



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

Le proto-métabolisme : approche du fonctionnement bioéconomique d'un territoire agricole

Proto-metabolism: An approach to the bioeconomic functioning of an agricultural region

Myriam Grillot, Jean-François Ruault, André Torre, Frédéric Bray et Sophie Madelrieux



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/economierurale/8908>

DOI : 10.4000/economierurale.8908

ISSN : 2105-2581

Éditeur

Société Française d'Économie Rurale (SFER)

Édition imprimée

Date de publication : 30 juin 2021

Pagination : 55-75

ISSN : 0013-0559

Référence électronique

Myriam Grillot, Jean-François Ruault, André Torre, Frédéric Bray et Sophie Madelrieux, « Le proto-métabolisme : approche du fonctionnement bioéconomique d'un territoire agricole », *Économie rurale* [En ligne], 376 | Avril-juin, mis en ligne le 03 janvier 2023, consulté le 06 janvier 2023. URL : <http://journals.openedition.org/economierurale/8908> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/economierurale.8908>



Creative Commons - Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 4.0 International - CC BY-NC 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Le proto-métabolisme : approche du fonctionnement bioéconomique d'un territoire agricole

*Myriam GRILLOT • Université de Toulouse, INRAE, UMR AGIR, F-31320, Castanet-Tolosan, France
Jean-François RUAULT, André TORRE, Frédéric BRAY, Sophie MADELRIEUX • Université de
Grenoble Alpes, INRAE, LESSEM, F-38402 Saint-Martin-d'Hères, France*

La bioéconomie est devenue incontournable pour la transition vers une économie décarbonée. Elle favorise le développement des usages non alimentaires des biomasses d'origine agricole (BOA). Or peu de méthodes et outils permettent – sans travail de terrain préalable – d'esquisser des hypothèses sur le fonctionnement bioéconomique d'un territoire, des étapes de production des BOA jusqu'à leur valorisation. Ainsi, cet article propose une approche métabolique opérationnelle, à partir de données en libre accès, et une grille d'analyse traitant des dimensions d'ancrage, d'autonomie et d'empreintes énergétique, environnementale et socio-économique. Cette proposition est mise à l'épreuve de deux territoires, permettant un diagnostic préliminaire à une application sur le terrain.

MOTS-CLÉS : *agriculture, agroalimentaire, bioéconomie, économie écologique, collecte de données*

Proto-metabolism: An approach to the bioeconomic functioning of an agricultural region

The bioeconomy has become politically unavoidable for the transition to a carbon-free economy. It promotes the development of non-food uses of agricultural biomass. However, few methods and tools allow us—without prior fieldwork—to outline hypotheses on the bioeconomic functioning of a territory, from the stages of agricultural biomass production to its valorization. Thus, this article proposes an operational metabolic approach, based on open data, and a framework for analysis that deals with dimensions of embeddedness, autonomy, and energetic, environmental, and socioeconomic footprints. This proposal is put to the test within two territories, enabling a preliminary assessment to be made before any field application. (JEL: O13, Q57, C8).

KEYWORDS: *agriculture, agrifood, bioeconomy, ecological economics, data collection*

Dans un contexte de forte dépendance aux pays exportateurs d'énergies fossiles, de crise structurelle de la politique agricole commune, les attentes de l'Union européenne en matière de relance économique sont pressantes. Aussi, depuis les années 2000, la bioéconomie cristallise, en Europe, les ambitions d'une transition vers une économie décarbonnée. Cet enthousiasme politique éclipse la diversité des acceptations de la bioéconomie (Pahun *et al.*, 2018 ; Vivien *et al.*, 2019).

Ressources aux cycles de renouvellement rapides, les biomasses d'origine

agricole (BOA) sont au cœur des stratégies bioéconomiques, ayant vocation à être déclinées dans les régions (MAA, 2017). Au sens de la commission européenne, la bioéconomie se fonde sur l'exploitation du vivant et les biotechnologies, cela en vue de répondre aux divers besoins énergétiques et matériels de l'Homme. Ainsi, avec la démultiplication de leurs usages possibles, les BOA ne sont plus perçues comme un ensemble de ressources « surexploitées » mais comme un stock de matières premières « mal exploitées », *i.e.* dont nous pouvons optimiser l'utilisation (exemple :

réduction du gaspillage) ou diversifier les usages (exemple : extraction de molécules) (Pahun *et al.*, 2018).

Toutefois, l'optimisation des modes d'exploitation des BOA se confronte à des enjeux de renouvellement des fonds écologiques, c'est-à-dire au sens de Georgescu-Roegen (1971) les agents de production spécifiques aux écosystèmes et aux services qu'ils rendent, qui soutiennent la production agricole. Cela exacerbe les effets de concurrence et les synergies sur l'usage des sols, les pratiques agricoles et le choix des débouchés des produits et coproduits (France AgriMer, 2016 ; Rathmann *et al.*, 2010). De plus, la globalisation des filières agri-alimentaires et la relative déconnexion des opérateurs des filières au territoire (Madelrieux *et al.*, 2017a ; Rastoin et Gherzi, 2010) se traduisent par : i) une dépendance accrue des territoires à des ressources, opérateurs et centres de décisions extraterritoriaux pour assurer la production, la transformation et la valorisation des BOA ; ii) des empreintes socio-économiques dégradées et/ou des empreintes énergétiques et environnementales externalisées vers d'autres territoires et qui s'abstraient des limites planétaires (Bruckner *et al.*, 2019).

Ainsi, le développement d'une bioéconomie territoriale engagerait une pluralité d'acteurs et d'échelles et questionnerait à la fois les risques de déstructuration des filières locales ainsi que les empreintes socio-économique, énergétique et environnementale des transformations à l'œuvre (Geissdoerfer *et al.*, 2017). Or, à notre connaissance, peu de méthodes et outils permettent d'observer et d'analyser les étapes de production des BOA jusqu'à leur valorisation (Urmetzer *et al.*, 2020) pour créer de nouveaux savoirs sur les transformations bioéconomiques à mener dans les territoires.

L'insoutenabilité des modèles de développement basés sur le déstockage de

ressources fossiles (et non renouvelables) a notamment été mise en lumière par Georgescu-Roegen (1971). Cet auteur a posé les bases d'une approche métabolique, susceptible de décrire les conditions de fonctionnement durable de l'économie : les flux de services, de matière et d'énergie essentiels à l'économie sont produits pour partie par des fonds qui se renouvellent, et qui vont – s'ils sont bien gérés – soutenir durablement le système économique (Missemer, 2015).

En s'inspirant de ce paradigme, cet article décline une approche métabolique et l'applique localement à l'analyse de filières de production et de valorisation des BOA. Cette approche a une volonté opérationnelle pour tout acteur de territoire se posant des questions relatives à ces filières, transposable et reproductible d'un territoire à un autre sur l'ensemble des territoires de la métropole (à une échelle infrarégionale). La BOA est entendue ici comme toute biomasse d'origine végétale ou animale produite par les exploitations agricoles pour des usages alimentaires ou autres.

L'article présente d'abord la méthodologie de construction d'un métabolisme primitif des filières de production et de valorisation des BOA d'un territoire, dit « proto-métabolisme », puis sa grille d'analyse. La méthode est ensuite mise à l'épreuve sur deux cas d'étude : la vallée de la Drôme (VD) et du Nord de l'Aube (NA). Enfin, les intérêts et limites d'une telle approche sont discutés, notamment les hypothèses qu'elle permet de formuler sur le fonctionnement bioéconomique d'un territoire et les perspectives d'enrichissement.

Cadre conceptuel : le métabolisme

1. Relier économie et écologie des activités humaines

Les approches métaboliques permettent de montrer comment économie (ou « technosphère » pour Georgescu-Roegen, 1972)

et écologie (ou « biosphère ») des activités agricoles sont reliées (Madelrieux *et al.*, 2017a) au travers des flux de matière, de nutriments, d'eau ou d'énergie (Fernandez-Mena *et al.*, 2016 ; Harchaoui et Chatzimpiros, 2018). Il existe une diversité d'approches et de représentations métaboliques, tant en termes de flux que de niveaux d'organisation et d'échelles considérés (Bahers *et al.*, 2020 ; Fernandez-Mena *et al.*, 2016 ; Gabriel *et al.*, 2020). Dans cet article, nous nous attachons à une conception métabolique des processus de production inspirée de Georgescu-Roegen (1972) qui distingue : i) les fonds, *i.e.* des éléments structurels et renouvelables d'un système, capables d'émettre et de recevoir des flux (à la différence des stocks, souvent épuisables) ; ii) les flux, *i.e.* des quantités de matière, de substance ou d'énergie qui apparaissent ou disparaissent au contact des fonds durant le processus de production (Passet, 2010).

2. Grille d'analyse : ancrage, autonomie, empreinte

L'analyse du métabolisme des BOA d'un territoire repose sur le postulat qu'il y a des fonds spécifiques à chaque territoire (ancrage spatial, territorial et écologique). Ces fonds alimentent des flux d'échanges en interne et pour partie avec le reste du monde (autonomie biophysique et décisionnelle), ce qui donne lieu à un fonctionnement métabolique plus ou moins performant (des empreintes environnementale, énergétique et socio-économique). Les interactions entre ces fonds (ici agents économiques et leurs facteurs de production) et flux constituent des réseaux. Nous proposons de les analyser selon le cadre suivant : ancrage, autonomie, empreinte, décliné de manière opérationnelle en méthodologie.

L'analyse des formes d'ancrage des réseaux au territoire permet de mettre en évidence les synergies locales existantes (Madelrieux *et al.*, 2017b). Elle interroge

la façon dont les réseaux sont localisés dans le territoire (ancrage spatial), la spécification des ressources et des fonds, pour éviter leur délocalisation et créer de la richesse – matérielle ou non – dans le territoire (ancrage territorial). Elle interroge également la mobilisation et la valorisation des fonds écologiques du territoire (ancrage écologique) (Baritoux *et al.*, 2016).

L'analyse de l'autonomie des réseaux permet de déterminer s'ils peuvent se suffire à eux-mêmes et fonctionner en économie circulaire (autonomie biophysique) (Tamura et Fujie, 2014). La localisation des fonds au sein ou en dehors du territoire et la gouvernance des flux renseignent sur l'autonomie décisionnelle des acteurs du territoire (Nuhoff-Isakhanyan *et al.*, 2017).

Les approches métaboliques permettent aussi de questionner, par la conversion des flux en d'autres grandeurs, les empreintes énergétiques, environnementales, socio-économiques de ces systèmes. Des travaux évaluent l'efficacité de l'usage de l'énergie (empreinte énergétique) (Kim *et al.*, 2018), l'efficacité de l'usage de l'azote et les pollutions associées (Harchaoui et Chatzimpiros, 2018), ou, plus largement, les ressources mobilisées et impacts environnementaux localement ou externalisés (empreinte environnementale). D'autres travaux étudient les dimensions sociales et économiques, avec des indicateurs d'emploi et de performance économique (empreinte socio-économique) (Serrano-Tovar et Giampietro, 2014).

Méthodologie

1. Construire le proto-métabolisme des BOA à partir de données en libre accès

Un recensement des bases de données existantes sur les BOA a été effectué (*annexe I*) et quatorze bases de données ont été retenues pour la construction du proto-métabolisme (Grillot *et al.*, 2019).

Afin d'assurer le caractère reproductible et transposable de la méthode, les données devaient être en libre accès et disponibles sur l'ensemble des communes de France. Les données les plus récentes ont été utilisées en fonction des disponibilités et des appariements possibles entre sources de données (*annexe 2*), sur une base temporelle annuelle.

Le périmètre de construction du proto-métabolisme se concentre sur la production agricole d'un territoire jusqu'à sa première transformation. Au-delà, les flux sont difficilement traçables. Les opérateurs de la première transformation ne se situent pas systématiquement à proximité des bassins de production (Margetic, 2014), de fait, ceux présents dans un rayon de 100 km autour de la zone d'étude ont été inclus. En effet, l'objectif n'est pas de se borner à une échelle précise et aux acteurs en présence dans une zone délimitée spatialement mais bien d'identifier les réseaux de coordination, les dépendances et interrelations entre acteurs et filières (intra- ou extraterritoriales), ce que Wassenaar (2015) décrit comme les réseaux métaboliques.

2. Opérationnaliser la grille d'analyse du métabolisme

Modulable en fonction des données disponibles, la grille d'analyse du métabolisme présentée précédemment est opérationnalisée en fonction des données disponibles (*tableau 1* et *annexe 2* pour le détail). L'indicateur le plus utilisé ici est le quotient de localisation (QL). Il permet d'évaluer la spécialisation locale par rapport au profil moyen du pays (Gagné et Letort, 2017). Il s'agit du rapport du ratio de la zone sur le ratio national. Sa valeur est de 1 lorsque le ratio observé localement correspond à celui observé au niveau national. Ici, seules les déviations supérieures ou égales à 0,2 point sont considérées comme caractéristiques d'une sur- ou d'une sous-représentation locale de l'activité.

Ancrage

L'ancrage spatial renvoie à la question de la représentation locale : i) des productions, *via* l'orientation technico-économique des exploitations agricoles (OTEX) dans le recensement agricole (RA) et les surfaces dédiées (Registre parcellaire graphique, RPG) ; ii) des opérateurs des filières de la 1^{re} transformation (données SIRENE). La structuration de ces filières autour de collectifs laisse présager des dynamiques collectives autour d'intérêts communs. La stabilité du réseau de travailleurs est évaluée à partir des déplacements domicile-travail dans le bassin de vie de la zone d'étude (Recensement général de la population, RGP).

L'ancrage territorial est renseigné par : i) la présence de ressources spécifiées et propres au territoire (signes officiels de la qualité et origine) ; ii) les proximités entre production et consommation *via* la présence de circuits courts et la vente directe (données INAO et RA).

L'ancrage écologique s'appuie sur le renouvellement et la valorisation des fonds écologiques, par la présence de surfaces toujours en herbe (STH) ou d'espaces protégés (parcs naturels ou zones Natura 2000, données INPN) et la limitation du recours à des intrants de synthèse (présence de l'Agriculture biologique, AB ou exploitations certifiées à Haute valeur environnementale, HVE). Les réseaux favorisant une production plus « environnementale » des BOA informent sur l'implication des acteurs, par exemple les groupements d'intérêt économique et environnemental (GIEE). Les infrastructures permettant un bouclage des flux de BOA (méthaniseurs, plateformes de compostage, données Sinoe®) informent sur les potentiels d'ancrages.

Autonomie

L'autonomie biophysique renvoie à la capacité du territoire à approvisionner

Tableau 1. Grille de lecture du métabolisme des filières de production et valorisation des BOA

Dimensions	Critères
Ancrage spatial	Spécialisation des productions Spécialisation des opérateurs des filières Recours à la main-d'œuvre du territoire Présence de collectifs soutenant la production des BOA du territoire
Ancrage territorial	Valorisation des ressources spécifiques au territoire (SIQO) Les proximités entre production et consommation (circuits courts)
Ancrage écologique	Recours à des surfaces permettant l'entretien des fonds écologiques Présence d'espaces protégés Présence de réseaux d'intérêt environnemental Présence de l'AB Présence d'exploitations certifiées à haute valeur environnementale Présence d'infrastructures mobilisant des coproduits agricoles et de la 1 ^{re} transformation
Autonomie biophysique	Dépendance des filières du territoire à des opérateurs extérieurs pour la production
Autonomie décisionnelle	Dépendance à des opérateurs des filières à des centres de décision extérieurs
Empreinte environnementale	Pressions environnementales Efficience d'utilisation des éléments minéraux
Empreinte énergétique	Présence d'établissements de nature agricole produisant de l'électricité Retour énergétique
Empreinte socio-économique	Contribution à l'emploi Captation des revenus par les habitants

Source : les auteurs.

la production des BOA (fertilisation des terres, alimentation des animaux, paillage, etc.) et aux opérateurs de la transformation en présence. La confrontation entre productions/apports potentiels et besoins potentiels renseigne l'autonomie potentielle (données RPG, Statistiques annuelles agricoles [SAA], SIRENE). N'ayant pas accès à des données récentes sur la présence d'animaux sur l'ensemble du territoire à une échelle infradépartementale, cette confrontation est qualitative et basée sur le postulat que plus l'Agriculture biologique (AB) est développée dans le territoire, plus le besoin en matière organique est élevé.

L'autonomie décisionnelle questionne la localisation des centres de décision des opérateurs situés dans le territoire. L'hypothèse est qu'une entreprise ayant

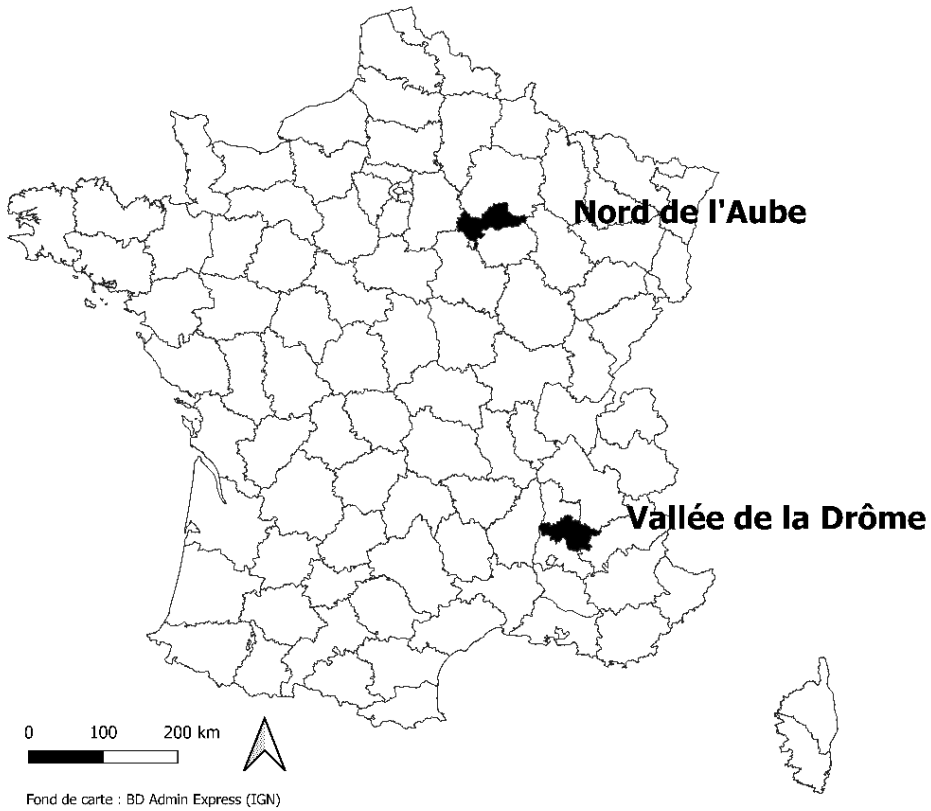
son centre de décision localement a plus de marge de manœuvre pour enclencher une transition bioéconomique et mettre en place des projets locaux, que si elle dépend de centres distants (ici en fonction du siège social, données SIRENE).

Empreinte

L'empreinte environnementale questionne l'efficience d'utilisation des éléments minéraux par rapport à des risques de pollutions. Plus un système sera efficient et moins il y a de risques de pollutions (Harchaoui et Chatzimpiros, 2018). Le classement des espaces en zones vulnérables, témoigne d'un historique de pollutions provoquées ou induites par les nitrates à partir de sources agricoles.

L'empreinte énergétique questionne l'efficience d'utilisation de l'énergie

Figure 1. Localisation des deux terrains d'étude : Nord de l'Aube et vallée de la Drôme



Source : les auteurs.

(Harchaoui et Chatzimpiros, 2018) et la production d'énergie par les exploitations agricoles (ici établissements produisant de l'électricité, données SIRENE).

L'empreinte socio-économique s'intéresse au coût-bénéfice de la production et la valorisation locale des BOA. Les bénéfices sont appréhendés en termes de contribution à l'emploi (opportunités et croissance de l'emploi, données CLAP et eStel, 2008-2015) et en gain de revenus salariaux pour la communauté d'habitants (données RGP et DADS, 2014).

3. Deux cas d'étude contrastés

Pour tester l'approche et monter en généralité, deux terrains d'étude contrastés ont été choisis : la vallée de la Drôme, VD (97 communes) et le Nord de l'Aube, NA (154 communes) (figure 1). La VD est pour partie en zone de montagne, tandis que le NA est situé en zone de plaine. Pour 1 224 dans la VD et 1 551 exploitations agricoles dans le NA en 2010, la surface agricole utile (SAU) en 2018 est trois fois inférieure dans la VD (58 770 ha) que dans le NA (198 759 ha). La surface moyenne

est de 35 et 126 ha par exploitation pour la VD et le NA, respectivement.

Proto-métabolisme des BOA

1. Ancrage des proto-métabolismes

L'ancrage spatial

Dans la VD, l'élevage représente 48 % des orientations technico-économiques (OTEX) des exploitations agricoles (EA) en 2010. Les OTEX petits ruminants (quotient de localisation, QL de 1,7), hors-sol (1,7) et polyculture-élevage (1,2) sont sur-représentés par rapport à la France. Les surfaces fourragères, dont 85 % sont des estives, landes et prairies permanentes, composent 67 % de la SAU en 2018 (QL de 1,4). Comme détaillé dans l'*annexe 3*, cet ancrage spatial de l'élevage est conforté par une sur-représentation d'opérateurs de la transformation, de la conservation de la viande de boucherie (QL de 2,3), de la fabrication de fromage (1,8) et d'aliments pour animaux (2,1). Nous comptons 16 groupements pastoraux (QL de 46,0).

Côté production végétale, en 2018, les filières sur-représentées, à la fois dans la production et 1^{re} transformation, sont : les plantes à parfum aromatiques et médicinales (PPAM) (QL de 7,8 en surfaces, dont 63 % sont emblavées en lavande, et QL de 14,8 pour la fabrication d'huiles essentielles, et 1,9 pour les condiments et assaisonnements) ; l'arboriculture (QL de 4,7 en surfaces et 1,7 pour la transformation et conservation de fruits) ; la viticulture (QL de 1,3 en surfaces et 2,0 pour la fabrication de vin). Les filières céréales et oléagineux sont particulièrement représentées dans la 1^{re} transformation avec la fabrication d'huiles et graisses brutes (4,7), de bière (2,9) et la meunerie (1,9). Les usages non alimentaires des BOA sont présents avec 5 établissements de préparation de fibre textile et filature (QL de 6,3). Étant donné la forte présence d'élevages ovins et les faibles surfaces en chanvre ainsi qu'en

lin (6 ha), nous émettons l'hypothèse d'une valorisation locale de la laine. Hors filières, les surfaces en « autres cultures » (dont 35 % de truffières) et non exploitées sont également sur-représentées (QL de 1,9 et 1,4, respectivement).

Dans le NA, les grandes cultures représentent 86 % des OTEX en 2010 (QL de 3,4) et 69 % de la SAU en 2018 (QL de 1,6). Comme détaillé dans l'*annexe 3*, cet ancrage est conforté par une sur-représentation d'établissements dans la fabrication de malt (QL de 56,3), d'aliments pour animaux de ferme (2,3) et la meunerie (1,6). Deux autres filières sont particulièrement ancrées : les cultures industrielles (QL de 6,7 en surfaces, dont 86 % sont emblavées en betterave, et QL de 15,3 pour la fabrication de produits amylicés, 4,2 pour la fabrication de sucre, et 2,7 pour la transformation et conservation de pommes de terre) et la filière légumes (QL de 3,3 en surfaces et 2,4 pour la transformation et conserverie de légumes). En 2010, l'élevage représentait seulement 10 % des OTEX (0,6).

Dans les deux territoires, les filières sont soutenues par une main-d'œuvre provenant très majoritairement de la population active du territoire. En 2016, pour la catégorie « agriculture, sylviculture et pêche », 81 % d'actifs sont stables pour la VD et 77 % pour le NA, contre 55 % et 51 % d'actifs stables tous secteurs d'activité confondus. Les réseaux d'acteurs agricoles témoignent d'une dynamique collective agricole. Dans la VD, nous observons 4 sociétés d'intérêt collectif agricole (QL de 4,5), 11 coopératives (3,1) soit 1 pour 111 EA et 1 CUMA pour 33 EA (2,2). Dans le NA, nous observons 46 coopératives, soit 1 pour 34 EA (QL de 5,7) et 1 CUMA pour 24 EA (4,4).

L'ancrage territorial

Dans la VD, les productions spatialement ancrées ont également un ancrage

territorial avec 8 AOP et 15 IGP qui spécifient des produits d'origine viticole (11), animale (3 laitiers, 2 volailles et 1 ovin), de PPAM (2) et autres (céréales, farine, miel, ail). En 2010, 591 EA (soit 48 %) ont un produit sous signe de qualité (QL de 1,6). À l'inverse, les productions spécifiées dans le NA ne sont pas issues de filières spatialement ancrées. Il s'agit de 5 AOP et 5 IGP spécifiant des ressources viticoles (5) et animales (4 laitiers et 1 volaille). En 2010, 472 EA (soit 30 %) commercialisent un produit sous signe de qualité, soit une représentation équivalente à la moyenne nationale (QL de 1,0).

L'ancrage territorial de la VD s'exprime aussi par les proximités entre production et consommation, avec la forte présence de circuits courts pour la commercialisation des produits. En 2010, en dehors du vin, 23 % des EA commercialisent un produit en circuit court (QL de 1,9), contre 1 % dans le NA (0,1) ; 20 % font de la vente directe (2,0), contre 1 % dans le NA (0,1).

L'ancrage écologique

L'ancrage écologique du proto-métabolisme est marqué, en 2018 dans la VD, par une SAU composée à 43 % de surfaces toujours en herbe (STH) et 18 % de bois pâturés. Dans le NA, malgré une augmentation de +12 % de la STH entre 2015 et 2018, elle représente 2 % de la SAU en 2018. La surface fourragère principale est dominée à 53 % par les cultures pour la déshydratation. Par ailleurs, la VD est couverte à 31 % de deux parcs naturels régionaux (Vercors et Baronnies provençales), contre 2 % pour le NA (Forêt d'Orient). Côté biodiversité, les sites classés Natura 2000 couvrent respectivement, 16 et 2 % de la superficie de la VD et du NA. Aucun des deux territoires ne dispose de groupement d'intérêt économique et environnemental en 2018.

Concernant les pratiques agricoles certifiées, en 2017 dans la VD, l'AB représente 29 % de la SAU pour une densité de 7,7

établissements par km², contre 2 % pour une densité de 0,7 dans le NA, et 13 % et une densité de 1,2 en France métropolitaine. À l'image de la répartition de la SAU, les surfaces en AB les plus représentées sont, dans la VD, les PPAM (QL de 5,4) et arboriculture (1,4) et 17 exploitations en viticulture (dont un avec des volailles), 2 en arboriculture et 3 classées « autre » sont certifiées HVE. Dans le NA, les surfaces en AB les plus représentées sont les cultures maraîchères (6,6), grandes cultures (2,2) et autres dont les cultures industrielles (2,2), et 6 exploitations en grandes cultures et 3 en maraîchage sont certifiées HVE.

Le NA est plus équipé en infrastructures mobilisant des coproduits que la VD, avec 2 plateformes de compostage de déchets ménagers et assimilés (1 pour la VD), 3 méthaniseurs et 1 plateforme de stockage des déchets ménagers et assimilés (0 pour la VD).

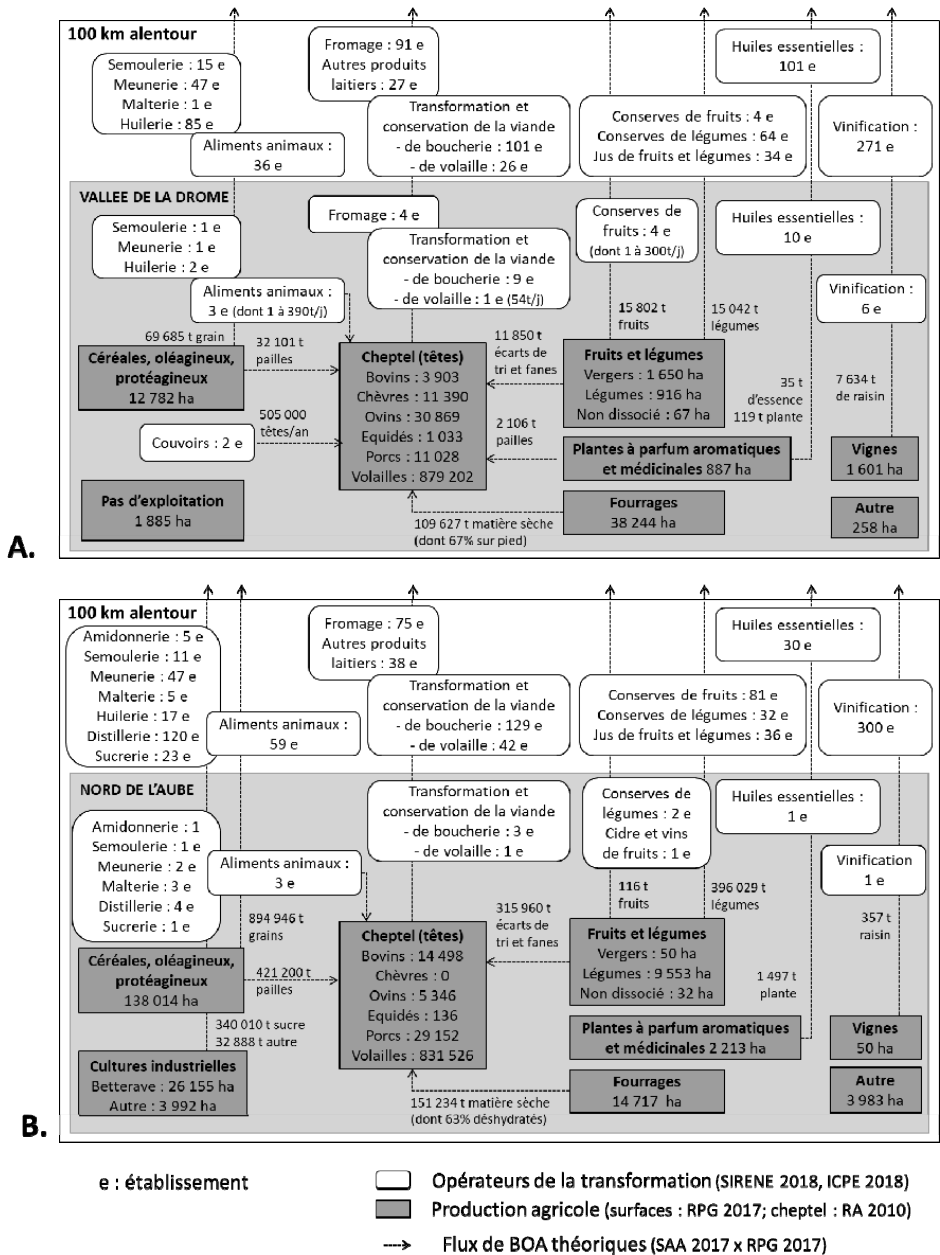
2. Autonomie des proto-métabolismes

La *figure 2* présente le proto-métabolisme des deux cas d'étude avec les flux potentiels entre production (unités de production x rendement) et les opérateurs de la 1^{re} transformation (présents dans le territoire ou, s'ils y sont absents, dans les 100 km en dehors).

Les deux terrains ne semblent pas autonomes dans leur approvisionnement en matière organique, du fait de la forte présence de l'AB dans la VD, qui nécessite un recours accru à la matière organique pour fertiliser les cultures et de la faible présence d'animaux dans le NA par rapport aux surfaces cultivées. La sur-représentation d'exploitations en polyculture-élevage dans la VD permet toutefois de supposer que certaines exploitations ont davantage ce potentiel d'autonomie individuellement.

De même, l'autonomie alimentaire des élevages semble compromise avec une production potentielle de 109 627 t

Figure 2. Proto-métabolisme des deux terrains d'étude : la vallée de la Drôme (A) et le Nord de l'Aube (B)



Source : les auteurs.

de fourrages, 663 t de protéagineux pour la VD face à plus de 11 000 chèvres laitières et près de 900 000 volailles et, pour le NA, 151 234 t de fourrages, 10 214 t de protéagineux pour 14 498 bovins et plus de 800 000 volailles. Cela traduit, comme ailleurs en France, un fort déficit en autonomie protéique et une dépendance à des sources protéiques venant d'ailleurs, comme le soja.

Concernant l'approvisionnement des Industries agro-alimentaires (IAA), dans la VD, l'approvisionnement en fruits (potentiel de 15 802 t) semble insuffisant pour les 4 établissements transformateurs du territoire, sachant qu'un des établissements emploie entre 100 et 199 salariés et est autorisé à transformer 300 t/j. Il en est de même pour la filière PPAM (35 t d'essence) où se trouvent 10 transformateurs d'huiles essentielles sur le territoire. Dans le NA, le potentiel de presque de 300 000 t d'orge semble également insuffisant pour la malterie qui emploie plus de 200 personnes réparties dans 3 établissements, dont l'un peut traiter 1 100 t/j de matière première végétale. Il en est de même pour l'approvisionnement de la sucrerie qui emploie 250 à 499 personnes, pouvant distiller 8 000 hL d'alcool/j et au potentiel de méthanisation de 1 t/jour.

Quant aux capacités de transformation des BOA, la VD ne dispose pas d'établissement de transformation et conservation de légumes pour ses productions maraîchères. De plus, la production en volailles semble surdimensionnée par rapport aux capacités d'abattage (1 abattoir limité à 54 t/j et 3 EA autorisées à abattre à la ferme). Dans le NA, il semble n'exister qu'une seule IAA susceptible de transformer des produits laitiers, celle de glaces et sorbets. Or les vaches laitières représentent 13 % du troupeau bovin en 2010 et nous observons 4 signes de qualités fromagers (*cf.* ancrage territorial). Nous supposons que la transformation fromagère est fermière ou externalisée.

En outre, l'autonomie décisionnelle des IAA peut être remise en cause par la localisation de leurs sièges sociaux, à 9 et 21 % en dehors du territoire pour la VD et le NA, respectivement.

3. Empreinte des proto-métabolismes

Pour l'empreinte environnementale, le classement en zone vulnérable de 13 % de la surface de la VD et la totalité du NA montre un historique de pression sur l'environnement par les nitrates plus marqué dans le NA. L'efficacité d'utilisation de l'azote est de 37 % dans la VD contre 59 % dans le NA. Cette différence peut être liée à la moindre efficacité de conversion énergétique des animaux, plus nombreux dans la VD.

Pour l'empreinte énergétique, la production nette d'énergie (produits végétaux et animaux convertis en petajoules, PJ) est près de 9 fois inférieure dans la VD (3 PJ) que dans le NA (26 PJ). Cela est dû à des rendements cultureux plus faibles dans la VD et la plus faible conversion énergétique des animaux. L'énergie investie pour le fonctionnement des machines et la production d'intrants est de 0,5 PJ pour la VD et 3 PJ pour le NA. Toutefois, l'efficacité du retour énergétique est moins importante dans la VD (5,9) que dans le NA (8,5), montrant moins de pertes énergétiques dans le NA. De plus, dans le NA, nous observons une augmentation du nombre d'établissements agricoles enregistrés comme producteurs d'énergie de +500 % entre 2018 (2) et 2020 (12). Il est nécessaire de vérifier sur le terrain si la source est solaire, éolienne ou provenant des unités de méthanisation, ces dernières ouvrant un potentiel bioéconomique.

Du point de vue socio-économique, en 2015, les activités de production, de soutien à la production et de transformation des BOA représentent, respectivement 2 837 et 3 513 opportunités d'emploi dans la VD et le NA. Soixante-dix pour cent

de ces opportunités profitent à des actifs résidents dans la VD contre 64 % dans le NA, redistribuant localement environ 1,3 million et 1,5 million d'euros de revenus salariaux, contre environ 579 000 et 877 000 euros rémunérant des actifs navetteurs. Entre 2008 et 2015, en dépit d'un contexte de déclin dans le reste de la France, les activités de la VD sont dynamisées par une croissance de l'emploi dans les secteurs d'activité de l'élevage de volailles, la reproduction de plantes et la culture de PPAM. Dans le NA, seules les activités de soutien à la production agricole sont particulièrement dynamiques et compétitives. La progression des opportunités d'emploi y semble plus incertaine.

4. Hypothèses bioéconomiques

Dans la VD, les productions semblent diversifiées avec des filières à la fois ancrées dans l'espace et dans le territoire (ressources spécifiques). Les filières les plus dynamiques en termes d'emplois semblent dépendantes de l'extérieur pour l'import de matière première (PPAM) et les capacités de transformation (volailles). Nous émettons l'hypothèse qu'il y a de la marge de réflexion pour la relocalisation du proto-métabolisme à ce niveau. En outre, il semble nécessaire de questionner la circularité et l'origine des flux en lien avec l'élevage : entre la production de céréales, la fabrication d'aliments et l'alimentation des animaux (sur-représentés), ainsi que l'utilisation de la matière organique des élevages pour fertiliser les cultures. La forte présence des signes de qualité peut également être un gage de circularité, certains cahiers des charges pouvant s'engager dans l'approvisionnement en aliments animaux, que ce soit au niveau de l'exploitation ou de la zone concernée. La présence de dynamiques collectives autour des groupements pastoraux, coopératives, signes de qualité, circuits courts semble une opportunité de mobilisation des acteurs, de même que l'importance des

espaces naturels protégés. Les usages non alimentaires des BOA semblent également développés, *via* les filières PPAM et fibres textiles. Cette dernière valorise-t-elle la laine de mouton produite sur le territoire ? Et plus généralement, que deviennent les co-produits animaux, participent-ils à une bioéconomie territoriale ?

Dans le NA, l'analyse permet de mettre en évidence une agriculture basée sur de grandes surfaces en grandes cultures ainsi qu'en cultures industrielles et, en apparence, avec un moindre ancrage spatial et territorial que la VD et de plus fortes pressions environnementales (zone vulnérable). Les usages non alimentaires des BOA se développent avec la production d'électricité et les unités de méthanisation. Dans ce territoire où l'élevage semble peu ancré, ces usages semblent offrir un potentiel de bouclage des flux et de renouvellement de la fertilité (fond écologique). L'origine des matières ainsi que les pratiques associées à la méthanisation restent à approfondir (utilisation des boues et retour au sol, qualité du digestat et teneur en carbone du sol, risque de mise en place de monocultures, etc.). De même que dans la VD, la présence de collectifs sous forme de coopératives, associée aux entreprises locales, peut être un support favorable au développement de projets de bioéconomie territoriale.

Une meilleure connaissance des pratiques agricoles semble nécessaire pour approfondir la question des empreintes environnementales et énergétiques, par exemple l'efficacité d'utilisation de l'azote dans la VD. Cela questionne, par exemple, les arbitrages entre développement des secteurs en croissance d'emploi (exemple : volailles et PPAM dans la VD) et les performances et empreintes associées (exemple : dépendance aux ressources extérieures et externalisation des empreintes), ou encore, dans le NA, les arbitrages entre autonomie énergétique (exemple : méthanisation) et autonomie alimentaire (exemple : risques

de compétition sur les BOA alimentant les plateformes de méthanisation).

Discussion

1. Intérêts du proto-métabolisme

Le principal intérêt du proto-métabolisme est qu'il se construit à partir de bases de données disponibles en libre accès, sans enquête de terrain préalable. Il est reproductible et automatisable¹ pour tout type d'étude infrarégionale. À visée générique, il ne prétend ni être exhaustif ni être parfaitement fidèle à la réalité. Il apporte de la connaissance située, tenant compte des singularités de chaque territoire, engendrant une première caractérisation des acteurs, des productions et de leurs empreintes. Il permet d'émettre des hypothèses sur le fonctionnement bioéconomique de la production, la valorisation des BOA d'un territoire et d'éclairer les potentiels compromis et arbitrages associés. L'analyse du proto-métabolisme questionne l'inscription des territoires dans une vision bioéconomique, qu'elle soit plutôt basée sur le renouvellement des fonds au sens de Georgescu-Roegen, ou sur l'optimisation de l'usage des BOA et le développement des biotechnologies.

La comparaison partielle entre les deux terrains d'étude met en évidence les principales différences, en apparence, de fonctionnement métabolique et de tendances impulsées par les parties prenantes du métabolisme. Du fait de son ancrage écologique, la VD semble davantage tournée vers une prise en compte des fonds écologiques que le NA. Son autonomie et ses performances, notamment énergétiques, sont questionnées. Dans le NA, le développement des usages non alimentaires

de la BOA, notamment la méthanisation, montre une apparente stratégie d'optimisation économique de l'usage des BOA et questionne les concurrences sur l'usage des co-produits (Marty *et al.*, 2021).

Le proto-métabolisme peut être utilisé comme un « objet intermédiaire » permettant d'intégrer la connaissance locale, outils de dialogue avec les acteurs de terrain, de réflexivité et de prospective (Winck, 1999). Les représentations visuelles des flux, acteurs et les différentes échelles spatiales sont notamment aisées à prendre en main par les acteurs lors de la conduite d'entretiens et ateliers participatifs.

2. Limites inhérentes aux données et indicateurs

Les données permettant une application locale du proto-métabolisme sont très hétérogènes en termes d'unités statistiques, d'échelles, de fréquence de collecte et mise à jour, de degré de confidentialité, de nomenclatures, de définitions et de types d'informations (*annexe I*). Cela a deux conséquences majeures : i) rassembler et ré-imbriquer de telles données est coûteux en temps, en ressources humaines et en résolution de la complexité des appariements ; ii) l'appariement des données apporte des incertitudes. Par ailleurs, à l'échelle infrarégionale, les flux réels en produits et co-produits, notamment vers les IAA ne sont pas disponibles. Or, de telles données alimentent également d'autres travaux, par exemple, d'évaluation de la biomasse disponible (Marsac *et al.*, 2018), d'optimisation des usages des BOA sur la gestion durable des nutriments (Bellarby *et al.*, 2017) ou le développement de l'agriculture biologique (Nesme *et al.*, 2012). Une réflexion nationale sur les données relatives aux sources et aux usages de la biomasse disponibles et accessibles semble nécessaire.

Du fait de la volonté d'automatisation de la construction du proto-métabolisme, il n'est pas détaillé sur les spécificités

1. Un outil est en développement pour rassembler les données et calculer les indicateurs nécessaires à l'élaboration d'un proto-métabolisme tel que décrit ici, sur des territoires infrarégionaux personnalisables.

régionales, notamment sur les pratiques agricoles. Ainsi, la grille d'analyse permet principalement d'identifier des hypothèses bioéconomiques sous réserve de postulats : circuit court entendu comme local, AB fort demandeur de matière organique, etc. Davantage de données locales peuvent être intégrées au proto-métabolisme pour approfondir les hypothèses (ex. effectifs animaux).

3. Perspectives d'enrichissement du proto-métabolisme

Le proto-métabolisme et sa grille d'analyse peuvent être enrichis et servir, par exemple, de cadre agrégateur de méthodes et d'indicateurs développés par ailleurs. L'autonomie biophysique peut être approfondie d'indicateurs sur l'évaluation des biomasses disponibles (Marsac *et al.*, 2018), l'autonomie de l'élevage (Jouven *et al.*, 2019 ; Magne *et al.*, 2019), l'intégration culture-élevage notamment au niveau du territoire (Moraine *et al.*, 2016). L'évaluation des empreintes peut être enrichie d'indicateurs de performances agro-écologiques (Stark *et al.*, 2019) et services rendus par les agro-écosystèmes (Dumont *et al.*, 2017 ; Therond et Tibi, 2017). Elle peut être couplée à d'autres approches, pour des analyses de cycle de vie (van der Werf *et al.*, 2009) ou énergétiques (Hercher-Pasteur *et al.*, 2020). D'autres cadres d'analyses peuvent être intégrés, notamment sur les analyses de flux : le degré d'ouverture et de bouclage, l'intensité et la nocivité des flux (Herbelin, 2018), questionnant les modes de qualification et quantification des indicateurs associés. Dans un objectif d'accompagnement de la transition bioéconomique, l'ensemble des critères peut être renforcé et débattu localement, par exemple, au travers de démarches de délibération collective (Allain *et al.*, 2020).

L'approche métabolique n'est pas une fin en soi mais un moyen de questionner le fonctionnement des systèmes

agri-alimentaires au regard d'enjeux bioéconomiques. Le proto-métabolisme est une première étape vers une compréhension du métabolisme réel et de l'organisation des acteurs. Pour mettre en œuvre une transition, les hypothèses bioéconomiques doivent être consolidées et approfondies avec l'analyse de travaux spécifiques à la zone d'étude, d'informations diffusées par et sur les acteurs du territoire, et des enquêtes de terrain. Il est nécessaire de déterminer les relations entre acteurs, pour prendre en compte les formes de coordination, synergies et concurrence (Rigolot, 2016). L'identification d'acteurs ressources est primordiale et doit prendre en compte leur rôle dans le métabolisme, les moyens et sujets pour dialoguer avec eux, eu égard à leurs logiques et à leurs systèmes de légitimation (Gabriel *et al.*, 2020). Cela implique de multiplier les représentations métaboliques (pas toujours compatibles entre elles) et d'embrasser la diversité de points de vue et des dimensions du métabolisme des BOA (Gabriel *et al.*, 2020). En outre, approfondir les hypothèses sur les empreintes permettrait de questionner les compromis entre performances économiques et environnementales (Khonpikul *et al.*, 2017).

*
* *

Qu'il s'agisse d'embrasser l'ambition bioéconomique européenne ou d'introduire une relecture socio-écologique de l'économe agricole, le proto-métabolisme peut contribuer à la production de savoirs en mesure d'accompagner la transition bioéconomique. L'opérationnalisation d'une approche métabolique territoriale, ici développée autour de la production et valorisation des BOA, se veut une réponse possible à ce besoin naissant. Le proto-métabolisme soulève des hypothèses sur le fonctionnement métabolique des territoires et suscite une réflexion sur les concurrences, les dépendances, l'ancrage

et les empreintes entre filières. Pour mettre en œuvre une transition bioéconomique, une consolidation et un approfondissement des hypothèses bioéconomiques sont indispensables. Cela passe notamment par un travail d'enquête (réalité des pratiques, flux et réseaux) et d'échanges avec les acteurs du territoire. ■

Remerciements

Ces travaux ont été menés dans le cadre du projet BOAT (Biomasses d'Origine Agricole à l'échelle des Territoires), financé par l'ADEME, appel à projets Graine 2016. Les données pour l'empreinte énergétique et efficacité d'utilisation azotée ont été calculées par M. Khenissi, master II encadrée par P. Chatzimpiros. Merci aux relecteurs pour leur lecture attentive et leurs commentaires avisés.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allain S., Plumecocq G., Leenhardt D. (2020). Linking deliberative evaluation with integrated assessment and modelling: A methodological framework and its application to agricultural water management. *Futures*, n° 120, 102566. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102566>.
- Bahers J.-B., Tanguy A., Pincetl S. (2020). Metabolic relationships between cities and hinterland: a political-industrial ecology of energy metabolism of Saint-Nazaire metropolitan and port area (France). *Ecological Economics*, n° 167, 106447. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106447>.
- Baritaux V., Houdart M., Boutonnet J.-P., Chazoule C., Corniaux C., Fleury P., Lacombe N., Napoléone M., Tourrand J.-F. (2016). Ecological embeddedness in animal food systems (re-)localisation: A comparative analysis of initiatives in France, Morocco and Senegal. *Journal of Rural Studies*, n° 43, pp. 13-26, <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.11.009>.
- Bellarby J., Siciliano G., Smith L. E. D., Xin L., Zhou J., Liu K., Jie L., Meng F., Inman A., Rahn C., Surridge B., Haygarth P. M. (2017). Strategies for sustainable nutrient management: insights from a mixed natural and social science analysis of Chinese crop production systems. *Environmental Development*, n° 21, pp. 52-65. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2016.10.008>
- Bruckner M., Häyhä T., Giljum S., Maus V., Fischer G., Tramberend S., Börner J. (2019). Quantifying the global cropland footprint of the European Union's non-food bioeconomy. *Environmental Research Letters*, n° 14, 045011, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab07f5>.
- Dumont B., Ryschawy J., Duru M., Benoit M., Delaby L., Dourmad J.-Y., Média B., Vollet D., Sabatier R. (2017). Les bouquets de services, un concept clé pour raisonner l'avenir des territoires d'élevage. *INRA Productions animales*, n° 30, pp. 407-422, <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2017.30.4.2271>.
- Fernandez-Mena H., Nesme T., Pellerin S. (2016). Towards an Agro-Industrial Ecology: A review of nutrient flow modelling and assessment tools in agro-food systems at the local scale. *Science of The Total Environment*, n° 543, pp. 467-479, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.032>.
- France AgriMer (2016). *L'observatoire national des ressources en biomasse : évaluation des ressources disponibles en France*. Les études de FranceAgriMer, France AgriMer, 114 p.
- Gabriel A., Madelrieux S., Lescoat P. (2020). A review of socio-economic metabolism representations and their links to action: cases in agri-food studies. *Ecological Economics*, n° 178, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106765>.
- Gaigné C., Letort E. (2017). Co-localisation des différentes productions animales en Europe : l'exception française ? *INRA Productions Animales*, n° 30, pp. 219-228, <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2017.30.3.2246>.
- Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N. M. P., Hultink E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, n° 143, pp. 757-768, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>.
- Georgescu-Roegen N. (1972). Process Analysis and the Neoclassical Theory of Production. *Agricultural and Applied Economics Association*, n° 54, pp. 279-294. <http://hdl.handle.net/10.2307/1238715>.
- Georgescu-Roegen N. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard University Press, 469 p.
- Grillot M., Ruault J.-F., Bray F., Torre A., Madelrieux S. (2019). Caractériser la biomasse d'origine agricole à l'échelle locale : usages, gestion, valorisation et liens entre acteurs. *La Bioéconomie : organisation, innovation, soutenabilité et territoire*, les 4 et 5 juin, Société française d'économie rurale, Reims, FRA. <https://www.sfer.asso.fr/event/view/38>.
- Harchaoui S., Chatzimpiros P. (2018). Energy, Nitrogen, and Farm Surplus Transitions in

- Agriculture from Historical Data Modeling. France, 1882-2013. *Journal of Industrial Ecology*, <https://doi.org/10.1111/jiec.12760>. Le DOI n'est pas trouvable : trouvable chez moi, il me renvoie sur : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.12760> ; vol. 23, n° 2, pp. 412-425.
- Herbelin A. (2018). *Écologie territoriale et trajectoires de transitions, le cas du Rhône-Médian*. Doctorat en Aménagement de l'espace, urbanisme, Université Grenoble Alpes, Grenoble, France, 471 p.
- Hercher-Pasteur J., Loiseau E., Sinfort C., Hélias A. (2020). Energetic assessment of the agricultural production system. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, n° 40, 29 p. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00627-2>.
- Jouven M., Puillet L., Perrot C., Pomeon T., Dominguez J.-P., Bonaudo T., Tichit M. (2019). Quels équilibres végétal/animal en France métropolitaine, aux échelles nationales et « petite région agricole » ? *INRA Productions Animales*, n° 31, pp. 353-364, <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2018.31.4.2374>.
- Khonpikul S., Jakrawatana N., Sangkaew P., Gheewala S. H. (2017). Resource use and improvement strategy analysis of the livestock and feed production supply chain in Thailand. *Int J Life Cycle Assess*, n° 22, pp. 1692-1704, <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1361-4>.
- Kim E., Arnoux M., Chatzimpiros P. (2018). Agri-food-energy system metabolism: a historical study for northern France, from nineteenth to twenty-first centuries. *Regional Environmental Change*, n° 18, pp. 1009-1019, <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1119-3>.
- MAA (2017). *Une stratégie bioéconomie pour la France : enjeux et vision*. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 36 p.
- Madelrieux S., Buclet N., Lescoat P., Moraine M. (2017a). Écologie et économie des interactions entre filières agricoles et territoire : quels concepts et cadre d'analyse ? *Cahiers Agricultures*, n° 26, pagination ?10p? ou 24001, <https://doi.org/10.1051/cagri/2017013>.
- Madelrieux S., Buclet N., Lescoat P., Moraine M. (2017b). Caractériser les formes d'interaction entre filières agricoles et territoires : quelles méthodes ? *Cahiers Agricultures*, n° 26, 9 p. ou 24002, <https://doi.org/10.1051/cagri/2017014>.
- Magne M.-A., Martin G., Moraine M., Ryschawy J., Thenard V., Triboulet P., Choisis J.-P. (2019). An Integrated Approach to Livestock Farming Systems' Autonomy to Design and Manage Agroecological Transition at the Farm and Territorial Levels. In Bergez J.-E., Audouin E., Therond O. (dir.), *Agroecological Transitions: From Theory to Practice in Local Participatory Design*. Springer International Publishing, Cham, pp. 45-68, https://doi.org/10.1007/978-3-030-01953-2_4.
- Margetic C. (2014). Des industries agroalimentaires françaises face à des enjeux majeurs. *L'Information géographique*, n° 78, 27 p., <https://doi.org/10.3917/lig.784.0027>.
- Marsac S., Heredia M., Labalette F., Delaye N., Levasseur P., Capdeville J., Gervais F., Ponchant P., Lauga B., Callens J. (2018). ELBA : un outil de référence pour l'évaluation de ressource en Biomasse Agricole en France. *Expertises*. ADEME, 33 p., <https://www.ademe.fr/elba-outil-referance-leveluation-ressource-biomasse-agricole-france>.
- Marty P., Dermine-Brullot S., Madelrieux S., Fleuet J., Lescoat P. (2021). Transformation of socioeconomic metabolism linked to the development of bioeconomy. Case of the northern Aube (France). *European Planning Studies*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/09654313.2021.1889475>
- Missemer A. (2015). Nicholas Georgescu-Roegen, pour une révolution bioéconomique, *Feuillets : économie politique moderne*. ENS Éditions, 136 p.
- Moraine M., Duru M., Therond O. (2016). A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crop-livestock systems from farm to territory levels. *Renewable Agriculture and Food Systems*, n° 32, pp. 43-56. <https://doi.org/10.1017/S1742170515000526>.
- Nesme T., Toublant M., Mollier A., Morel C., Pellerin S. (2012). Assessing phosphorus management among organic farming systems: a farm input, output and budget analysis in southwestern France. *Nutrient Cycling*

- in *Agroecosystems*, n° 92, pp. 225-236, <https://doi.org/10.1007/s10705-012-9486-0>.
- Nuhoff-Isakhanyan G., Wubben E.F.M., Omta O.S.W.F., Pascucci S., (2017). Network structure in sustainable agro-industrial parks. *Journal of Cleaner Production*, n° 141, pp. 1209-1220. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.196>.
- Pahun J., Fouilleux È., Daviron B. (2018). De quoi la bioéconomie est-elle le nom ? Genèse d'un nouveau référentiel d'action publique. *Natures Sciences Sociétés*, n° 26, pp. 3-16. <https://doi.org/10.1051/nss/2018020>.
- Passet R. (2010). *Les grandes représentations du monde et de l'économie à travers l'histoire : de l'univers magique au tourbillon créateur*. Les liens qui libèrent, Paris, 950 p.
- Rastoin J.-L., Ghersi G. (2010). *Le système alimentaire mondial : concepts et méthodes, analyses et dynamiques, Synthèses*. Éditions Quæ, Versailles, 565 p. <https://www.quae.com/produit/759/9782759209972/le-systeme-alimentaire-mondial>
- Rathmann R., Szklo A., Schaeffer R. (2010). Land use competition for production of food and liquid biofuels: An analysis of the arguments in the current debate. *Renewable Energy*, n° 35, pp. 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.02.025>.
- Rigolot C. (2016). Le capital social des filières : une dimension essentielle de leurs capacités d'adaptation. Illustration avec la filière comté. *Cahiers Agricultures*, n° 25, 6 p., <https://doi.org/10.1051/cagri/2016029>.
- Serrano-Tovar T., Giampietro M. (2014). Multi-scale integrated analysis of rural Laos: Studying metabolic patterns of land uses across different levels and scales. *Land Use Policy*, n° 36, pp. 155-170, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.08.003>.
- Stark F., Archimède H., González-García E., Pocard-Chapuis R., Fanchone A., Moulin C.-H. (2019). Évaluation des performances agroécologiques des systèmes de polyculture-élevage en milieu tropical humide : application de l'analyse de réseaux écologiques. *Innovations agronomiques*, Les polycultures-élevages : valoriser leurs atouts pour la transition agro-écologique, n° 72, pp. 1-14. <https://doi.org/10.15454/11w6us>.
- Tamura S., Fujie K. (2014). Material Cycle of Agriculture on Miyakojima Island: Material Flow Analysis for Sugar Cane, Pasturage and Beef Cattle. *Sustainability*, n° 6, pp. 812-835. <https://doi.org/10.3390/su6020812>.
- Therond O., Tibi A. (2017). Évaluation des services écosystémiques rendus par les écosystèmes agricoles. Une contribution au programme EFESE (Synthèse). *Écosystèmes agricoles de l'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE)*. Inra, France, 118 p.
- Urmetzer S., Lask J., Vargas-Carpintero R., Pyka A. (2020). Learning to change: Transformative knowledge for building a sustainable bioeconomy. *Ecological Economics*, n° 167, 11 p., <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106435>.
- Vinck D. (1999). Les objets intermédiaires dans les réseaux de coopération scientifique : Contribution à la prise en compte des objets dans les dynamiques sociales. *Revue française de sociologie*, n° 40, pp. 385-414. <https://doi.org/10.2307/3322770>.
- Vivien F.-D., Nieddu M., Befort N., Debref R., Giampietro M. (2019). The Hijacking of the Bioeconomy. *Ecological Economics*, n° 159, pp. 189-197, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01.027>.
- Wassenaar T. (2015). Reconsidering Industrial Metabolism: From Analogy to Denoting Actuality: Reconsidering Metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, n° 19, 715-727. <https://doi.org/10.1111/jiec.12349>
- Werf H. M. G. van der, Kanyarushoki C., Corson M. S. (2009). An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, n° 90, pp. 3643-3652. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.07.003>.

Annexe 2. Exemples d'indicateurs pour renseigner l'ancrage, l'autonomie, les empreintes d'un proto-métabolisme

Tableau d'indicateurs (1/2)

Dimension	Critères	Indicateurs proposés*	Données**
Ancrage spatial	Spécialisation des productions	Répartition et QL des OTEX des EA Répartition et QL des surfaces agricoles	RA 2010 (cantons) RPG 2018
	Spécialisation des opérateurs des filières	QL des établissements de 1 ^{re} transformation et des activités de soutien à la production agricole	Sirene 01-01-2018
	Recours à la main-d'œuvre du territoire	Taux de stabilité de la population active à partir des migrations domicile-travail	RPG 2016
	Présence de collectifs soutenant la production des BOA du territoire	QL des entreprises collectives selon la nature juridique (entreprises en société coopérative agricole, SICA, CUMA, groupements pastoraux)	Sirene 01-01-2018
Ancrage territorial	Valorisation des ressources spécifiques au territoire (SIQO)	Nombre de signes de qualité (AOP/IGP)	INAO 2019, RA 2010
	Les proximités entre production et consommation (circuits courts)	Part et QL des EA ayant un produit sous signe de qualité Part et QL des EA commercialisant en circuit court (hors vin) et EA faisant de la vente directe (hors vin)	RA 2010 RA 2010
Ancrage écologique	Recours à des surfaces permettant l'entretien des fonds écologiques	Part de la SAU et évolution des surfaces toujours en herbe (estive, lande, prairies permanentes) et bois pâturés	RPG 2015-2018
	Présence d'espaces protégés	Part des surfaces communales en parcs nationaux ou régionaux ou Natura 2000	INPN 2018
	Présence de réseaux d'intérêt environnemental	Nombre de groupements d'intérêt économique et environnemental (GIEE)	Ministère de l'Agriculture et alimentation 2018
	Présence de l'AB	Répartition, évolution (2010-2017) et QL des surfaces et opérateurs AB Densité du réseau d'opérateurs de l'AB par habitant (/10 000 habitants) et par surface agricole	Agence Bio et RPG 2017 Agence Bio, RGP et RPG 2016
	Présence d'exploitations certifiées à haute valeur environnementale	Nombre d'exploitations certifiées	Ministère de l'Agriculture et alimentation 2020
	Présence d'infrastructures mobilisant des coproduits agricoles et de la 1 ^{re} transformation	Nombre de méthaniseurs à la ferme, plateformes de compostage de sous-produits animaux ou de déchets ménagers et assimilés	SINOE® 2019

Source : les auteurs.

Tableau d'indicateurs (2/2)

Dimension	Critères	Indicateurs proposés*	Données**
Autonomie biophysique	Dépendance des filières du territoire à des opérateurs extérieurs pour la production	Confrontation des (dés)équilibres possibles vis-à-vis du besoin en 1/ matière organique d'origine agricole, 2/ alimentation animale, 3/ BOA pour la 1 ^{re} transformation, 4/ capacité de 1 ^{re} transformation	Sirene 01-01-2018, RPG 2018, SAA 2017, RA 2010
Autonomie décisionnelle	Dépendance à des opérateurs des filières à des centres de décision extérieurs	Répartition de la localisation des sièges des entreprises par secteur (territoire, département, nation, international)	Sirene 01-01-2020
Empreinte environnementale	Pressions environnementales	Part du territoire en zone vulnérable	Sandre 2019
	Efficience d'utilisation des éléments minéraux	Efficience de l'utilisation de l'azote (azote net produit/azote total)	SAA 2017 RA 2010
Empreinte énergétique	Présence d'établissements de nature agricole produisant de l'électricité	Nombre d'établissements de nature agricole qui produisent de l'électricité	SIRENE 01-01-2020
	Retour énergétique	Production nette/énergie investie (<i>Harchaoui et Chatzimpiros, 2018</i>)	SAA 2017 RA 2010
Empreinte socio-économique	Contribution à l'emploi	Gains ou pertes en emplois salariés et non-salariés dans les secteurs d'activité de production ou de valorisation des BOA	CLAP et eStel 2008-2015
	Captation des revenus par les habitants	Part de la masse salariale créée localement qui rémunère des actifs résidents	RGP 2014, DADS 2014

Notes : * acronymes : AB : agriculture biologique ; AOP : Appellation d'origine protégée ; CUMA : Coopérative d'utilisation de matériel agricole ; EA : exploitations agricoles ; IAA : industries agro-alimentaires ; IGP : Indication géographique protégée ; OTEX : orientation-technico-économique ; QL : quotient de localisation, par exemple le QL d'une culture A est calculé de la manière suivante : (surface culture A zone / SAU zone) / (surface culture A nationale / SAU nationale) ; SICA : Société d'intérêt collectif agricole ; SAU : surface agricole utile.

** acronymes de bases de données : BNV-D : banque nationale des ventes distributeurs (Onema) ; CLAP : Connaissance locale de l'appareil productif (Insee) ; DADS : Déclaration annuelle des données sociales (Insee) ; eStel : Estimations d'emploi localisé (Insee) ; RA : Recensement agricole (Ageste) ; RGP : Recensement général de la population (Insee) ; RPG : Registre Parcellaire Graphique (IGN) ; SAA : Statistiques annuelles agricoles (Ageste).

Source : les auteurs.

Annexe 3. Spécialisation des productions par filière (données RPG et Sirene 2018)

Filière	Vallée de la Drôme			Nord de l'Aube		
	Part des surfaces (%)	QL* des surfaces	QL* des établissements de transformation	Part des surfaces (%)	QL* des surfaces	QL* des établissements de transformation
Céréales, oléagineux, protéagineux	21	-	Huilerie 4,7 Fab. de bière 2,9 Fab. d'aliments pour animaux à la ferme 2,1 Meunerie 1,9	69	1,6	Fab. de malt 56,3 Fab. d'aliments pour animaux de ferme 2,3 Meunerie 1,6 Boissons alcooliques distillées 1,3
Cultures industrielles	0	-	Prep. de fibre textile et filature 6,3	15	6,7	Fab. de produits amylicés 15,3 Fab. de sucre 4,2 Transf. & conserv. de pommes de terre 2,7
Légumes	2	-	-	5	3,3	Transf. et conserv. de légumes 2,4
PPAM	1,5	7,8	Fab. d'huiles essentielles 14,8 Fab. de condiments et assaisonnements 1,9	1	6,2	-
Élevage via surfaces fourragères et pastorales	67	1,4	Transf. et conserv. de la viande de boucherie 2,3 Fab. de fromages 1,8	7	-	-
Vergers	2,5	4,7	Transf. et conservation de fruits 1,7	0,5	-	Fab. de cidre et de vins de fruits 2,1
Vignes	2,5	1,3	Vins 2,0	0,5	-	-
Autres cultures	0,5	1,9	-	0	-	-
Surfaces non exploitées	3	1,2	-	2	-	-

Note : * si > 1,2.

Source : les auteurs.