

Université de Genève

Les systèmes d'informations géographiques comme outil de détection de symbioses industrielles

Mémoire de certificat complémentaire en géomatique



Professeur Alain Dubois

Cyril Héritier
02/06/2023

Table des matières

Remerciements	2
Liste des figures	3
Résumé	5
Introduction.....	6
Définition de l'écologie industrielle	7
Détection de symbiose	9
Périmètre de l'étude	11
Données.....	13
Description	13
Liste des données	14
Préparation des données	14
Données manquantes :	18
Analyse	18
Densité et proximité.....	18
Lien entre flux et entreprises	23
Analyse de réseaux.....	25
Utilisation dérivée	28
Développements futurs.....	39
Conclusion	41
Bibliographie	44
Annexe.....	47
Annexe 1.....	47

Remerciements

Je tien tout d'abord à remercier le Professeur Alain Dubois pour m'avoir suivi et encadré tout au long de ce travail.

Je remercie également le Docteur Hy Dao Pour avoir accepté d'être le jury de ce mémoire de fin d'étude.

Je remercie aussi Messieurs Arnaud Buchard, Tristan Larpin et Léonard Evequoz de m'avoir conseillé au nom de l'Agglomération Valais Central.

À mes parents...

Liste des figures

Figure 1 : Processus de création de symbiose industrielle selon deux auteurs

Figure 2 : Paramètres de l'indicateur de faisabilité technique des symbioses industrielles

Figure 3 : Différents niveaux d'écologie industrielle

Figure 4 : Représentation des données STATENT brute

Figure 5 : Type d'entreprises choisies

Figure 6 : Tableau des flux entrants et sortant par type d'entreprises

Figure 7 : Carte de densité d'entreprise de fabrication de produit métallique par symbologie

Figure 8 : Carte de densité par l'outil « Point Density »

Figure 9 : Carte de densité à partir d'un buffer a 500m et de l'outil « Count Overlapping feature »

Figure 10 : Carte des potentiels de regroupement d'entreprise de fabrication de produit métallique

Figure 11 : Exemple de cartes de densité des points d'entrée d'eau chaude

Figure 12 : Vue d'ensemble des liens entre les points de sortie de chaleur et les entreprises possédant un atelier

Figure 13 : Vue de proche de liens entre les points de sortie de chaleur et les entreprises possédant un atelier

Figure 14 : Exemple de carte des temps de trajets

Figure 15 : Densité d'entreprises agricoles

Figure 16 : Potentiel de regroupement des entreprises agricoles

Figure 17 : Lien entre les entreprises agricoles et les points d'entrée de biomasse

Figure 18 : Analyse du réseau qui lien les entreprises agricoles et les points d'entrée de biomasse

Figure 19 : Introduction de la StoryMap

Figure 20 : Consigne pour l'analyse de la densité

Figure 21 : Section d'analyse de la densité avec deux boutons

Figure 22 : Description des flux agricoles

Figure 23 : Consigne pour l'analyse des flux

Figure 24 : Exemple de la cartographie des flux de biomasse

Figure 25 : Consigne pour l'analyse des liens entre les flux

Figure 26 : Exemple de la cartographie des flux d'eaux usées et leurs liens avec les stations d'épuration

Figure 27 : Consigne pour l'analyse du temps de trajet

Figure 28 : Exemple d'un zoom sur la cartographie des temps de trajet entre entreprises agricoles et points d'entrée de bois

Résumé

Le but de ce travail est d'explorer de quelle manière les différents aspects des systèmes d'informations géographiques peuvent contribuer à l'application du concept de symbiose industrielle sur le territoire de l'agglomération Valais Central. Les symbioses industrielles correspondent à un échange de flux de matière entre des entreprises ou simplement la mutualisation d'une infrastructure ou d'un service.

La première méthode utilisée pour détecter des symbioses industrielles se base sur le traitement et la mise en forme des différentes données concernant les entreprises de l'agglomération. Des analyses de densité et de proximité entre les entreprises permettent d'observer rapidement où se trouvent les potentielles symbioses. De plus, des cartes montrant les liens entre entreprise et point d'entrée ou de sortie d'un flux permettent de visualiser les liens possibles. Finalement, une analyse de réseau permet de jauger la faisabilité géographique de certaines symbioses détectées en amont. En combinant ces outils d'analyse, on obtient une méthodologie utile pour passer d'un territoire d'agglomération au repérage de symbioses potentiel à un niveau plus local.

La deuxième méthode s'intéresse plutôt à l'aspect social des symbioses industrielles. En effet, la détection et la mise en place de symbiose industrielle est d'abord le résultat d'action humaine. Ainsi, le système d'information géographique dans sa dimension visuelle et communicationnelle peut également jouer un rôle important dans l'uniformisation de l'information et sa communication. L'outil StoryMap a été utilisé pour visualiser les résultats de l'analyse opérée dans la première méthode.

Les résultats obtenus permettent de détecter des potentiels de symbioses industrielles pour plusieurs entreprises et plusieurs types de flux de matières. Ces résultats sont communiqués à travers l'exemple de StoryMap concernant le flux de biomasse et les entreprises agricoles.

Pour conclure, il faut bien avoir à l'esprit que les résultats obtenus ne sont que des potentiels de symbiose qui nécessitent des études plus poussées pour pouvoir affirmer leurs faisabilités. De plus, les données de base ayant peu d'information sur les flux de matières, une partie des données ont dû être estimées. Ainsi, bien que la méthode soit facilement répliquable du fait de la disponibilité des données, les résultats généraux.

Introduction

Depuis la révolution industrielle l'impact de l'être humain sur son environnement n'a pas cessé d'augmenter. L'utilisation massive de ressources limitées, la production de déchets ainsi que les émissions de gaz à effet de serre sont les résultats des activités humaines. Inutile d'exposer ici les chiffres et de rappeler cette réalité. Pris au sérieux depuis au moins 1992 lors du sommet mondial sur la biodiversité de Rio, les impacts deviennent la cible de l'action politique mondiale tentant de les réduire au maximum. Dans ce but, différents outils administratifs, techniques et organisationnels ont été réfléchis et mis en place. Malgré ces efforts, la problématique semble loin d'être réglée en 2023. Pourtant il ne manque pas de théories et de leviers qui pourraient être utilisés mais qui ne le sont pas pour des raisons diverses comme la complexité de mise en place, le coût perçu ou réel, le facteur social etc.

Parmi ces théories difficilement applicables mais pour le moins intéressantes, logiques et pertinentes, la théorie de l'écologie industrielle vise à répondre à la critique écologiste radicale de la société qui voudrait simplement stopper toute production industrielle sous prétexte qu'elle ne peut pas être compatible avec un mode de vie plus économe. Cette théorie tente justement de rendre la production industrielle plus propre en s'inspirant des écosystèmes naturels. Le but fondamental est de passer d'un système industriel basé sur l'idée d'abondance des flux de matière première et d'énergie à un système industriel dans lequel les échanges de matière et d'énergie sont normalisés et permettent une économie importante tout en maintenant l'activité et donc le rôle primordial que ces industries jouent aujourd'hui dans la société. (Erkman, 2004)

Il existe plusieurs facteurs limitant l'application de cette théorie comme le manque de sensibilisation, les coûts initiaux élevés, le manque de coordination ou encore la limitation technologique. Les nouvelles technologies de l'information sont certainement une des clefs pour accompagner le déploiement de cette vision industrielle. Parmi ces technologies, le système d'information géographique, en amenant la dimension spatiale permet de mieux appréhender la question des flux d'énergie et de matière. C'est dans cette idée que le travail qui va suivre propose d'appliquer l'outil SIG à une problématique d'écologie industrielle concrète.

Pour ce faire il faut commencer par poser la problématique puis définir les concepts de manière plus détaillée avant de passer à une phase pratique où les étapes de travail seront décrites et commentées.

Ce travail mène une réflexion théorique sur la manière dont les systèmes d'information géographique peuvent être utiles au développement de l'écologie industrielle. Cette réflexion va s'enrichir d'une partie pratique sur le territoire de l'agglomération du Valais Central.

Définition de l'écologie industrielle

En tant que théorie vaste, la définition de l'écologie industrielle n'est pas simple et nécessite de faire un peu d'histoire pour mieux cerner l'avènement du concept. C'est dans le contexte des prémisses du développement durable qui suit le rapport Brundtland dans les années 90 qu'est évoquée pour la première fois la question de l'industrie au travers notamment de l'article « Strategie for manufacturing » que l'on qualifie aujourd'hui de fondateur. Ce dernier est signé R. Frosch et N. Gallopoulos (1989), deux cadres de la section recherche et développement de l'entreprise américaine General Motors. Cet article propose un développement de l'industrie à l'impact environnemental considérablement réduit via le concept d'écosystème industriel : « *Dans le système industriel traditionnel, chaque opération de transformation, indépendamment des autres, consomme des matières premières, fournit des produits que l'on vend et des déchets que l'on stocke ; on doit remplacer cette méthode simpliste par un modèle plus intégré, un écosystème industriel* » (Erkman, 2004). Dans une conférence R. Frosch ajoute : « *L'analogie entre le concept d'écosystème industriel et d'écosystème biologique n'est pas parfaite, mais on aurait beaucoup à gagner si le système industriel venait à imiter les meilleurs aspects de son analogue biologique* » (Erkman, 2004).

A partir de cet article fondateur, des colloques universitaires et congrès internationaux se sont concentré sur cette question. L'écologie industrielle devient en 10 ans un champ d'étude particulier qui détient même son propre journal publié par «MIT press». Le champ de recherche se développe et dessine une définition plus ou moins commune du concept d'écologie industrielle. Premièrement, il implique une vision globale du lien de l'industrie à la biosphère. Deuxièmement, il concerne le « substrat biophysique du système industriel », c'est-à-dire l'ensemble des flux de matières et d'énergie qui compose le système industriel.

Finalement, il implique une innovation technologique pensée pour atteindre les objectifs de l'écologie industrielle (Adoue, 2007).

Ce champ d'étude est interdisciplinaire et composé de plusieurs outils et méthodologies que l'on peut diviser en plusieurs fonctionnalités. Le diagnostic est le premier outil indispensable à l'écologie industrielle puisqu'il permet de qualifier de manière précise les flux induits par les entreprises. Le second outil concerne la dématérialisation de la croissance. Celui-ci tente de réfléchir à la manière de réduire l'impact en amont de la production au niveau de la conception d'un produit ou d'un service. La dernière dimension est celle du bouclage des flux de matière. Cette dernière a pour but de réfléchir en termes de réduction et réutilisation de matière et d'énergie. C'est ce dernier point qui fait l'objet du travail qui suit. On distingue deux types d'échange. Le premier est la synergie éco-industrielle qui désigne « *les échanges de flux de matière et d'énergie entre deux ou plusieurs industriels pour lesquels des flux de déchets, sous-produits ou d'énergie non valorisée se substituent aux flux habituellement utilisés.* » On appellera cela des synergies de « substitution ». Les synergies de « mutualisation » concernent les services, les flux ou les efforts qui peuvent être partagés par plusieurs entreprises (Adoue 2007). Dans les deux cas, l'impact environnemental des industries est réduit et des bénéfices économiques peuvent en être tiré.

C'est précisément dans ce troisième aspect de l'écologie industrielle ou les systèmes d'information géographique peuvent intervenir dans le processus de création/détection de symbiose industrielle.

Deux dimensions du système d'information géographique peuvent être mises à contribution de l'établissement de l'écologie industrielle sur un territoire donné. Premièrement, le traitement des données permet d'effectuer des analyses permettant d'aboutir à deux types de résultats importants ici. D'un côté, l'analyse spatiale permet d'identifier les synergies potentielles entre les entreprises qui sont déjà établies. D'un autre côté, une étude des zones industrielles non construites renseigne les autorités et les planificateurs sur les options à prendre afin de développer l'industrie en favorisant le concept d'écologie industrielle. Le second intérêt du système d'information géographique est la visualisation et le partage des données. Comme les experts le font remarquer, il existe une dimension humaine, culturelle et

communicationnelle dans la mise en place d'un écosystème industriel (Adoue, 2004). En ce sens, le système d'information géographique peut facilement participer à l'effort de communication et de mise en réseaux des acteurs via l'échange de l'information (Adoue, 2004). De manière plus générale, le système d'information géographique comme outil d'analyse territoriale semble inévitable dans les démarches d'écologie industrielle, qui peuvent être toutes très hétérogènes, mais qui ont comme point commun leurs liens avec un territoire donné.

Pour résumer, ce travail tente de montrer comment le système d'information géographique peut servir d'une part d'outil de détection de potentiels symbioses industrielles et d'autre part d'outil de communication des potentiels.

Détection de symbiose

La littérature scientifique ne semble pas être unanime sur la manière de créer de nouvelles symbioses industrielles. En effet, plusieurs auteurs ont décrit les étapes nécessaires à la création de symbioses mais l'ordre dans lequel elles se matérialisent varie selon les auteurs. En revanche, l'étape qui concerne ce travail est une condition sine qua non de l'analyse de faisabilité. Cette dernière se nomme « Preliminary assesment » pour Beers, Bossilkov et al. (2005) ou « Regional contexte analyse » selon Massard et Erkman (2007). Bien qu'elles ne prennent pas la même dénomination, la substance de cette étape reste la même. Elle a pour but fondamental de mener une analyse préliminaire permettant de détecter en amont des potentiels qu'il s'agira par la suite d'analyser en détail pour déterminer la faisabilité effective de la symbiose.

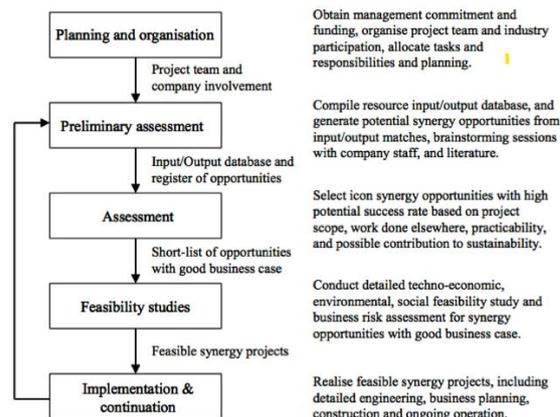
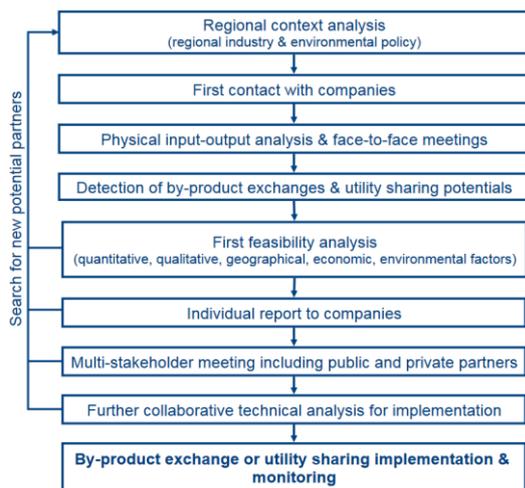


Figure 28 : Méthodologie pour l'identification et l'évaluation de nouvelles synergies régionales à Kwinana. Source : (van Beers, Bossilkov et al. 2005).

Figure 1 : Processus de création de symbiose industrielle selon deux auteurs. (Source : Gauche, Massard et Erkman, 2007. Droite, Beers, Bossilkov et al. 2005.)

Ainsi, la solution développée dans ce travail n'a pas l'intention de créer des symbioses industrielles. Le but visé est de détecter des potentiels synergies qu'il faudra tester par la suite. Le système d'information géographique permettra entre autre d'initier une analyse de ce que Massard appelle la faisabilité géographique des synergies et qui devrait dans tous les cas être comparée à la faisabilité économique qui juge des critères qualitatifs, techniques, quantitatifs, réglementaires ou économiques (Massard et Erkman 2007). La faisabilité géographique repose sur la proximité spatiale des entreprises, la complémentarité de leurs activités, les infrastructures existantes.

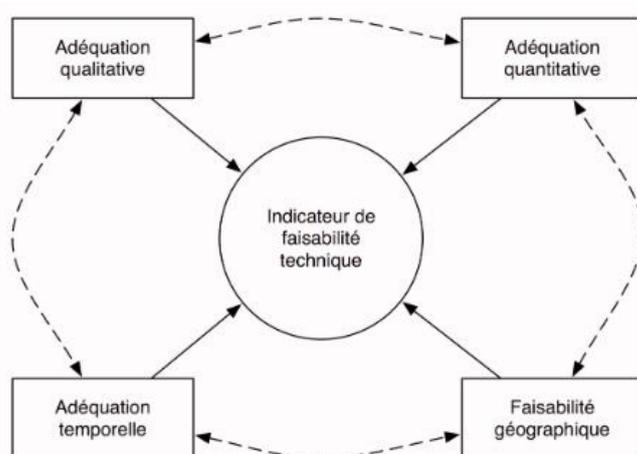


Figure 2 : Paramètres de l'indicateur de faisabilité technique des symbioses industrielles. Source : Massard et Erkman, 2007)

Deux éléments ont guidé le choix de se concentrer sur la phase préliminaire de la création de symbiose industrielle. Premièrement, dans la littérature scientifique, les systèmes d'informations sont désignés comme l'outil le plus pertinent pour réaliser cette préanalyse (Adoue, 2004). Deuxièmement, les données à disposition ont rapidement orienté le travail dans cette direction par manque de précisions. En effet, les données récoltées n'intègrent pas de précisions sur les flux de matière et d'énergie.

Périmètre de l'étude

Pour commencer, une réflexion a été menée sur l'espace analysé. En effet, le concept d'écologie industrielle est applicable à l'échelle nationale comme locale et implique des observations et des niveaux de précision différents.

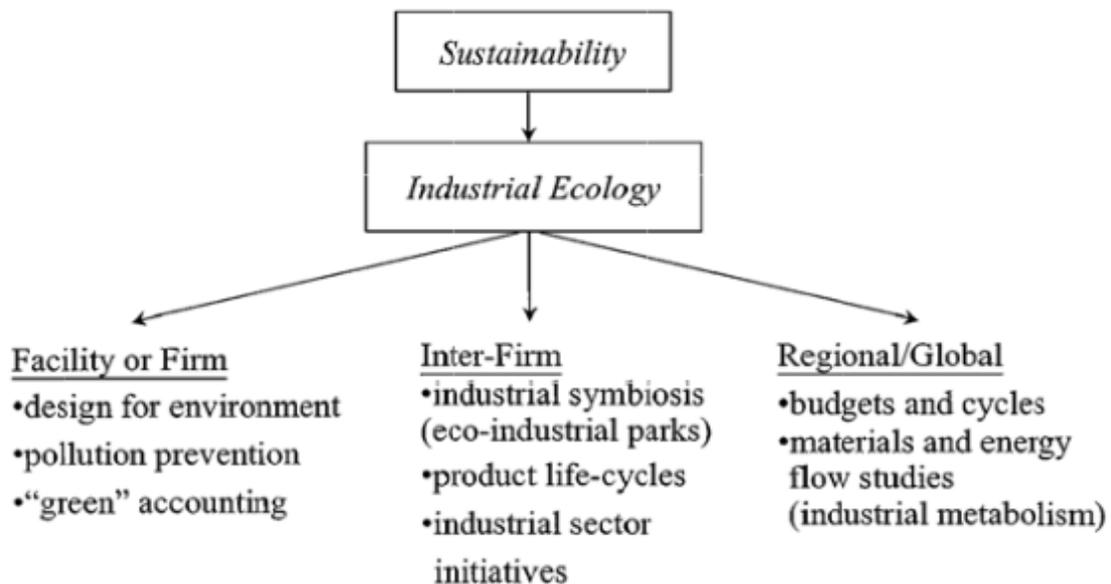


Figure 3 : Différents niveaux d'écologie industrielle. (Source : Chertow, 2000)

Il semble que l'analyse sur un plan plus global est pertinente pour l'utilisation des systèmes d'information géographique. En effet, le système d'information géographique ayant une puissante capacité d'analyse territoriale, il est capable de traiter ces problématiques au niveau régional, tandis que l'analyse locale nécessitent moins de questions géographiques mais plus des questions techniques et pratiques. L'idée étant de partir d'une analyse plus globale afin de détecter en amont les potentielles synergies pour ensuite les analyser de manière plus fine.

Pour tenter de détecter des symbioses potentielles, la région du Valais central a été choisie pour le travail d'analyse qui va suivre. Cette région est encadrée par le projet d'agglomération du Valais Central. Au sein de cette agglomération, la question de la gestion stratégique des zones d'activités et des zones industrielles est primordiale. Ces zones ayant été surdimensionnées dans les précédents plans d'affectations, elles doivent, selon les principes de la Loi sur l'aménagement du territoire (LAT), être réduites. Dans ce contexte, les planifications stratégiques doivent prendre en compte un maximum d'éléments afin de choisir quels espaces doivent rester affectés en zone artisanal et industriel. C'est dans ce but que la création d'une information sur les potentiels de symbiose industrielle peut s'avérer utile à la planification de l'agglomération Valais Central.

Carte de situation de l'Agglomération Valais Central

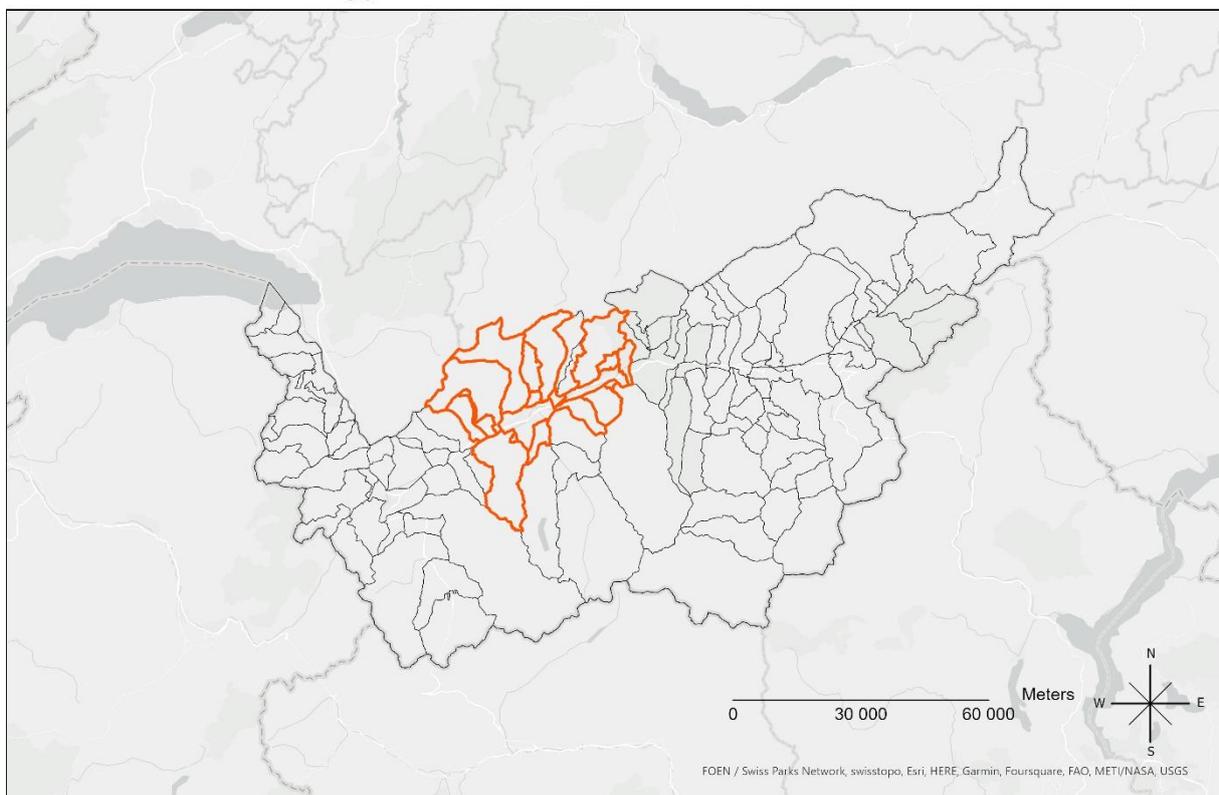


Figure 4 : Carte de situation de l'Agglomération Valais Central

L'entité de l'Agglomération Valais Central est tout à fait intéressante à plusieurs égards. Premièrement, l'industrie et les entreprises secondaires et tertiaires sont très bien implantées et représentent un peu moins de 30% des emplois du canton. Deuxièmement, la répartition géographique est pertinente pour une telle analyse. Les entreprises se situent principalement dans les deux pôles urbains que sont Sion et Sierre mais aussi sur les deux côtes qui

surplombent ces pôles urbains. Ainsi, on peut faire l'hypothèse que les flux de matières passent par la centralité pour ensuite être distribués dans les côteaux. Ou alors au contraire les flux sortants se concentrent dans certains points en plaine. La détection de symbiose permet d'analyser la possibilité de déconcentrer ces flux en analysant les options pour les réutiliser au plus près de leurs points de départ. Finalement, l'agglomération étant en perpétuelle analyse de son territoire pour pouvoir orienter au mieux son développement, elle a besoin d'informations sur la manière de planifier les espaces dédiés aux activités artisanales et industrielles. En effet, à ce jour, ces zones manquent de planification et le concept d'écologie industrielle semble pertinent au regard du principe d'utilisation mesurée du sol garanti par la Constitution.

Données

Description

Les données nécessaires à l'analyse du système industriel et plus particulièrement les flux de matières sont très rares et surtout, en tant qu'information plutôt sensible, sont difficilement accessibles. En effet, c'est l'un des principaux freins à la détection de symbiose industrielle car il est nécessaire de rendre public des données qui peuvent communiquer des informations importantes aux concurrents.

Certaines analyses sont très précises et sont réalisées de manière qualitative via des entretiens par un organe coordinateur qui garantit la confidentialité de ces dernières. C'est par exemple ce qui a été fait dans le cas de l'analyse de symbiose industrielle de Genève par Massard et Erkman (2007). Ce travail ne peut pas s'inscrire dans une étude car il est impossible de réaliser des analyses qualitatives précises sur un territoire aussi large que l'Agglomération du Valais Central. Ainsi, le choix s'est porté sur les données officielles et disponibles. Au stade d'étude préliminaire, les données facilement accessibles peuvent être considérées comme plus intéressantes à plusieurs égards. En effet, ces données sont souvent disponibles de manière rapide et peu coûteuse, ce qui permet d'obtenir des résultats préliminaires rapidement et d'orienter l'analyse spécifique nécessaire à la mise en place d'une symbiose industrielle. L'utilisation de données basiques garantit également la répliquabilité de l'étude.

Liste des données

Nom : Statistique structurelle des entreprises 2019 (STATENT)

Source : Canton du Valais

Type de données : Donnée ponctuelle

Attributs principaux : Nombre d'établissements, type d'établissement, Nombre d'employés, Coordonnées géographiques.

Nom : Station d'épuration des eaux (STEP)

Source : Canton du Valais

Type de données : Donnée ponctuelle

Attributs principaux : Taille de la steppe, Coordonnées géographiques.

Nom : Couverture du sol

Source : Geopol.ch

Type de données : Donnée polygone

Attributs principaux : Type d'utilisation du sol

Préparation des données

Si ce choix a l'avantage de mettre à disposition les données rapidement, il ne permet pas d'avoir des informations complètes sur les flux de matières qui intéressent cette étude. Un travail de traitement de données d'estimation a donc dû être effectué.

Le traitement de données a permis de passer de la base de données Statent brute aux entreprises pouvant faire l'objet d'une analyse des potentiels de symbiose industrielle au sein de l'Agglomération Valais Central.

Les données Statent donne trois types d'informations. La première est une information géographique permettant de localiser les entreprises. Cette dernière a volontairement été rendue imprécise par l'Etat du Valais, qui m'a transmis ces données. En effet, les points représentant les entreprises sont aléatoirement distribués dans un carré de 100m par 100m

autour de l'adresse réelle de l'entreprise. Ces données, qu'on appelle hectométriques, ne reflètent donc pas l'emplacement exact des entreprises, ce qui, on le verra plus tard, peut occasionner des incertitudes dans les résultats des analyses. Aucun traitement particulier n'a été mis en place pour répondre à cette problématique.

Le deuxième type d'informations de ces données est le nombre d'employés par entreprise. Ce chiffre permet de déterminer la taille de l'entreprise. Là aussi, une incertitude réside dans le fait que le nombre d'employés commence à quatre. Il n'y a alors pas de moyen de savoir si l'entreprise est composée de moins de quatre personnes. Ce manque est moins perturbant que celui de la localisation car les entreprises ont été classées dans quatre catégories de taille.

La troisième source d'informations est le type d'entreprise. Les données Statent classent les entreprises dans 96 secteurs. Cette donnée n'est pas directement disponible car elle est liée au nombre d'employés. Chaque ligne du tableau peut correspondre à plusieurs types d'entreprises puisque dans un carré de 100m sur 100m, il se peut que des entreprises diverses cohabitent. Ainsi, de multiples types d'entreprises cohabitent dans le même espace.

Carré de 100m sur 100m	Nombre d'entreprise dans la fabrication de meuble	Nombre d'employé dans la fabrication de meuble	Nombre d'entreprise dans l'industrie alimentaire	Nombre d'employé dans l'industrie alimentaire	Nombre d'entreprise dans l'industrie automobile	Nombre d'employé dans l'industrie automobile
A	2	40	0	0	0	0
B	0	0	1	25	0	0
C	0	0	1	10	1	7
...						

Figure 4 : Représentation des données Statent brute (Source : auteur)

L'enjeu du traitement est de passer d'un tableau dont les lignes représentent des espaces qui comportent plusieurs entreprises et employés à des lignes qui correspondent à un seul type d'entreprise.

Le premier traitement effectué est une sélection par emplacement pour garder uniquement les entreprises qui se situent dans le périmètre de l'agglomération. A partir de ce résultat, la table attributive a été exportée sur Excel pour la retravailler. Le but était de déterminer le type et la taille de chaque entreprise.

Pour déterminer le type d'entreprise, une sélection par attribut est faite en utilisant la colonne du nombre d'établissements. Par exemple, pour sélectionner les entreprises de métallurgie, la formule suivante a été appliquée :

= SI (Nombre d'entreprise métallurgique) > 0 ALORS 'Type' = «Métallurgie ».

Cette instruction vise à vérifier s'il y a au moins une entreprise métallurgique présente dans l'espace analysé. Si c'est le cas, elle attribue le type "Métallurgie" à la ligne.

Cette formule a été appliquée aux 21 types d'entreprises choisis pour faire partie de l'analyse. Ces entreprises ont été choisies en premier lieu pour leurs caractères industriels ou leurs potentiels d'échange de matière. Dans un deuxième temps certaines entreprises ont été supprimées car elles ne figuraient pas en nombre significatif sur le territoire de l'agglomération.

Code	Type
1	Agriculture
2	Aquaculture
3	Sylviculture
8	Industrie extractive
10	Industrie alimentaire
11	Fabrication de boissons
16	Travail du bois
18	Imprimerie
20	Industrie chimique
21	Industrie pharmaceutique
24	Métallurgie
25	Fabrication de produit métallique
27	Fabrication d'équipement électrique
28	Fabrication de machine
33	Réparation de machine
35	Production d'électricité
37	Traitement des eaux usées
38	Traitement des déchets
41	Construction
45	Automobile

Figure 5 : Type d'entreprises choisies. (Source : Auteur)

Pour déterminer la taille de l'entreprise la formule suivante a été appliquée :

=SI (X <= 11; "Micro"; SI(X <= 50; "Petite entreprise"; SI(X<=250; "Moyenne entreprise"; SI(X>250; "Grande entreprise"))))

*X = Nombre d'employés dans la métallurgie

Le résultat de ces manipulations est un fichier composé de 2095 lignes. Chaque ligne correspond à une entreprise dont on sait la coordonnée approximative, le type d'entreprise ainsi que sa taille. Ces données servent de base pour estimer les flux de matière et d'énergie.

A partir de la taille et du type de l'entreprise, une estimation des flux entrants et sortants pour chaque type a été effectuée. Au total, 14 type de flux on été estimés. L'estimation est basée sur la logique suivante : Les flux entrants sont des flux utilisés comme matière première pour les entreprises, tandis que les flux sortants sont des déchets. L'estimation se matérialise dans la base de données par l'ajout d'une colonne pour chaque type de flux. Ces colonnes sont remplies par un code pour renseigner le rapport qu'a une entreprise à ce flux. Une fois ajouté, les colonnes sont renseignées. Le 0 indique que l'entreprise n'as pas de lien avec ce type de flux. Entre 1 et 4 correspond à un flux plus ou moins grand selon la taille de l'entreprise. Les typologies de flux sont inspirées des travaux de Cyril Adoue (2004) et correspondent à des catégories générales de flux de matières. La généralisation ne permet donc pas d'être précis, mais elle ouvre la possibilité à la détection d'un potentiel qu'il faudra dans tous les cas analyser de manière plus poussée.

Code	Type	E_eau	S_eau	E_eauchaud	S_eauchaud	E_eauusée	S_eauusée	E_elec	S_elec	E_chaleur	S_chaleur
1	Agriculture	1	0	0	0			1	1	0	0
2	Aquaculture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Sylviculture	1	1		0	0		1	1	0	0
8	Industrie extractives	1	0	0	0	0		1	0	0	0
10	Industrie alimentaire	1	0	1	1	0		1	1	0	1
11	Fabrication de boissons	1	1	0	0	0		1	1	0	0
16	Travail du bois	0	0	0	0	0		0	1	0	0
18	Imprimerie	0	0	0	0	0		1	1	0	0
20	Industrie chimique	1	0	1	1			1	1	0	1
21	Industrie pharmaceutique	1	0	1	0	0		1	1	0	1
24	Métallurgie	1	0	0	1	0		1	1	0	1
25	Fabrication de produit métallique	1	0	0	1	0		1	1	0	1
27	Fabrication d'équipement électrique	0	0	0	0	0		0	1	0	0
28	Fabrication de machine	0	0	0	0	0		0	1	0	0
33	Réparation de machine	0	0	0	0	0		0	1	0	0
35	Production d'électricité	0	0	0	0	0		0	0	1	0
37	Traitement des eaux usées	0	1	0	1	1		0	1	0	1
38	Traitement des déchets	0	0	0	0	0		1	1	0	0
41	Cinstruction de bâtiment	1	0	0	0	0		0	1	0	0
45	Automobile	0	0	0	0	0		0	1	0	0

Figure 6 : Tableau des flux entrants et sortant par type d'entreprises

Bien que cette méthode ait permis d'avancer dans le travail, elle comporte des limites. En effet, la taille d'une entreprise n'est pas toujours représentative de sa consommation de matière ou de sa production, ce qui peut fausser les estimations. De plus, certaines entreprises peuvent être plus efficaces dans leur utilisation de la matière ou utiliser des matières premières de qualité supérieure, ce qui peut également biaiser les résultats. Cependant, malgré ces limites, cette méthode peut être considérée comme un outil précieux pour fournir des données sur les flux de matière. En effet, La généralisation ne permet pas d'être précis, mais elle ouvre la possibilité à la détection d'un potentiel qu'il faudra dans tous les cas analyser de manière plus poussée.

Données manquantes :

Lors de la recherche de donnée, le cadastre thermique figurait dans les corpus à disposition du Canton du Valais. Malheureusement, cette couche n'est pas encore disponible. Cette donnée aurait été très précieuse pour une analyse comme celle-ci puisqu'elle renseigne les consommations et rejets de chaleur.

Analyse

Densité et proximité

La première méthode d'analyse utilisée a pour but de chercher les potentielles symbioses entre les entreprises du même type. En effet, une partie des typologies de symbioses se concentre sur la mutualisation et le partage des différents éléments. Les entreprises similaires ayant les mêmes besoins peuvent parfois trouver des avantages à coopérer à plusieurs niveaux. Elles peuvent par exemple mutualiser les commandes de matière première, les parcs de machines, les places de stationnement ou les modes de transport de marchandise. Pour tenter de détecter ces potentiels de mutualisation, l'élément le plus pertinent qui a été retenu est la notion de proximité qui est une condition favorisant la possibilité de mettre en place de telles symbioses. L'analyse spatiale qui suit se concentre alors sur la proximité entre entreprises de même type.

Plusieurs éléments sont mobilisés pour mettre en lumière les potentiels de symbioses entre les entreprises du même type. Pour commencer, une simple symbologie de type « Heat map »

permet de visualiser où se trouvent les plus grandes concentrations d'un même type d'entreprise. Si cette visualisation est intéressante, elle reste imprécise d'un point de vue géographique.

Carte de densité des entreprises de fabrication de produit métallique

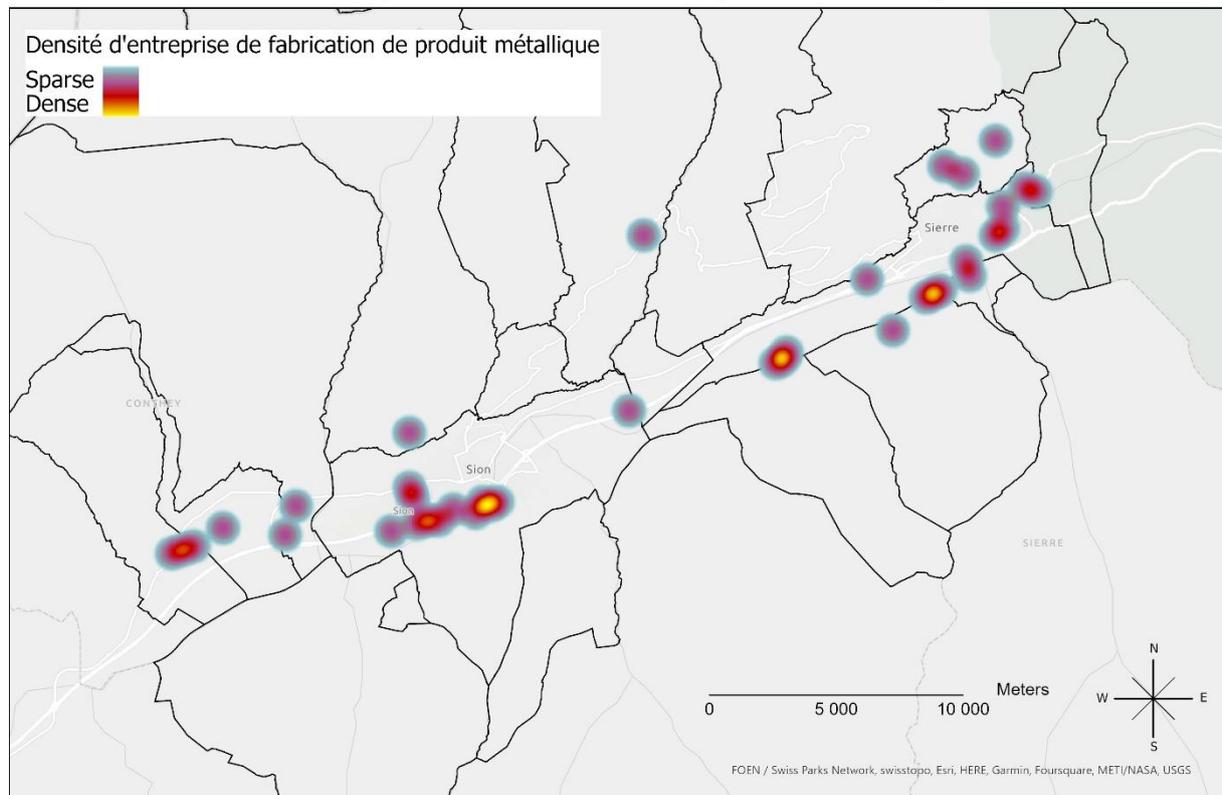


Figure 7 : Carte de densité d'entreprise de fabrication de produit métallique par symbologie. (Source : Auteur)

Pour tenter d'améliorer le rendu, l'outil « Densité de point » est appliqué sur les couches isolées de chaque type d'entreprise. Cette densité est calculée sans pondération et sur un rayon de 500m. Le résultat permet de mieux catégoriser les espaces selon la densité d'entreprises et donne une information plus précise que la symbologie de type « Heat map ». Le rendu se trouve sous forme de couche pixelisée. Une autre technique peut être utilisée pour avoir un rendu plus net. Elle nécessite de commencer par faire un simple buffer à 500m de chaque entreprise puis d'appliquer l'outil « Count overlapping feature ». Cet outil compte le nombre de superpositions de chaque buffer. Ainsi, plus le nombre de superpositions est important, plus l'espace est « dense » en nombre d'entreprises du même type.

Carte de densité des entreprises de fabrication de produit métallique

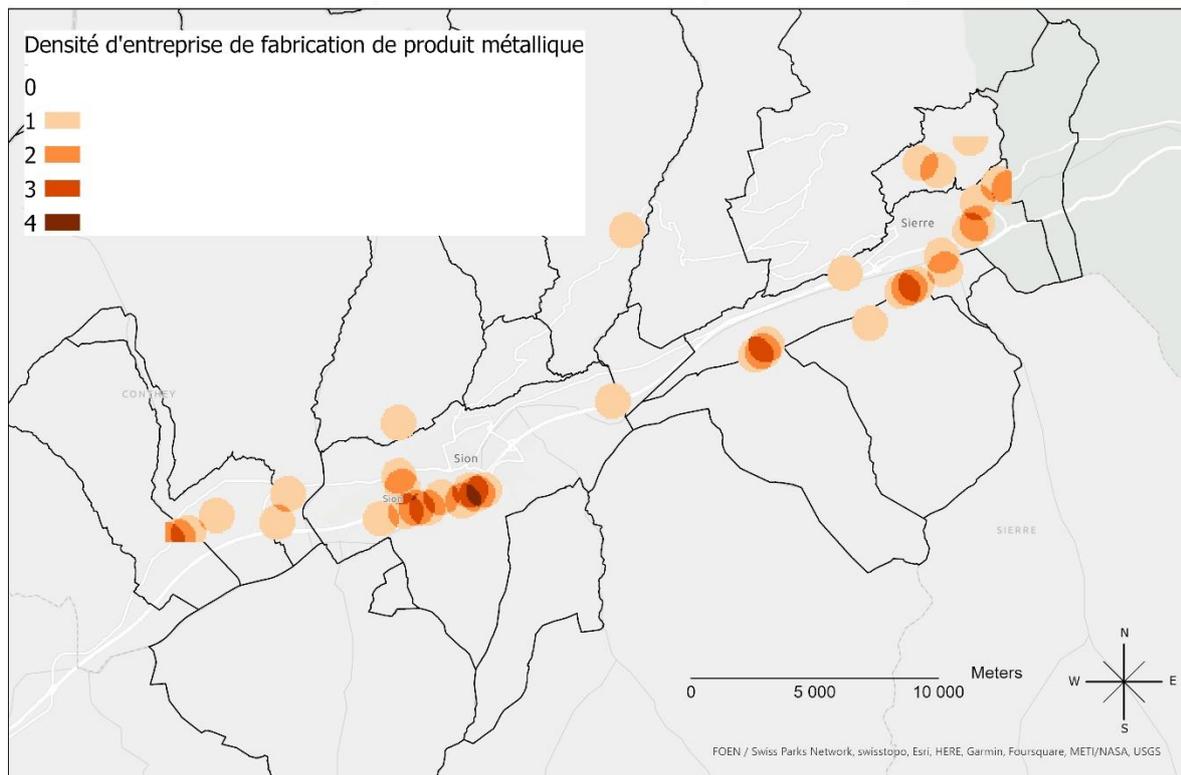


Figure 8 : Carte de densité par l’outil « Point Density ». (Source : Auteur)

Carte de densité des entreprises de fabrication de produit métallique

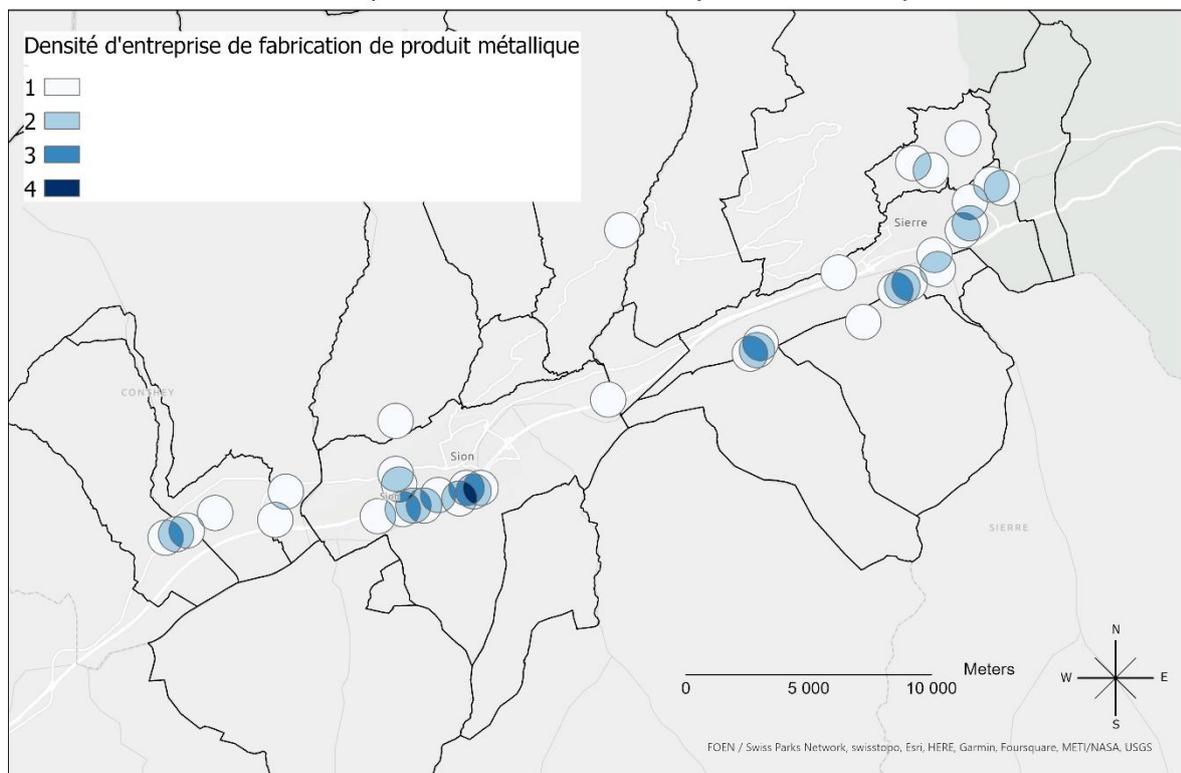


Figure 9 : Carte de densité à partir d’un buffer a 500m et de l’outil « Count Overlapping feature ». (Source : Auteur)

Pour compléter cette donnée de densité, un autre outil peut également servir à identifier les groupes d'entreprises potentiels. Cet outil se nomme « density based clustering ». Comme son nom l'indique, l'outil utilise la densité de point pour ensuite regrouper plusieurs points qui sont proches, formant ainsi un cluster. Ici la méthode Defined distance a été choisie avec une distance de 500m. Ce cluster permet de regrouper les entreprises qui se trouvent à proximité.

Carte de densité des entreprises de fabrication de produit métallique

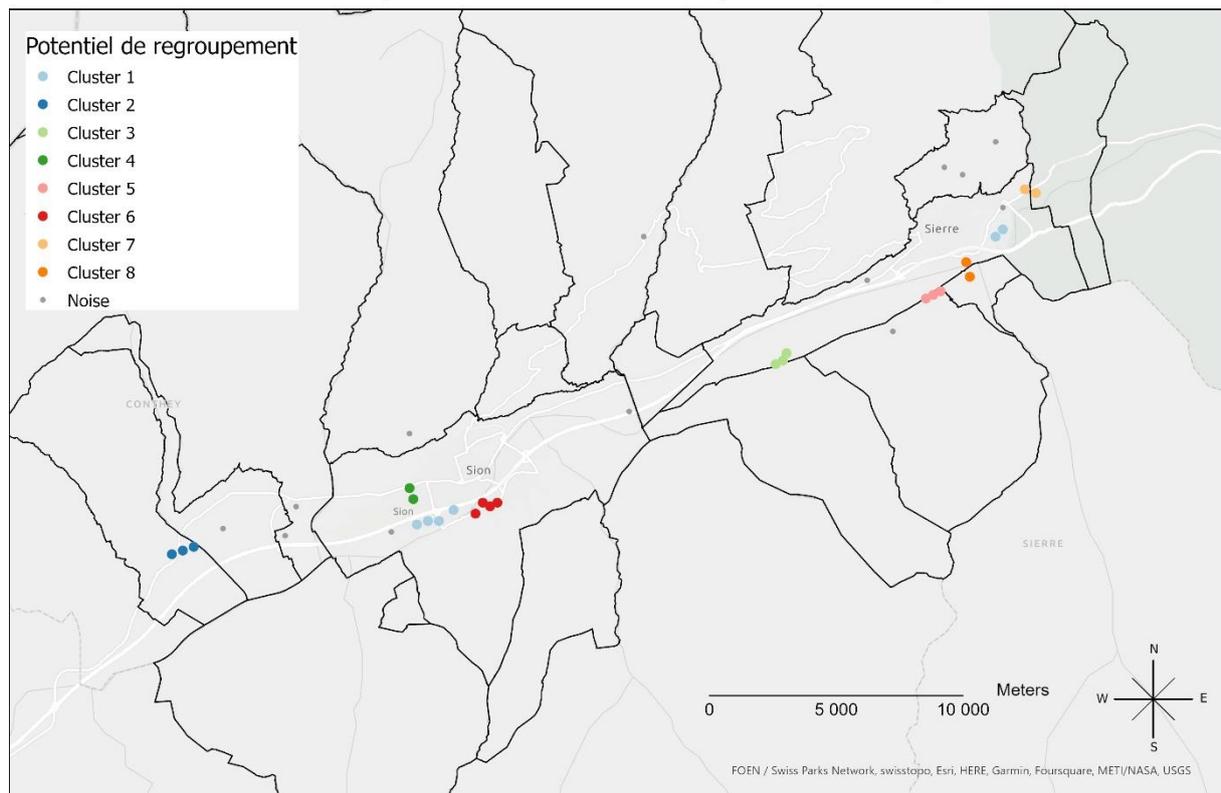
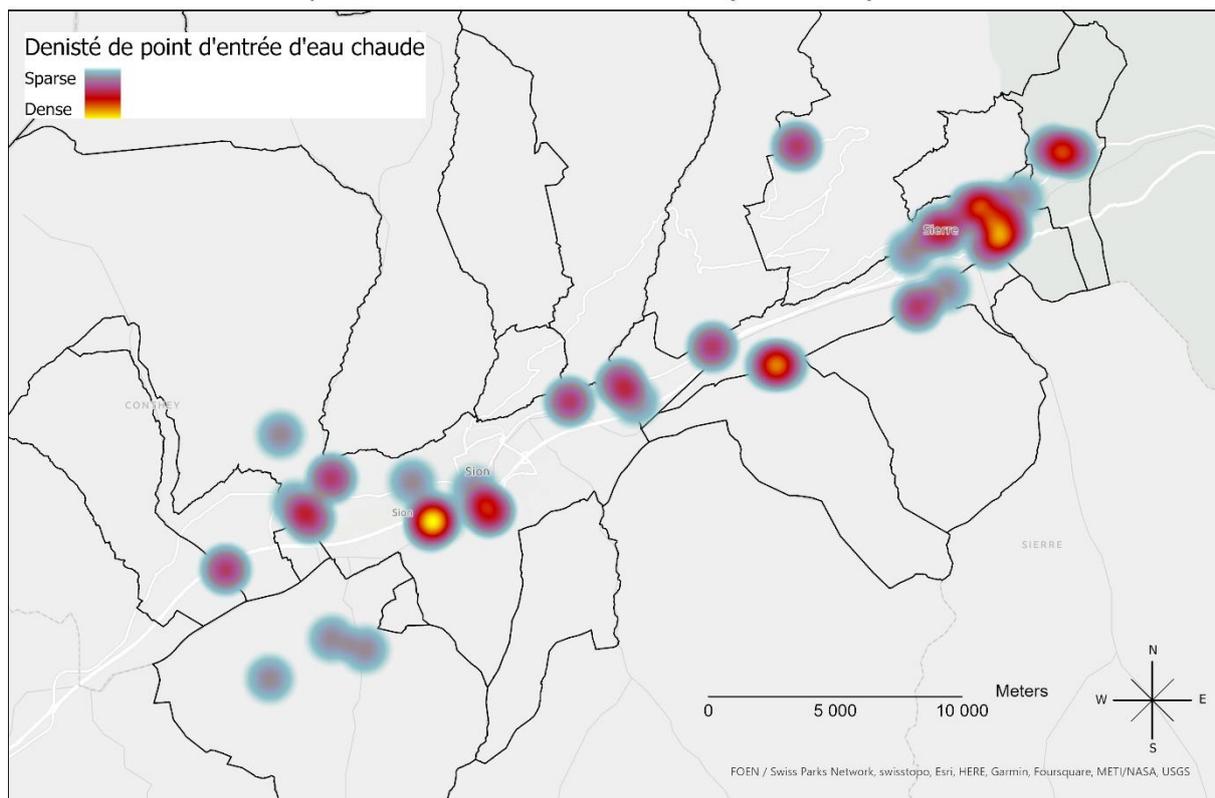


Figure 10 : Carte des potentiels de regroupement d'entreprise de fabrication de produit métallique (Source : Auteur)

Les mêmes outils peuvent être appliqués à chaque type de flux entrants et sortants. Cette approche permet d'observer les concentrations de flux identiques. Cette analyse rend compte de potentiel d'implantation d'entreprises qui peuvent traiter des flux sortants par exemple. Ici il est intéressant de prendre en compte la taille du flux lorsque la carte de densité est générée.

Carte de densité des points d'entrée d'eau chaude (demande)



Carte de densité des points d'entrée d'eau chaude (demande)

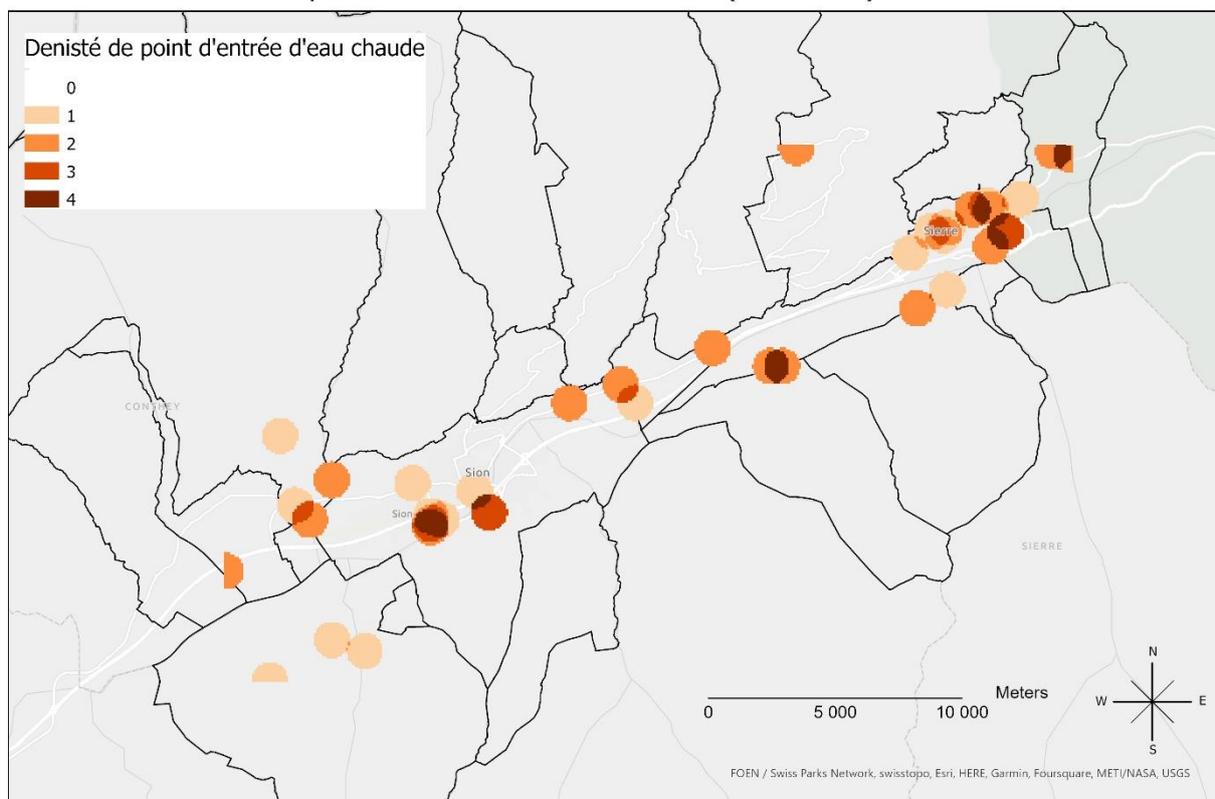


Figure 11 : Exemple de cartes de densité des points d'entrée d'eau chaude. (Source : Auteur)

Le résultat de cette analyse est intéressant pour repérer en amont des symbioses entre les entreprises de même type. Grâce à ces outils, des cartes permettent d'observer en un coup d'œil où se trouvent les potentiels d'échange et de mutualisation. En croisant les analyses de densité et le regroupement, on peut directement détecter des potentiels d'échanges entre plusieurs entreprises du même type. Avec les outils de sélection, on peut ensuite isoler les différents points chauds qui méritent l'attention des décideurs pour le développement.

Il est important ici de rappeler que la densité d'entreprises ne prend pas en compte le zonage actuel du territoire, ce qui fait qu'il est possible qu'un espace ayant été classé comme dense est actuellement utilisé par d'autres affectations incompatibles avec la mutualisation d'un parking ou d'un hangar d'exportation par exemple. De plus, ils ne prennent pas en compte les barrières naturelles comme la topographie ou le Rhône comme élément structurant du territoire.

Lien entre flux et entreprises

À la suite de la première série d'analyses qui se concentre sur les entreprises de même type ou les flux similaires, l'étape suivante tente de faire le lien entre les entreprises et les flux entrants et sortants. Le but étant cette fois de détecter des potentiels échanges entre un type d'entreprise et un flux qui pourrait l'intéresser. L'analyse se fait à partir de la couche d'un type d'entreprise. A partir de cette couche, on crée une « table de proximité » (Generate Near Table) entre la couche de l'entreprise analysée et les couches qui représentent les différents flux en lien avec cette entreprise. Cette opération crée une table qui contient les informations de la couche d'entreprise (point) en entrée en y ajoutant une série d'informations sur la relation entre cette dernière et les points de la couche du flux analysé. Notamment, la distance entre les points les plus proches qui se matérialise en un total de distance en mètre. Pour chaque distance, les coordonnées du point de départ et du point d'arrivée sont renseignés. A partir de cette table, une nouvelle couche de points peut être générée avec l'outil « Display XY data ». Finalement, les liens entre les points d'entreprises et les points représentant les flux peuvent être visualisés grâce à l'outil « XY to Line » qui permet de créer des lignes à partir de coordonnées XY des points de départ et d'arrivée des liens générés auparavant.

Carte de lien entre les points de sortie de chaleur et les ateliers à chauffer

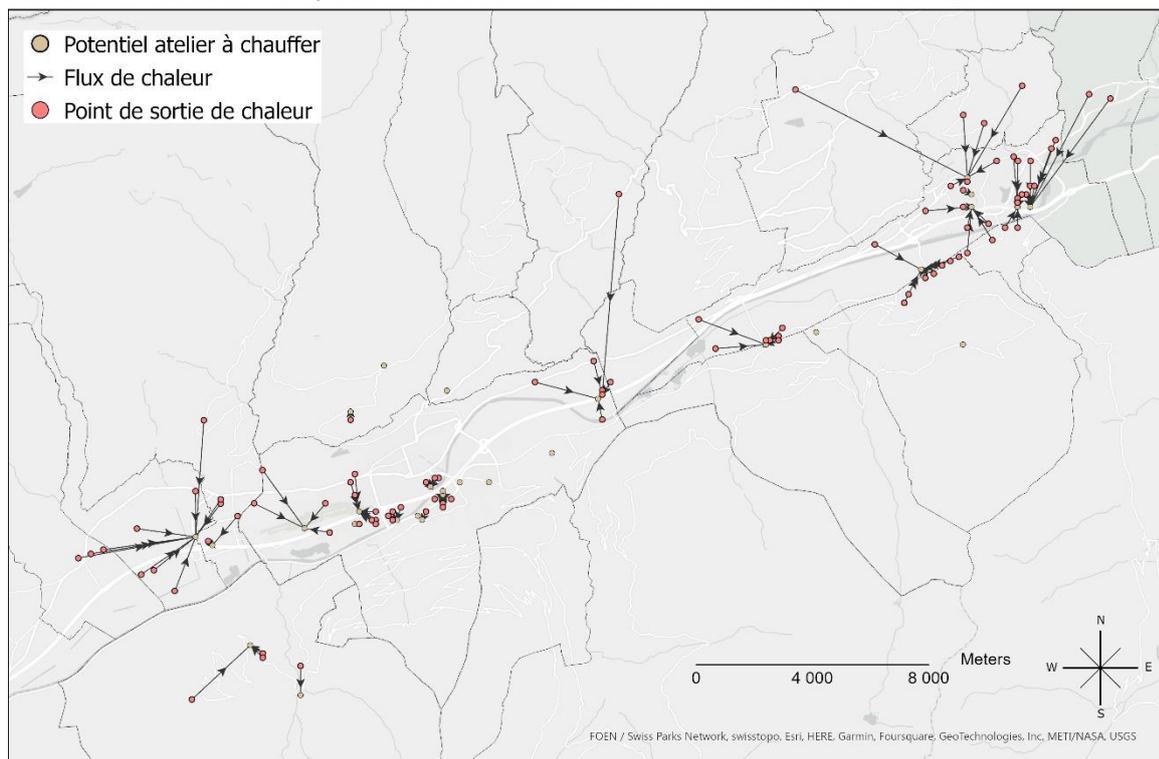


Figure 12 : Vue d'ensemble des liens entre les points de sortie de chaleur (des activités qui rejettent de la chaleur) et les entreprises possédant un atelier (Source : Auteur)

Carte de lien entre les points de sortie de chaleur et les ateliers à chauffer

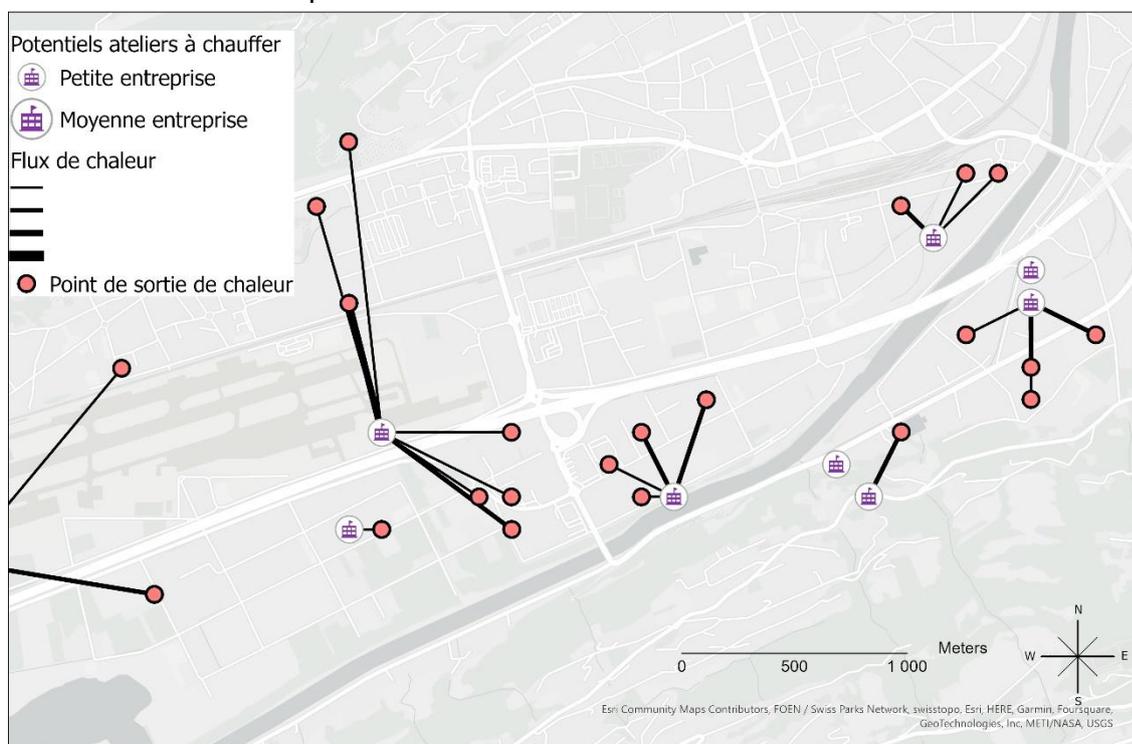


Figure 13 : Vue de proche de liens entre les points de sortie de chaleur et les entreprises possédant un atelier (Source : Auteur)

En affichant les résultats, on peut d'abord observer les concentrations de flux sortants vers un type d'entreprise avec une carte plus générale (Figure 12). Chaque ligne représente un potentiel de symbiose entre un flux et une entreprise. En zoomant on peut observer la proximité des flux (Figure 13). Un tri peut être effectué en sélectionnant les distances de moins de 1000m par exemple. Cette couche permet aussi d'observer les concentrations ou le manque de concentration d'un flux.

Comme lors de l'analyse précédente, les résultats sont schématiques et ne prennent pas en compte la réalité géographique des espaces. Ils sont des résultats indicatifs qui répondent à l'objectif du travail dans le sens où ce sont les potentielles symbioses qui sont analysées et pas leurs faisabilités.

Analyse de réseaux

L'analyse de réseaux permet d'étudier les relations entre flux et entreprises en prenant en compte cette fois la réalité du réseau routier. Le but de cette opération est de compléter l'information créée précédemment pour ensuite les comparer et détecter de manière plus fine les potentiels de synergies. Ce type d'analyse permet d'ajouter la dimension de faisabilité géographique à l'observation de ces résultats.

Pour faire cette opération, plusieurs outils appartenant à l'analyse de réseaux peuvent être intéressants. En effet, toute la gamme d'outils peut être mobilisée pour évaluer les symbioses potentielles. Dans cet exemple, et à l'échelle régionale, il semble intéressant de se concentrer dans un premier temps sur l'outil « Find closest facility ». Pour cet outil, deux types de couches sont pertinentes. D'abord, les couches de points qui représentent les entreprises et les flux en lien avec ces entreprises. Ensuite, la couche de réseaux qui représente les routes qui relient les points entre eux. L'outil permet de rechercher un ou plusieurs établissements les plus proches d'un incident en fonction du temps ou de la distance de déplacement et produit les meilleurs itinéraires. Ce qui est intéressant ici, c'est d'obtenir et de visualiser les temps de trajets entre les entreprises et les points où leurs flux peuvent transiter.

Une première tentative s'est basée sur les couches de routes cantonales et autoroutes du Valais. Cette donnée m'a été transmis par le Canton du Valais. Après la création d'un set de

données de réseaux sur la base de la couche des routes, le premier essai n'est pas concluant car le réseau n'est pas digitalisé de manière précise et contient des discontinuités qui faussent complètement les résultats. La version « ready to use » de arcGIS a permis de pallier ce problème, puisqu'il contient une couche de réseaux routiers déjà existants tirée des bases de cartes mondiales.

Pour cette analyse, les champs sont remplis de la manière suivante. Dans le champ « incident » sont placés les points de départ dans l'analyse par exemple un type d'entreprises en particulier. Ensuite, dans le champ « facilities », on renseigne la couche de points représentant un flux entrant c'est-à-dire un point où il existe un potentiel de recyclage d'un flux sortant de l'entreprise placée dans le champ « Incident ». L'unité de mesure choisie est le temps car il est un bon indicateur pour la faisabilité géographique d'une symbiose industrielle. En effet, plus les trajets entre le point de sortie et d'entrée de la matière sont longs, moins il est intéressant d'un point de vue économique et écologique. Reste alors à remplir les informations concernant le mode de déplacement. Ici, on part du principe que ces échanges de matière sont effectués par camion. Il faut alors renseigner l'outil du fait que le véhicule est un camion. En termes de route, on supprime le passage par des petites routes, des routes pavées et on ajoute une préférence pour les routes adaptées au véhicule lourd.

Carte de lien entre entreprises agricoles et points d'entrée de biomasse

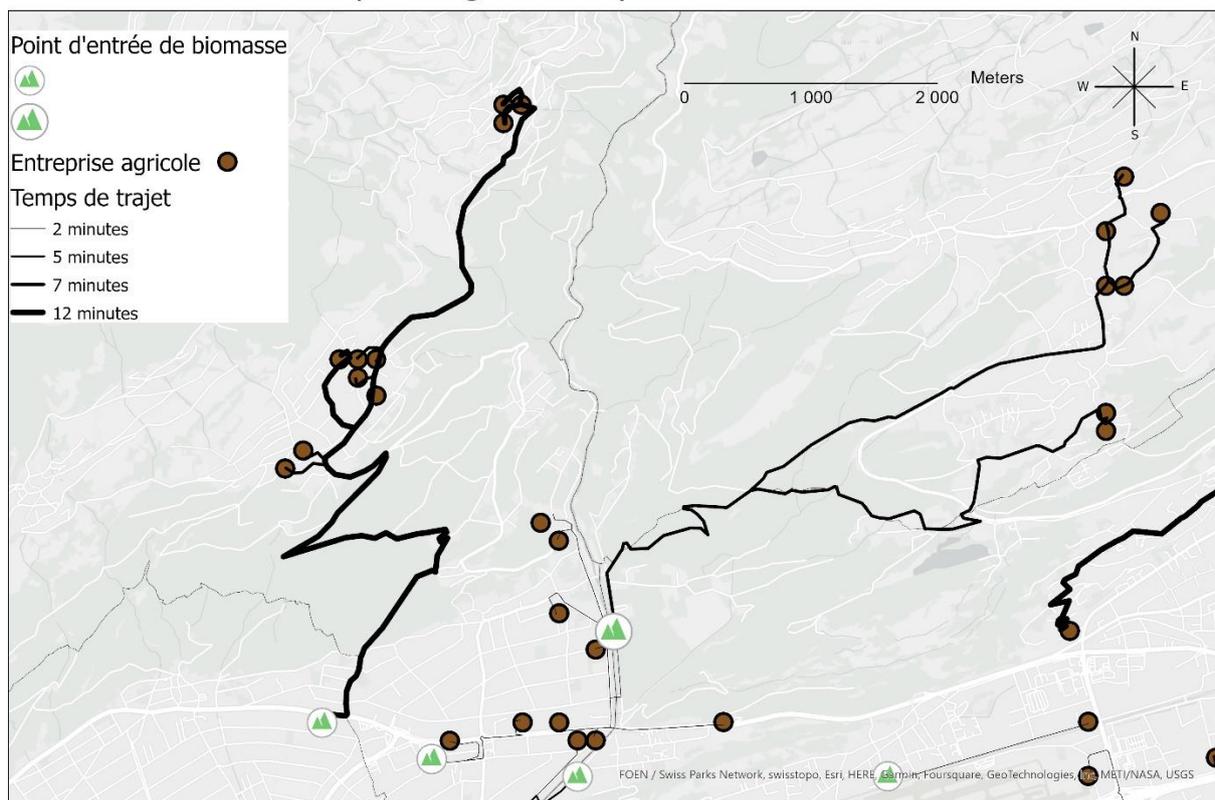


Figure 14 : Exemple de carte des temps de trajets (Source : Auteur)

Le résultat de cette opération donne une vision d'ensemble des temps de trajet pour relier les points entre eux. Cela permet de rendre compte rapidement des endroits où il manque un relais de proximité. Quand un nombre important de points est relié par un trait épais on peut ici déceler un potentiel d'implantation d'entreprises de récupération d'un flux. Par exemple, sur la gauche de la figure 14. Au contraire, quand on observe des traits fins, on peut voir une symbiose potentielle par la rapidité d'accès. Le centre de la figure 14 illustre bien ce point.

Les temps de trajet sont une donnée intéressante mais il semble que le calcul prend très peu en compte la spécificité des routes de montagne. En comparant certains trajets avec le calculateur de temps de trajets de Google, on voit qu'il y a parfois des sous-estimations du temps de trajet.

Pour résumer, les trois types d'analyse décrits ci-dessus permettent de détecter des potentielles symbioses de manière différente. Premièrement, les cartes de densité sont utiles pour repérer des symbioses entre les entreprises de même type. Ce sont les mutualisations

d'approvisionnement, d'utilisation d'espace de stockage, de services qui font l'objet de cette détection. Ensuite, l'analyse de distance schématique donne une vision d'ensemble des concentrations de flux. On peut facilement repérer les endroits qui pourraient devenir des pôles des récupérations d'un flux. On peut également voir des points capables de récupérer un flux, mais pas reliés à ces derniers. Finalement, l'analyse de réseaux apporte un renseignement plus précis et permet d'entrer dans une analyse de faisabilité géographique. Ces données permettent de confirmer ou pas les potentiels de symbiose. Aussi, les résultats permettent de détecter des potentiels d'implantation d'entreprises en analysant les endroits où il manque de point d'échange.

Utilisation dérivée

Les résultats obtenus sont vastes et comportent une grande quantité d'informations utiles à la détection de symbioses industrielles. Vient alors la question de l'utilisation de ces résultats. En l'état, ils ne donnent pas d'informations précises sous la forme d'une couche de potentiels de symbioses par exemple. En revanche, ce type de résultats peut facilement être obtenu à partir des données générées à condition de zoomer sur des espaces particuliers. Voici comment les résultats peuvent permettre d'analyser la potentielle symbiose industrielle en partant de l'exemple des entreprises agricoles et du flux de biomasse. La première étape consiste à repérer un espace dense en termes d'entreprise agricole. La seconde est d'observer les différents groupements potentiels. Ensuite vient l'analyse des liens. Pour terminer, cette analyse est affinée par les informations issues des données du réseau routier. (Voir figure : 15 ; 16 ; 17 ; 18)

Carte de densité des entreprises agricoles

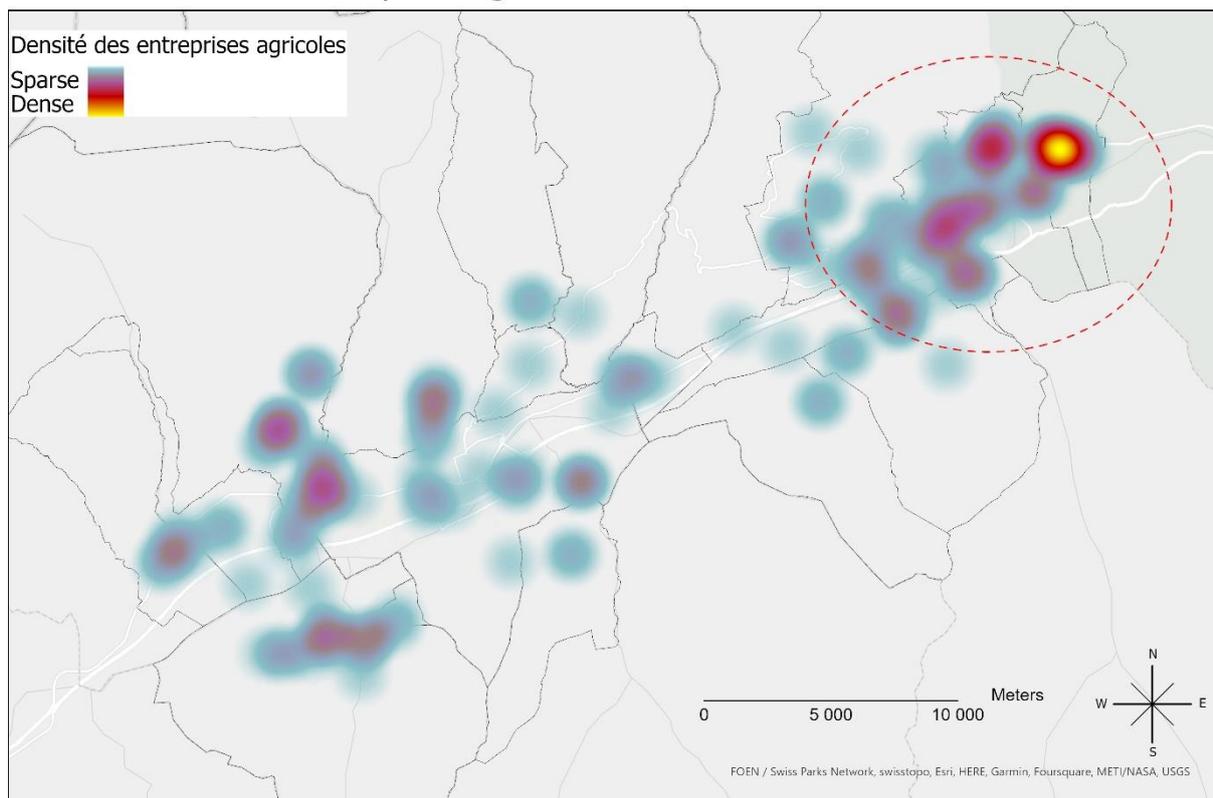


Figure 15 : Densité d'entreprises agricoles

Carte des potentiels de regroupement des entreprises agricoles

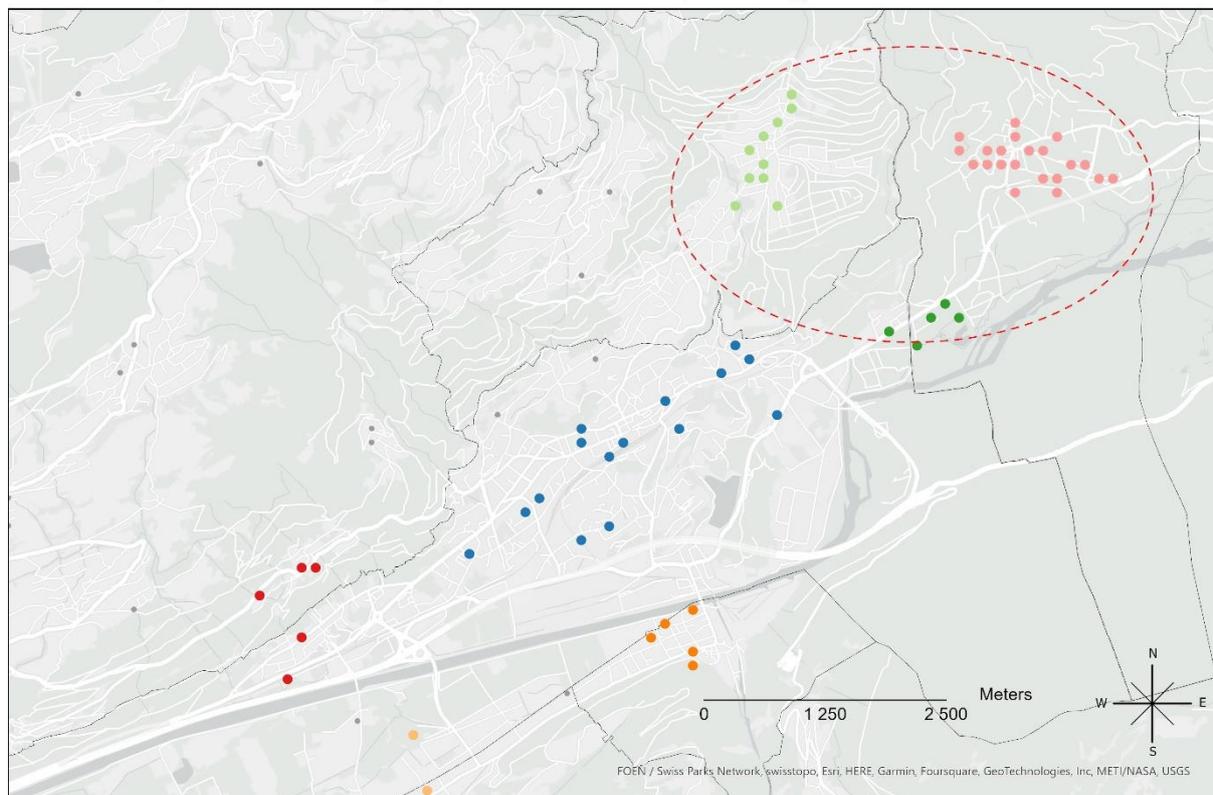


Figure 16 : Potentiel de regroupement des entreprises agricoles

Carte des liens entre entreprises agricoles et point d'entrée de biomasse

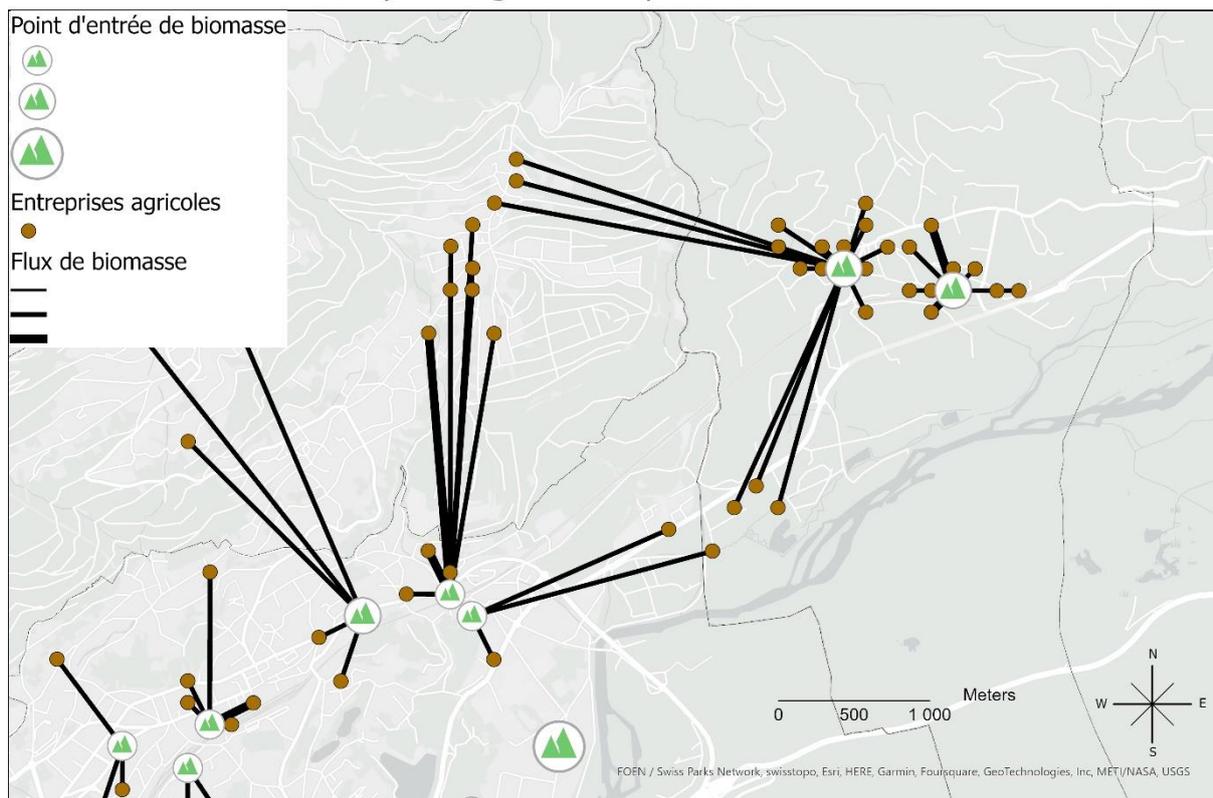


Figure 17 : Lien entre les entreprises agricoles et les points d'entrée de biomasse

Carte des liens entre entreprises agricoles et point d'entrée de biomasse

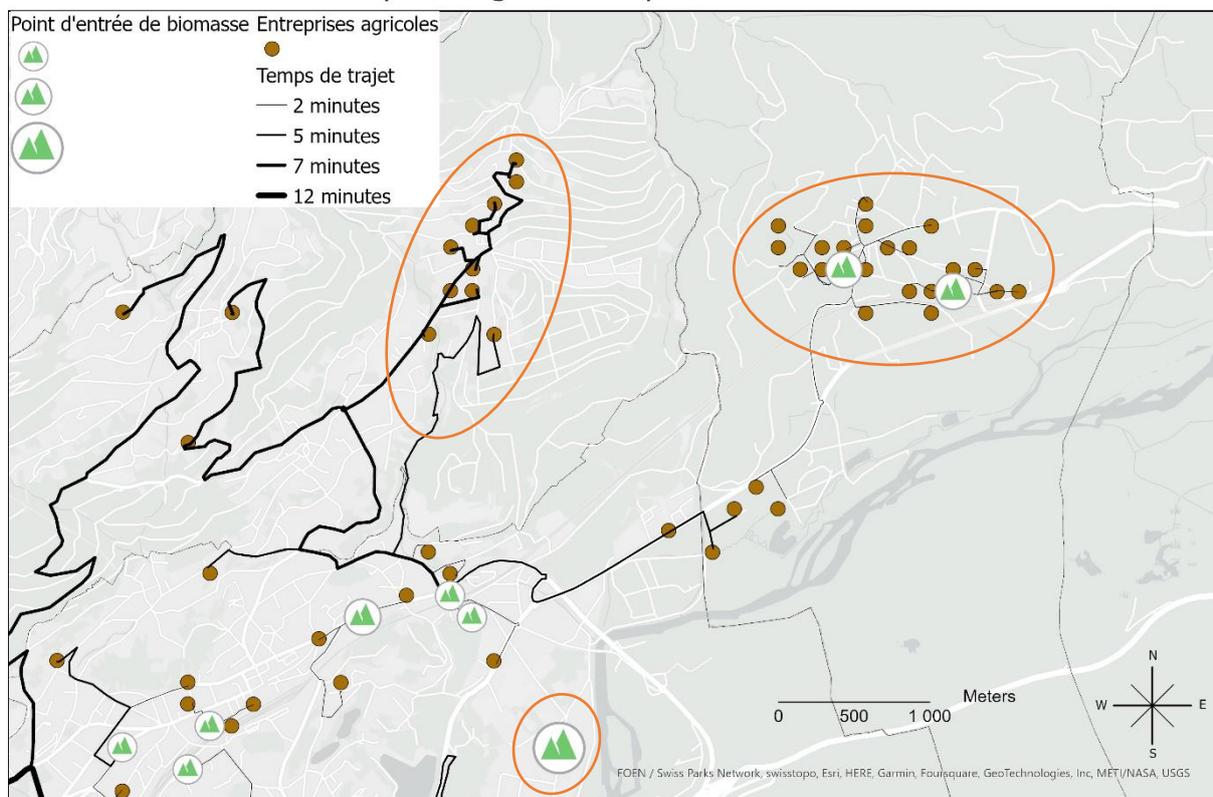


Figure 18 : Analyse du réseau qui lien les entreprises agricoles et les points d'entrée de biomasse

Le résultat montre différents potentiels de symbiose concernant le flux de biomasse. D'une part, on voit des clusters d'entreprises agricoles qui rejettent de la biomasse. On entend par biomasse, des déchets d'origine végétale ou animale qui peuvent être revalorisés. D'autre part, on observe des points d'entrées en biomasse qui peuvent être une activité ayant besoin de biomasse comme matière première comme une entreprise de paysagisme pour créer du compost par exemple. Dans le cluster de droite, la forte densité d'entreprises et le temps de trajet court semblent indiquer une possibilité intéressante. En revanche, à l'ouest, on observe une grande quantité d'entreprises agricoles mal reliées à un point d'entrée de biomasse. On pourrait en conclure qu'il existe un potentiel besoin de récupérateur de biomasse à cet endroit. Au nord de la carte, on observe un point d'entrée de biomasse de taille importante, mais qui n'est pas relié à des flux. On peut y voir un nouveau potentiel de récupération de biomasse. Cette méthode en 4 étapes permet de passer d'une carte générale avec une vision d'ensemble à un zoom sur des zones où on peut mettre en lumière des potentielles symbioses. Ainsi, les résultats de la première partie du travail permettent de mettre à disposition des outils de détection de potentiels.

Vient ensuite la deuxième dimension de l'utilisation des systèmes d'informations géographiques pour la détection des symbioses industrielles. Cet aspect comporte la dimension sociale et culturelle de l'écologie industrielle. En effet, comme l'écrit Adoue et citant Chertow : « ... *les facteurs clés dont dépendent la concrétisation d'une collaboration dans le domaine des symbioses industrielles sont la communication, la confiance et la volonté* » (Adoue, 2005). Un des plus gros avantages du système d'information géographique est sa capacité à être utilisé comme vecteur de communication par la visualisation des données sur un territoire. Ainsi, en diffusant l'information concernant les potentielles symbioses, on peut s'attendre à une augmentation de cas de coopération entre les différents acteurs.

La dimension sociale de la symbiose industrielle a été étudiée par Boons et Howard-Grandville (2009) qui décrivent six mécanismes sociaux qui exercent une influence sur la prise de décisions dans le domaine de l'écologie industrielle. Deux de ces mécanismes semblent pouvoir être activés par le système d'information géographique. Le premier est le mécanisme culturel que les auteurs décrivent comme le contexte social dans lequel évoluent les relations

d'acteurs. Il s'agit de la perception ou de la culture commune des différents acteurs pouvant être amenés à travailler ensemble. Logiquement si les visions varient fortement, il sera difficile de se mettre d'accord sur la manière de traiter les déchets par exemple. Le deuxième mécanisme, décrit par Boons et Howard-Grandville, concerne l'aspect politique. Adoue résume cet aspect comme « des relations de pouvoir entre les acteurs d'un territoire à travers les politiques publiques et la législation environnementale ». Ils insistent sur le fait qu'on ne parle pas que des décideurs politiques, mais toutes les autres instances qui exercent une influence sur les décisions. Cela peut être des organisations étatiques et paraétatiques ou des organes de représentants d'un secteur économique.

Ici, l'outil du système d'information géographique montrant des potentielles symbioses avec une partie explicative et interactive peut participer à la création d'une culture et d'une vision politique communes. L'outil StoryMap semble être particulièrement adapté pour répondre à ces défis sociaux et communicationnels, à condition que la StoryMap soit largement diffusée et qu'elle puisse être accessible à tous. Une StoryMap est un format de présentation interactive qui combine des éléments visuels, tels que des cartes, des images et des vidéos, avec des textes narratifs pour raconter une histoire ou mettre en valeur des informations de manière séquentielle. Elle permet de créer une expérience immersive pour le spectateur en lui permettant de naviguer à travers différents contenus. ArcGIS Online propose un outil de création de StoryMap permettant de mettre en valeur les cartes générées depuis ArcGIS. Une StoryMap a été éditée afin de partager les outils décrits plus haut.

Une StoryMap montre les résultats d'une manière plus générale. Cette dernière pourrait être plutôt destinée à un public de décideurs ou de planificateurs. Elle est un outil de visualisation des potentiels. Elle est destinée à faire visualiser les densités d'entreprises pour tous les types d'industries étudiées. Elle comporte deux parties. La première se concentre sur les entreprises en elles-mêmes et leurs densités. La seconde partie représente les flux analysés dans le cadre de ce travail.

Pour commencer, la structure de la StoryMap est adaptée au type d'information que l'on veut communiquer. Afin de simplifier les résultats du travail d'analyse et de montrer le pouvoir

pédagogique d'un tel outil, la thématique de cette StoryMap se concentre sur les entreprises agricoles.

La première partie de la StoryMap concerne la contextualisation de la problématique de l'écologie industrielle. Elle intègre une vidéo Youtube qui résume brièvement et simplement ce qu'est l'écologie industrielle. Un bouton menant vers un lien Wikipédia permet au lecteur de s'informer plus en profondeur si besoin.

Détectez des potentielles symbioses dans le milieu agricole

Analyse de l'Agglomération Valais Central

Cyril Héritier
6 juin 2023

Les symbioses industrielles sont une composante d'un système dans lequel les échanges et le recyclage de matière et d'énergie sont normalisés et permettent une économie importante tout en favorisant une production plus respectueuse de l'environnement .



L'Écologie Industrielle et Territoriale (EIT) : qu'est-ce que c'est ?

Pour d'information ?

Figure 19 : Introduction de la StoryMap

La partie suivante fait entrer l'utilisateur dans l'analyse par un rendu cartographique. Cette partie est composée de trois éléments textuels. Le premier décrit ce que la carte montre et à quoi cela peut servir dans le contexte de la détection de symbioses industrielles. Le deuxième décrit de manière succincte la cartographie. Le troisième élément est une sorte de consigne pour l'utilisateur qui lui permet de comprendre comment utiliser l'élément cartographique.

Le texte est en rouge pour attirer l'attention du lecteur. Cette structure en trois parties est reprise pour chaque nouvel élément cartographique.

La première carte montre l'analyse de densité et de proximité entre les entreprises. Elle se compose d'une carte de base des entreprises agricoles. Deux boutons sont associés à la carte. En cliquant sur le premier, c'est l'analyse de densité d'entreprises agricoles effectuée à partir de l'outil « Count overlapping feature » décrit à la page 19 qui apparaît. Le deuxième bouton permet de visualiser les potentiels de groupement entre différentes entreprises de fabrication de produit métallique.

Densité d'entreprise

Afin de détecter des symbioses, une analyse de la densité/proximité d'entreprise agricole est pertinente. Elle permet de montrer les potentiels suivants :

- Mutualisation des approvisionnements
- Mutualisation des parcs de machines
- Mutualisation des services de livraison

Le "potentiel par proximité" représente les espaces où plusieurs entreprises agricoles se trouvent à une distance de 500m ou moins. Plus le bleu est foncé plus le nombre d'entreprises à proximité est important. On peut également parler de densité d'entreprise. Le "potentiel par groupe" représente des "grappes" d'entreprises qui se trouvent à proximité. Ces dernières peuvent plus facilement collaborer entre elles.

Cliquez sur les boutons pour faire apparaître l'analyse

Figure 20 : Consigne pour l'analyse de la densité

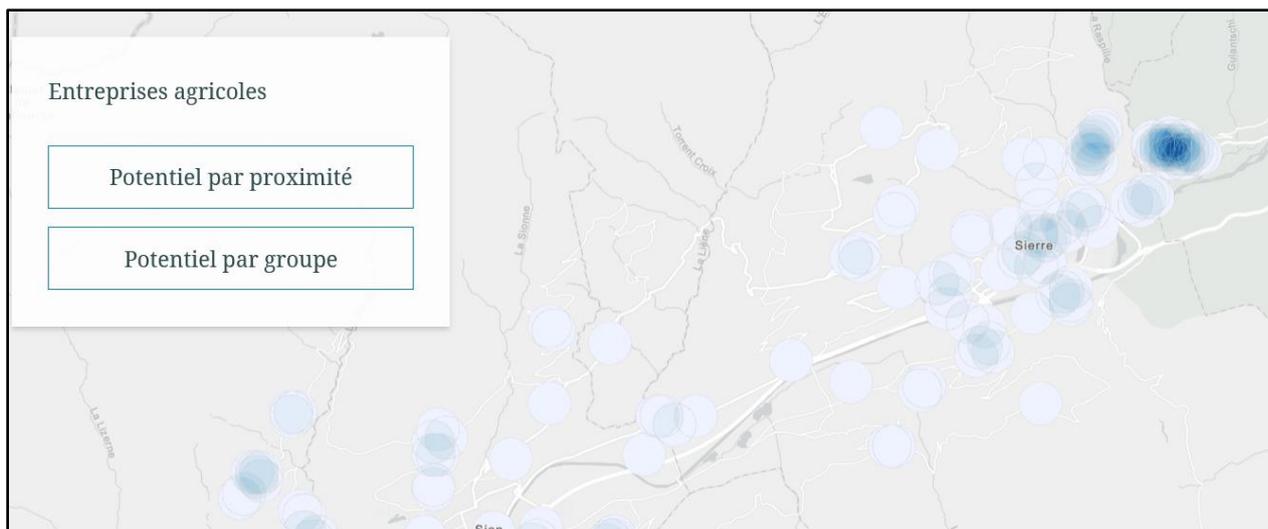


Figure 21 : Section d'analyse de la densité avec deux boutons

La partie suivante est une image qui représente les flux entrants et sortants liés aux exploitations agricoles. Elle permet de comprendre les flux en jeu et introduit les parties postérieures.

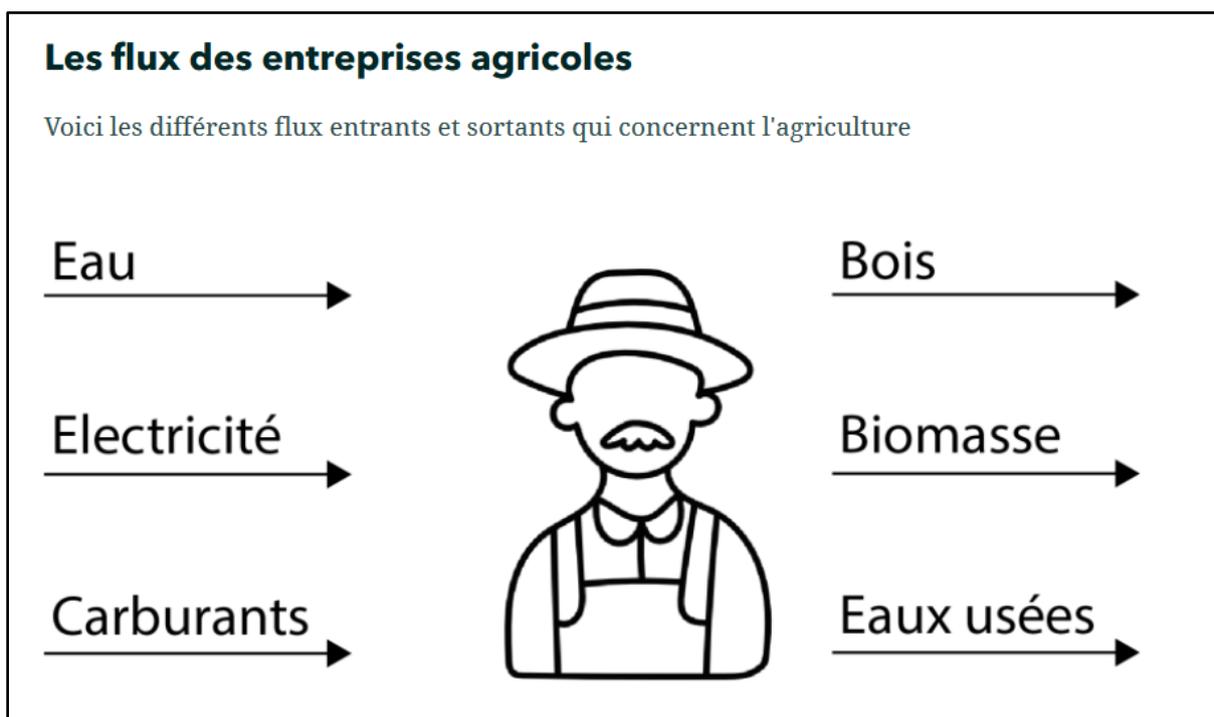


Figure 22 : Description des flux agricoles

L'élément suivant est une série de cartes montrant une vue d'ensemble des flux concernés par l'agriculture sans prendre en compte où se trouvent les entreprises agricoles.

L'information est donnée à travers une symbologie appliquée à des couches qui représentent chaque type de flux. Chaque carte montre les entrées et les sorties d'un type de flux. La taille des flux est aussi représentée par la symbologie proportionnelle à la taille de l'entreprise. L'utilisateur est invité à faire passer les différentes cartes et zoomer pour voir la répartition géographique des flux.

Densité des flux de matières (Offre et demande)

La position géographique et la taille des flux permettent de détecter en un coup d'œil où se trouvent les potentiels d'échange mais aussi les concentrations d'un ou plusieurs flux en particulier. La carte suivante s'intéresse cette fois aux flux de matière et d'énergie de l'Agglomération Valais Central. A partir d'une estimation, les types de flux ainsi que leur importance sont cartographiés.

Ces flux sont imagés sous forme de points qui représentent un flux entrant en vert ou un flux sortant en rouge. Leurs tailles varient entre 1 et 4 selon la taille de l'entreprise.

Faites passer les slides et zoomez pour visualiser plus en détail les flux

Figure 23 : Consigne pour l'analyse des flux

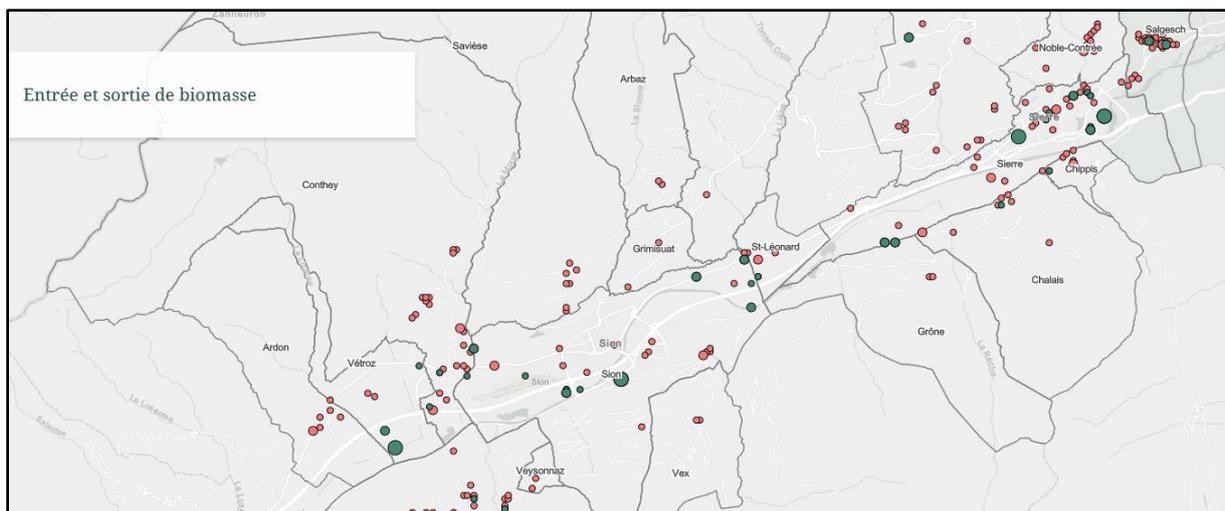


Figure 24 : Exemple de la cartographie des flux de biomasse

L'étape suivante montre cette fois-ci les liens entre les entreprises agricoles et les flux s'y rapportant. D'un côté, les entreprises agricoles sont représentées sous forme d'un point et de

l'autre, le point d'entrée ou de sortie liée. Un trait vient relier les deux pour représenter le flux.

Liens entre les entreprises agricoles et les flux entrants et sortants

Cette analyse permet de visualiser plus en détail la concentration des flux de matière mais aussi la distance qui réside entre entreprises et flux.

Les cartes qui suivent servent à visualiser les liens entre les entreprises agricoles et les potentiels de récupération de leurs rejets (Ex. entreprises agricoles vers récupérateurs de biomasse). Elle permettent d'observer les potentiels d'approvisionnement auprès d'autres entreprises qui rejettent un flux pouvant servir aux agriculteurs. (Ex. entreprise agricole vers flux sortant d'eau)

Les entreprises agricoles sont représentées par un point orange. Les points d'entrée d'un flux sont en vert et les points de sortie sont en rouge. La taille des points d'entrée/sortie est proportionnelle à l'importance du flux.

Faites passer les slides et zoomez pour visualiser plus en détail les liens entre les flux et les entreprises

Figure 25 : Consigne pour l'analyse des liens entre les flux

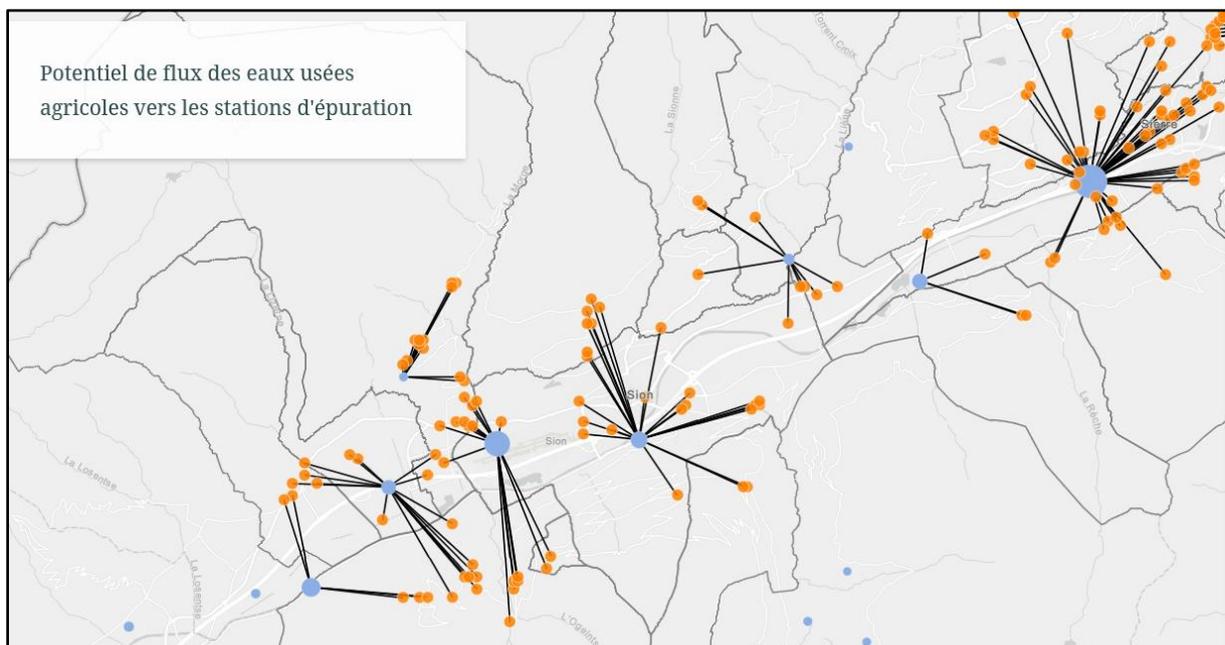


Figure 26 : Exemple de la cartographie des flux d'eaux usées et leurs liens avec les stations d'épuration

Finalement, la dernière série de cartes montre l'analyse de réseaux qui a été effectuée pour les liens entre entreprises et un type de flux en particulier. La représentation donne une idée du temps de trajet en camion entre le flux et l'entreprise agricole. Ces dernières cartes permettent de spatialiser un peu plus les liens en prenant en compte la contrainte des routes.

Analyse des temps de trajet entre les entreprises et les points d'entrée et sortie des flux

Cette analyse donne une idée plus précise des potentiels d'échange. L'analyse de faisabilité géographique permet de montrer les endroits qui nécessitent de trouver des débouchés plus proches. Elle montre aussi les endroits où les potentiels de symbiose par proximité sont importants.

Le temps de trajet est représenté par l'épaisseur du trait. Plus il est épais plus le temps de trajets est important.

Scrollez vers le bas pour observer les différentes routes et zoomer pour repérer les endroits où les temps de trajet sont les plus courts.

Figure 27 : Consigne pour l'analyse du temps de trajet

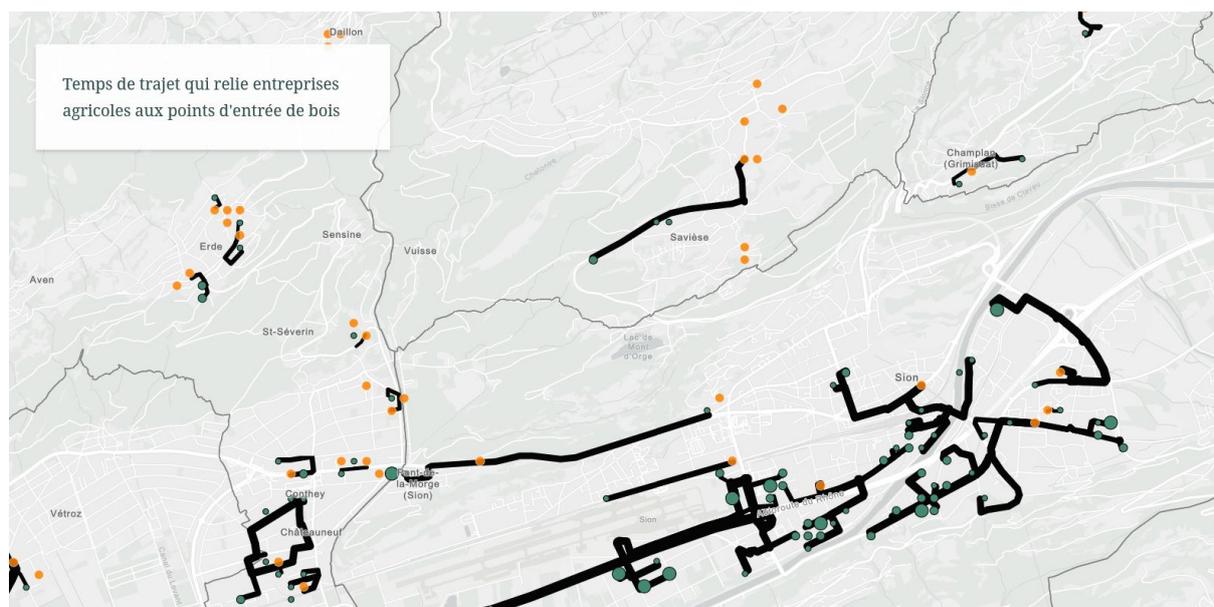


Figure 28 : Exemple d'un zoom sur la cartographie des temps de trajet entre entreprises agricoles et points d'entrée de bois

L'outil Story Map permet de mettre en valeur les résultats de cette étude en les condensant dans un format visuel simplifié. Comme on l'a vu plus haut, la rencontre entre analyse de potentiel et communication permet de créer des opportunités de mise en place effective de symbiose. Ce point semble d'autant plus vrai qu'il n'existe à ce jour aucun cadre légal contraignant concernant les échanges de matières et d'énergie. Ainsi, seule la volonté des entrepreneurs et des gestionnaires du territoire est le moteur de telles actions. Cette volonté passe d'abord par la création d'une culture commune puis par la communication des nombreux potentiels existants. En ce sens, l'outil Story Map paraît être indispensable.

La critique principale qu'on peut faire à l'encontre de cette Story Map est le fait qu'elle ne soit pas assez interactive. Les résultats sont exposés de manière générale avec une vision d'ensemble et ils ne vont pas très loin dans les détails. En effet, la découverte de potentiel doit être effectuée par l'utilisateur en zoomant sur l'endroit qui l'intéresse. Ainsi, cet outil est très intéressant pour communiquer un message et contribuer à la fabrication d'une culture commune. En revanche, il est moins performant quand il s'agit de donner des outils d'analyse plus concrets à l'utilisateur. La Story Map ne suffit pas à elle seule à résoudre la problématique sociale des symbioses industrielles.

Développements futurs

Plusieurs éléments restent encore à développer pour améliorer la qualité et l'utilité de ce travail.

Premièrement, la question des données et de la précision des informations qu'elles contiennent est primordiale. On voit rapidement les limites de l'estimation des flux effectuée à partir de la taille et du type d'entreprise. La plupart des exemples qui ont inspiré cette étude se base sur des chiffres plus précis sur les quantités et les types de flux. Par exemple, lorsqu'on parle de flux d'eaux usées on pourrait encore diviser ce flux en des sous-catégories selon le type de rejet. Ces précisions pourraient être obtenues via un questionnaire rempli par les différentes entreprises du territoire. Ici, il n'était pas possible d'obtenir ces précisions car l'analyse se voulait générale et le temps nécessaire au rassemblement de l'information était

trop long. Les entreprises étant déjà soumises à des questionnaires pour informer l'Etat sur plusieurs aspects de leurs activités, il serait possible d'y ajouter des questions sur les flux pour qu'une base de données soit tenue à jour et permette de simplifier le travail de détection de symbiose et de planification territoriale.

Deuxièmement, sur les analyses effectuées, on pourrait aller plus loin dans la spatialisation des résultats. Les résultats obtenus sont des indicateurs qui permettent d'enclencher une réflexion et une démarche de création de symbiose industrielle entre les entreprises existantes. En revanche, l'analyse ne permet pas en l'état de réfléchir à la planification d'espaces non construits. Les analyses de symbioses industrielles sont extrêmement pertinentes pour la planification des zones industrielles et artisanales car elles permettent de réaliser le principe de la bonne entreprise au bon endroit. Dans un développement futur, il serait intéressant de pouvoir faire un diagnostic des espaces non construits en zone d'activité et de leurs assigner un score de compatibilité pour chaque type d'entreprise. Cette analyse permet de qualifier chaque zone industrielle en prenant en compte les flux existants à proximité. Cette analyse s'inspire du travail effectué par Jensen dans son article « 'Habitat' Suitability Index Mapping for Industrial Symbiosis Planning ». L'idée est de croiser plusieurs critères pour déterminer la portion de territoire la plus apte à accueillir un ou l'autre type d'entreprise. L'analyse a été testée sur les données mais les résultats sont trop larges et ne permettent pas d'en tirer des conclusions sérieuses. Pour arriver à une telle donnée, il semble important d'avoir d'emblée des données plus complètes que celles qui ont été utilisées ici. Cette analyse devrait aussi s'effectuer sur un territoire plus large comme un pays à l'exemple de l'article de Jensen.

Finalement, en ce qui concerne l'aspect visualisation des résultats, on pourrait imaginer deux développements pertinents. Le premier est une plateforme qui accompagne la visualisation de la Story Map en y incluant la possibilité de communiquer ces observations ou des informations précises sur des types de déchets par exemple. L'idée serait d'avoir une plateforme interactive qui servirait de support à la mise en place de symbiose industrielle. On pourrait également y trouver des liens d'information et des contacts. Le deuxième développement serait une application cartographique qui pourrait également figurer sur cette plateforme. Le but de cette application serait d'effectuer des analyses plus spécifiques sur la

base de besoins précis des utilisateurs. Cette application est une mise à disposition des données et des outils d'analyses décrit plus haut. Grâce à celle-ci les utilisateurs peuvent se concentrer sur une analyse à une échelle plus petite. On pourrait aller plus loin en rendant l'application semi-automatisée grâce à un model Builder. Cet outil sert à automatiser les traitements de données. Il permet de faire des analyses complexes en utilisant plusieurs outils de geoprocessing sans pour autant le faire manuellement. Nous pourrions imaginer que cette application permette à l'utilisateur de sélectionner les flux qui l'intéressent et que l'application lui désigne directement les concentrations de flux et les endroits où il y a un manque de flux. Cette information permet de détecter presque automatiquement les symbioses. Sur le modèle de l'index de pertinences, l'application pourrait aussi sélectionner des sites d'implantation potentiels selon leur proximité à certains flux. Le développement d'une telle application nécessite un travail considérable mais le résultat pourrait être très intéressant pour la détection des symbioses industrielles. A ce jour une application test a été créée à partir de ArcGIS Online mais elle ne permet pas d'effectuer toutes ces opérations.

D'un point de vue plus général, la suite à donner à ce projet est de mettre en place cette plateforme qui permette de partager l'information, de fonder une culture commune, d'initier des collaborations, de détecter les potentiels etc... L'intérêt de cette idée a notamment été confirmée par une post Linked in du conseiller national Christophe Clivaz (Vert/VS) concernant la révision de la loi sur la protection de l'environnement. Après avoir parlé de l'introduction des principes de l'économie circulaire dans la loi fédérale, le conseiller national Valaisan, décrit les implications d'une telle modification. L'un des premiers points qui ressort est le suivant : « La Confédération peut soutenir les plateformes d'informations destinées à la préservation des ressources et au renforcement de l'économie circulaire » (CF annexe 1).

Conclusion

Pour rappel, le but de ce travail est de montrer l'intérêt des systèmes d'informations géographiques pour la création de symbioses industrielles sur le territoire de l'agglomération Valais Central. Pour répondre à cette problématique, des données déjà existantes ont été obtenues auprès du Canton du Valais. Ces données ont fortement influencé la suite du travail dans le sens où elles limitent les possibilités d'action. Suite à une première analyse, des

estimations ont dû être effectuées pour obtenir des informations sur les types de flux et leurs tailles. A partir de ces résultats et en lisant la littérature, il semblait alors possible d'utiliser les systèmes d'informations géographiques afin de détecter des potentiels de symbioses en amont. Cette phase de détection est une première étape dès le processus de création d'écosystèmes industriels. Cette étape doit bien entendu être suivie d'une série d'analyses de faisabilité technique, géographique et juridique. Or, avec les données initiales, il est impossible d'effectuer des tests de faisabilité plus précis. Il a été montré comment les systèmes d'informations géographiques peuvent être utiles à cette détection de symbioses via deux outils principaux. Le premier est l'analyse géographique qui peut prendre plusieurs formes. Le second est la visualisation des résultats de ces analyses comme outil de communication grâce à l'outil StoryMap.

En ce qui concerne les analyses géographiques, les résultats sont critiquables dans le sens où ils sont tirés d'une estimation des types de flux pour chaque entreprise. Puisqu'aucune prise de contact n'a été faite avec des professionnels, il est certain que des flux ont été sous-estimés, voire oubliés. Ces estimations grossières ne permettent pas d'appréhender la complexité des systèmes de flux de matières des différentes industries et entreprises. La visualisation des résultats quant à elle, peut être critiquée dans le sens où elle laisse aux utilisateurs le soin de détecter les symbioses en analysant à leur tour les données issues des analyses géographiques.

En revanche, l'intérêt de cette démarche est qu'elle est facilement répliquable pour toute la Suisse, puisqu'elle se base sur des données facilement accessibles. Elle permet de faire une analyse préliminaire d'un territoire assez vaste sans devoir passer par des questionnaires ou des entretiens avec tous les acteurs économiques concernés. Cette approche peut potentiellement apporter une économie de temps et de moyens financiers à condition que la méthode soit préalablement testée dans la réalité du terrain. Si la méthode permet d'observer des réels potentiels de symbioses industrielles, elle pourra être pertinente pour les collectivités.

En termes de méthode, une des erreurs qui a été commise est d'avoir voulu commencer par la théorie puis passer à la pratique sans faire beaucoup d'aller-retours entre les deux. Or, cette

manière de travailler n'as pas été très concluante d'un point de vue de l'efficacité. Après avoir construit un idéal théorique poussé pendant plusieurs semaines, la disponibilité des données est rapidement venue déstabiliser ces constructions théoriques. En fin de compte, le système d'information géographique est une discipline plus pratique qu'attendue.

Bibliographie

- Adoue, Cyril. 2004. « Méthodologie d'identification de synergies éco-industrielles réalisables entre entreprises sur le territoire français ». These de doctorat, Troyes.
- Adoue, Cyril. 2007. *Mettre en oeuvre l'écologie industrielle*. Lausanne: PU POLYTECHNIQU.
- Aid, Graham, Nils Brandt, Mariya Lysenkova, et Niklas Smedberg. 2015. « Looplocal – a Heuristic Visualization Tool to Support the Strategic Facilitation of Industrial Symbiosis ». *Journal of Cleaner Production* 98:328-35. doi: [10.1016/j.jclepro.2014.08.012](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.012).
- Altobelli, A., E. Feoli, F. Iadarola, et C. Milesi. 1996. « INDUSTRIAL ECOLOGY: AN APPLICATION OF GIS AND QUANTITATIVE COMMUNITY METHODS FOR THE ANALYSIS OF INDUSTRIAL PATTERNS ». *Coenoses* 11(3):109-14.
- Boons, Frank, et Jennifer A. Howard-Grenville, éd. 2009. *The social embeddedness of industrial ecology*. Cheltenham, UK ; Northampton, MA: Edward Elgar.
- Erkman, Suren. 2004. *Vers une écologie industrielle*. 1er édition. Charles Léopold Mayer/ECLM.
- Frosch, Robert A., et Nicholas E. Gallopoulos. 1989. « Strategies for Manufacturing ». *Scientific American* 261(3):144-53.
- Gibbs, David, et Pauline Deutz. 2007. « Reflections on Implementing Industrial Ecology through Eco-Industrial Park Development ». *Journal of Cleaner Production* 15(17):1683-95. doi: [10.1016/j.jclepro.2007.02.003](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.02.003).
- Grant, Gabriel B., Thomas P. Seager, Guillaume Massard, et Loring Nies. 2010. « Information and Communication Technology for Industrial Symbiosis ». *Journal of Industrial Ecology* 14(5):740-53. doi: [10.1111/j.1530-9290.2010.00273.x](https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00273.x).
- Hatefipour, Saeid. 2012. « Using Geographic Information Systems (GIS) to Facilitate Industrial Symbiosis Development in a Swedish Region ».
- Hatefipour, Saeid, universitet, et Institutionen ekonomisk och industriell utveckling. 2012. *Facilitation of Industrial Symbiosis Development in a Swedish Region*. :Department of Management and Engineering, University.
- Hein, Andreas M., Marija Jankovic, Romain Farel, et Bernard Yannou. 2016. « A Data- and Knowledge-Driven Methodology for Generating Eco-Industrial Park Architectures ». American Society of Mechanical Engineers Digital Collection.
- Jensen, Paul D., Lauren Basson, Emma E. Hellawell, Malcolm R. Bailey, et Matthew Leach. 2011. « Quantifying 'Geographic Proximity': Experiences from the United Kingdom's National

- Industrial Symbiosis Programme ». *Resources, Conservation and Recycling* 55(7):703-12. doi: [10.1016/j.resconrec.2011.02.003](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.02.003).
- Jensen, Paul D., Lauren Basson, Emma E. Hellawell, et Matthew Leach. 2012. « 'Habitat' Suitability Index Mapping for Industrial Symbiosis Planning ». *Journal of Industrial Ecology* 16(1):38-50. doi: [10.1111/j.1530-9290.2011.00438.x](https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00438.x).
- Lawal, Musa, Sharifah Rafidah Wan Alwi, Zainuddin Abdul Manan, et Wai Shin Ho. 2021. « Industrial Symbiosis Tools—A Review ». *Journal of Cleaner Production* 280:124327. doi: [10.1016/j.jclepro.2020.124327](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124327).
- Lhomme, Serge, Richard Laganier, Youssef Diab, et Damien Serre. 2013. « Un prototype SIG pour analyser la résilience urbaine : application à la ville de Dublin ». *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* (Volume 13 Numéro 3). doi: [10.4000/vertigo.14502](https://doi.org/10.4000/vertigo.14502).
- Maillefert, Muriel. 2008. « Cyril Adoue, 2007, Mettre en œuvre l'écologie industrielle, Presses Polytechniques et universitaires romandes, 106 p. » *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*. doi: [10.4000/developpementdurable.6422](https://doi.org/10.4000/developpementdurable.6422).
- Massard, Guillaume, et Suren Erkman. 2007. « A Regional Industrial Symbiosis Methodology and Its Implementation in Geneva, Switzerland ». 16.
- Massard, Guillaume, et Suren Erkman. s. d. « A Web-GIS Tool for Industrial Symbiosis – Preliminary Results and Perspectives ». 8.
- Nobel, C. E., et D. T. Allen. 2000. « Using Geographic Information Systems (GIS) in Industrial Water Reuse Modelling ». *Process Safety and Environmental Protection* 78(4):295-303. doi: [10.1205/095758200530817](https://doi.org/10.1205/095758200530817).
- Otero Peña, Daniel, Daniela Perrotti, et Eugene Mohareb. s. d. « Advancing Urban Metabolism Studies through GIS Data: Resource Flows, Open Space Networks, and Vulnerable Communities in Mexico City ». *Journal of Industrial Ecology* n/a(n/a). doi: [10.1111/jiec.13261](https://doi.org/10.1111/jiec.13261).
- Ribon, Benoit, Dominique Badariotti, et René Kahn. 2018. « Fondements des analyses de flux de matières et d'énergie et typologies d'applications pour la gouvernance des territoires et des organisations ». *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* (Volume 18 numéro 2). doi: [10.4000/vertigo.20822](https://doi.org/10.4000/vertigo.20822).

Xue, 王雪, et 施晓清 Xiaoqing. 2017. « A review of industrial ecology based on GIS ». *Acta Ecologica Sinica* 37. doi: [10.5846/stxb201606301326](https://doi.org/10.5846/stxb201606301326).

Annexe

Annexe 1

Post Linked-IN d'un élu valaisan vert



Christophe Clivaz • Abonné

Conseiller national (Les Verts) • Prof. UNIL • Durabilité • Tourisme

26 min • 🌐



Les principes de l'économie circulaire 🌿 (préservation des ressources) sont (enfin) inscrits dans la Loi sur la protection de l'environnement (LPE) 🙌.

Je m'exprimais 🗣️ hier au nom de la Commission CEATE.

Les Vert-e-s sont évidemment satisfaits de cette étape qui concrétise plusieurs demandes de notre Initiative Economie Verte déposée en 2012. Elle répond à des préoccupations essentielles, telles que la lutte contre les déchets sauvages ou plastiques et le droit à la réparation. L'économie circulaire réduit les déchets et ceux qui restent sont mieux valorisés.

C'est donc un bon pas en avant pour passer d'une économie linéaire à l'économie circulaire, même si cette réforme contient un peu trop de formules potestatives... Voici les principaux points:

- 🌿 La Confédération peut soutenir les plateformes d'information destinées à la préservation des ressources et au renforcement de l'économie circulaire
- 🌿 ~~Le Conseil fédéral peut interdire la mise dans le commerce de produits destinés à un usage unique et de courte durée~~
- 🌿 La hiérarchie dans la valorisation des déchets est précisée : valorisation matière avant valorisation énergie
- 🌿 Libéralisation de la collecte des déchets : fin du monopole public
- 🌿 La taxe d'élimination anticipée s'applique désormais aussi aux entreprises étrangères de vente par correspondance (vente en ligne).
- 🌿 Le Conseil fédéral peut imposer des exigences concernant la durée de vie, la disponibilité des pièces détachées et la réparabilité des produits, la lisibilité et compréhensibilité de l'étiquetage ou l'introduction d'un indice de réparabilité
- 🌿 Le Conseil fédéral peut fixer des exigences concernant l'utilisation de matériaux de construction préservant l'environnement ou la réutilisation d'éléments de construction dans les ouvrages
- 🌿 La Confédération assume un rôle de modèle
- 🌿 Le Conseil fédéral peut édicter des dérogations réglementaires afin de permettre des projets pilotes innovants qui ne sont pas possibles avec la réglementation actuelle