



HAL
open science

La valorisation des drêches de brasseries en milieu urbain : vers un outil d'aide à la décision appliqué au bassin nantais

Valentin Fouquet, Karine Latouche, Samira Rousselière

► **To cite this version:**

Valentin Fouquet, Karine Latouche, Samira Rousselière. La valorisation des drêches de brasseries en milieu urbain : vers un outil d'aide à la décision appliqué au bassin nantais. Congrès Interdisciplinaire sur l'Économie Circulaire - CIEC 2024, Université de Toulouse [UT], Jun 2024, Montpellier, France. <hal-04815545>

HAL Id: hal-04815545

<https://hal.science/hal-04815545v1>

Submitted on 3 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization



La valorisation des drêches de brasseries en milieu urbain : vers un outil d'aide à la décision appliqué au bassin nantais¹

V. FOUQUENET^a, K. LATOUCHE^a, S. ROUSSELIÈRE^b

^a UMR SMART, INRAE, Nantes, France

^b LEMNA, ONIRIS, Nantes, France

Auteur correspondant : valentin.fouquetnet@inrae.fr

Introduction

Récemment en France, l'économie circulaire s'est renforcée au niveau législatif par la promulgation de la loi « Anti-gaspillage pour une économie circulaire » (AGEC) visant à appliquer l'ensemble des principes de l'économie circulaire dans le quotidien des français au travers de cinq axes dont la lutte contre le gaspillage et pour le réemploi solidaire. Une des mesures de cette loi est le renforcement de l'obligation de tri et de valorisation des biodéchets en filières adaptées qui concerne l'ensemble des professionnels depuis Janvier 2024.

Le secteur brassicole est une des nombreuses industries concernées par cette obligation du fait de son principal résidu de production : la drêche de bière (DDB). Cette matière organique représente 85% de l'ensemble des résidus générés lors du processus de fabrication de la bière [1]. Il est estimé que la DDB représente environ 20% de la production de la bière, c'est-à-dire que pour 100L de bière produits, environ 20 kg de DDB sont obtenus [2 ; 3]. En France, la production de bières atteignant 21,3 millions d'hectolitres en 2021 [3], la quantité de DDB générée avoisinerait environ 420 000 tonnes par an. La DDB est habituellement valorisée dès sa sortie de brasserie dans l'agriculture via l'alimentation animale et dispose d'un marché économique sur lequel elle peut être vendue entre 35 et 50€ la tonne [4 ; 5]. La récente dynamique du secteur brassicole est portée par le développement des microbrasseries en milieu urbain et/ou péri-urbain dans le but de se rapprocher des consommateurs. Cette dynamique associée à l'obligation portée par la loi AGECE pose

¹ Cet article est basé sur les travaux menés par Valentin Fouquetnet lors de son stage de M2 (notamment le mémoire de fin d'études « Valorisation des coproduits de brasserie en milieu urbain : vers la construction d'un outil multicritère d'aide à la décision publique appliqué au bassin nantais ») réalisé à INRAE, dans l'UMR SMART, à Nantes et financé par le projet BIOLOOP (Appel à projet Région Pays de la Loire- ADEME « économie circulaire »).

de nouvelles problématiques aux brasseries urbaines pour lesquelles l'accès aux exploitations agricoles (permettant une valorisation directe des DDB et majoritairement situées en milieu rural) est plus compliqué.

Dans le but de construire un outil d'aide à la décision (OAD) visant à orienter le décideur vers les méthodes de valorisation d'un résidu les plus performantes existantes sur un territoire, cet article s'organise autour d'une démarche en trois étapes constituant le fil rouge à suivre : connaître, localiser et évaluer (démarche CLE)². Avec une approche territorialisée appliquée à Nantes Métropole, ce travail prend en compte les ressources du territoire et propose d'aller au-delà du prisme économique dans la prise de décision en intégrant les dimensions environnementales, sociales et techniques afin d'être en phase avec la définition de l'économie circulaire.

1. Connaître le coproduit et les filières de valorisation

Dans cette section, il s'agit d'abord de s'intéresser aux caractéristiques physicochimiques du coproduit puis d'identifier, en lien avec ses caractéristiques, les filières de valorisation existantes pour la DDB.

1.1. La DDB : un résidu humide, fibreux et protéiné

Une des particularités de la DDB réside dans le fait qu'elle soit très humide au moment de sa récupération en brasserie car elle est issue du mélange de l'eau et des céréales. Elle contient en effet entre 75 et 80% d'eau à l'état initial [6]. Cela pose deux problèmes centraux dans la problématique de la gestion de cette matière. Le premier est que l'eau contenue dans la DDB fait augmenter considérablement sa masse et son volume, rendant son transport et son stockage compliqués et coûteux. Le deuxième est le caractère fermentescible de la matière. Effectivement, l'humidité de la drêche fraîche rend la croissance des bactéries, levures et moisissures très favorable, empêchant de conserver la DDB plus de quelques jours.

Concernant la composition physicochimique de la DDB, cette dernière peut varier selon divers paramètres liés au type de grain utilisé ou encore aux conditions de brassage employées [7]. Outre les fibres constituant environ 70% des DDB, ce résidu est également riche en protéines, à hauteur d'environ 20% [2]. Des lipides et cendres complètent la composition des DDB mais sont très minoritaires. La composition riche en protéines, fibres, sucres, minéraux, vitamines et polyphénols confère des propriétés très intéressantes à la DDB, ouvrant de multiples possibilités de valorisation que nous allons explorer dans la section suivante.

² Cette démarche CLE (Connaître Localier et Evaluer) s'inspire des travaux de thèse de Mickaël Buronfosse [12].

1.2. De multiples débouchés pour la DDB

Le Tableau 1 ci-dessous recense l'ensemble des possibilités de valorisation de ce coproduit abordées dans la littérature jusqu'à aujourd'hui [1 ; 2 ; 4 ; 7 ; 8 ; 9].

Agriculture	Production d'énergie	Alimentation humaine	Remplacement matériau	Autres utilisations
Alimentation animale	Méthanisation	Industrie BVP (Boulangerie Viennoiserie Pâtisserie)	Fabrication de papier	Support pour immobilisation cellulaire
Substrat pour culture de microorganismes	Bioéthanol	Incorporation aux pâtes alimentaires et à la viande	Briques de construction	Utilisation en adsorbant
Amendement : épandage direct, compostage ou production de biochar	Conversion thermochimique : combustion directe ou charbon de DDB	Réutilisation pour le prochain brassin	Production de biopolymères (PHA, PLA)	Fabrication de savons
			Mobilier et autres objets	Extraction de composés pour diverses industries

Tableau 1. Ensemble des voies de valorisation de la DDB

2. Localiser les gisements et les installations de valorisation

Dans ce travail, notre principal territoire d'application est celui de Nantes Métropole.

Les gisements de la DDB sont représentés par les brasseries. Une enquête quantitative complétée par des entretiens semi-directifs a permis d'identifier la quasi-totalité des gisements de DDB sur le territoire de Nantes Métropole. Ainsi, le secteur brassicole nantais est composé de 20 brasseries produisant 28 748 hL et générant ainsi 1218,1 t de DDB par an [10]. L'étude menée auprès de ces brasseries a également permis de déterminer la méthode principale mise en place par chaque brasserie pour valoriser ces gisements de DDB.

Concernant les installations de valorisation, l'intérêt d'identifier les unités pouvant accueillir les drêches des brasseries nantaises est de retenir les voies de valorisation les plus concrètes à ce jour (parmi celles présentées en section 1.2) en vue de la dernière étape de la démarche CLE. La problématique de valorisation d'un coproduit implique ici d'étendre le périmètre d'identification des acteurs économiques au-delà des frontières de Nantes Métropole. Ainsi, nous identifions de préférence les acteurs de valorisation situés au sein de la métropole mais aussi, lorsque cela est nécessaire,

dans toute la région Pays de la Loire.

L'identification de ces installations est réalisée à l'aide des données de TEO (Observatoire ligérien de la transition énergétique et écologique) et d'Orbis (base de données sur les sociétés) et permet de retenir sept voies comme des voies de valorisation existantes avec des acteurs pouvant les mettre en place sur notre périmètre géographique retenu. Les sept voies sont les suivantes : l'alimentation animale et l'épandage agricole, l'alimentation humaine, le compostage, la méthanisation, l'utilisation en substrat pour la culture de champignons et l'utilisation en remplacement de matériau.

3. Evaluer les performances des voies

La création d'un OAD repose sur une évaluation multicritère des voies précédemment retenues. Cette évaluation permet de prioriser les voies de valorisation afin de savoir lesquelles privilégier pour la valorisation des DDB du bassin nantais, en fonction de leurs performances dans différents critères privilégiés par les décideurs publics.

3.1. Méthodologie de l'évaluation

Un outil multicritère d'aide à la décision permet d'évaluer plusieurs scénarios via leurs performances selon de multiples critères. Ici, les « scénarios » évalués sont la mise en place des sept voies de valorisation de la DDB retenues précédemment. En matière d'outils d'aide à la prise de décision pour la gestion des résidus, nous nous orientons ici vers la famille des modèles d'ingénierie des systèmes. Les méthodes de cette famille traitent de plusieurs dimensions et critères afin d'aboutir à une solution précise et optimale à un problème donné. Parmi cette famille se trouvent les méthodes d'analyses multicritères d'aide à la décision (MCDM – MultiCriteria Decision Making Methods) que l'on peut distinguer en deux sous-catégories selon le nombre d'alternatives à disposition pour le décideur : les méthodes d'analyse multicritère (MDAM – Multi Attribute Decision Making), adaptées dans les cas où le nombre d'alternatives à évaluer est fini et connu ; et les méthodes d'optimisation multicritère (MODM – Multi Objective Decision Making) dans les cas où les alternatives sont potentiellement infinies car elles sont définies par des contraintes [11 ; 12 ; 13]. Ce travail s'oriente vers une méthode d'analyse multicritère, donc de la catégorie MDAM car le nombre d'alternatives à étudier ici est connu : ce sont les sept voies retenues au préalable. Nous répondons ici à une problématique de rangement qui consiste à comparer et à ordonnancer les solutions afin d'établir un classement complet [14].

La méthode de la somme pondérée est employée ici, elle est couramment utilisée en agrégation multicritère et est basée sur l'approche « agréger (les préférences) puis comparer (les alternatives) » [11 ; 14 ; 15 ; 16]. L'évaluation des performances de chaque voie se fait via l'attribution d'une « note » de 1 à 4 pour chaque critère. Ainsi,

la note de 1 sera attribuée à une voie si le critère évalué joue en la défaveur du choix de la voie en question. Ensuite, une pondération, de 1 à 2, s'applique à cette note afin d'accorder plus ou moins de poids aux critères dans la notation finale. La pondération appliquée se base sur la qualité des données à disposition pour évaluer les performances dans chaque critère. Une pondération de 1 signifie que l'évaluation du critère se base sur des données moins fiables et précises, ce qui justifie le fait d'accorder moins de poids à son évaluation. La méthodologie appliquée est inspirée de celle utilisée dans le travail de Labelle [17]. A noter qu'il serait possible d'envisager une pondération supplémentaire pour les catégories (aspects environnementaux, sociaux-économiques ou techniques), attribuée par le décideur public en fonction de ses priorités politiques.

Dix critères sont retenus au total pour évaluer les sept voies retenues. Ces critères sont divisés en trois catégories, dont deux d'entre elles qui répondent aux piliers du développement durable : les sphères environnementales et socio-économiques, complétées par la sphère technique. Alors que les critères retenus sont inspirés des travaux de Labelle [17] ou sont issus d'entretiens avec des acteurs publics locaux, les pondérations choisies relèvent de l'interprétation personnelle comme expliqué auparavant. Le tableau ci-dessous les présente, accompagnés de la pondération qui leur est appliquée.

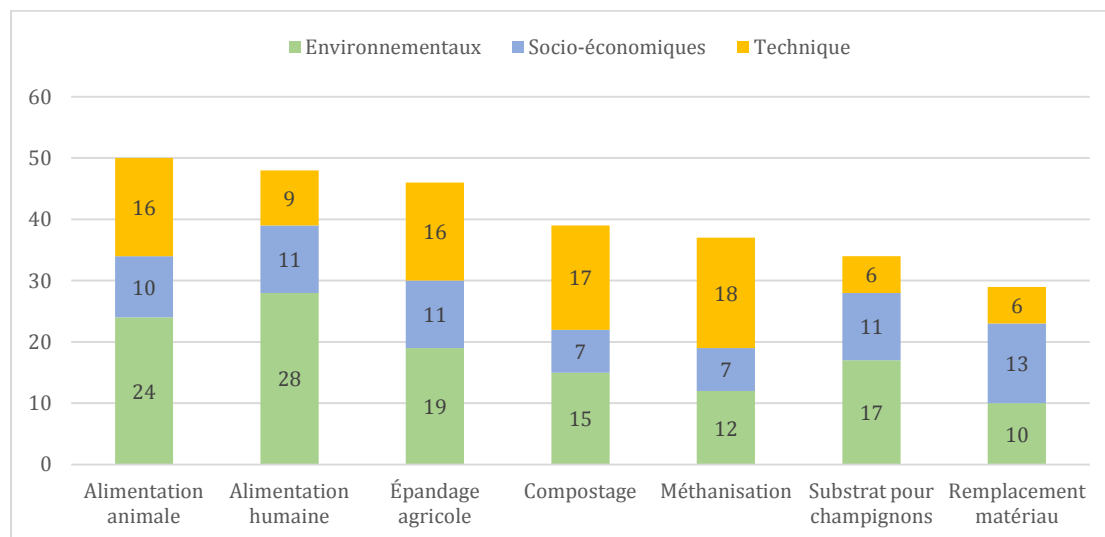
	CRITÈRES	PONDÉRATION
1/ Environnementaux	1.1/ Respect de la hiérarchisation des 3RV-E	2
	1.2/ Émissions de GES liées au transport	2
	1.3/ Diminution de la pression sur l'eau	1
	1.4/ Bouclage des cycles	2
2/ Socio-économiques	2.1/ Cohésion sociale	1
	2.2/ Création d'emplois	2
	2.3/ Compétitivité de la voie	1
3/ Techniques	3.1/ Capacité de valorisation	1
	3.2/ Nécessité de traitement des drêches	2
	3.3/ Potentiel de valorisation des autres coproduits brassicoles	2

Tableau 2. Critères retenus et pondérations appliquées pour l'évaluation multicritère

3.2. Résultats de l'évaluation multicritère

Une fois la notation effectuée, chacune des catégories de critères présente un sous-total qui correspond à la somme des notes accordées à chaque critère de la catégorie multipliées par la pondération associée à ces critères. Les sous-totaux calculés déterminent alors la performance de la voie pour chacune des trois catégories de critères. Les totaux sont ensuite calculés pour chaque voie via l'addition des trois sous-totaux. L'approche employée ici permet de résumer les performances des alternatives en une note globale et de les classer selon un ordre ascendant ou descendant (méthode d'agrégation totale) [14 ; 16]. Les résultats, présentés de

manière simplifiée sur le Graphique 1 ci-dessous, montrent les scores de performances de chaque voie dans chaque catégorie de critères.



Graphique 1. Résultats de l'analyse multicritère par catégorie

En l'état actuel des choses sur le territoire, trois voies se démarquent des autres de par leurs bonnes performances : l'alimentation animale, l'alimentation humaine et l'épandage agricole avec des scores totaux de 50, 48 et 46. La priorisation des voies s'effectue dans l'ordre descendant des totaux calculés donc de la voie la plus performante (l'alimentation animale) à la moins performante (l'utilisation en remplacement de matériau). Il est important de rappeler que la pondération joue ici un rôle important dans les scores finaux, une modification de celle-ci pourrait entraîner des changements importants dans le classement établi. Par exemple, la voie utilisant la DDB en remplacement de matériau obtient les moins bonnes performances au niveau global mais présente le meilleur score socio-économique. Ainsi, nous pouvons imaginer que si la pondération était modifiée de manière à prioriser la sphère socio-économique, cette voie obtiendrait un meilleur score de performance et bénéficierait alors d'une position au classement et d'une priorisation plus avantageuse.

4. Construction de l'OAD

L'objet de cette partie est de créer un OAD sur la base de la priorisation des voies de valorisation établie dans la section précédente. Le modèle construit, sous la forme d'un arbre de décision, n'est qu'une première étape vers la construction d'un outil d'aide à la décision plus complet et précis.

L'outil (disponible en Annexe 1) consiste en un enchaînement de questions fermées qui défilent selon la priorisation établie par les résultats de notre évaluation multicritère présentés en section précédente. Pour utiliser l'outil, l'utilisateur n'a qu'à suivre les flèches en fonction de ses réponses « Oui/Non », jusqu'à atteindre un ovale

vert. L'ovale vert signifie soit que la totalité des DDB générées par les brasseries du bassin nantais sont valorisées, soit qu'il faut rechercher d'autres voies de valorisation potentielles car les sept voies existantes retenues n'ont pas suffi à valoriser l'entièreté des DDB générées sur le territoire. L'arbre débute donc par un rectangle jaune qui formule la première question que l'utilisateur de l'outil doit se poser. Ici, cela correspond à la demande de DDB pour l'alimentation animale car c'est la première voie à prioriser selon les résultats de notre évaluation multicritère.

L'arbre repose sur la demande en DDB de chacune des voies retenues. Ainsi, si la première voie à prioriser ne présente pas de besoins en DDB, il faut se poser la même question pour la seconde voie et ainsi de suite. En revanche, si une demande existe, alors il faut mettre en place la voie de valorisation en question afin de valoriser la plus grande quantité de DDB possible. Dans ce cas-là, on s'interroge si la voie a permis de valoriser l'entièreté des DDB générées sur le territoire. Si oui, l'outil a rempli son objectif, sinon il faut s'orienter vers la seconde voie et le schéma de questionnements recommence. À noter que pour la méthanisation et le compostage, on ne s'interroge pas sur la demande en DDB mais plutôt sur la possibilité des deux voies à recevoir et à valoriser la DDB dans leurs installations respectives. La forme assez simple de l'outil répond à une méthode d'ingénierie des systèmes, offrant à son utilisateur une solution précise sans lui donner trop de liberté de choix.

5. Perspectives et conclusion

L'OAD construit dans cet article oriente le décideur vers les voies de valorisation les plus performantes existantes pour les DDB du bassin nantais et permet d'aller au-delà du seul prisme économique car l'évaluation des performances des voies se base également sur des critères environnementaux, sociaux et techniques. L'approche territorialisée appliquée au bassin nantais peut être déclinée à d'autres périmètres géographiques en fonction de leurs spécificités. Il est également possible d'imaginer une déclinaison de l'outil à d'autres coproduits (notamment brassicoles) car les critères choisis ne sont pas trop restrictifs. Cependant, la construction de l'évaluation multicritère et de l'OAD qui en découle est sujette à des discussions et améliorations.

Parmi les améliorations possibles, citons l'intégration de l'ensemble des voies de valorisation de la DDB présentées dans le Tableau 1 car l'analyse présentée est pour l'instant limitée à sept voies. Ensuite, l'ajout de nouveaux critères pourrait aboutir à une évaluation plus complète de chaque voie retenue, et ce pour nos trois sphères principales. Un critère central à inclure serait la possibilité de rémunération des brasseries en échange de leurs DDB car c'est un élément qui est essentiel dans la prise de décision des brasseries. Enfin, en l'état actuel, l'outil construit s'adresse le mieux aux brasseries mais afin qu'il puisse s'adapter à d'autres utilisateurs ainsi qu'à leurs priorités, l'outil devrait permettre la prise en compte de leurs préférences. Une

manière de le faire serait de rendre les pondérations adaptatives lors de l'évaluation multicritère.

Références

- [1] Mussatto, S.I., « Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications. » J. Sci. Food Agric., vol 94, pp : 1264-1275. (2014) <https://doi.org/10.1002/jsfa.6486>
- [2] Mussatto S.I., Dragone G., Roberto I.C. (2006), « Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications », Journal of Cereal Science, vol 43, pp : 1-14. (2006) <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.001>
- [3] Gillard E., « La bière en France – 2023 », Éditions Projet Amertume (2023)
- [4] Lynch K.M., Steffen E.J. et Arendt E.K., « Brewers' spent grain : a review with an emphasis on food and health », Journal The Institute of Brewing and Distilling, vol 122, pp : 553-568. (2016) <https://doi.org/10.1002/jib.363>
- [5] Motin V., « Le prix des drêches a doublé : les éleveurs de l'Est s'organisent », média professionnel Réussir (2019) <https://www.reussir.fr/video-le-prix-des-dreches-double-les-eleveurs-de-lest-sorganisent>
- [6] Heuzé V., Tran G. et Rouillé B., « Fiche coproduit : Drêches de brasserie », Comité National des Coproduits (2017)
- [7] Aliyu S. et Bala M., « Brewer's spent grain : A review of its potentials and applications », African Journal of Biotechnology, vol 10, pp : 324-331. (2011)
- [8] Chetrariu A. et Dabija A., « Brewer's Spent Grains: Possibilities of Valorization, a Review », Journal Applied Sciences, vol 10, 5619 (2020) DOI : 10.3390/app10165619
- [9] Jackowski M., Niedźwiecki L., Jagiełło K., Uchańska O et Trusek A., « Brewer's spent grains – Valuable Beer Industry By-Product », Journal Biomolecules, vol 10, 1669 (2020) doi: 10.3390/biom10121669
- [10] Fouquenot V., « Valorisation des coproduits de brasserie en milieu urbain : vers la construction d'un outil multicritère d'aide à la décision publique appliqué au bassin nantais », Mémoire de M2 Master EEET (Économie de l'Énergie, de l'Environnement et des Transports) parcours APEME (Analyse Économique de Projets en Environnement-Mer-Énergie), IAE Nantes – Économie & Management (2023)
- [11] Kumar A., Sah B., Singh A.R., Deng Y., He X., Kumar. P, Bansal R.C., “A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol 69, pp : 596-609. (2017) <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.191>.
- [12] Buronfosse M., « Conception d'un outil multicritères d'aide à la décision pour la valorisation des déchets industriels », Université de Technologie de Troyes (2018)
- [13] Chang N-B., Pires A., « Sustainable Solid Waste Management: A Systems Engineering Approach » (2015) DOI : 10.1002/9781119035848
- [14] Grabisch M. et Perny, P., « Agrégation Multicritère » (2003)
- [15] Hammami A., « Modélisation technico-économique d'une chaîne logistique dans une entreprise réseau. », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne; Université Laval (2003) <https://theses.hal.science/tel-00797918/document>
- [16] Ben Mena S., « Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision », BASE, Volume 4, Numéro 2, pp : 83-93 (2000), URL : <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=15338>
- [17] Labelle V., « Mise en valeur des drêches de microbrasserie et outil d'aide à la décision pour les spécialistes en environnement », Essai de maîtrise pour l'université de Sherbrooke (2018) <https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/11892>

Annexe 1 : Schéma d'aide à la décision pour la valorisation des DDB du bassin nantais

