR), de l'ordre de -10W/m²
- Soit environ -1000 kg eqCO₂/ha/an pour une prairie temporaire
- Comparable aux calculs du projet Albédo-prairies.

- Mesures d'albédo quotidien au champ de cultures, de prairies temporaires, ...
- Conversion en W/m² et en kg eqCO₂/ha/an, par rapport à un sol nu

- Travaux de Petra Sieber, université d'Upsalla (S), 2022: effet de pratiques sur le forçage radiatif (FR)

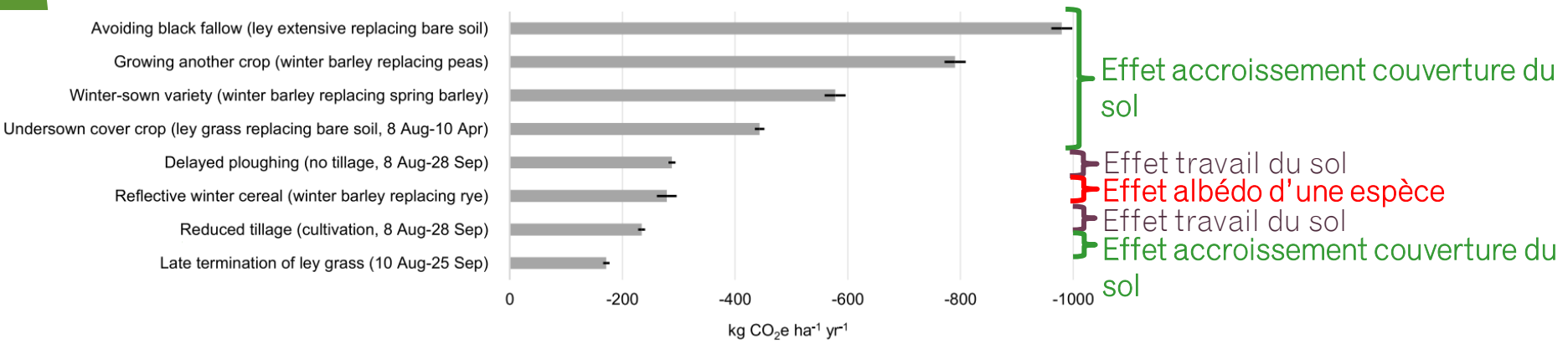


Fig. 6. Climate benefit of various measures to increase albedo on cropland per hectare and year, expressed as GWP₁₀₀. Error bars show $\pm$ one standard deviation of the Monte Carlo simulation results.

- valeurs à relativiser selon l'importance de la surface concernée sur une exploitation agricole
- Par exemple, « *late termination of ley grass* »: env -190 kg eqCO₂/ha/an, si concerne 50% SAU = env. -85 kg eqCO₂/ha/an

Rappel consignes

Mode com'	Timing	Détail et règles
Intervention longue multiferme	00:30	20 minutes de présentation + 10 minutes de questions de la salle et des satellites 15 à 20 slides, focus sur les résultats issus de travaux conduits sur plusieurs fermes. Ne pas enchaîner des micros présentations par ferme mais bien donner à voir des résultats synthétiques globaux. 1 slide et 2 minutes max sur les pistes et projets à venir. L'intervention peut être préparée par plusieurs collègues des fermes expérimentales mais choisir 2 à 3 personnes maximum pour présenter ces synthèses lors de la biennales.