

La revue francophone sur les prairies et les fourrages

The French Journal on Grasslands and Forages

Les articles publiés dans Fourrages sont répertoriés dans : Agris, Resagri, Herbage Abstracts, Rural Development Abstracts, Web of Science, World Agricultural Economics and Rural Sociology Abstracts ainsi que par ISI.

Cet article de la revue *Fourrages*,
est édité par l'Association
Francophone pour les Prairies et les
Fourrages

Pour toute recherche
dans la base de
données, pour vous
abonner ou pour
soumettre un article
dans la revue :

<https://afpf-asso.fr/informations-sur-la-revue-fourrages>

ISSN papier 0429-2766

ISSN numérique 2402-7294

N° Commission paritaire : 1127 G 82356+

Notre association a pour objectif, depuis 1959 de mieux diffuser les résultats de la recherche autour des fourrages et des prairies. Pour soutenir notre action et adhérer, consultez notre site internet.

ATOUTS ET FAIBLESSES DES SYSTÈMES RUMINANTS DU MASSIF ALPIN POUR LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE : RÉSULTATS DU PROJET DÉCARBON'ALPES

Mise en situation

Les fermes de ruminants émettent 55% des GES agricoles mais entretiennent également 28% de la SAU française en prairies permanentes et des haies. L'élevage pastoral, acteur clé de la structuration des paysages sur le massif alpin est ici positionné sur ses contributions environnementales aux références nationales, dans un contexte de neutralité carbone d'ici 2050, visant à réduire de moitié les émissions de gaz à effet de serre (GES) du secteur agricole par rapport à 1990.

Résumé

L'élevage structure les paysages dans les Alpes françaises avec des chargements inférieurs à 1 UGB/ha et de larges espaces en prairie entretenus. Le projet Decarbon'Alpes analyse les performances environnementales de 41 fermes herbivores, dont 49 % recourent aux alpages. Les exploitations ayant le plus haut degré de pastoralité ont une empreinte carbone plus faible par hectare. Comparées à d'autres systèmes pastoraux/de montagne, les fermes alpines étudiées montrent de meilleures contributions à l'entretien de la biodiversité, à la qualité de l'eau, mais une dépendance énergétique variable. L'intensité des émissions (quantité de gaz à effet de serre par unité de produit) est plus élevée. L'impact climatique final des fermes alpines est sensiblement réduit lorsque la séquestration de carbone (C) des sols est intégrée au calcul par CAP'2ER®. Aujourd'hui, les stocks de carbone organique mesurés sur le sol d'une vingtaine de parcelles d'élevage du projet sont élevés (i.e 110 tC/ha sur 0–30 cm) en comparaison à la moyenne des sols agricoles en France. Les variations annuelles de stock comptabilisées par CAP'2ER® n'étant pas reliées à la nature du sol, au climat local ou aux pratiques sur les parcelles mais uniquement à l'usage des sols, nous avons intégré ces éléments pour un chiffrage ajusté via l'outil CarSolEI sur des situations types (vallée, coteaux, alpages). Les résultats montrent une surestimation par CAP2ER du stockage de 174 kg C/ha/an en moyenne sur les quatre cas pédagogiques travaillés, comprenant des cultures et des prairies à différentes altitudes. De façon opérationnelle, cette approche plus sensible accroît le temps de diagnostic mais permet d'envisager l'effet de changements de conduites liées à l'adaptation climatique, au contexte économique ou à un souhait de maintenir la fertilité du sol, sur le stockage C du sol. Elle semble plus aisée à réaliser en vallée et moyenne altitude, du fait d'une meilleure accessibilité aux pratiques agricoles et à des mesures de sol plus aisées à réaliser. Ces résultats soulignent intérêts et contraintes à considérer dans la perspective de futures certifications carbone, en cohérence avec les exigences européennes en cours d'harmonisation.

Summary

Strengths and weaknesses of ruminant farming systems in the Alpine region for ecological transition: results of the Décarbon'Alpes project

Livestock farming shapes the landscapes in the French Alps with stocking rates below 1 LU/ha and large areas of maintained pasture. The Decarbon'Alpes project studies the environmental performance of 41 herbivore farms, 49% of which use mountain pastures. Farms with the highest level of pastoralism generate the lowest climate impact per hectare. Compared to national standards, Alpine farms contribute more to biodiversity and better water quality but have a variable energy dependency. Greenhouse gas (GHG) emissions per unit of product are nevertheless higher due to lower animal productivity. The overall climate impact is significantly reduced when soil carbon sequestration is included through CAP'2ER®. The measured carbon stocks in a selection of fields from the studied livestock alpine farms is 110 tC/ha at 0–30 cm, which exceed the French average on agriculture area. But annual stock variations accounted for by CAP'2ER® are only related to land use. Incorporating soil and climate as well as agricultural practices at different altitudes into C sequestration calculation by using CarSolEI on typical management fields case studies, indicates an average difference of -174 kg C/ha/year. Operationally, this more sensitive approach increases a lot the time required for the farm assessment, but it allows to simulate the effect on soil carbon of different adaptation strategy in response to climate change or to maintain soil fertility, which stimulates farmers-advisors exchange about smart climate farming. It seems easier to implement it in valleys and at mid-altitudes, due to better registration of agricultural practices and easier soil measurements to carry out to cover heterogeneity. These results highlight constraints to consider in perspective of future carbon farming certifications scheme, in line with ongoing European harmonization requirements.

Auteurs

Chambaut H.¹, Throude S.², Di Franco F.³, Poulenard J.⁴

¹IDELE, DÉPARTEMENT CLIMAT, 42 RUE GEORGES MOREL, CS 60057, 49071 BEAUCOUZÉ CEDEX, FRANCE

²IDELE, DÉPARTEMENT CLIMAT, 23 RUE JEAN BALDASSINI, 69007 LYON

³SUACI, MAISON DE L'AGRICULTURE, 40 RUE DU TERRAILLET 73190 SAINT BALDOPH, FRANCE

⁴UNIVERSITE SAVOIE, EDYTEM LABORATORY OF ENVIRONMENT DYNAMICS OF THE MOUNTAIN, CHAMBÉRY, FRANCE.

Auteur correspondant :
Helene.chambaut@idele.fr

Mots clés

Emissions gaz à effet de serre, climat, pastoralisme, séquestration carbone, élevage alpin

Key words

Greenhouse gases emissions, mitigate climate impact, carbon sequestration, alpine livestock farming ecoservices

Références de l'article

Chambaut H., Throude S., Di Franco F., Poulenard J. (2026). Atouts et faiblesses des systèmes ruminants du massif alpin pour la transition écologique : résultats du projet Décarbon'Alpes, *Fourrages* 265, 79-91. <https://doi.org/10.64256/FOU2505>

Article accepté pour publication le 20 avril 2026.

1. Introduction

Accélérer la transition écologique est une nécessité pour faire face aux changements climatiques en cours. Les mesures prioritaires doivent répondre simultanément à une baisse des émissions de gaz à effet de serre et à une moindre utilisation des ressources qui se font rares (minerais, eau, biodiversité, (Gouvernement Français, 2025). Partant du constat qu'un quart des émissions de gaz à effet de serre provient de notre alimentation en France, des outils sont déjà mis à disposition pour réorienter les choix alimentaires des citoyens (comme agirpourtatransition.ademe.fr). Différents scénarios d'actions permettant la neutralité carbone en France d'ici 2050 envisagent des réductions de la consommation de viande de - 30 à - 70% (Transition alimentaire 2050, Ademe 2025). Etudiant différents auteurs de prospectives, Wilfart et Vayssières (2025) notent que les scénarii peuvent affecter l'utilisation du territoire entre cultures/prairies/forêt. Ainsi, au niveau européen l'adoption d'une végétalisation de l'alimentation en Europe (régime EAT-Lancet) entraînerait des pertes de carbone organique des sols d'ici à 2100, jusqu'à 50 tCO₂e/ha dans les régions à forte densité d'élevage comme la France. Les auteurs envisagent alors le reboisement des surfaces libérées par l'élevage et non remobilisées en culture (6 millions d'hectares) pour compenser ces pertes sur une échelle européenne (Vasilis *et al.*, 2025).

Ainsi, en suivant ces préconisations de transition écologique, il est probable qu'une partie croissante des Français réduira davantage les produits animaux consommés et orientera ses choix de produits laitiers ou de viande vers des produits locaux (CO₂ du transport évité), des produits à faible impact environnemental par hectare de surface utilisée, ou sélectionnera des articles affichant un moindre impact par unité de produit (i.e. par kilo de lait, de viande acheté). Dans cette perspective, comment sont positionnés les produits issus d'élevage de montagne ? Les outils actuellement disponibles leur permettent-ils de chiffrer des progrès ?

En effet, sur les massifs montagneux les élevages ont des profils bien distincts de ceux qui dominent en plaine. Cette étude s'intéresse au massif alpin. Les chargements animaux sont parmi les plus faibles de France, i.e. majoritairement inférieurs à 1 voire 0.7 UGB bovines/ha selon les zones. La prairie y occupe une large place, soit 50 à 75% des surfaces agricoles utilisées à l'ouest et jusqu'à plus de 90% sur les parties élevées à l'est du massif (Perrot, 2025). Les troupeaux bovins sont davantage représentés au nord du massif, les fermes ovins viande au sud. Ce sont ainsi 7 252 exploitations d'élevage qui entretiennent ces paysages (Recensement Agricole 2020, source Suaci Montagn'Alpes 2025). Ces fermes s'adaptent aux changements climatiques subis ici plus fortement qu'ailleurs puisque les alpes se sont **réchauffées de +2°C** au cours du 20^e siècle alors que l'augmentation moyenne en France est de +1.4°C en France (Ministère de la Transition, 2024).

Afin de mieux cerner les singularités des fermes alpines quant à leurs impacts sur le changement climatique et de façon plus large,

leur contribution environnementale et les services rendus dans une optique de transition écologique, nous utiliserons d'abord l'outil **actuellement utilisé dans les démarches de certification carbone en élevage** CAP'2ER® niveau 2. Les résultats d'une sélection de fermes alpines seront comparés à des références nationales et à leurs homologues d'autres régions françaises. Dans une démarche de progrès, nous chercherons à savoir si l'outil multicritères est adapté aux fermes à forte dominante pastorale (i.e. nourrissant les animaux sur des prairies d'alpage une partie de l'année) et s'il permet aux éleveurs de dégager des voies d'améliorations pour réduire leur impact et ainsi favoriser la transition écologique. Par ailleurs le stock de carbone présent dans le sol servant à nourrir les animaux sera mesuré dans une sélection de parcelles. Ce stock est la résultante de l'activité agricole dans ce milieu montagnard. Il sera positionné par rapport à d'autres zones d'élevage françaises à moindre relief. De plus, pour contribuer à la transition écologique, il est nécessaire de renforcer la séquestration de carbone (Initiative mondiale quatre pour mille). Aussi, afin de savoir si les conduites d'élevage projetées à l'avenir contribueront à l'enrichissement en matières organiques, l'outil CarSolel sera utilisé sur quelques situations types de parcelles. L'outil donne-t-il satisfaction pour envisager des voies de transition en zone de montagne ?

L'article repose sur les principaux résultats de l'étude Décarbon'Alpes soutenue financièrement par le Ministère de l'Agriculture à travers son financement Massif des Alpes. L'Institut de l'élevage et l'Université Savoie Mont-Blanc (USMB) ont accompagné le projet à la demande du SUACI, Service d'Utilité Agricole à Compétence Interdépartementale (chambres d'agriculture Drôme, Savoie-Haute Savoie, Isère), avec comme partenaires également les chambres des Alpes de Haute Provence, Hautes-Alpes, du Réseau Pastoral Alpin représenté par la Fédération des Alpages de l'Isère, ainsi que des fermes expérimentales et lycées agricoles de Poisy, Contamine-sur-Arve, et Carmejane.

2. Matériel et méthodes

Dans un contexte aussi varié que les Alpes, l'étude couple une approche à l'échelle de l'exploitation (diagnostic global annuel) qui sert à conseiller les éleveurs vers une réduction de leurs impacts environnementaux tout en améliorant les services rendus (étape 1 : « Diagnostic des forces et faiblesses environnementales »), à une approche de co-construction de scénario d'évolution de conduites déclinée à l'échelle parcellaire (étape 2 : « Stocks de carbone organique des sols d'élevage »). Il s'agit alors de préciser l'effet de différents changements de conduite émergeant de l'étape 1 (adaptation, mitigation) sur le service rendu 'stockage carbone dans les sols' en tenant compte des conditions pédoclimatiques locales.

2.1 Diagnostic des forces et faiblesses environnementales

2.1.1 Méthode CAP'2ER®

Les fermes alpines ont réalisé un diagnostic **CAP'2ER® de niveau 2** afin d'asseoir leurs contributions environnementales selon une **approche multicritères**. Suivant les principes de **l'analyse de cycle de vie** (Idele, 2025), l'outil est homologué dans le cadre du Label Bas Carbone. Il couple une approche globale d'exploitation à une analyse détaillée des efficacités par atelier. Largement utilisé en France avec plus de 33 700 fermes auditées en dix ans, l'outil positionne les résultats de la ferme étudiée par rapport à des références acquises selon la même méthodologie (niveau moyen, déciles supérieurs et inférieurs) et régulièrement mises à jour. Cela aide à pointer les forces et les faiblesses de la gestion actuelle de la ferme diagnostiquée. Les résultats portent à la fois sur des contributions positives de l'activité agricole comme l'aptitude au maintien de la biodiversité commune (dénombrement des infrastructures agro écologiques en place : haies, bosquets, cours d'eau, arbres... exprimée en ha éq de biodiversité), l'enrichissement attendu en carbone organique du sol, le nombre de personnes nourries par l'activité (énergie et protéines de l'alimentation fournie) ou la production d'énergie renouvelable ; et sur des impacts à limiter comme la pollution nitrique des eaux via l'évaluation de l'excédent du bilan azoté, les sources de GES et la dépendance énergétique (fioul et électricité consommés directement sur l'exploitation et indirectement via l'achat d'intrants). Dans le cadre du projet Décarbon'Alpes, la collecte des informations a été réalisée sur les années 2022 à 2024 selon les fermes.

2.1.2 Profil des exploitations alpines et références de comparaison

41 fermes volontaires ont été sélectionnées en cherchant à représenter une diversité de milieux alpins et de type de ruminants (bovins lait, bovins viande, ovins viande, ovin lait et caprins) contribuant à l'entretien du massif (Figure 1 et Figure 2). Les tailles de troupeaux sont variables avec 68% de fermes possédant moins de 300 têtes, 24% entre 300 et 500 têtes et 7% au-delà (Tableau 1). Pour 73% des fermes, plus de 70% de leur surface utilisée est de l'alpage collectif ou individuel (Tableau 1), elles sont alors qualifiées de fermes à fort degré de pastoralité. Inversement, 10% sont classées à faible degré de pastoralité (i.e. moins de 40% de surface en alpage). **49% des fermes utilisent des alpages** (pâturage de haute montagne) ce qui est caractéristique des zones à fort relief. En lien avec la thématique climat et énergie, des informations supplémentaires concernant la transhumance ont été recueillies. 62% des fermes pratiquent la transhumance (pas systématique sur des alpages), celle-ci s'effectuant majoritairement en local et à pied pour 53% des fermes alpines enquêtées alors que 9% pratiquent la grande transhumance (plusieurs centaines de km parcourus).

Pour déterminer les forces et faiblesses des fermes alpines, leurs résultats environnementaux sont comparés à des références, par filière, qui représentent les moyennes des résultats environnementaux des exploitations diagnostiquées avec l'outil CAP'2ER® à l'échelle nationale. Cette comparaison se fait à deux niveaux (Tableau 2) :

- 1. Comparaison **à des références nationales** pour positionner ces systèmes de montagne/pastoraux par rapport aux résultats moyens obtenus à l'échelle française, tous systèmes confondus (plaine et montagne).

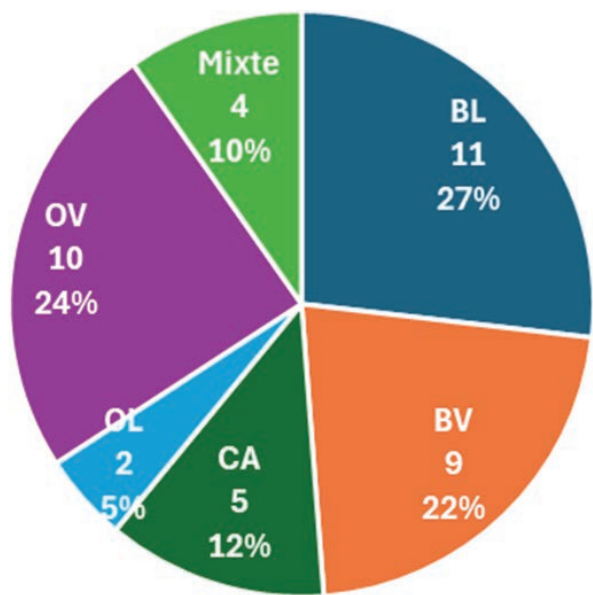


Figure 1 : Répartition des différentes filières dans les exploitations enquêtées (BL : Bovin Lait, BV : Bovin viande, OL : Ovin Lait, OV : Ovin Viande, CA : CAprin, Mixte : au moins 2 ateliers d'élevage présents sur l'exploitation)

Figure 1 : Distribution of different sector of the farms surveyed (BL: dairy cattle, BV: beef cattle, OL: dairy sheep, OV: meat sheep, CA: goat, Mixed: at least livestock units on the farm)

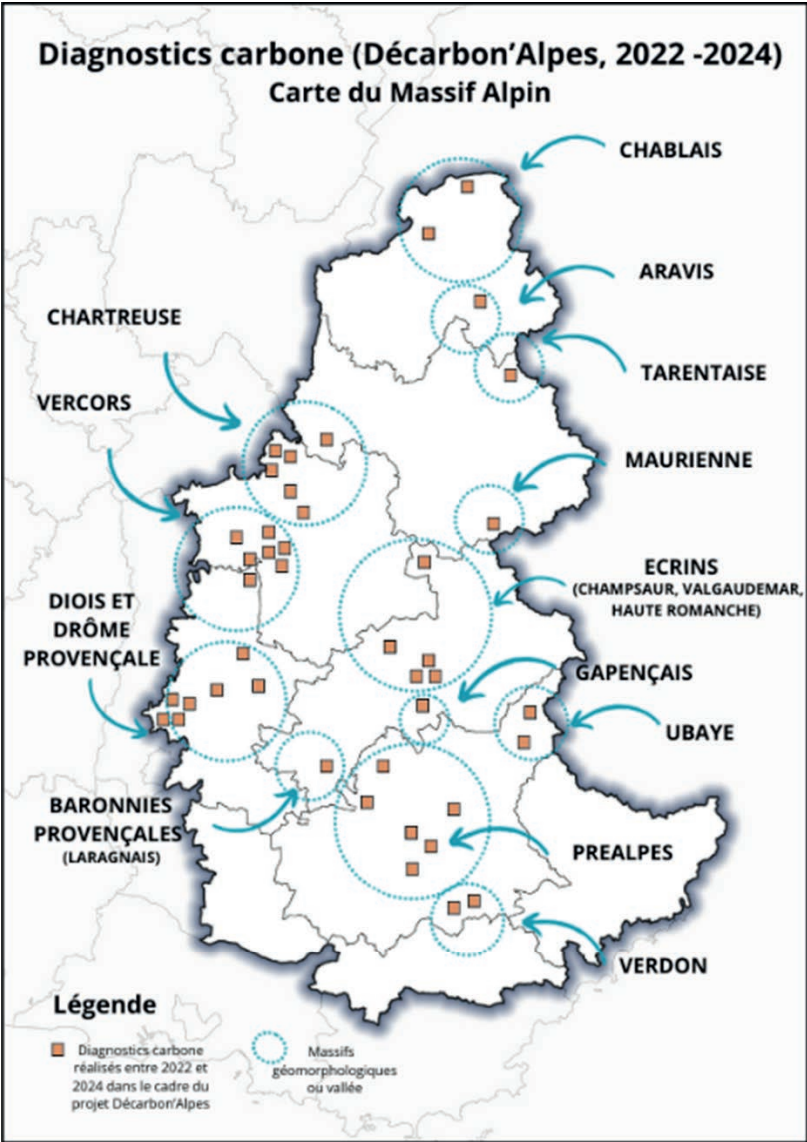


Figure 2 : Localisation des 41 exploitations alpines enquêtées pour un diagnostic CAP'2ER®

Figure 2: Location of the 41 alpine farms surveyed for a CAP'2ER® assessment.

Tableau 1 : Répartition des fermes enquêtées en nombre, par filière, selon la taille du troupeau, le degré de pastoralité, l'utilisation d'alpages et le type de transhumance

Table 1: Distribution of farms surveyed by number, by sector, according to herd size, the degree of pastoralism, the use of mountain pastures and the type of transhumance

Filières	Taille du/des troupeau(x)			Degré de pastoralité (Part de surface pastorale dans la SAU)			Utilisation des alpages		Type de transhumance		
	Petit (<300 têtes)	Moyen (entre 300 et 500 têtes)	Grand (>500 têtes)	Fort (>70%)	Moyen (entre 40 et 70%)	Faible (<40%)	Oui	Non	Oui, locale à pied	Oui, grande transhumance	Non
Bovin lait	9	1	1	8	3	0	6	5	8	0	2
Bovin viande	8	1	0	7	1	1	5	4	3	1	5
Ovin lait	2	0	0	2	0	0	1	1	1	0	1
Ovin viande	2	6	2	9	1	0	7	3	5	2	1
Caprin	5	0	0	2	0	3	0	5	0	0	2
Mixte	2	2	0	2	2	0	1	3	1	0	2
Toutes fermes	28	10	3	30	7	4	20	21	18	3	13
	68%	24%	7%	73%	17%	10%	49%	51%	53%	9%	38%

Tableau 2 : Références de l'outil CAP'2ER® utilisées pour comparer les résultats des exploitations Décarbon'Alpes

Table 2: References of the CAP'2ER® tool used for comparing the results of farms involved in Décarbon'Alpes

Filière	Références nationales (tous systèmes confondus)			Références à systèmes équivalent			Sources des références
	Emissions brutes de GES	Empreinte carbone nette	Compensation par le stockage	Emissions brutes de GES	Em-preinte carbone nette	Compensation par le stockage	
Bovin lait	1,01	0,86	15%	Système de référence : « Montagne Herbager »			CAP'2ER® Niveau 2 2013-2021
(kg eqCO2/l de lait corrigé 40/33)				1,09	0,69	36%	
Bovin viande	16,2	10,6	35%	Système de référence : « Naisseur avec engraissement des femelles »			CAP'2ER® Niveau 1 2016-2017
(kg eqCO2/ke de viande vive)				17,2	8,9	48%	
Ovin viande	42	18	54%	Système de référence : « Pastoraux »			CAP'2ER® Niveau 1 2021-2022
(kg eqCO2/kg carcasse agneau)				47	0	115%	
Ovin lait	3	2,2	26%	Système de référence : « Fromager Pyrénées-Atlantiques »			CAP'2ER® Niveau 1 2021-2022
(kg eqCO2/l de lait corrigé 75/55)				3,8	2,8	27%	
Caprin	1,51	1,11	26%	Impossible, étant donné la diversité des systèmes caprins de notre échantillon			CAP'2ER® Niveau 2 2013-2021
(kg eqCO2/l de lait corrigé 35/31)							

2. Comparaison à des références par type de système (uniquement pour les ateliers bovin lait, ovin viande et ovin lait) pour positionner ces systèmes alpins par rapport aux résultats moyens obtenus en zone de montagne/pastorale (la comparaison à système équivalent n'est pas possible en bovin viande et caprin étant donné la diversité des systèmes rencontrés dans notre échantillon).

L'identification du type de système se base sur la typologie Inosys Réseau d'Elevage :

- **En bovin lait** : la typologie Inosys se base sur le système fourrager et distingue 5 types d'atelier bovin lait à savoir « Plaine >30% maïs/SFP », « Plaine 10-30% maïs/SFP », « Plaine <10% maïs/SFP », « Montagne maïs » et « Montagne Herbager ». Tous les ateliers bovin lait de notre échantillon sont des systèmes « Montagne Herbager ».
- **En bovin viande** : la typologie Inosys se base sur la voie d'engraissement des mâles et distingue majoritairement 7 types d'atelier bovin viande à savoir « Naisseur », « Naisseur avec engraissement des femelles », « Naisseur-engraisseur de jeunes bovins », « Naisseur-engraisseur de bœufs », « Naisseur-engraisseur de veaux », « Engraisseur de jeunes bovins » et « Engraisseur de bœufs ». Dans notre échantillon, on retrouve une diversité de ces systèmes (Figure 3).
- **En ovin lait** : la typologie Inosys se base sur la localisation

(« Nord-Occitanie », « Pyrénées-Atlantiques » et « Hors bassin », de productions habituelles (Nord-Occitanie et Pyrénées atlantiques)) et sur le mode de livraison du lait (« Livreur », « Fromager »). Tous les ateliers ovin lait de notre échantillon sont des systèmes « Fromagers » en hors-bassin.

- **En ovin viande** : la typologie Inosys se base sur la présence de surfaces pastorales et le niveau de chargement et distingue 5 types d'atelier ovin viande à savoir « Bergerie », « Fourragers », « Herbagers de zones de plaine ou herbagères », « Herbagers de zone pastorales ou de montagne » et « Pastoraux ». Tous les ateliers ovin viande de notre échantillon sont des systèmes « Pastoraux ».
- **En caprin** : il y a 2 façons de répartir ces ateliers : 1/selon le système d'alimentation (on distingue plus de 8 types de systèmes) et 2/selon le mode livraison du lait (« Livreur » ou « Fromager »). Les ateliers caprins de notre échantillon sont essentiellement des systèmes « Fromager » (86%) et représentent 3 systèmes d'alimentation différents (Figure 3).

Ces références sont donc issues d'exploitations de même système que les exploitations étudiées mais localisées en France, en région alpine mais aussi dans d'autres régions, dans des contextes pédoclimatiques variables. Ces références vont permettre de positionner les systèmes Alpains par rapport à d'autres systèmes de montagne.

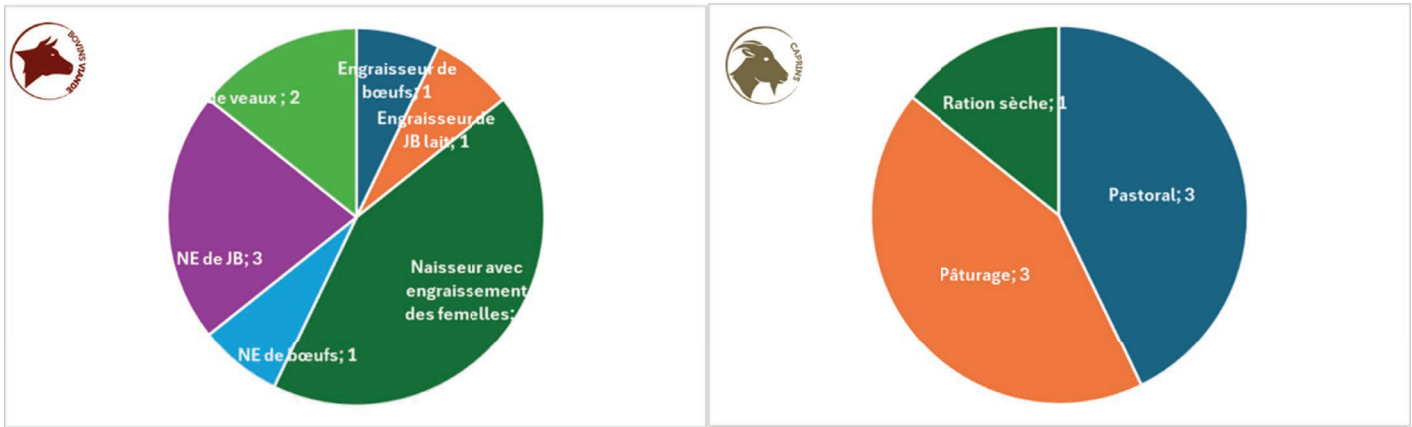


Figure 3 : Répartition des fermes étudiées selon le type d'atelier bovin viande/caprin pour les exploitations possédant un atelier bovin viande/caprin

Figure 3: Distribution of farms studied according to the type of rearing beef cattle/goat system for farms with a beef cattle/goat unit

2.2 Stocks de carbone organique des sols d'élevage

2.2.1 Mesure de l'état des stocks actuels

Une vingtaine de parcelles des fermes Décarbon'Alpes ont été sélectionnées témoignant de la gestion des terres dans différentes conditions naturelles (2 à 8 parcelles choisies par élevage, Figure 4). Les parcelles intègrent plus ou moins de cultures et prairies selon l'altitude (vallée/coteaux/estives) et d'apports fertilisants exogènes. Les prélèvements de sol conduits en 2023 ou 2024 servent à **quantifier des stocks de carbone organique présents, selon l'équation 3 publiée dans le guide de la FAO (2019)** : mesures de densité apparente, tamisage des éléments grossiers, analyse de la terre fine. Ils sont effectués avec répétition intra parcellaire selon un protocole adapté du projet OCBO (Chambaut *et al.*, 2024). 26 parcelles ont à minima été prélevées en deux points distants d'une vingtaine de mètres pour la couche de sol de la surface à **30 cm** de profondeur. Au vu du temps imparti, une partie des parcelles a été sondée également jusqu'à **75 cm** de profondeur si possible avec 3 répétitions intra parcellaires. Cela permet **d'appréhender la partie du stock de carbone du sol existant dans les parcelles utilisées par l'élevage mais non considérée dans les diagnostics environnementaux** aujourd'hui pour mesurer l'impact de la transition écologique (étape 2, voir 2.2.2).

2.2.2 Evolution dans le temps du carbone organique du sol

Le simulateur **CarSolEI** (Brun-Lafleur *et al.*, 2022) est testé dans l'étape 2 de co-construction de scénario d'évolution des conduites agricoles dans les parcelles en réponse au diagnostic exploitation (étape 1). Il s'agit ici pour les conseillers de chiffrer l'intérêt pour l'évolution du stock C du sol (0 -30 cm), d'actions d'adaptation ou mitigation envisagées à la suite de l'étape 1. CarSolEI tient compte des conditions réelles de milieu (pluie, température, texture et chimie du sol) de la parcelle où a lieu le changement de conduite, ce qui n'est pas possible dans le diagnostic d'exploitation CAP'2ER® actuel, hors parcelles utilisées en grande cultures ou prairie de fauche de courte durée. Il est utilisé de façon exploratoire

sur quelques situations types à titre **pédagogique**, de façon à sensibiliser les acteurs à l'importance d'intégrer les conditions locales dans les calculs, celles-ci étant d'autant plus variables du fait des reliefs.

Les parcelles étudiées correspondent donc à des situations réelles différant par leur historique, leur gestion actuelle, leur milieu. Ont été sélectionnées i) une succession de cultures produisant des aliments concentrés en vallée afin d'accroître l'autonomie alimentaire du troupeau laitier (vers 500 m d'altitude, en Haute Savoie(74)), ii) une succession de cultures et luzerne pour sécuriser les stocks fourragers produits en coteaux séchant sans accès à l'irrigation (à 800 m, dans le Gapençais, Alpes de Haute Provence (05)), iii) une prairie naturelle d'alpage valorisée par des génisses allaitantes de 2 ans en Chartreuse sur un sol riche en matières organiques (vers 1600 m, en Isère (38)), et enfin iv) une estive valorisée par des vaches laitières à plus de 2000 m d'altitude en Tarentaise (Savoie, 73) où les températures moyennes sont nettement plus faibles et dont le stock C actuel est 30% inférieur à la parcelle précédente.

L'outil CarSolEI **projette l'évolution moyenne des stocks C mesurés dans la parcelle à l'avenir selon différentes hypothèses** : soit en maintenant **les pratiques agricoles actuelles avec le climat actuel (S0, référence)**, soit en les adaptant. Ont été envisagés différentes stratégies d'adaptation des pratiques (S1) :

- **Une baisse de ressource en fumier disponible pour fertiliser les cultures** : décroissance de l'élevage du fait de la transition écologique (régimes alimentaires moins carnés d'ici 30ans) et des difficultés économiques de la filière bovine déjà présente (sud alpes),
- **Un pilotage modulé face aux changements climatiques** : pousse de l'herbe décalée en estive, pression instantanée de pâturage moindre mais plus fréquente car biomasse réduite ; pâturage de couverts (îlots cultures),
- **La recherche de solutions agronomiques pour le maintien de la fertilité des sols** : dans les assolements avec cultures annuelles (blé, orge, maïs), accroissement de la fréquence d'années avec cultures intermédiaires implantées, diversification de la rotation avec insertion de prairie de courte durée valorisée en fauche

en substitution au maïs, ou encore, insertion de prairie de plus longue durée (6-7 ans) valorisée par des coupes au printemps puis du pâturage à l'automne (semi en mélange dactyle-luzerne pour assurer une meilleure stabilité des entrées annuelles de carbone par la biomasse en année humide comme sèche).

Ces scénarios de changement (S1) sont construits d'après les échanges avec les conseillers. Ils sont spécifiques à chaque situation et ne cherchent pas à être exhaustifs. Notons que toutes les simulations (S0, S1) sont initialisées à partir de mesures de sol réalisées in situ et saisies sur l'application en ligne <http://appsonline.idele.fr/Carsolel/>.

L'analyse des résultats de simulation se fait en deux temps. D'abord, CarSolel calcule le scénario S0 correspondant aux pratiques des agriculteurs observées (enquête sur les 5 dernières années) et supposées maintenues sur les prochaines décennies (S0). Ce chiffre est **positionné à la valeur de stockage carbone du diagnostic CAP'2ER®**, plus largement implémenté dans le projet car plus simple à effectuer (pas de mesure de sol ni de rétrospective de conduite agricole considérée), afin de connaître l'erreur commise par cette approche rapide. Ensuite, l'écart de stockage carbone obtenu par CarSolel entre les hypothèses (S1-S0) sert à discuter l'impact positif ou non de changements de pratiques sur la matière organique du sol de chaque parcelle. Pour la transition écologique, il est souhaitable que les pratiques corrigent le déstockage (amoindrir la baisse des stocks), ou renforcent le stockage C. Cette approche

par différentiel est intégrée dans les démarches de labellisation (gain additionnel) et l'on souhaite repérer quelques pratiques améliorantes s'appliquant à l'élevage de montagne (Commission Européenne, 2026).

3. Résultats

3.1 Atouts et faiblesses du lait et de la viande produite dans le réseau d'exploitations alpines

Les émissions totales de GES des exploitations étudiées sont présentées en Figure 5 : moyenne, médiane, minimum et maximum. Une variabilité importante des émissions existe au sein de chaque filière. La compensation des émissions est élevée et oscille entre 50%, en caprin, et 116%, en ovin viande. L'empreinte carbone nettes (Emissions de GES – Stockage de carbone) est ainsi réduite.

En comparant ces résultats à ceux obtenus avec l'outil CAP'2ER® à l'échelle nationale (comprenant les systèmes de plaine, tableau 2), **les systèmes pastoraux et de montagne alpins étudiés émettent plus de GES par unité de production**. En poussant la comparaison à système équivalent, comparaison à des systèmes situés en zone de montagne/pastorales, les émissions de GES ressortent aussi plus élevées : la faible consommation d'engrais azoté (-33% et -100% kg N/ha selon la filière) et le degré d'autonomie en concentrés correct quoique parfois moindre que la référence (en ovin lait et

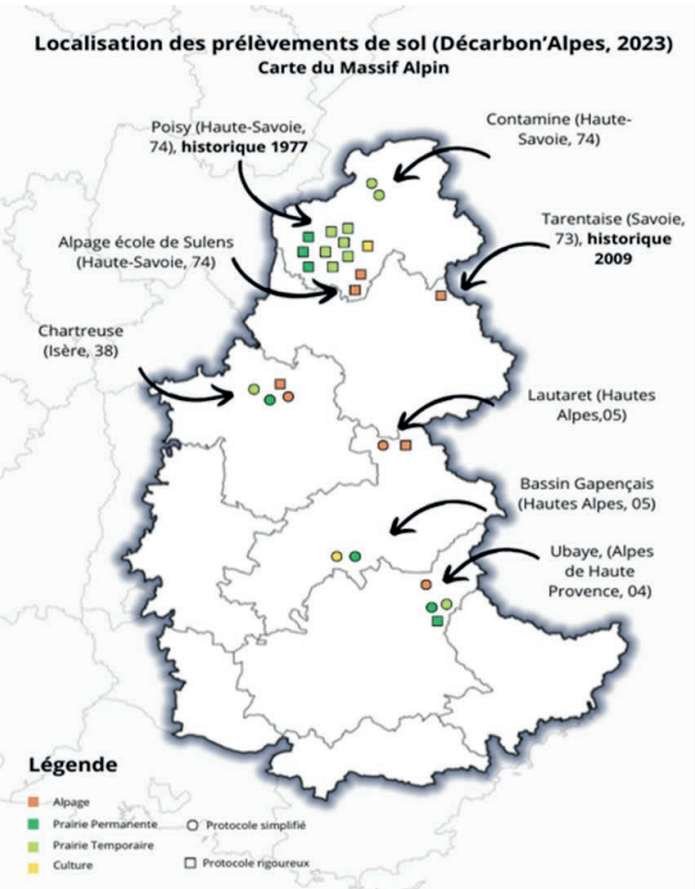
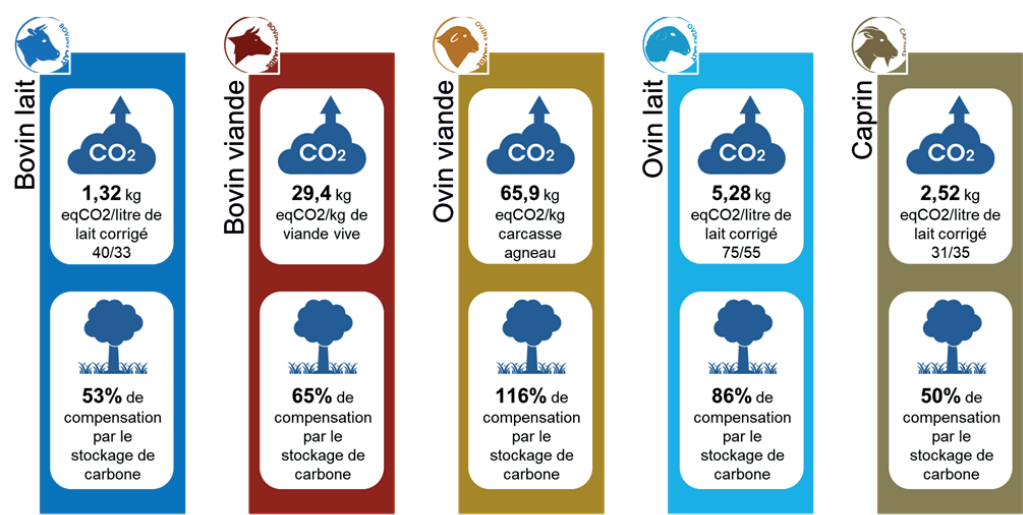


Figure 4 : Localisation des parcelles avec mesure du stock de carbone organique du sol. Position des deux sites avec analyses rétrospectives des teneurs en carbone organique (en gras)

Figure 4: Location of plots with measurement of soil organic carbon stocks. Position of the two sites with retrospective analyses of organic carbon content (in bold).



Filière	Moyenne / Médiane / (Min – Max) des émissions de GES (kg eqCO2/unité de produit)	Moyenne de l’empreinte carbone nette (kg eqCO2/unité de produit)	Moyenne / Médiane de la compensation des émissions par le stockage de carbone (%)
Bovin lait	1,32 / 1,13 (0,88 – 3,53)	0,64	53% / 43%
Bovin viande	29,4 / 21,5 (13,9 – 92,1)	12,2	65% / 53%
Ovin viande	65,9 / 64,1 (32,2 – 108,3)	7	116% / 110%
Ovin lait	5,28 / 3,72 (3,44 – 8,68)	1,1	86% / 56%
Caprin	2,52 / 1,98 (1,34 – 5,30)	1,02	50% / 48%

Figure 5 : Emissions de GES (kg eqCO2/unité de production) et Compensation par le stockage de carbone (%) moyennes des fermes Décarbon'Alpes par filière

Figure 5: Average Greenhouse Gas (GHG) emissions (kg eqCO2/production unit) and Carbon offset (%) of farms according to the sector

caprin) ne compensent pas les plus faibles productivités animales accompagnées de durées d'hivernages souvent allongées (+19% en ovin viande, +11% en bovin viande, +2% en ovin lait mais -7% en bovin lait et -64% en caprin) et des récoltes à réaliser pour partie sur des parcelles en relief.

Cependant le diagnostic CAP'2ER® identifie en contrepartie une plus forte contribution potentielle des fermes alpines à la **séquestration de carbone dans les sols i.e. davantage de prairies et de linéaires boisés dans leurs assolements comparativement à leurs homologues nationales**. Finalement, le résultat d'impact climatique restitué à l'éleveur (Empreinte carbone nette = Emissions de GES – Stockage de carbone) chiffre **une empreinte carbone nette, exprimée par unité de produit, des fermes alpines moindre ou voisine des références à système équivalent** (i.e bovin, ovin, caprin laitier et ovin viande : -7%, -61%, -8%, +0% respectivement), sauf en viande bovine (+15%) lié notamment à une exploitation dont les résultats sont très élevés (productivité très faible).

Par ailleurs, les résultats issus de l'évaluation CAP'2ER® montrent des émissions de GES rapportées à l'hectare de surface utilisé liées au degré de pastoralité (effet positif mais non significatif) sur le massif (Figure 6), avec des émissions de 2 530 kg eqCO2/ha de STU en moyenne (Surface Totale Utilisée, STU = Surface Agricole Utile (SAU) + Surfaces pastorales). Les fermes alpines étudiées ont **un plus faible impact climatique par unité de territoire mobilisé**.

Enfin, comparativement à d'autres systèmes pastoraux/de montagne, les fermes alpines montrent globalement de meilleures performances environnementales : une plus **forte contribution au maintien de la biodiversité 'ordinaire'** et des excédents de bilan azoté systématiquement plus faibles (Figure 7). Cela induit un **moindre risque d'eutrophisation**. Ces fermes ont cependant des résultats de **dépendance énergétique mitigés**. En considérant les principales énergies directes et indirectes utilisées pour la production animale, l'efficacité énergétique (MJ/kg lait ou viande) est correcte (i.e. proches des références ou légèrement moins dépendante) sur les fermes bovines et caprines laitières, alors que les fermes ovines et viande bovines de l'échantillon alpin sont nettement plus consommatrices d'énergie.

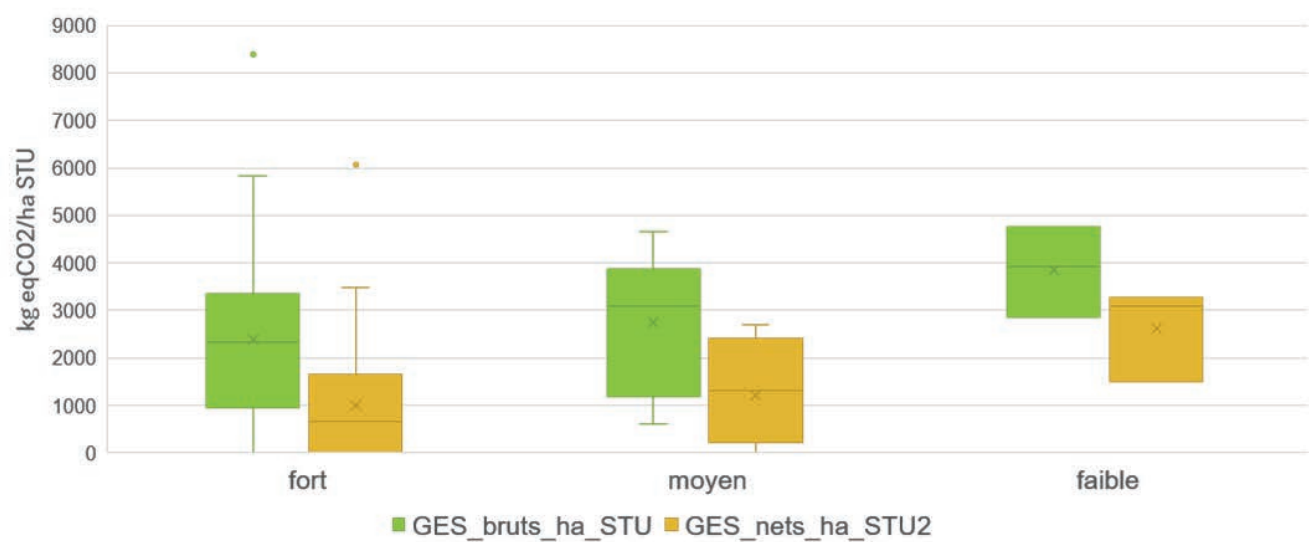


Figure 6 : Emissions de GES /ha STU (Surface Totale Utilisée : SAU + Surfaces pastorales) des exploitations diagnostiquées selon le degré de pastoralité (fort, moyen, faible)

Figure 6: Greenhouse Gas (GHG) emissions /ha UAA (Utilized Agricultural Area including pastoral areas) of assessed farms according to degree of pastoralism.

											
		DA	Ref	DA	Ref	DA	Ref	DA	Ref	DA	Ref
Conso. d'énergies (MJ/unité de production)		3,35	3,72	59	37	24,1	2,2	102	70	9,7	11,3
Excédent du bilan N (kg N/ha)		58	79	46	97	35	109	47	108	142	79
Contribution biodiversité (ha éq/ha SAU atelier)		3,4	2,3	3,1	1,7	2,2	2,5	3,1	2,0	2,3	1,7
Performance nourricière (nb pers./ha SAU atelier)		17	15	2,0	6,4	3	13	3,2	9,0	13	13

Figure 7 : Comparaison des performances environnementales, autre que les émissions de GES, des fermes Décarbon'Alpes par rapport à la référence nationale, à système d'élevage équivalent (DA = Décarbon'Alpes, Ref = Référence)

Figure 7: Comparison of the environmental performance, other than GHG emissions, of Décarbon'Alpes farms compared to the national references, using equivalent rearing systems (DA = Décarbon'Alpes, Ref = Reference)

Les résultats en termes de potentiel nourricier des territoires valorisés suivent cette même tendance où le nombre de personnes nourries par hectare est nettement inférieur aux références.

3.2 Stock de carbone actuels des sols d'élevages et possibles évolutions

3.2.1 De forts stocks dans les parcelles d'élevage

Sur les trente premiers centimètres de sol, le stock moyen de carbone organique des 26 parcelles d'élevage s'élève à 110 tC/ha (min. 63 – max 213). Le jeu des 26 parcelles compte 23% de parcelles en cultures ou rotation cultures-prairies, 46% de prairies permanentes de basse ou moyenne altitude et 31% de prairies d'alpage. **Ces dernières sont celles qui ont le stock le plus important, soit 118 tC/ha en moyenne** pour cette profondeur. Ce stock est à relier d'une part à leur gestion en prairies permanentes à flore naturelle, valorisées par un pâturage à faible pression, et

d'autre part à l'altitude élevée où la saison froide étendue limite les pertes de carbone par minéralisation des matières organiques. En comparaison, les stocks C moyens des élevages ruminants situés sur d'autres bassins de production à basse altitude mesurés selon la même méthodologie (75 parcelles OCBO, Chambaut et al 2024) sont inférieurs d'un tiers à ceux des élevages alpins.

Par ailleurs, quelques parcelles sur 6 élevages ont été sondées ici selon un protocole complet (i.e. jusqu'à 75 cm si creusement possible). Elles montrent que le stock plus profond est moindre qu'en surface. **La part du stock de carbone en dessous de 30 cm correspond entre 22 et 42% du stock total** (Figure 8). Elle est assez voisine de ce qui a été observé en condition d'élevage de plus basse altitude (OCBO et al. 2024). Ces résultats, bien que non généralisables au vu du nombre réduit de situation est cohérent avec la décroissance des teneurs en carbone du sol entre la surface (0-30 cm) et les zones plus profondes.

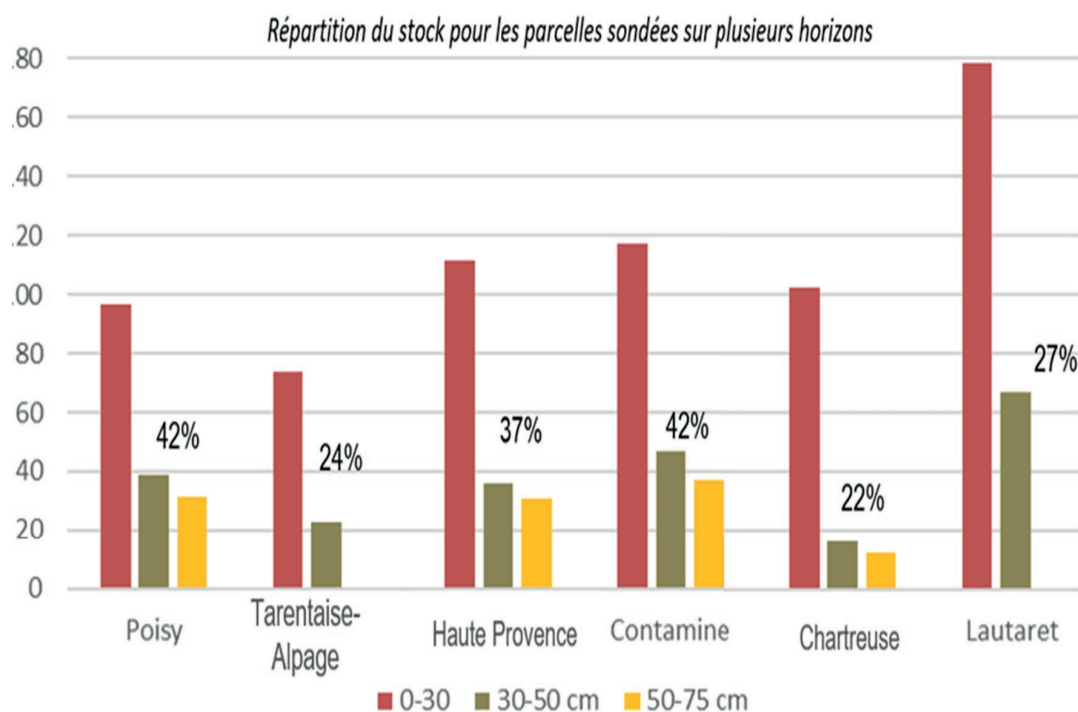


Figure 8 : Constitution du stock de carbone organique dans les parcelles avec la profondeur par horizon de sol
Figure 8: Organic carbon stock formation in plots with depth by soil horizon

Balesdent *et al.* 2018 situe à 47% le stock en dessous de 30 cm. Comme la part de carbone récent (i.e. incorporé depuis 20 ans au sol) située en dessous de 30 cm n'est que de 20% à 25% (respectivement en prairie et en culture, Pellerin *et al* 2019), les études environnementales se focalisent généralement sur la couche supérieure de sol, la plus aisée à prélever (i.e. CAP2ER, CarSolEl, Label grande culture AMG). On notera cependant ici sur les sites alpins que plusieurs parcelles d'élevage ont un stock C mesuré en dessous de 30 cm de profondeur qui correspond à plus de 50 t C/ha, soit une valeur proche du stock médian des sols des grandes cultures en France pour leur horizon de surface le plus riche (0-30 cm). Cela rappelle l'importance des enjeux carbone sur la zone d'élevage du massif alpin.

Enfin, les variations intra parcellaires de stock mesuré sur les parcelles alpine d'élevage sont fortes (28 tC/ha, médiane des écarts entre placettes situées à 20 m et prélevées dans une même parcelle). L'écart intra parcellaire le plus faible obtenu est de 0.7 TC/ha soit 1% du stock en place. Ces variations témoignent d'une part de la difficulté de réaliser avec précision la mesure de stock, notamment en milieu montagnard avec des sols assez caillouteux, et d'autre part de l'hétérogénéité du sol des parcelles valorisées par l'élevage, même sur des zones voisines et visuellement 'similaires', d'où l'intérêt de géo-référencer précisément les points prélevés pour un suivi de la fertilité des sols.

3.2.2 Evolution des stocks dans le temps (dé-stockage)

- Quels écarts d'appréciation du stockage avec CAP2ER en intégrant conduites et état du milieu ?

En supposant que les horizons temporels de projection soient similaires entre les deux méthodes de comptabilité carbone utilisées (i.e. moyenne linéaire d'évolution du stock sur 30 ans pour CarSolEl), l'écart moyen de stockage C obtenu pour les 4 situations de gestion de parcelles d'élevage entre CarSolEl et CAP2ER est de -174 kg C/ha/an. Ceci est relativement modeste au vu de la non prise en compte des conditions pédoclimatiques locales par CAP2ER® (valeur nationale de dé-stockage liée à l'usage), ni de la gestion effective (fertilisation, récolte). Néanmoins, cette moyenne masque des écarts importants (tableau 3) qui, rapportés à la SAU dédiée dans les systèmes fourragers des fermes, pourraient modifier de façon sensible la part d'émissions de GES compensée par le stockage C dans la SAU présenté en 3.1 dans la restitution de l'empreinte C nette. De plus, **le positionnement des parcelles entre elles est également différent** (i.e. classement par stockage croissant B<D<(C=A) pour CAP2ER et C<B<D<A pour CarSolEl). Une meilleure précision de l'outil CAP2ER® pourrait modifier le conseil délivré sur le volet séquestration C pour la transition écologique.

Enfin, les deux parcelles d'estive (A, C) sur sol légèrement acide illustrent la forte sensibilité de l'outil CarSolEl aux conditions de milieu dans lesquelles s'exerce la conduite d'élevage extensif (A et C n'ont aucune fertilisation, aucune coupe, et un pâturage inférieur à 100 jours UGB/ha/an). L'estive de moyenne altitude (A) renforce son stock C à l'avenir (S0, S1) lorsque la parcelle de haute altitude ne parvient pas à maintenir le stock hérité du passé, par ses pratiques actuelles ou modifiées (déstockage voisin de -600 kg C/ha/an).

Tableau 3 : Evolution des stocks de carbone projeté à 30 ans selon les conduites et les milieux par l'outil CarSoEL et son positionnement par rapport à CAP'2ER®

Table 3: Projected 30-year carbon stock evolution according to behaviour and environment using the CarSoEL tool and its positioning in relation to CAP'2ER®

	cas d'étude	74-Poisy	05-Gapençais	38-Chartreuse	73 Tarentaise
		B	D	A	C
		Vallée - 490m cultures annuelles	Coteaux sec- 800m prairie 5an/culture 3 an	Alpage 1630 m Génisses BV	Alpage> 2000m Vaches laitières
Physico chimie du sol	% argiles	22	25	23	9
	% sables	35	23	26	5
	pH eau	8	8,3	5	5,2
Matières organiques	% MO	2,8 à 3,8	2,8 à 3,3	6,6	3 à 5
Pluviometrie annuelle	mm pluie/an	1149	774	1145	1468
Températures journalières moyennes	T min (°C)	6,3	5	6,9	1
	T max (°C)	16,7	15,2	18,6	6,1
Utilisation en prairie dans l'historique	% d'années	0%	62%	100%	100%
rendement grain	Qx/ha	65	50 à 60	0	0
Fourrage récolté ou jours de paturage (jours cumulés/ha/an)	TMS/ha/an	0	7 à 10	50 UGB jours	9 Jours UGB
Fertilisation azotée minérale	kgN/Ha/an	144	25	0	0
Epandage de fumiers, lisiers	kg Norg tot/Ha/an	140	55	0	0
Stock C mesuré en 2023 (0 à 30 cm)	TC/Ha	74	62	103	70
Evolution annuelle du stock CAP2ER (déstockage -)	kg C/Ha/an	-160	0	250	250
Evolution selon Carsolel, pratiques et climat actuels	kg C/Ha/an	-304	170	393	-615
Scénario Carsolel avec pratiques améliorantes simulées	kg C/Ha/an	de -230 à - 20	136	(+510)*	-610
Scénario Carsolel, avec projections climatiques Drias	kg C/Ha/an	nr	230	nr	-400

* amélioration avec apport de fertilisation, ce qui n'est pas forcément une option recommandable sur les autres volets environnementaux du fait de la biodiversité (flore de haute montagne).

Ceci illustre le fait que la nature du milieu exploité en alpage (sol, climat) joue un rôle majeur sur le niveau de compensation des émissions carbone qui est alors reporté sur l'empreinte carbone du produit lait viande valorisant ces espaces. Ainsi, certains produits pastoraux pourraient potentiellement se voir fortement impactés négativement quant à l'image communiquée auprès des consommateurs en cas d'application de mesures précises d'évaluation de stock de carbone dans les sols (produits plus émetteurs que ceux issus d'autres régions naturelles).

● Quelle pertinence pour déterminer du carbone additionnel stocké en milieu alpin ?

Dans une optique de conseil vis-à-vis de la labellisation des gains où seul le stockage additionnel serait comptabilisé (i.e. écart S1-S0 comptabilisé), **CarSoEL répond aux attentes de simulation de solutions d'adaptations imaginées avec les conseillers (S1) sur les parcelles de basse à moyenne altitude** : introduction de

couverts dérobés pâturés entre cultures annuelles, allongement de durée de prairie temporaire, changement des modes de fertilisation organique et minérale, introduction de pâturage dans des ilots auparavant fauchés. Les limites de l'outil sont ressenties pour les prairies d'altitude où les solutions imaginées pour l'avenir portent essentiellement sur des modifications tenues de gestion du pâturage comme une montée en estive plus précoce du fait des évolutions de changement climatique et une répartition différente des journées de pâturage sur la saison mais sans grande modification des journées de pâturage annuellement (i.e jours UGB pâturant/an/ha). En effet, du fait de l'éloignement au site, introduire un épandage mécanique de fumiers serait contestable vu la dépense en carburant (transport, pente) et un apport d'azote minéral pour booster la productivité primaire, même à faible dose, serait contestable pour ses effets potentiels sur la flore naturelle (parcs nationaux). Ainsi, les scénarii imaginés pour

adapter le pâturage à la ressource n'apportent que de très faibles modifications sur le résultat de stockage CarSolEI (moins d'une dizaine de kg C/ha/an) alors que l'accroissement de température et la modification des pluies prévues par les météorologies pour la fin du siècle modifieraient le chiffre sur plus de 100 kgC/ha/an. Il est probable que la faible intervention humaine à haute altitude (ici deux passages d'animaux de 4 jours par an) influe bien moins sur le stockage de carbone de l'estive étudiée que l'évolution des conditions climatiques en cours.

3. Discussion et conclusion

En comparaison à d'autres systèmes d'élevage (i.e. de plaine) ou à d'autres systèmes pastoraux/de montagne, les résultats des exploitations alpines étudiées montrent **un niveau d'émissions de GES exprimées par unité de produit plus élevé lié à une productivité plus faible et des temps d'hivernage plus élevés malgré de plus faibles apports d'engrais minéraux azotés et une autonomie en concentrés moyenne**. Néanmoins, les émissions de GES de ces exploitations alpines, exprimées par ha de surface utilisées, sont plus faibles. Il semblerait d'ailleurs que plus le degré de pastoralité est important, plus les émissions de GES brutes et nettes sont plus faibles (effet non significatif). De plus, **ces exploitations alpines compensent leurs émissions à hauteur de 70 % en moyenne avec CAP2ER**, ce qui est plus important qu'en système de plaine ou autres systèmes pastoraux/de montagne. **Leur atout : réduire les émissions par le stockage de carbone. Il convient toutefois de préciser que la méthodologie d'évaluation du stockage de carbone** va prochainement évoluer afin de se rapprocher des préconisations européennes à paraître en 2026. Cela pourrait avoir de fortes conséquences sur le niveau de stockage de carbone attribué aux fermes alpines.

Enfin, ces exploitations alpines montrent de meilleures performances environnementales (bilan azoté réduit, meilleure contribution au maintien de la biodiversité, dépendance énergétique équivalente) mais nourrissent moins de personnes, liée à une plus faible productivité.

Les résultats du diagnostic CAP'2ER® ont conduit à identifier pour les 41 fermes alpines **110 leviers d'action différents avec en moyenne 3 leviers par ferme. Ils concernent pour 25% les cultures, 24% l'alimentation, 26% les animaux du troupeau, 25% la gestion des déjections et les énergies fossiles**. Les vidéos témoignages d'éleveurs ont été réalisées pour les filières bovins, ovins viande et ovins lait. Une liste d'une quinzaine de données de saisie à modifier ont également été pointées pour améliorer l'outil CAP'2ER® aux particularités des systèmes pastoraux dont une partie est désormais implémentée.

L'outil CarSolEI a montré son utilité pour mieux discuter des incidences climatiques et de gestion des parcelles sur le stockage C des parcelles d'élevage. Il est **utile pour se projeter selon différents scénarii d'avenir et en chiffrer les gains ou les pertes,**

sans pouvoir être exhaustif. Cependant, sa mise en œuvre à l'échelle de l'exploitation rencontre plusieurs limites pour une utilisation telle que préconisée dans les documents européens en préparation autour de la certification de gains carbone. Ces améliorations (mesure de stock et modélisation ou/et remesure) répondent aux soucis actuels de divergence méthodologique constatés par Sven van Baren (2023) au sein de l'Europe. Sa mise en œuvre opérationnelle en zone de montagne augmenterait substantiellement les temps dédiés au diagnostic CAP'2ER® du fait de la mesure et des informations historiques à rassembler. S'il est de première importance de mieux connaître le sol des parcelles car les analyses sont rares, la mesure complète (densité, éléments grossiers, analyse de sol) s'avère longue et d'autant plus difficile à réaliser que le sol est caillouteux, les parcelles éloignées des accès et pentues. Du fait des variations d'altitude et d'étendue des surfaces exploitées (estives), les fermes alpines sont davantage susceptibles de valoriser des sols hétérogènes qu'en plaine. Réaliser des mesures dans une majorité de parcelles serait nécessaire pour réaliser un chiffrage précis du stockage C, générant un coût plus important d'analyse.

D'autre part, si les informations de pratiques agricoles à rassembler sont relativement accessibles sur les îlots possédant un cahier d'enregistrement de fertilisation et de récolte, elles sont parfois plus délicates à renseigner pour les estives. Ceci s'explique par le fait que celles-ci sont fréquemment gérées collectivement, sans posséder de registres synthétisant les interventions des différents troupeaux pâturant sous format informatisé.

Cette expérience est d'autant plus intéressante que les limites ici citées pour CarSolEI rencontreraient le même écueil pour d'autres outils de modélisation mécaniste du stockage carbone (Roth C...). Ainsi, il est prévisible que la mise en application effective du dispositif harmonisé de labellisation des gains C entrant en application au sein de l'Europe en 2026 s'avère **plus coûteuse en temps et en frais d'analyse au sein de massifs montagneux que sur les fermes de plaine** (guideline en consultation, susceptible d'être modifié).

Enfin, si les atouts positifs de l'élevage de montagne pour des citoyens sensibles à la transition écologique dans leurs choix alimentaire passent par la biodiversité et la qualité de l'eau, l'image du produit est beaucoup plus variable en termes de contribution climatique selon i) l'unité choisie (entretien du territoire avec un impact par hectare, ou l'impact au kilo de produit acheté), ii) selon que la méthode de calcul établissant le niveau de séquestration de carbone tient compte des conditions précises de pratiques agricoles et de milieux dans les parcelles valorisées.

Les niveaux de stockage ici étudiés sur quelques parcelles ne peuvent pas être représentatifs de l'ampleur des conditions du massif ni de l'ensemble des pratiques d'élevage. Le suivi d'évolution des stocks de carbone mis en place en Europe sur 20 cm de profondeur (De Rosa *et al.*, 2023), montre sur dix ans une grande variabilité d'évolution, selon les zones, confirmant la

présence de sites déstockant en différents points du massif. Ceci pourrait donc interroger fortement l'élevage pastoral valorisant de larges étendues d'estives à faible pression humaine. De façon plus globale, que se passera-t-il en termes d'entretien des paysages (feu, avalanches, biodiversité) si les nouvelles modalités de calcul du stockage carbone en Europe détournent le consommateur des produits animaux de certaines parties du massif, notamment en altitude ? En dehors des conséquences économiques et sociales locales, le détournement et le report de consommation vers des bassins à plus faible intensité carbone comme en plaine ne risque-t-elle pas de se confronter à des limites (disponibilité en eau, en surfaces pâturables...), notamment si la transition écologique favorise une remise en culture de surface dédiées aux prairies temporaires ?

Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement les éleveurs et responsables de sites pour le temps accordé à la collecte des informations, à la confiance apportée. Les résultats sont collectifs, ils ont mobilisé une quinzaine de conseillers pour réaliser les diagnostics d'exploitation, les prélèvements de sol dans les parcelles, ainsi que les étudiants en charge du tamisage des sols, encadrés par l'Université Savoie-Mont-Blanc.

Références bibliographiques

- Ademe : <https://agirpoulatransition.ademe.fr/particuliers/evaluer-son-impact/calculer-impact-alimentation/>
- Balesdent J., Basile-Doelsch I., Chadoeuf J. et al. (2018). Atmosphere-soil carbon transfer as a function of soil depth. *Nature* 559, 599–602. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0328-3>
- Brun-Lafleur, L., Graux, A. I., Klumpp, K., Martin, R., Therond, O., Vertès, F., & Chambaut, H. (2022). CarSolEI, a user-friendly tool to predict carbon stocks evolution in grassland-based farms. *Grassland at the heart of circular and sustainable food systems*, 800.
- Chambaut H., Brun-Lafleur L., Decau ML., Allard A., Couilleau B., Daveau B., Foviot S., Guy F., Gautier D., Lecoeur P., Abiven F, Lecannelier L., Cliquet J. (2024). Carbone du sol en élevage de ruminant, enseignements du réseau de l'observatoire carbone des sols OCBO. Journées rencontres recherche ruminants, Paris Décembre 2024.
- Commission Européenne (2026). Carbon removals and carbon farming – methodologies for certifying carbon farming. https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/14574-Carbon-removals-and-carbon-farming-methodologies-for-certifying-carbon-farming_en
- De Rosa, D., Ballabio, C., Lugato, E., Fasiolo, M., Jones, A., & Panagos, P. (2024). Soil organic carbon stocks in European croplands and grasslands: How much have we lost in the past decade? *Global Change Biology*, 30, e16992. <https://doi.org/10.1111/gcb.16992>
- Dollé J., Moreau S., Brocas C., Raynal J., Duclos A. (2015). Elevage de ruminants et changement climatique, *Collection l'essentiel Institut de l'élevage*, ISBN 978-2-36343-625-2, 22 p.
- FAO (2019). Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: Guidelines for assessment (Version 1). Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. Rome, FAO. 170 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
- Gouvernement Français (2025). Planifier et accélérer la transition écologique. Consultable en ligne : <https://www.info.gouv.fr/politiques-prioritaires/planifier-et-acceler-la-transition-ecologique/>
- Idele (2025). Documentation CAP'2ER®, consultable en ligne : <https://idele.fr/detail-article/cap2err>
- Michailidis, V., Lugato, E., Panagos, P., Freund, F., & Abalos, D. (2025). Impact of healthy diet shifts on soil greenhouse gas emissions across Europe. *Global change biology*, 31(11).
- Ministère de la transition écologique, centre de ressource pour l'adaptation au changement climatique, espace documentaire, milieu, montagne, 2024 <https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/>
- Ministère de l'écologie, (2025). Rapport d'accompagnement de la stratégie nationale bas carbone numéro 3, Consultable en ligne : <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/2025%20-%20Rapport%20accompagnement%20SNBC%203.pdf>
- Perrot C. (2025). L'élevage de ruminants au recensement agricole 2020, *Economie de l'élevage*, numéro 544, ISSN 1273-8638.
- Suaci Montagn'Alpes (2025). Atlas des Alpes et de l'agriculture alpine, 16 pages, consultable en ligne : https://paca.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/257_chambres_dagriculture_provence-alpes-cote_dazur/CA05/Documents/2025/2024_ATLAS_des_Alpes.pdf
- Van Baren S., Arets E., Dankers C., Lesschen J.P., Sybenga J., Demmendaal F. -W.P. Karsch (2023). Review of certification methodologies for carbon farming – survey results and first assessment of coverage of the Q.U.A.L.I.T.Y criteria, CARBON REMOVALS EXPERT GROUP TECHNICAL ASSISTANCE, 69 p.
- Wilfart A., Vayssières J. (2025). Futurs de l'élevage dans les systèmes agri-alimentaires, *Edition Quae*, ISBN : 978-2-7592-4065-4, 218 p.