

La biomasse comme moteur de l'économie verte : l'exemple de la filière lin en Flandre maritime

Biomass as the driving force behind the green economy: the example of the flax sector in maritime Flanders

François Delattre ¹

¹ Université du Littoral-Côte d'Opale, Unité de Chimie Environnementale et Interactions sur le Vivant (UCEIV), Dunkerque, France, delattre@univ-littoral.fr

RÉSUMÉ. La substitution des ressources fossiles par des matières renouvelables sera au cœur des défis climatique et économique des prochaines années. Que ce soit pour la production d'énergie ou de produits manufacturés, les milliards de tonne de pétrole extraits chaque année devront être remplacés par l'exploitation à grande échelle de la biomasse. Du point de vue des contraintes environnementales, l'intensification de la production de la biomasse et son intégration au sein de la sphère bioéconomique ne sont pas sans écueils car en contradiction avec le développement durable et certains préceptes de l'éco-économie. Dans ce contexte, la massification de l'usage de la biomasse doit passer par la contribution de toutes les ressources locales et régionales. Le lin, fibre ancestrale et vertueuse, est un bon exemple d'une production durable à vocation à la fois territoriale et mondiale. Il offre des opportunités de développement économique important qu'un territoire comme la Flandre maritime française se doit de saisir.

ABSTRACT. Replacing fossil fuels with renewable materials will be at the heart of the climate and economic challenges of the coming years. Whether for the production of energy or manufactured products, the billions of tons of oil extracted each year will have to be replaced by large-scale biomass exploitation. Taking into account environmental constraints, the tasks of intensifying biomass production and of integrating it into the bio-economic sphere are not without their pitfalls, as they run counter to sustainable development and certain principles of the eco-economy. In this context, the widespread use of biomass must involve the contribution of all the local and regional resources. Flax, a historic and versatile fiber, is a good example of sustainable production that is both regional and global in scope. It offers major economic development opportunities that a region like French Flanders must seize.

MOTS-CLÉS. Economie verte, biomasse, lin, produits biosourcés, Flandre Française.

KEYWORDS. Green economy, biomass, flax/linen, bio-based products, French Flanders.

Introduction

Au regard du défi climatique, dont les impacts sur l'humanité ne font plus débat, la transition écologique de nos activités pour un développement durable de nos sociétés questionne les modalités de sa mise en œuvre. Dans un monde où la doxa néolibérale a pour socle une loi du marché mondialisée et une croissance infinie, l'internalisation économique des thématiques environnementales suscite de nombreuses discussions notamment sur la définition même de cette économie émergente [BEF 19] voire des critiques sur son fondement [TOR 21]. Dans ce contexte, afin de mieux appréhender les enjeux, nous commencerons par définir les contours de l'économie verte en distinguant deux volets complémentaires : la bioéconomie et l'éco-économie. Puis le propos se focalisera sur la biomasse comme pilier de l'économie verte et sur le développement des produits biosourcés censés substituer à plus ou moins long terme les produits pétrosourcés. L'exemple de la filière Lin permettra ensuite de montrer comment il est possible d'utiliser la matière ligno-cellulosique dans des processus de valorisation économique au service de la transition écologique. Enfin, nous terminerons sur des considérations territoriales en questionnant l'effectivité du développement agro-industriel du bioraffinage de seconde génération en Flandre maritime à partir des co-produits issus du lin.

1. Les défis de l'économie verte

Alors que la COP 27 (la conférence des Nations Unies sur les changements climatiques de Charm el-Cheikh du 6 au 18 novembre 2022) s'est achevée sur des frustrations récurrentes et des promesses de jours meilleurs, il devient évident que le retard pris en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre ne nécessitera plus qu'une transformation écologique, mais une véritable révolution, un changement total de paradigme sociétal. Quoi qu'on en dise, il ne sera pas aisé de sortir de cette accoutumance au pétrole alors que la fin de « l'âge du plastique » [NAT 63] est programmée pour d'ici quelques décennies face à l'inéluctable épuisement de notre matière fossile préférée. Cette « belle » époque de la société mondialisée faite d'énergie peu chère et d'une production quasi illimitée de matières plastiques, jetables par essence, laisse aujourd'hui environ 6,3 milliards de tonnes de déchets dans l'environnement [GEY 17] et des habitudes de (sur)consommations difficilement supportables par la Nature. La ressource fossile tarie, il sera nécessaire de faire place à un retour à l'utilisation de matériaux naturels comme ce fut le cas pendant des millénaires jusqu'à l'avènement du pétrole et l'essor de la chimie de synthèse au début du XX^{ème} siècle.

Conscient de ces enjeux, l'OCDE a inscrit en 2009 une programmation de développement bioéconomique, soutenue par les accords de Paris de 2015, pour l'application des biotechnologies au service de l'agriculture, la santé et l'industrie [OEC 09]. Dans ce contexte, l'Union Européenne a développé le projet BioMonitor (2018-2022) dont l'objectif est de définir un cadrage de la bioéconomie dont nous reprendrons ici une analyse des différents concepts donnés par D'Amato et al. [DAM 17]. A ce stade, il convient d'appréhender le terme « biotechnologie » au sens large c'est-à-dire principalement au travers de l'exploitation globalisante de la biomasse pour le développement d'une économie « verte » dont le socle englobe deux conceptions complémentaires que sont la bioéconomie et l'éco-économie (Figure 1). Ferguson les distingue comme économie verte faible (bioéconomie) et comme économie verte forte (éco-économie) [FER 15]. La bioéconomie représente une version « verdie » de l'économie dont les règles et usages sont mues par le canevas classique du libéralisme économique et utilisent la Nature comme outil de production de richesses. En soi, elle ne s'oppose pas aux impératifs du capital et aux processus de production matérielle susceptibles d'entraîner l'appropriation et la destruction de la Nature. Les conséquences de l'exploitation intensive des ressources naturelles aboutissent à sa transformation profonde et anthropocentriste, la fragilisant et l'épuisant durablement. A contrario, la dimension sociale des activités éco-économiques est au centre de l'économie verte dont les perspectives sont durables, équitables et régionalistes (voir localistes). Kitchen et Marsden la nomment éco-économie et en donnent la définition suivante [KIT 11]:

« La gestion sociale efficace des ressources environnementales (en tant que combinaison de capital naturel, social, économique et territorial) est conçue pour s'intégrer à l'écosystème local et régional et l'améliorer plutôt que de le perturber et de le détruire. L'éco-économie consiste donc en des "réseaux" cumulatifs et imbriqués d'entreprises et d'activités économiques viables qui utilisent les formes variées et différenciées des ressources environnementales des zones rurales de manière durable. Elles n'entraînent pas d'épuisement net des ressources, mais fournissent plutôt des avantages nets et ajoutent de la valeur à l'environnement et à la communauté. »

- Garantir le bien-être humain, l'équité social
- Préserver les ressources naturelles
- Réduire les risques environnementaux

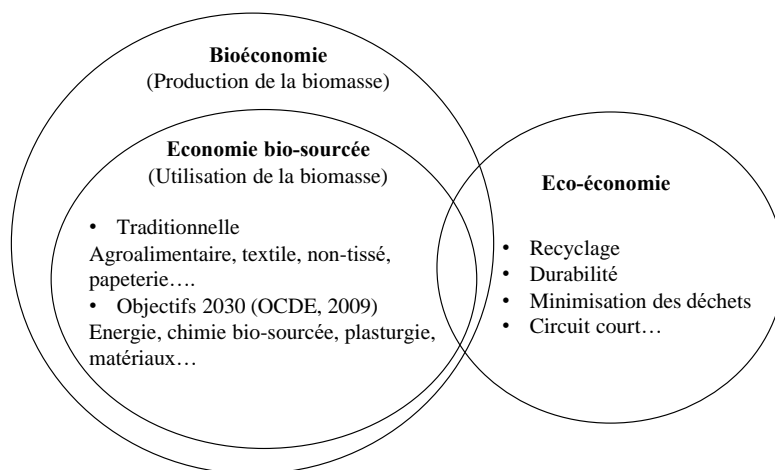


Figure 1. Diagramme de la bioéconomie inspiré de Kardung [KAR 19]

Au sein de la bioéconomie traditionnelle basée sur l'agriculture au service de l'industrie agroalimentaire, de l'exploitation forestière et des fibres naturelles pour le textile, l'économie biosourcée propose l'utilisation des ressources végétales pour l'essor d'une industrie « miroir » à l'industrie pétrosourcée en termes de procédés et d'applications.

REMARQUE L'usage des fibres naturelles pour le textile regroupe également l'ensemble des applications des fibres naturelles en matériaux non-tissés. Ce type de textile se caractérise par l'agencement aléatoire des fibres, orientées ou non, appréciés dans le secteur de l'hygiène, de la construction, de la filtration

Ainsi, le verdissement de l'économie et l'instauration d'une politique durable sont intimement liés à l'innovation scientifique des biotechnologies pour la transformation de la biomasse comme notamment le développement du bioraffinage pour l'énergie (biogaz, biofuels), la production de molécules plateformes pour la plasturgie et plus largement la chimie des matériaux. Au sens de l'Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC), la durabilité des procédés et des produits doit être conforme aux principes de la chimie verte dont les critères, relativement étendus, sont difficiles à satisfaire en globalité, car d'une part ils sont interdépendants et d'autre part leur mise en place opérationnelle nécessite un niveau de maturité du secteur non encore atteint à ce jour. Souvent érigée en parangon de vertu, la chimie verte a pourtant de nombreuses limites. En effet, ces objectifs énoncés à la fin des années 1990 [ANA 98], concernaient principalement la prévention de la pollution et la réduction des risques pour la santé humaine et pour l'environnement. Il s'agissait avant tout d'établir une approche moins polluante de l'industrie chimique dont les rejets dans l'environnement étaient plus nocifs que les autres secteurs de l'industrie et dont le coût social était estimé aux États-Unis à la fin des années 70 à environ 10% du PIB [KAT 86]. Loin d'être une rupture, la chimie verte se dote à l'origine d'une visée économique de réduction des coûts avant tout et non une optique purement humaniste liée à la crise climatique, dont l'occurrence était loin de faire l'unanimité même dans les milieux universitaires. Depuis, sont prônées de nouvelles exigences au cahier des charges de la chimie du futur et de l'écologie industrielle comme l'utilisation de ressources naturelles, leur transformation dans des conditions de toxicité réduite ou nulle, une réduction du coût énergétique des procédés et la prise en compte de l'impact sur l'environnement (notamment au regard des émissions de carbone) par l'analyse du cycle de vie des produits et co-produits issus de la biomasse [ZIM 20].

Au-delà de la bioéconomie, dans le schéma global de l'économie verte (Figure 1), la conscience sociale des citoyen(ne)s se matérialise par une dimension éthique, locale et régionale, plus frugale et minimaliste, matérialisée par l'éco-économie. Dans ce modèle, les critères tels que la durabilité, le type d'agriculture ou le recyclage sont pris en compte. L'éco-économie propose une modernisation écologique forte et un changement de paradigme social où le maillage territorial permet une connexion directe entre consommateurs et producteurs, une science ouverte et collaborative ainsi qu'une gestion globale de l'ensemble des produits et co-produits (origine et localisation, recyclage, biodégradation...) [GAL 16]. Dans ce contexte, au regard de la masse gigantesque de déchets issus de la plasturgie, la gestion de la fin de vie des matériaux, qu'ils soient pétrosourcés ou biosourcés, est liée à leur réutilisation (recyclage au sens premier) ou leur élimination, ce qui nécessite en dernier lieu de solutionner le stockage des déchets ultimes. En effet, alors que les produits fossiles sont essentiellement non biodégradables, il est important de considérer que les matériaux d'origine naturelle ne présentent pas in extenso des propriétés de biodégradabilité et *a fortiori* de bio-assimilation dans l'environnement. De ce point de vue, bien que des efforts soient faits pour trouver de nouveaux auxiliaires de biodégradation (enzymes, bactéries) [YOS 16], la principale méthode de recyclage reste le broyage des matériaux en vue de leur réutilisation dans de nouveaux process. Malheureusement, le nombre de cycles de réinitialisation, si l'on peut dire, est relativement limité, car les propriétés physico-chimiques des matériaux diminuent au fur et à mesure du temps [ZHA 22]. Une approche récente est de considérer cette source de pollution comme une opportunité pour instaurer un cercle « vertueux » de bioéconomie en recyclant les matériaux par désassemblage en molécules élémentaires [KAK 21]. Ce nouveau concept de *design* moléculaire revoit la notion de déchets pour la substituer plus généralement à la vision de co-produits valorisables. Cependant, la dématérialisation moléculaire nécessite une haute technologie et fait appel à des savoirs scientifiques non abordables dans une approche de développement éco-économique où les aspects technologiques tendent vers la simplification et l'utilisation de solutions low-tech.

On le voit, les préceptes de l'économie verte présentent un canevas complexe. Ils englobent deux conceptions antagonistes que sont la bioéconomie et l'éco-économie. L'une est industrielle, productiviste et croissante, hautement technologique et scientifique tandis que l'autre offre une vision décroissante, épurée et ouverte dans laquelle le respect des lois de la Nature est central, tout comme le bien-vivre ensemble. L'économiste Kenneth Boulding avait exprimé toute la problématique avec sa célèbre citation « celui qui croit à une croissance exponentielle infinie dans un monde fini est soit un fou, soit un économiste ». Pourtant, malgré cette antinomie, ces deux aspects de l'économie verte sont complémentaires et nécessitent un niveau d'interaction important de l'ensemble des acteurs. En ce sens, plus l'intégration de l'éco-économie au sein de la bioéconomie sera effective, plus la réalisation des objectifs liés aux changements climatiques sera réaliste. La mise en place seule d'une production industrielle basée sur les ressources renouvelables ne garantira pas la réduction globale des émissions de carbone. Elle se doit d'être associée à une attitude plus frugale et de trouver des voies intermédiaires permettant de satisfaire les critères du développement durable de l'humanité dans un contexte de changement climatique. Ainsi, pour la bioéconomie industrielle, la réduction de son empreinte carbone passe par l'analyse du cycle de vie des produits et l'intensification des procédés et le développement de l'éco-économie doit tendre à l'essor des petites et moyennes industries dans le monde rural.

2. La biomasse comme levier de l'économie verte

2.1. Un stock disponible important

Pour tenter de diminuer nos émissions de gaz à effet de serre, la mobilisation et la valorisation de la biomasse est un enjeu primordial. L'article 29 de la loi 2005-781 fixant les orientations de la politique énergétique en donne la définition suivante : la biomasse englobe « *tous les produits, coproduits et déchets d'origine biologique provenant de l'agriculture, de la sylviculture et des industries connexes, y compris la pêche et l'aquaculture, ainsi que la fraction biodégradable des*

déchets industriels et municipaux ». Aujourd'hui, hormis la production agricole pour l'alimentation humaine, la valorisation traditionnelle de la biomasse concerne principalement l'alimentation animale, le paillage, l'épandage, la production d'engrais, la méthanisation et la combustion pour la production d'énergie. Cependant, du point de vue économique et environnemental, ces usages restent cependant modestes au regard du potentiel valorisable. Les études récemment publiées sur l'évaluation de la biomasse à l'échelle 2020-2030 identifient quatre sources principales qui pourraient fournir de la biomasse supplémentaire et soutenir la croissance des industries biosourcées, à savoir : les résidus agricoles, la biomasse forestière, les co-produits (nommés antérieurement déchets) et les cultures non alimentaires.

Les objectifs de l'élargissement du potentiel de valorisation de la biomasse regroupent une multitude d'applications pour l'industrie chimique (bioraffinage, molécules plateformes), les biomatériaux pour la construction, les biocarburants et la bioénergie de deuxième génération. Pour ce faire, en France, l'Observatoire National des Ressources en Biomasse (ONRB) répertorie les ressources mobilisables (c'est-à-dire après la prise en compte du retour au sol permettant de garantir le maintien du potentiel agronomique) et a évalué les volumes supplémentaires disponibles (VSD) de cultures annuelles à prêt de 150 millions de tonnes par an de matières brutes à l'horizon 2050. L'objectif d'atteindre la neutralité carbone en 2050 induit un recours à la biomasse de l'ordre de 2,5 fois supérieur à l'année 2016, ce qui nécessitera l'exploitation de tous les types de biomasse disponibles (résidus de cultures annuelles et pérennes, plantes à fibres, forêt, déchets urbains, co-produits industriels...). Même si de l'aveu de France Stratégie [MOU 21], ce niveau de mobilisation apparaît très ambitieux et nécessite une hausse significative du prélèvement des résidus de cultures et le recours massif à des cultures dédiées, il nécessitera une stratégie de long terme afin de trouver le bon équilibre ou compromis permettant d'assurer la durabilité de ce modèle de développement ; c'est-à-dire en maîtrisant les effets délétères induits comme la destruction de l'environnement et de la biodiversité et l'épuisement de la ressource en eau et des sols. De ce point de vue, les effets environnementaux bénéfiques dépendent d'hypothèses optimistes et concernent donc une expansion bien ciblée et non acquise.

Face à ces opportunités nouvelles, les contraintes sont connues. En premier lieu, il est primordial de respecter les limites écologiques de la biosphère en évitant de retomber dans les travers de la massification tout en préservant les vertus environnementales de la biomasse. Par ailleurs, les nouveaux usages ne doivent pas entrer en concurrence avec les applications alimentaires comme c'est le cas pour les biocarburants de première génération à base de sucre et d'amidon. Dans ce contexte, la matière ligno-cellulosique, composante essentielle du bioraffinage de deuxième génération, pourrait s'avérer être le nouvel eldorado en matière de bioéconomie et d'économie biosourcée dans la mesure où le fonctionnement des bioraffineries de première génération pose des problèmes de disponibilités et de concurrence entre les filières et in fine des tensions sur le prix. Dans la première génération, on retrouve différentes typologies comme les bioraffineries vertes, céréalières et oléagineuses qui produisent du biocarburant (bioraffinerie de Bazancourt) et des molécules plateformes. A contrario, la deuxième génération de bioraffinerie s'intéresse à la biomasse non alimentaire dont les substances extractibles sont majoritairement de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine ainsi que des lipides (cires, acides), des glucides, des résines (terpènes) et des composés phénoliques (tannins, flavonoïdes...) [LAU 11, HAS 19]. Cette matière ligno-cellulosique, la plus importante de la planète, nécessite la mise en œuvre de procédés de prétraitements (physique, chimique ou biochimique) dont les coûts énergétiques et environnementaux doivent garantir et préserver l'éco-efficience de cette industrie. À titre d'exemple, la première expérience de bioraffinage de tige de maïs aux États-Unis a conduit à une émission de carbone de 7% supérieur à celle de son équivalent pétrole dû à un abaissement de la teneur du sol en carbone [LIS 14].

Les défis que l'économie verte doit relever (Figure 2) sont intimement liés à l'agenda de la Nouvelle Donne Ecologique [UNI 09] avec notamment la mise en œuvre de technologies bas

carbone pour une économie « zéro carbone ». Depuis des années, de nombreuses études ont pu mettre en évidence les opportunités technologiques et identifier les leviers à actionner pour résoudre les défis de l'humanité pour les prochaines décennies. Pour remplir ces objectifs, il est nécessaire de réduire la trop grande dépendance au pétrole de la société et de l'industrie afin que les organisations politiques puissent mettre en place des réglementations efficaces et une planification réaliste [LEV 22]. Le recours massif et élargi à la biomasse lignocellulosique est ainsi dans le viseur de l'UE dont la vision pour 2030 tend vers l'exploitation d'un milliard de tonnes de masse sèche pour la production d'énergie (avec pour objectif d'atteindre une production de 50% d'énergie issue de la biomasse) et le développement des produits biosourcés [PAN 16] avec un marché évalué à 50 milliards d'euros et un potentiel de 500.000 emplois pour la bioéconomie européenne.

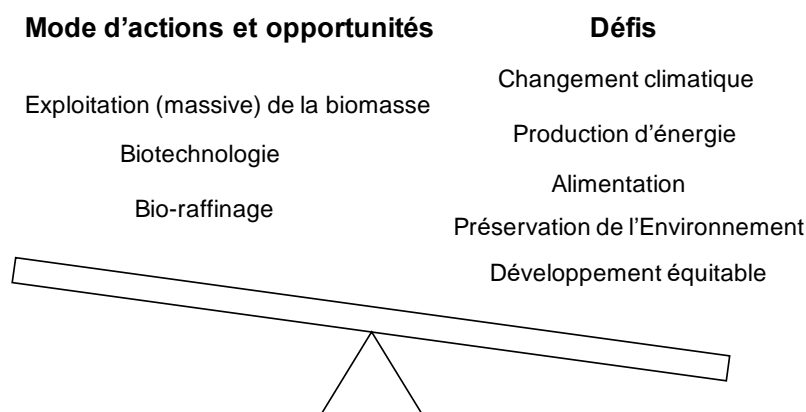


Figure 2. Défis et opportunités de la Nouvelle Donne Ecologique. Source : Auteur.

2.2. Les produits biosourcés, une économie en voie de développement

En 2016, une enquête réalisée par le Centre commun de recherche de la Commission européenne sur l'industrie biosourcée de l'UE a questionné 133 compagnies réparties sur environ 300 sites. Les résultats montrent que 284 produits (développés par 50 entreprises) sont actuellement ou devaient être fabriqués en tant que produits biosourcés d'ici 2020 [NAT 16]. La production concerne les acides organiques, les composites, les agents de surface, les peintures et revêtements, les liants et lubrifiants, les plastifiants et les solvants. Les applications de ces composants biosourcés sont dédiées à l'élaboration de bioplastiques, de matériaux divers (matrices composites, nanoparticules), de composites à base de mousses, de biofilms pour des domaines relativement variés allant de l'emballage aux applications médicales innovantes. Cependant, aujourd'hui ces produits biosourcés atteignent difficilement 1% du marché des matériaux polymères et l'empreinte carbone du secteur de la construction représente toujours un quart des émissions. Plus récemment, l'examen de la production et la consommation de différentes catégories de produits d'origine naturelle a mis en évidence la faible part que ces produits occupent sur le marché (Table 1) ¹⁷. Pour les produits chimiques de base, les solvants et les polymères, la part de biosourcés est très faible par rapport à la demande globale du marché soit respectivement 0,3, 1,5 et 0,4 %. La tendance au recours aux produits naturels est plus marquée pour les peintures, les cosmétiques et les fibres avec des taux respectivement de 12,5, 44 et 13%. L'ADEME (2015) indique que 97% des cosmétiques produits en France sont au moins en partie biosourcés, avec une teneur moyenne de 40 % ; les 3 % restant étant 100% biosourcés.

Catégorie	Production biosourcée (kt/an)	Production totale (kt/an)	Part des produits biosourcés (%)	Consommation de produits biosourcés (kt/an)
Produits chimiques	181	60 791	0,3	197
Solvants	75	5000	1,5	107
Polymère et plastiques	268	60 000	0,4	247
Peinture et encres	1 002	10 340	12,5	1 293
Cosmétiques	558	1 263	44	558
Fibres	600	4 500	13	630

Table 1. Estimation de la production européenne de produits biosourcés [SPE 19]

Un fait intéressant est de noter que, hormis les polymères, la consommation des produits biosourcés est supérieure à la production européenne, ce qui indique l'existence de marges de développement. Seuls les polymères et plastiques sont produits en quantités plus importantes que la demande, ce qui est probablement dû aux très faibles prix des produits pétroliers et des habitudes de consommation tenaces notamment vis-à-vis des produits jetables [SPE 19]. Les enquêtes sur la perception et le comportement des consommateurs montrent que les principaux verrous se situent au niveau de la connaissance/conscience des produits proposés et le manque d'informations les concernant [BIO 17]. Les produits principalement identifiés sont les emballages, l'énergie, les cosmétiques et les fibres textiles. Néanmoins, la moitié des personnes enquêtées indiquent ne pas connaître les bénéfices par rapport aux produits classiques ni les performances environnementales des produits naturels. Les répondants se montrent relativement confiants sur la qualité et les bénéfices pour la santé, mais 40% d'entre eux ne pensent pas que les produits biosourcés puissent contribuer à une croissance économique durable et être source d'emplois. Il en ressort que l'essor de l'industrie biosourcée nécessite d'élever le niveau de connaissances et d'éducation des consommateurs citoyens. Elle dépend notamment du dynamisme et de la volonté des filières pour faire connaître les vertus et qualités de leurs produits. En ce sens, la confédération européenne du Lin et du Chanvre (CELC), qui fédère tous les industriels de la filière lin, est un bel exemple d'une organisation européenne associée à l'économie verte et dont l'industrie linière française, centrée sur les régions Hauts de France et Normandie, représente environ 80% de la production mondiale. Cette fibre naturelle aux excellentes propriétés physico-chimiques offre un potentiel de développement très important que ce soit pour le textile, mais également par la valorisation des co-produits de culture pour le développement des produits biosourcés. Elle apparaît aujourd'hui comme un excellent vecteur de développement régional et national et intègre toutes les dimensions de l'économie verte.

3. Le Lin, un atout pour l'économie verte française

3.1. Le lin, une fibre millénaire qui a de l'avenir

Le Lin (*Linum usitatissimum* L.) est connu pour être une des plus anciennes plantes végétales et dont les premières traces d'exploitation des fibres sauvages par l'Homme ont été découvertes dans une grotte de Dzudzuana en Géorgie et dateraient de plus de 30 000 ans avant notre ère [KAV 09] soit plusieurs milliers d'années avant la domestication animale ou l'agriculture. De ce que l'on sait aujourd'hui, la culture des fibres et le commerce des graines proviennent de Mésopotamie concomitamment à l'essor de l'agriculture environ 6000 ans av. J.-C. [ZEI 75] et se développèrent largement dans le bassin méditerranéen au sein de la Grèce antique et de l'empire égyptien. Les

usages étaient multiples et variés allant des applications textiles (habillement, navigation, papyrus, momification) à la consommation des graines et de l'huile bien connues pour ses vertus nutritionnelles. C'est probablement à l'âge de bronze tardif que le lin fut introduit en Europe. Puis, la culture du lin se développa ensuite lors de l'expansion de l'Empire romain [TRO 11]. La maîtrise culturelle de cette plante permit à Pline l'Ancien de décrire les qualités supérieures du lin européen par rapport au lin d'Égypte. Cela fut attribué au fait que les Égyptiens ensemençaient en hiver alors que les Européens le faisaient au printemps, de l'Italie aux frontières de l'empire, au nord de la Gaule et en Germanie [PLI]. On retrouve les traces de linières installées dans les bassins de l'Escaut, de la Lys et de la Flandre dont les eaux courantes servaient au rouissage.

REMARQUE Le rouissage est un processus de dégradation biologique humide des plantes textiles ayant pour objectif de faciliter la séparation des fibres.

Pendant longtemps, le lin demeura ainsi une industrie domestique et rurale et c'est aux XI^{ème} et XII^{ème} siècles que la toilerie commerciale apparut dans les villes puis s'industrialisa peu à peu. Avec l'augmentation des échanges et le développement socio-culturel de l'Europe, le XVI^{ème} siècle fut le début d'une période faste pour le lin qui perdura jusqu'à la crise linière du XIX^{ème} siècle [GUB 96]. Au XVII^{ème} siècle, l'industrie linière, grâce aux édits de 1664 et 1667 [PRE 57], permit de faire du nord de la France une grande région exportatrice participant au développement économique des cités et du monde rural. Grâce à la croissance démographique et la stagnation agricole, l'industrie textile put tirer profit d'une manne importante de main-d'œuvre paysanne qui trouva un complément de ressources dans la filature et le travail du tissu. C'est l'époque où les fileuses travaillaient dans l'humidité propice des caves et du développement de la mulquinerie qui, d'après les estimations, faisaient vivre jusqu'à 20% de la population des Flandres au début du XIX^{ème} siècle [PRE 57].

REMARQUE La mulquinerie est une activité du tissage et du commerce des toiles de lin

Cette production familiale subit une grave crise dans la deuxième partie des années 1900, notamment en raison de la mécanisation de l'industrie venue d'Angleterre, la concurrence du coton moins cher à produire puis celle du lin russe. Ainsi, alors qu'en 1860, les emblavements de lin représentaient 105 000 hectares en France, ils n'étaient plus que 18 000 hectares en 1908 [CON 14]. À l'aube des années 1930, sous l'impulsion du gouvernement, la filière se réorganisa et se modernisa avec la mise en place du rouissage microbiologique (procédé Feuillette) se substituant au rouissage dans la Lys, trop polluant.

3.2. La France, leader mondial

Aujourd'hui en France, les surfaces cultivées sur l'ensemble du territoire sont estimées entre 140 000 et 160 000 hectares avec une production totale d'environ 800 kT par an dont 60% en Normandie et 35% dans les Hauts-de-France. En termes de quantité et de rendement par hectare, la France est actuellement leader mondial dans la production de fibres longues de lin. En 2019, 65% du lin mondial, soit 85% du lin textile provenait du sol français avec une production estimée à 182 kT de fibres longues [CEL 19].

Du point de vue culturel, le lin textile est particulièrement bien adapté aux sols fertiles en haute culture, moyennement lourds et lourds, aux terres argileuses et aux sables limoneux. Sa culture est vertueuse et n'exige pas ou peu d'intrants chimiques. Elle se pratique via un assolement septennal. Le cycle de croissance de la plante est environ de 100 jours et atteint sa maturité à la fin du mois de juin (typiquement 55 jours de phase végétative, 15 jours de floraison et 30 jours de maturation). Ce processus bien connu était déjà évoqué par Pline dans le livre XIX de son histoire naturelle :

« Quand la graine se gonfle et quand il jaunit [on arrache les tiges de lin] [...] on le lie en bottes qui tiennent dans la main et on le fait sécher au soleil, pendu, les racines tournées vers le haut, pendant un jour, puis pendant cinq autres jours en opposant les

têtes des bottes afin que la graine tombe en son milieu, [...] après la moisson du blé, les tiges [de lin] elles-mêmes sont plongées dans l'eau atténuée au soleil et maintenues au fond par un poids, car rien n'est plus léger. On reconnaît qu'elles sont rouies à l'écorce plus lâche [...] puis une fois sèches, on les broie sur une pierre avec un maillet à étoupe ».

Après la phase de culture, la phase industrielle comprend le rouissage et le teillage pour la production de la filasse qui transite ensuite vers une phase manufacturière dédiée à la production de fils puis de divers produits commerciaux (composites en non-tissés pour l'automobile par exemple). Le rouissage correspond à l'étape de dégradation microbiotique naturelle (bactérie et champignons) de la fibre libérienne permettant l'extraction des fibres de lin. Historiquement, il se faisait à l'eau comme évoquée précédemment, de l'Égypte ancienne jusqu'encore au début du XX^{ème} siècle dans la vallée de la Lys, mais fut abandonné au profit du rouissage au champ (dew-retting) en raison de la pollution occasionnée des cours d'eau. La durée et la qualité du rouissage (10 à 30 jours) dépendent fortement du climat (température ambiante et humidité atmosphérique) ce qui influence le rendement et la qualité des fibres. Il débute après l'arrachage du lin qui est couché en bandes au sol (andains), pour être à la fois exposé à l'air et au sol, et retourné en fonction de l'évolution du processus. Viennent ensuite le teillage et le peignage qui fournissent la filasse (fibres longues), les étoupes (fibres courtes) ainsi que des co-produits que sont les anas et les graines (Figure 3).



Figure 3. Co-produits issus de la culture du Lin et exemples d'applications

Au-delà du lin textile qui est le principal marché économique de la filière, le modèle économique du secteur repose sur la fabrication de produits non-tissés notamment pour l'automobile et sur la valorisation des co-produits (graines et dérivés, anas et déchets de teillage) qui relève toujours principalement d'un schéma traditionnel. Le marché du lin fibre est voué à 60% à l'habillement, 30% à la décoration et 10% à usages techniques (composites, non tissés, autres...). La situation du marché culture-teillage se définit en fonction des paramètres de production, de vente et du niveau de stockage, ce qui permet la régulation et la gestion des prix des ventes (activités de courtage). Le lin textile donne peu de graines en comparaison avec le lin oléagineux et celles-ci sont utilisées principalement pour l'extraction d'huile et sur le marché de l'alimentation humaine et animale. Les anas de lin servent pour le paillage et la production de matériaux dédiés à l'éco-construction et

l'aménagement des bâtiments. Enfin, les poussières et les déchets du teillage servent à la fabrication de terres végétales.

3.3. Une économie climato-dépendante

Dans la mesure où la qualité de la production de lin est intimement liée au rouissage, le marché du lin textile fluctue au gré des conditions climatiques, ce qui induit des fourchettes de prix relativement larges pouvant aller de 1500 à 4000 euros/T de filasse et de 200 à 1200 euros/T d'étoupe. En termes de tonnage, le lin textile ne représente cependant que 25% de la production. À titre d'exemple, après une excellente année 2018, le marché 2019 a permis d'atteindre des marges brutes voisines de 4000 euros/ha [CEL 21]. En raison de la pandémie, le marché 2020 fut fortement impacté avec une réduction de 30% du prix moyen des fibres longues. Par ailleurs, la même année, suite aux faibles précipitations au printemps, la récolte fut de piètre qualité et a vu les rendements moyens chuté de 30%. Ceci démontre encore la dépendance au climat de la production et il convient d'envisager les moyens nécessaires à mettre en place pour faire face aux futures contraintes météorologiques. La plante, ayant besoin d'environ 400 mm de pluie pendant sa croissance, il a été montré qu'en état de stress hydrique, les rendements moyens à l'hectare diminuent d'environ 20%. Par ailleurs, le lin produit des tiges plus courtes (-30%) [MEL 22] et son métabolisme est affecté. Ainsi, le déficit d'eau lors des années de sécheresse impacte la production linière (Figure 4) ce qui dans un contexte de réchauffement planétaire global peut mettre en péril la filière française. En effet, les modèles de prédiction climatique pour la seconde moitié du XXI^{ème} siècle prévoient pour le nord de la France une diminution des précipitations moyennes de l'ordre de 3 à 5%, une élévation possible des températures de + 4°C ce qui pourrait induire une perte de rendement des cultures de 10 à 30% [HAB 15, SMI 20].

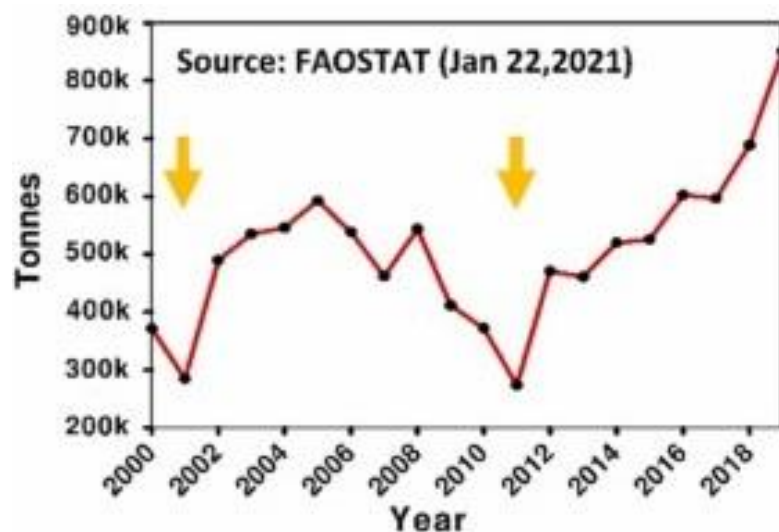


Figure 4. Production totale française de fibres de lin et d'étoupes sur la période 2000-2019 [ARV 15]

Conscient des enjeux, la filière lin investit en R&D pour la production de nouvelles variétés de semence comme le lin d'hiver qui est semencé en fin d'été/début d'automne et réduit l'impact lié à la sécheresse.

3.4. Le lin, une fibre en adéquation avec les concepts de l'économie verte

Comme évoqué précédemment, la culture de la fibre de lin est une activité traditionnelle et également un atout pour le développement de l'économie verte en France, notamment en région puisqu'on la retrouve quasi exclusivement dans les Hauts de France et la Normandie. Elle participe intrinsèquement à la bioéconomie avec une chaîne de valeur passant du monde agricole aux TPE et PME régionales (semencier, teillage, négociant, activités non tissés, filature) à l'ETI (Safilin). L'augmentation de la demande a eu pour conséquence un quasi doublement des surfaces de culture

depuis 2010. Le secteur se porte bien avec un chiffre d'affaires estimé à plus de 300 millions d'euros en France pour une répartition deux tiers/un tiers pour respectivement la Normandie et les Hauts de France [INS 22]. Depuis la fin des années 2010, la filière entreprend une relocalisation des filatures (Safilin en Haut de France, NatUp en Normandie et Velcorex dans le Grand Est avec une production de 5 000 tonnes de fil par an) ce qui du point de vue du bilan carbone de la fibre textile est une avancée non négligeable.

REMARQUE L'essentiel de la filature se fait principalement aujourd'hui en Europe de l'Est et surtout en Chine (environ 70%).

De ce point de vue, l'analyse de cycle de vie (ACV) montre que l'impact environnemental de la production de fibres de lin est très faible en consommation d'eau avec un risque d'eutrophisation quasiment nul. La comparaison des impacts potentiels avec d'autres sources de fibres issues de la biomasse montre que le lin est la fibre qui conduit aux impacts les plus faibles en matière d'acidification des sols, d'épuisement des ressources abiotiques et d'écotoxicité terrestre [GOD 11]. La production d'un kilogramme de fibres de lin de lin produit 0,65 kg de CO₂ alors que le coton fibre en produit 1,65 kg. En considérant que sur le marché textile, les fibres de coton représentent 23,2% du secteur alors que le lin seulement 0,4%, les avantages environnementaux de la culture du lin font de cette fibre millénaire une fibre d'avenir pour un secteur (habillement, mode) qui a lui seul représente 5% de émissions de gaz à effet de serre. Au regard de l'économie circulaire, le lin répond également à de nombreux critères. Il est durable car non fossile et participe aux économies locales et régionales. Une étude menée en 2015 sur la filière en Seine-Maritime a montré que 76% des entreprises étaient des TPE de moins de 20 salariés, ce qui permet de fournir de nombreux emplois en milieu rural [SEI 15].

Sur le littoral Dunkerquois, cette activité représentait, en 2015, 60 millions d'euros de CA repartis sur 11 sociétés (240 salariés en milieu rural). La circularité de l'industrie du lin se traduit par une valorisation accrue de l'ensemble des co-produits qui peuvent être transformés par des petites structures locales. En Flandre maritime, les déchets de teillage sont par exemple transformés en terre végétale puis vendue aux particuliers ainsi qu'aux communes et EPCI (Compolin, Hondshoote). Les anas de lin sont convertis en pellets pour le chauffage (Prodlin, Wormhout ; AVR Lins, Hondshoote). A plus grande échelle, à Wormhout, la mise à profit du haut rendement énergétique des anas de lin a permis la construction d'une nouvelle chaudière, consommant de 1,5 à 3 tonnes d'anas par an, pour le nouveau centre aquatique communautaire. Ce système est entièrement approvisionné par les producteurs locaux, ce qui permet de travailler en circuit court.

4. La Flandre maritime : une opportunité de développement agro-industriel territorial ?

Au regard de l'ensemble des éléments précités, il apparaît que la Flandre maritime possède tous les atouts pour développer un écosystème agro-industriel autour de l'économie verte.

Côté urbain, la communauté urbaine de Dunkerque (CUD) et son port industriel regroupe un important cluster d'industrie lourde (métallurgie, chimie, matériaux de construction) avec 44 entreprises, dont 15 sites Seveso. En termes de synergie, les entreprises établissent depuis un certain nombre d'années des relations collaboratives pour un projet de développement d'écologie industrielle [AND 22]. Par ailleurs, le territoire dunkerquois, lauréat en 2019 de l'appel à projets TIGA (Territoires d'Innovation de Grande Ambition), suit une démarche de réduction de la dépendance énergétique en investissant dans la décarbonation industrielle. Les entreprises ne sont pas en reste dans ce domaine puisqu'elles investissent en faveur de la réduction des émissions des gaz à effet de serre.

Côté ruralité, la Communauté de Communes des Hauts de Flandre (CCHF) a une carte à jouer pour développer son projet de pôle d'Excellence dédié au Lin et à la ruralité. Elle compte une

quarantaine de communes regroupant 54 097 habitants. Il s'agit d'un territoire de grandes cultures où le blé représente la première production en termes de surfaces avec pratiquement la moitié de la SAU. On y retrouve également de nombreuses cultures industrielles comme la betterave, le colza grain, le tournesol, le soja, le lin ou le houblon¹. Aujourd'hui, l'activité agricole essentiellement non biologique entre dans un schéma bioéconomique classique où l'absence de circuits courts et de durabilité sont relativement marqués [CCH 20]. Néanmoins, le territoire affiche la volonté d'amorcer une transition écologique et souhaite structurer les filières du monde agricole pour développer les énergies renouvelables et durables. Pour cela, elle prendra en compte les recommandations du schéma régional de la biomasse (SRB) qui identifie actuellement les volumes supplémentaires de biomasse valorisables à des fins énergétiques. Parmi ceux-ci, les co-produits issus de la filière lin présentent des volumes intéressants avec 140 kT/an d'anas de lin susceptibles de fournir 50 kT de cellulose, 30 kT d'hémicellulose et 40 kT de lignine par an. Ces quantités de co-produits ligno-cellulosiques sont exploitables et valorisables notamment pour la production de biocarburant. Par ailleurs, l'exploitation des co-produits issus du lin peut se faire par la valorisation nouvelle et innovante des graines de lin qui, au-delà de l'huile, sont susceptibles de produire une gomme faite de polysaccharides et de protéines aux nombreuses vertus nutritionnelles et biomédicales. À raison de récoltes de 600 kg en moyenne de graines par hectare, le potentiel régional d'extraction de gomme de lin est d'environ 2 kT. L'exploitation de la gomme offre de multiples applications biomédicales pour la production de biofilms et l'utilisation dans l'ingénierie tissulaire réparatrice notamment [KAR 19]. D'autres voies, actuellement en développement, sont également possibles avec l'élaboration de biocomposites à haute teneur en Lin.

Dans ce contexte favorable où les territoires affichent leurs volontés de développer l'économie verte, une synergie territoriale autour de la biomasse ligno-cellulosique est-elle envisageable ? L'exemple de la petite ville danoise Kalundborg, qui a su mettre en place un modèle avant-gardiste d'éco-économie, montre qu'il est possible d'établir une connexion réussie entre industrie et agriculture [BRA 16]. L'examen des forces et ambitions des deux territoires de Flandre maritime fait apparaître de nombreux atouts plaçant en faveur d'une telle collaboration. Au-delà de la proximité géographique et des ambitions partagées de développement durable, il apparaît que les territoires partagent également une identité commune (culture, bassin d'emplois) ce qui est un critère supplémentaire pour la création d'un réseau coopératif. Ainsi, d'un côté on retrouve la biomasse et le savoir-faire agricole et de l'autre, une agglomération de 200 000 habitants s'inscrivant dans une démarche de décarbonation avec un écosystème industriel partageant cette même ambition. Total, présent à Dunkerque, participe déjà au projet Futurol depuis 2008 pour la production de biocarburant à partir de végétaux non alimentaires introduits dans un processus de bioraffinage de seconde génération. On retrouve également dans le secteur de l'énergie et de la biomasse des acteurs comme Daudruy (négoce et raffinage d'huiles végétales et corps gras animaux) et sa filiale Nord Ester (biocarburant par transestérification à partir d'huiles végétales et de graisses animales) susceptibles de créer les conditions de la mise en place d'un partenariat public-privé. Ainsi une coopération efficiente entre les différents acteurs (État/Région/EPCI) pourrait permettre l'émergence d'un grand pôle énergétique décarboné national avec la mise en place d'une bioraffinerie de deuxième génération, point d'ancrage pour une multitude de petites et moyennes entreprises (extraction des ressources, élaboration de matériaux biosourcés, fourniture de matières naturelles à d'autres secteurs). Un tel projet ne pourra voir le jour que grâce à une politique coordonnée, en solutionnant les problèmes de gouvernance qui sont malheureusement en cause dans de nombreux projets avortés. Quoiqu'il en soit, la Commission Européenne est prête et la ligne directrice est tracée, reste que la résilience territoriale doit être mise à l'épreuve.

¹ Agence d'urbanisme Flandres -Dunkerque (AGUR) Dunkerque.

Conclusion

Les émissions de carbone responsables de l'effet de serre offrent un défi gigantesque à nos sociétés modernes. Pour tenter de poursuivre son développement, l'humanité devra substituer toutes ses ressources fossiles par une exploitation raisonnée de la Nature. La biomasse étant une ressource limitée, il conviendra donc d'utiliser l'ensemble des ressources accessibles n'entrant pas en concurrence avec les denrées alimentaires. Le lin entre dans cette catégorie des matières lignocellulosiques offrant de multiples co-produits transformables en matériaux ou susceptibles de produire des énergies renouvelables ou dites propres. Cette culture s'inscrit pleinement dans les deux volets de l'économie verte avec d'une part la bioéconomie de la fibre textile et des produits biosourcés et d'autre part la dimension éco-économique du développement durable (circuit-court, respect de l'environnement, biodégradabilité...). Cette dernière commence à se développer avec l'éclosion de TPE exploitant les co-produits issus de la filière lin du territoire flamand. L'économie du lin adhère ainsi aux exigences complexes de l'économie verte en répondant à la fois aux besoins d'une économie libérale mondialisée ainsi qu'aux développements d'écosystèmes locaux et régionaux.

Dans ce contexte, en Flandre maritime, la culture du lin représente une réelle opportunité de développement de l'économie verte pourvu que l'association entre les industries péri-urbaines de l'agglomération dunkerquoise et le monde rural de la Communauté de Communes des Hauts de Flandre soit effective. Pour ce faire, le Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT) de la région Flandre-Dunkerque et la Chambre de Commerce et d'Industrie (CCI) du Littoral Hauts-de-France ont un rôle majeur à jouer en tant que protagonistes locaux. La vision du monde d'après les +2°C doit imprégner les esprits afin qu'une coopération active de tous les acteurs du monde économique et politique se mette en place. Face à ces nouveaux débouchés potentiels, la filière pousse à l'augmentation des surfaces cultivées. Semer, Semer ! semble être devenu le nouveau mot d'ordre.

Bibliographie

- [ANA 98] ANASTAS P.T., WARNER J.C., *Green Chemistry Theory and Practice*. New York: Oxford University Press, 10-55, 1998.
- [AND 22] ANDRIAMANANTENA A.N., LAPERCHÉ B., BOUTILLIER S., Building Circular Innovation Ecosystem in Industrial Port Territories: The Case of Dunkirk, France. In Prokop V. et al., *Business Models for the Circular Economy*, Springer, Cham, 139-167, 2022.
- [ARV 15] ARVALIS INSTITUT DU VEGETAL, Données 2015.
- [BEF 19] BÉFORT N., DE FOUCHÉCOUR F., DE ROUFFIGNAC A., HOLT C.A., LECLÈRE M., LOTH T., MOSCOIZ R., PION F., RUAAULT J-F., THIERRY M., Toward a European bioeconomic transition: is a soft shift enough to challenge hard socio-ecological issues?, *Natures Sciences Sociétés* 27, 4, 438-444, 2019.
- [BIO 17] BIOWAYS: D2.2 Public perception of bio-based products, 2017.
- [BRA 16] BRANSON R., Re-constructing Kalundborg: the reality of bilateral symbiosis and other insights, *Journal of Cleaner Production*, 112, 4344e4352, 2016.
- [CCH 20] CCHF COMMUNAUTE DE COMMUNES DES HAUT DE FRANCE. Plan Climat Air Énergie Territorial (PCAET) 2020-2026
- [CEL 19] CONFEDERATION EUROPEENNE DU LIN ET DU CHANVRE (CELC) Données 2019.
- [CEL 21] CONFEDERATION EUROPEENNE DU LIN ET DU CHANVRE (CELC) Données 2021.
- [CON 14] DE CONDE, F., Rouissage microbiologique du lin (procédé de M. Feuillette), *Annales de l'Institut national agronomique*, p. 99, 1914.
- [DAM 17] D'AMATO D., DROSTE N., ALLEN B., KETTUNEN M., LÄHTINEN K., KORHONEN J., LESKINEN P., MATTHIES B.D., TOPPINEN A., Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues, *Journal of Cleaner Production*, 168, 716e734, 2017.

- [FER 15] FERGUSON P., The green economy agenda: business as usual or transformational discourse? *Environmental Politics*, 24, 17-37, 2015.
- [GAL 16] GALLAUD D., LAPERCHÉ B., *Economie circulaire et développement durable, écologie industrielle et circuits courts*. ISTE Editions Ltd. ISBN: 978-1-78405-132-7, 2016.
- [GEY 17] GEYER R., JAMBECK J.R., LAW K.L., Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.*, 3, No. e1700782, 2017.
- [GOD 11] GODARD C.C., BOISSY J.J., GABRIELLE B., L'Analyse de Cycle de Vie appliquée aux biomasses énergie : Exemple de l'approvisionnement de la chaudière Lin 2000, *Congrès International sur l'Analyse du Cycle de Vie Lille*, 2011.
- [GUB 96] GUBIN E., SCHOLLIERS P., La crise linière des Flandres. Ouvriers à domicile et prolétariat urbain (1840-1900). *Revue belge de philologie et d'histoire*, 74, 365-401, 1996.
- [HAB 15] HABETS F., VIENNOT P., Evolutions constatées et prévisibles des principales composantes du climat ayant un effet sur l'agriculture avec un focus sur l'hydrologie. *Chang. Clim. Agric. Comp. Anticip.*, 24-32, 2015.
- [HAS 19] HASSAN S.S., WILLIAMS G.A., JAISWAL A.K., Moving towards the second generation of lignocellulosic biorefineries in the EU: Drivers, challenges, and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 590-599, 2019.
- [INS 22] INSEE. Comptes de l'agriculture. 2022 <https://www.insee.fr/fr/statistiques/6683148?sommaire=6675425>
- [KAK 21] KAKADELLIS S., ROSETTO G. Achieving a circular bioeconomy for plastics. *Science*, 2, 49-50, 2021.
- [KAR 19] KARDUNG, M. O., COSTENOBLE, L. DAMMER, R. DELAHAYE, M. LOVRIC', VAN LEEUWEN M., M'BAREK R., VAN MEIJL H., PIOTROWSKI S., RONZON T., VERHOOG D., VERKERK H., VRACHIOLI M., WESSELER J., XINQI ZHU B., *Framework for Measuring the Size and Development of the Bioeconomy*, BioMonitor, ID 773297, 2019.
- [KAT 86] KATES RW. Managing Technological Hazards: Success, Strain, and Surprise. Hazards: Technology and Fairness, National Academy of Engineering, National Academies Press, p. 209, 1986.
- [KAV 09] KAVADZE E., BAR-YAOSEF O., BEKFER-COHEN A., BOARETTO E., JAKELI N., MATSKEVICH Z., MESHVELIANI T., 30.000-year-old wild flax fibers, *Science* 325, 1359, 2009.
- [KIT 11] KITCHEN L., MARSDEN T., Constructing sustainable communities: a theoretical exploration of the bio-economy and eco-economy paradigms. *Local Environment*, 16, 753-769, 2011.
- [LAU 11] LAURENT P., ROIZ J., WERTZ J-L., RICHEL A., PAQUOT M., Le bioraffinage, une alternative prometteuse à la pétrochimie. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 15(4), 597-610, 2011.
- [LEV 22] L. LEVIDOW. Green New Deals: What Shapes Green and Deal? *Capitalism Nature Socialism*, 33, 76-97, 2022.
- [LIS 14] LISKA A. J., YANG H., MILNER M., GODDARD S., BLANCO-CANQUI H., PELTON M. P., FANG X. X., ZHU H., SUYKER A. E., Biofuels from crop residue can reduce soil carbon and increase CO₂ emissions. *Nature Climate Change*, 4, 398-401, 2014.
- [MEL 22] MELELLI A., DURAND S., ALVARADO C., KERVOËLEN A., FOUCAT L., GRÉGOIRE M., ARNOULD O., FALOURD X., CALLEBERT F., OUAGNE P., GEAIRON A., DANIEL S., JAMME F., MAUVE C., GAKIÈRE B., BOURMAUD A., BEAUGRAND J., Anticipating global warming effects: A comprehensive study of drought impact of both flax plants and fibres. *Industrial Crops & Products*, 184, 115011, 2022.
- [MOU 21] MOURJANE I., FOSSE J., La biomasse agricole: quelles ressources pour quel potentiel énergétique ? Document de travail N° 2021-3, 2021.
- [NAT 16] NATTRASS L., BIGGS C., BAUEN A., PARISI C., RODRIGUEZ-CEREZO E., GOMEZ-BARBERO M. THE EU BIO-BASED INDUSTRY: Results from a survey; 2016.
- [NAT 63] Discours pour l'obtention du prix Nobel de Chimie 1963.
- [OEC 09] OECD. *The Bioeconomy to 2030: designing a policy agenda*. 2009 www.oecd.org/futures/bioeconomy/2030
- [PAN 16] PANOUTSOU C., LANGEVELD H., VIS M., LAMMENS T., ASKEW M., CARREZ D., ELBERSEN B., ANNEVELINK B., STARITSKY I., VAN STRALEN J., PELKMANS L., ALAKANGAS E., S2BIOM PROJECT, D8.2 Vision for 1 billion dry tonnes lignocellulosic biomass as a contribution to biobased economy by 2030 in Europe, Imperial College London, 2016.
- [PLI] PLINE, Histoire Naturelle, livre XIX.

- [PRE 57] PREVOT V., Une grande industrie d'exportation. L'industrie linière dans le Nord de la France sous l'Ancien Régime, *Revue du Nord*, 39, 205-226, 1957.
- [SEI 15] SEINE MARITIME EXPANSION. *La filière industrielle du lin en Seine Maritime*. Avril 2015 <https://www.seine-maritime-attractivite.com/sites/default/files/upload/actualites-documents/etudes-documents/La-filiere-industrielle-du-lin.pdf>
- [SMI 20] SMITH, N.E., KOOIJMANS, L.M.J., KOREN, G.; VAN SCHAIK, E.; VAN DER WOUDE, A.M.; WANDERS, N.; RAMONET, M.; XUEREFF-REMY, I.; SIEBICKE, L.; MANCA, G.; ET AL. Spring Enhancement and Summer Reduction in Carbon Uptake during the 2018 Drought in Northwestern Europe, *Phil. Trans. R. Soc. B*, 375, 20190509, 2020.
- [SPE 19] SPEKREIJSE J., LAMMENS T., PARISI C., RONZON T., VIS. M., Insights into the European market for bio-based chemicals, 2019.
- [TOR 21] TORDJMAN H., *La croissance verte contre la Nature*, Ed. La Découverte, ISBN 9782348067990, 2021.
- [TRO 11] ANDRESEN S. T., KARG S., Retting pits for textile fibre plants at Danish prehistoric sites dated between 800 b.c. and a.d. 1050, *Veget Hist Archaeobot* 20, 517–526, 2011.
- [UNI 09] UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. *A Global Green New Deal for Climate, Energy, and Development*, 2009. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/cc_global_green_new_deal.pdf
- [YOS 16] YOSHIDA S., HIRAGA K., TAKEHANA T., TANIGUCHI I., YAMAJI H., MAEDA Y., TOYOHARA K., MIYAMOTO K., KIMURA Y., ODA K., A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate), *Science*, 351, 1196-1199, 2016.
- [ZEI 75] VAN ZEIST W., BAKKER-HEERES J.A., Evidence for linseed cultivation before 6000 bc, *J. Archaeolog. Sci.*, 2, 215-219, 1975.
- [ZHA 22] ZHAO X., COPENHAVER K., WANG L., KOREY M., GARDNER D.J., LI K., LAMM M. E., KISHORE V., BHAGIA S., TAJVIDI M., TEKINALP H., OYEDEJI O., WASTI S., WEBB E., RAGAUSKAS A.J., ZHU H., PETER W.H., OZCAN S., Recycling of natural fiber composites: Challenges and opportunities. Resources, *Conservation & Recycling*, 177, 105962, 2022.
- [ZIM 20] ZIMMERMAN J.B., ANASTAS P.T., ERYTHROPEL H.C., LEITNER W., Designing for a green chemistry future, *Science* 367, 397–400, 2020.