

Raréfaction et cout croissant de l'énergie : vers un nouveau paradigme pour l'élevage

BENOIT M. (1)

(1) UMR Herbivores, INRAE Centre de Theix F-63122 Saint Genès-Champanelle

RESUME

L'agriculture est très dépendante de l'énergie, particulièrement l'élevage. Il lui faut 6 à 12 fois plus d'énergie qu'en grandes cultures pour produire un mégajoule de denrée alimentaire. Une forte inflation du prix de l'énergie risque de pénaliser sa compétitivité vis-à-vis des cultures consommées en alimentation humaine mais aussi de la biomasse dédiée à la production d'énergie. La collectivité pourra difficilement assurer la compensation économique nécessaire. Alors que près de 75% de l'énergie utilisée en élevage vise à nourrir les animaux, baisser le cout énergétique conduit à reconsidérer les modes d'alimentation, en ciblant les coproduits, y compris les cultures intermédiaires implantées en grandes cultures, mais aussi les ressources herbagères, en privilégiant le pâturage. Redéploiement de l'élevage dans les territoires, baisse de productivité et des volumes mis en marché font partie des principales conséquences. Au-delà des questionnements pour les filières animales et le métier d'éleveur, une telle évolution aurait des conséquences positives, notamment sur le plan environnemental, avec un élevage pourvoyeur de nombreux services pour la société.

Energy scarcity and rising costs: towards a new paradigm for livestock farming

BENOIT M. (1)

(1) UMR Herbivores, INRAE Centre de Theix F-63122 Saint Genès-Champanelle

SUMMARY

Agriculture is highly energy-dependent, especially livestock farming. It requires 6 to 12 times more energy than crops to produce one megajoule of foodstuff. A sharp rise in energy prices risks jeopardizing its competitiveness compared with crops consumed by humans as well as with biomass used for energy production. It will be difficult for the society to provide the economic compensation. Given that 75% of energy used in livestock is to feed animals, reducing energy costs thus means rethinking feeding patterns, by targeting co-products, including intercrops in field crops, as well as grassland resources, giving priority to grazing. The consequences include the redistribution of livestock farming across the country and a drop in productivity and production. Beyond the questions raised for the livestock industry and the livestock farmer's profession, such a development would have positive consequences, particularly for the environment, with livestock farming providing numerous services for society.

INTRODUCTION

L'humanité s'est développée depuis un siècle et demi grâce à l'utilisation de ressources énergétiques fossiles (charbon, pétrole, gaz) qui sont, par nature, limitées, et qui sont la première cause du réchauffement climatique. L'agriculture moderne a fondé son développement sur ces sources d'énergie abondantes et peu chères. Alors qu'elles ne représentaient que 7 % de l'énergie utilisée dans le secteur agricole dans les années 1930, elles comptaient pour 90 % de l'énergie utilisée en agriculture dès les années 1970 (Harchaoui et Chatzimpiros 2018). Les activités d'élevage ont été structurées en cohérence avec cette apparente disponibilité, aboutissant à i) une forte mécanisation permettant d'assurer la fourniture de quantités importantes d'aliments pour le bétail (céréales ou fourrages), avec une augmentation très significative de la dimension des ateliers, et ii) l'intensification de la production, avec des productivités animales élevées tant pour la viande que pour le lait, grâce à des aliments à forte densité énergétique (céréales, ensilage de maïs par exemple). Ces aliments présentent un double coût énergétique : par la mécanisation nécessaire à leur mise en œuvre mais aussi par la fertilisation azotée qu'ils requièrent. Cette analyse vise à montrer en quoi cette dépendance énergétique est singulière pour l'élevage, questionnant particulièrement les modes d'alimentation des animaux, et en quoi elle pourrait amener à restructurer en profondeur, à moyen terme, ce secteur de production. Cette analyse est axée sur les systèmes de production les plus représentés actuellement en France, d'élevage, mais aussi de grandes cultures, afin de mettre en exergue les spécificités de l'élevage de ruminants vis-à-vis de la question énergétique.

1. MATERIEL ET METHODES

Le tableau 1 reprend les caractéristiques de fermes représentant cinq productions agricoles clés en France (bovins viande, bovins lait, porcs, volailles, grandes cultures) (SOLAGRO 2011) et les décrit succinctement du point de vue de leurs caractéristiques structurelles et techniques, et en termes de performances énergétiques (consommation d'énergie directe et indirecte, selon une approche d'analyse de cycle de vie). Pour la production laitière, l'ensemble présenté (408 fermes) se décompose en quatre sous-groupe qui seront mobilisés dans l'analyse proposée et dont le tableau 2 donne les principales caractéristiques. Il faut noter que le système « Zéro maïs », qui représente près de 50% de l'ensemble, est constitué essentiellement de fermes de montagne et demi montagne, avec un potentiel pédoclimatique – et donc des performances - peu comparable aux trois autres groupes. Notons aussi qu'il n'y a pas eu, pour les systèmes bovins laitiers, d'allocation de la consommation d'énergie sur le coproduit viande, jugée minime vis-à-vis du lait (pas d'engraissement des produits).

L'indicateur de consommation d'énergie rapporte généralement l'énergie consommée à l'unité fonctionnelle « quantité produite » spécifique de la production étudiée : litres de lait, kg de viande vive, kg de céréales. Aussi, cet indicateur permet difficilement de comparer les performances des productions aussi différentes que le lait, la viande et les céréales. Pour cette raison, nous avons transformé les quantités produites par les différents systèmes étudiés en unités beaucoup plus proches du contenant alimentaire du produit i.e. la viande consommable pour ce qui concerne les animaux d'élevage, la matière sèche du lait, les kilos de matière sèche des céréales (tableau 1).

Nous complétons notre analyse par l'évaluation de l'efficacité d'utilisation de l'énergie pour chacune de ces productions, i.e. leur capacité à produire des MJ à partir de l'énergie mise en œuvre dans le processus de production (indicateur MJ Produits / MJ Utilisés, approche en analyse de cycle de vie).

Tableau 1 Comparaison de cinq productions agricoles françaises : caractéristiques globales des fermes et consommations d'énergie (approche analyse de cycle de vie)

	Bovins viande ¹	Bovins lait	Porcs	Volailles	Céréales
Nombre de fermes	92	408	60 (44+16) ²	71	271
Caractéristiques des fermes					
SAU	161	68	60	7 ha dédiés aux volailles	166 ha (11 ha gel)
Surface Fourragère Principale (SFP)	109	62	-	-	-
UGB/ha SFP	1,4	1,04	-	-	-
Nombre de vaches	82	45	-	-	-
Production	66 tonnes viande vive	252 000 litres lait	413 tonnes viande vive	320 tonnes viande vive	875 tonnes
Production par unité	0,422 t vv/UGB	5 600 litres/vache	-	-	4,8 t MS/ha
Concentré utilisé	2 200 kg /vache	1 200 kg/vache	4 400 kg/UGB 2,9 kg/kg vv	2,2 kg/kg vv	-
Consommation d'énergie					
MJ/unité	30 474 MJ/t vv	4 608 MJ/1000 l	13 848 MJ/t vv	11 943 MJ/t vv	3 492 MJ/t MS
MJ/unité standardisée ³	49 151 MJ/t ⁴	35 446 MJ/t MS	16 684 MJ/t ⁴	19 262 MJ/t ⁴	3 492 MJ/t MS
MJ produits/MJ utilisés	0.44	0.59	0.86	ND	5.4
Produits pétroliers ⁵ [%]	22,9	24,2	8,1	11,1	20,8
Electricité [%]	4,0	18,6	21,9	4,6	9,5
Fertilisation [%]	17,9	11,6	6,4	0	48,7
Aliments [%]	26,1	20,0	50,0	70,9	-
Autres ⁶ [%]	29,1	25,6	13,6	12,9	21,0

¹ Bovins viande naisseurs engraisseurs
² 44 fermes de naisseur-engrailleurs et 16 engrailleurs stricts
³ Le but est de comparer au mieux les productions entre elles i.e. la part consommable par l'homme et la contribution alimentaire. Prise en compte du pourcentage du poids vif consommable, y compris abats et autres produits (graisse pour suif, couenne, os et peaux pour gélatine...) : Bovins viande 62 %, vaches laitières 57 %, porcs 83 %, volailles 62% (Laisse et al. 2019). Pour le lait (exprimé par tonne de matière sèche), nous retenons le taux de 130 g de matière sèche par litre
⁴ tonne consommable par l'Homme
⁵ gasoil, essence, lubrifiants, gaz
⁶ Autres : Matériel, bâtiments, produits phytosanitaires, semences, autres fournitures

Tableau 2 Détail des quatre sous-groupes bovins laitiers composant le groupe laitier du tableau 1 (Solagro 2011), selon le système fourrager en place. Production de lait, consommations de concentrés et d'énergie.

Sous-groupe (système)	Zéro maïs ¹	Herba-ger ²	Herbe-maïs ²	Maïs-herbe ²
nombre de fermes	201	55	116	36
lait/vache (litres)	5240	5289	6087	6560
concentré/vache(kg)	1421	1046	1334	1408
MJ/1000 litres lait	4913	4014	4389	4806

¹ Elevages essentiellement situés en zone de demi-montagne et de montagne
² Sous-groupes situés dans des contextes pédoclimatiques comparables, avec culture du maïs possible

Ces données ne sont pas statistiquement représentatives de l'agriculture française mais représentent l'ensemble des enquêtes réalisées par différents acteurs agricoles au début des années 2000 (811 au total), analysées par SOLAGRO selon la méthode de l'analyse en cycle de vie, avec l'outil PLANETE (SOLAGRO 2011). Il n'y a pas eu de mise à jour des données depuis cette édition.

2. RESULTATS
2.1. L'ELEVAGE EST CARACTERISE PAR UNE FORTE DEPENDANCE A L'ENERGIE

Les consommations d'énergie observées pour les bovins lait et viande apparaissent très élevées, en comparaison des céréales, eu égard aux volumes produits : sur l'indicateur « MJ consommés par tonne standardisée » les productions de lait et de viande sont 10 et 14 fois supérieures, respectivement, à celle des céréales. Pour les bovins viande, une tonne de denrée consommable par l'homme nécessite près de 50 000 MJ d'énergie contre 35 000 MJ par tonne de matière sèche pour le lait, 17 000 à 19 000 MJ par tonne de viande consommable pour les porcs et les volailles et 3 500 MJ par tonne de matière sèche pour les céréales. Bien que ces unités ne soient pas directement comparables du fait des compositions différentes (protéines en particulier), les ordres de grandeurs montrent les très grands écarts de niveaux de dépendance à l'énergie.

2.2. UN RENDEMENT DE TRANSFORMATION DE L'ENERGIE FAIBLE EN PRODUCTION BOVINE

Cette forte utilisation d'énergie par kg de denrée alimentaire produite se traduit par des niveaux d'efficacité de transformation de l'énergie (MJ produits/MJ utilisés) systématiquement inférieure à un pour les productions animales, alors que cette efficacité atteint 5.4 pour les

céréales (tableau 1). Ainsi, les porcs sont six fois moins performants que les ateliers céréaliers, et les bovins (moyenne lait et viande) 10.5 fois moins.

2.3. L'ALIMENTATION DES ANIMAUX : A LA BASE DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE

L'alimentation représente près de 75 % du coût énergétique de l'élevage dans les systèmes de production les plus représentés en France, bovins et porcins (Benoit et Mottet 2023), sur la base des données du tableau 1. Cela inclue l'énergie nécessaire à la production des concentrés achetés et celle liée à la production de l'alimentation sur la ferme, dont celle issue des cultures annuelles. Divers types d'énergie sont pris en compte dans ce total, dont la fertilisation et la mécanisation associées à la mise en place des cultures, mais aussi leur récolte et distribution (ensilage en particulier), en termes de carburant mais aussi de matériel mobilisé. Les 25% restant comprennent essentiellement les bâtiments et l'électricité.

3. DISCUSSION

3.1. L'ELEVAGE EST TRES MAL POSITIONNE PAR RAPPORT A L'AUGMENTATION DU PRIX DE L'ÉNERGIE

Les valeurs élevées observées pour les activités d'élevage pour l'indicateur MJ produits / MJ utilisés signifient qu'une augmentation importante du coût de l'énergie aura des effets démultipliés sur l'élevage par rapport aux grandes cultures, dans un facteur de six pour les porcs et de 10.5 en moyenne pour les bovins. Notons que ces résultats sont le reflet de l'efficience alimentaire relativement faible des ruminants, une large partie de l'énergie utilisée étant dissipée via les besoins d'entretien des animaux. Chercher à limiter ces derniers par kilo produit en augmentant la productivité animale conduit en contrepartie à augmenter l'utilisation des intrants à fort coût énergétique. Dans un contexte fortement inflationniste où le consommateur peut voir son pouvoir d'achat baisser, il paraît ainsi peu concevable d'envisager tout à la fois une hausse importante des prix des produits issus de l'élevage permettant le maintien de la rentabilité de cette activité face à un prix croissant de l'énergie, et le maintien des volumes de production actuellement mis en marché. Par ailleurs, dans un tel contexte d'énergie chère, les cultures à fin énergétique (en particulier destinées à la méthanisation) pourraient avoir une valorisation élevée. Cela pourrait conduire par ricochet à des prix élevés pour les cultures à destination humaine ou animale. Les productions d'élevage perdraient alors en compétitivité vis-à-vis de l'utilisation des surfaces arables et pour l'utilisation des produits qui en sont issus.

3.2. UN IMPERATIF : REVISITER FONDAMENTALEMENT LES MODES D'ALIMENTATION DES ANIMAUX

Dans ce contexte, l'impératif sera de revisiter le mode d'alimentation des animaux, déterminant vis-à-vis de la dépendance énergétique de l'activité d'élevage. Pour les ruminants, la faible compétitivité vis-à-vis des cultures conduira à reconsidérer le type d'aliment en privilégiant l'herbe, qui procure aujourd'hui de bons résultats économiques, par exemple en filière laitière (CIVAM 2023). Sa valorisation sous forme de pâturage limite la distribution d'aliment récolté ou acheté, coûteux en énergie de récolte, stockage, distribution, et épandage des déjections. Notons à ce titre que le système bovin lait « Herbager » (tableau 2) affiche une consommation d'énergie par litre de lait inférieure de 9% à celle du système Herbe-Maïs et de 17% à celle du groupe « Maïs-Herbe ». Malgré des outils de traitement de données et des périmètres géographiques différents, ces différences relatives sont cohérentes avec celles issues de l'étude CIVAM (2023) dans laquelle l'ensemble des données présentées permettent de rapprocher la consommation d'énergie de la production de lait. Cette consommation atteint 2690 MJ /1000 litres dans les fermes ayant moins de 20% de maïs ensilage vs 3250 MJ dans celles ayant plus de 20% de maïs ensilage, soit +20.8%.

Le champ d'adaptation des systèmes de production de monogastriques sera plus restreint et s'appuiera essentiellement sur la valorisation de coproduits.

Globalement, le report massif de l'élevage sur ce type de ressources peu coûteuses en énergie (pâturage, coproduits) conduira à une baisse importante des volumes de produits animaux, au regard de la part actuellement très élevée des surfaces de culture qui lui sont dédiées. Celles-ci sont évaluées à près de 500 millions d'hectares à l'échelle de la planète, dont 210 millions d'hectares de céréales (Mottet et al., 2017). Par ailleurs, la réduction de la fertilisation azotée de synthèse, très énergivore, conduira à une baisse du chargement animal et donc de la production correspondante. L'évitement de la concurrence d'utilisation des surfaces arables – utilisées en priorité pour l'alimentation humaine voire la production d'énergie – conduira par ailleurs à redistribuer l'élevage dans les territoires en fonction des ressources alimentaires disponibles. En zone de plaine, des ruminants pourront valoriser différents types de biomasse par le pâturage dans des systèmes de grande culture conduits selon les principes de l'agroécologie, avec des rotations longues incluant la culture de légumineuses fourragères ainsi que des cultures intermédiaires d'intérêt agronomique. Des travaux de recherche se développent depuis une dizaine d'années pour définir les modalités d'utilisation par les ovins de telles ressources (Verret et al. 2020). En zone de moyenne montagne, sur les surfaces peu ou pas labourables, les ruminants, en particulier les bovins, valoriseront avant tout les prairies permanentes. En zone méditerranéenne, les petits ruminants tireront parti des parcours. Enfin, des monogastriques ou des bovins à l'engraissement élevés à proximité des unités de transformation des grandes cultures valoriseront leurs coproduits (son, tourteaux, pulpes...). Cette redistribution permettra en outre d'éviter en grande partie le coût énergétique croissant du transport et du conditionnement des matières premières (déshydratation en particulier) avec des activités d'élevage qui se déploieront à proximité des ressources disponibles et des surfaces destinées à l'épandage des déjections animales.

3.3. L'ELEVAGE SOUS SA NOUVELLE CONFIGURATION : D'IMPORTANTES SERVICES RENDUS A LA SOCIÉTÉ

Ces modalités de l'alimentation des animaux mettent en évidence de nombreux services procurés par l'élevage, et en premier lieu les ruminants. Le pâturage est la conduite d'élevage la plus sobre en énergie, tant par l'utilisation directe de la ressource que pour la restitution directe des déjections sur les surfaces utilisées. Dans les territoires herbagers à faible potentiel de cultures, l'élevage assure une fonction d'entretien du territoire (Dumont et al. 2019), incluant l'atténuation des risques d'incendies associés au changement climatique et le maintien de zones récréatives. Dans ces territoires, il contribue très significativement au maintien d'activités socio-économiques, en lien avec leur fort potentiel culturel et touristique (Vollet et al. 2017). La poursuite d'une activité d'élevage dans des territoires largement couverts par la forêt conduit à une mosaïque paysagère très favorable à la biodiversité (Zachar et al. 2022) et contribue à l'identité de ces espaces (Chai-Allah et al. 2023). Dans les zones à potentiel agronomique plus élevé et disposant de terres labourables, l'association de l'élevage à différents types de cultures apparaît déterminante en termes de services : destruction de couverts d'intérêt agronomique par le pâturage avec restitution directe des déjections, limitation des adventices (pâturage), réduction des maladies et ravageurs (ingestion du matériel végétal sénescant et des limaces). Par ailleurs, dans ces espaces, les prairies contribuent à créer des mosaïques paysagères et les élevages herbagers fournissent ainsi indirectement divers services : réduction de la pression des produits phytosanitaires, régulation des crues, esthétique du paysage, mais aussi préservation des infrastructures écologiques indispensables aux insectes pollinisateurs et aux auxiliaires des cultures (Ouin et al. 2021).

La recherche d'autonomie alimentaire (protéique en particulier) à l'échelle de la ferme ou à l'échelle des territoires permet d'éviter certains impacts indirects négatifs de l'activité d'élevage, telle la destruction des forêts primaires du continent sud-américain et la disparition de la biodiversité associée (Chaudhary et Kastner 2016). La réduction globale des activités d'élevage est l'une des conclusions de notre analyse. Rappelons que c'est une voie essentielle pour réduire les émissions de GES, comme préconisé par la Cour des Comptes (2023). Notons aussi que, même si une ration riche en concentrés permet de réduire significativement les émissions de méthane par kilo de produit, l'analyse du cycle de vie montre que les systèmes herbagers, particulièrement ceux qui sont extensifs, peuvent afficher une réduction des émissions de GES par kilo produit, ceci grâce à une forte réduction des intrants utilisés, par exemple en élevage laitier biologique (Lambotte et al 2023) tout en contribuant fortement à la séquestration de carbone dans les sols de prairies (Pellerin et al. 2020). Les systèmes d'élevage largement fondés sur l'utilisation de l'herbe et du pâturage conduisent à des produits présentant des caractéristiques intéressantes d'un point de vue nutritionnel eu égard à leur richesse en acides gras polyinsaturés (van Vliet et al 2021). Enfin, les stratégies d'élevage fondées sur la pratique du pâturage sont jugées favorables au bien-être animal (Mee et Boyle 2020) même si certains aspects négatifs sont à relever, par exemple le risque accru d'infestation par des parasites gastro-intestinaux des petits ruminants et des jeunes chevaux.

3.4 CONSEQUENCES GLOBALES DE LA REDUCTION ET RECONFIGURATION DES ACTIVITES D'ELEVAGE

3.4.1 Une réduction de la compétition pour les ressources entre alimentation animale et humaine

Cette réduction résulterait de la transition des systèmes d'alimentation des animaux vers une plus grande utilisation de fourrages – dont ceux issus des prairies et parcours - et de coproduits des cultures, de plusieurs types : i) les coproduits de la transformation des matières premières destinées à l'alimentation humaine, ii) les résidus à pâturer après la récolte de céréales ou la consommation de fruits et de légumes non récoltés ; iii) les cultures mises en œuvre dans un but agronomique (cultures intermédiaires visant à éviter le salissement des cultures par les adventices, casser les cycles de maladies, et éviter la fuite des éléments minéraux) ou les bandes enherbées en inter-rangs, en arboriculture et viticulture, et iv) le pâturage au stade végétatif de cultures destinées à l'alimentation humaine, qui n'entraîne qu'une baisse limitée du rendement en grain (Harrison et al. 2011) voire une légère augmentation dès lors que l'on respecte certaines modalités de pâturage (Sagot et Verret 2021).

3.4.2 Une réduction importante de la part des produits de l'élevage dans notre alimentation

Cette réduction aurait deux origines : i) la moindre importance des activités d'élevage dans l'activité agricole globale, avec la priorité donnée aux surfaces cultivables pour la fourniture de produits végétaux directement utilisables en alimentation humaine, voire aussi pour la production d'énergie et ii) la baisse de productivité animale, au moins pour les ruminants, liée d'une part à la très forte réduction d'utilisation des aliments en concurrence avec l'alimentation humaine et d'autre part à la mise en œuvre de systèmes d'élevage évitant les systèmes d'alimentation largement fondés sur la consommation d'énergie directe ou indirecte, tels les régimes basés sur le maïs ensilage et le soja d'importation.

3.4.3 Une relocalisation des activités d'élevage

Un redéploiement des activités d'élevage serait donc à envisager à proximité des ressources qui leur seraient dédiées. Cela conduirait à une forte réduction des phénomènes de concentration de l'élevage, amplifiée par la réduction globale des activités d'élevage.

CONCLUSION

La réduction de l'activité d'élevage –qui est déjà observée, au moins en France, pour les ruminants– et sa reconfiguration pourraient avant tout être dictées par des considérations de rentabilité, dans un contexte inflationniste lié à la réduction d'utilisation de l'énergie, d'origine fossile en particulier. Cette évolution et cette reconfiguration coïncideraient avec les enjeux sociétaux actuels tels la réduction des gaz à effet de serre, la limitation de la déforestation et le rééquilibrage de certains régimes alimentaires comportant un excès de produits d'origine animale. Cette évolution, qui pourrait être subie pour des raisons économiques, devra être accompagnée. En effet, il s'agira d'une part d'aider à la reconception et réorganisation des systèmes de production, avec une réduction significative des productions animales, d'autre part de soutenir les secteurs d'amont et d'aval dans la restructuration et la redistribution de leur activité au sein des territoires. Enfin, une reconnaissance via des services rendus par ce type d'élevage reconfiguré pourrait contribuer à assurer sa rentabilité mais aussi à changer sa vision sociétale.

Remerciements à Anne Mottet pour la contribution à cette analyse et la relecture du texte.

- Benoit M., Mottet A., 2023.** Agric. Syst. 205, 103585
Chai-Allah A., Fox N., Brunschwig G., Bimonte S., Joly F., 2023. Landscape Urban Plann. 233,
Chaudhary A., Kastner T., 2016. Global Environ. Change 38, 195-204
CIVAM 2023. <https://www.civam.org/ressources/reseau-civam/agriculture-durable-thematique/observatoire-technico-economique-des-systemes-bovins-laitiers-edition-2023/>. 20p
Cour des Comptes, 2023. 137p
Dumont B., Ryschawy J., Duru M., Benoit M., Chatellier V., Delaby L., Donnars C., Dupraz P., Lemauiel-Lavenant S., Méda B., Vollet D., Sabatier R., 2019. Animal 13(8), 1773-1784
Harchaoui S., Chatzimpiros P., 2018. J.Ind. Ecol. 23(2), 412-425
Harrison M.T., Evans J.R., Dove H., Moore A.D., 2011. Crop Pasture Sci. 62(11), 930-946
Laisse S., Baumont R., Dusart L., Gaudré D., Rouillé B. et al 2019. INRA Prod. Anim. 31(3), 269-288
Lambotte M., De Cara S., Brocas C., Bellassen V., 2023. J Environ Manage 334, 117405
Mee J.F., Boyle L.A., 2020. New Zealand Veterinary Journal 68(3),
Ouin A., Andrieu E., Vialatte A., et al, 2021. Adv. Ecol. Res. 65, 57-106
Pellerin S., Bamière L., Launay C., Martin R., 2020. Rapport scientifique de l'étude INRA, 540p
Poore J., Nemecek T., 2018. Science 360, 987-992
Sagot L., Verret V. 2021. http://www.agrofile.fr/wp-content/uploads/2021/12/POSCIF_Fiche_technique_CEREA_LES.pdf.
SOLAGRO, 2011. Valorisation des données capitalisées par la base de données PLANETE, <https://solagro.org/travaux-et-productions/references/references-planete-mieux-connaître-les-consommations-energetiques-des-exploitations-agricoles-francaises>.
van Vliet S., Provenza F.D., Kronberg S.L. 2021 Front Sustainable Food Syst 4. doi:10.3389/fsufs.2020.555426
Verret V., Emonet E., Clapin M., Rougier M., Sagot L., Mischler P., Gautier D., 2020. Innov. Agron. 80, 55-68
Vollet D., Huguenin-Elie O., Martin B., Dumont B., 2017. INRA Prod. Anim. 30(4), 333-350
Zachar Z., Pápay G., Csontos P., Szabó G., Zimmermann Z., et al, 2022. Diversity 14(7), 551