



HAL
open science

Outil d'aide à la décision pour le placement de hub dans un circuit alimentaire de proximité

Yaheng Cui, Ibrahima Diarrassouba, Cédric Joncour, Sophie Michel

► To cite this version:

Yaheng Cui, Ibrahima Diarrassouba, Cédric Joncour, Sophie Michel. Outil d'aide à la décision pour le placement de hub dans un circuit alimentaire de proximité. Cahiers de la logistique, 2022, Circuits courts alimentaires, 3, pp.15-27. hal-03907786

HAL Id: hal-03907786

<https://hal.science/hal-03907786v1>

Submitted on 20 Dec 2022

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.



**Circuits courts
alimentaires**

**PÔLE INGÉNIEUR
LOGISTIQUE
LE HAVRE NORMANDIE**

**CAHIERS DE LA
LOGISTIQUE**



CAHIERS DE LA LOGISTIQUE

CL2022 – N° 03

Circuits courts alimentaires

Décembre, 2022
Copyright © 2022, ISEL - SFLog



La présente publication est protégée par le code de la propriété intellectuelle et plus précisément ses articles relatifs au respect du droit d'auteur.

Les auteurs demeurent seuls responsables du contenu de leur œuvre. Ils garantissent disposer des autorisations nécessaires de la part des tierces parties titulaires de droits sur des œuvres partiellement ou globalement reproduites. Les droits moraux et patrimoniaux sur l'œuvre demeurent attachés à leurs auteurs.

Afin de faciliter le partage et l'utilisation de leur création, les auteurs autorisent les utilisateurs à :

- Télécharger et imprimer une copie de la présente publication à des fins d'études, de recherche, de diffusion de la culture scientifique et de partage des connaissances ;
- Distribuer gratuitement et sans aucune contrepartie l'URL identifiant la publication.

La présente publication, et l'URL associée ne peuvent en aucun cas être distribuées ou utilisées dans le cadre d'une activité à but lucratif ou à des fins commerciales. Aucune modification du contenu de l'œuvre n'est autorisée.

OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION POUR LE PLACEMENT DE HUB DANS UN CIRCUIT ALIMENTAIRE DE PROXIMITÉ

Y. Cui¹, I. Diarrassouba¹, C. Joncour¹, S. Michel¹

¹Université Le Havre Normandie

25 Rue Philippe Lebon, 76063, Le Havre

cuiyaheng@gmail.com, diarrasi@univ-lehavre.fr, joncourc@univ-lehavre.fr,

michels@univ-lehavre.fr

RESUME

Les circuits de proximité prennent une place de plus en plus importante dans le développement de filières agricoles et agro-alimentaires durables. Il s'agit notamment de garantir au consommateur une alimentation saine et produite localement, et pour les autorités locales de favoriser les économies locales et répondre à des objectifs de développement durable. Les *Food Hubs* désignent une catégorie de plateformes logistiques conçues spécialement pour répondre à ces enjeux.

Dans cet article, nous nous intéressons à l'approvisionnement des cantines scolaires normandes par un circuit de proximité, et basé sur l'utilisation de *Food Hubs*. Nous traitons en particulier du problème de l'emplacement optimal d'un réseau de *Food Hubs* et des flux de marchandises associés. Les nombreux aspects et contraintes à prendre en compte font que ce problème reste difficile à traiter avec des outils simples. Nous proposons donc un outil d'aide à la décision basé sur une modélisation mathématique du problème et sa résolution à l'aide d'outils adaptés.

Dans un premier temps, nous décrivons les diverses contraintes et notions considérées dans notre chaîne d'approvisionnement. Puis, nous présentons la formulation mathématique permettant de modéliser l'ensemble de la problématique. Ensuite ce modèle est résolu à partir de données basées sur différents scénarios pour chacun des cinq départements de la Normandie. L'analyse des résultats numériques permet d'observer un positionnement préférentiel des *Food Hubs* et les flux de produits. Enfin, nous terminons par des conclusions sur la flexibilité de notre démarche et quelques perspectives.

MOTS CLÉS: Circuit alimentaire de proximité, *Food Hub*, supply chain globale, modélisation mathématique.

ABSTRACT

Short food supply chains are considered as key aspect for the future of sustainable agri-food supply chains. They aim at ensuring to consumers that they access to healthy and locally produced food. For local authorities also, short food supply chains aim at encouraging local economies and fulfilling their objectives in terms of sustainable development. The concept of Food Hub names logistics hubs that are specially designed to address issues related to short food supply chains.

In this paper, we are interested in supplying school canteens of Normandy region using

a short food supply chain network and food hubs. We particularly consider the problem of computing the optimal location of a set of Food Hubs. The complexity of the problem makes it difficult to be solved using simple tools. Thus, we propose a decision support tool based on a mathematical modelling of the problem together with suitable resolution methods.

First, we describe the constraints and notions considered in this supply chain. Then, we present our mathematical formulation for the food hub location problem. Finally, we apply and solve this model to each of the five department of Normandy region. The results show where one should optimally place food hubs over all the region.

KEYWORDS: short food circuit, food hub, glocal supply chain, mathematical modelling.

1. Introduction

1.1 Contexte : le projet FuMa

Le projet RIN Tremplin FuMa (Futur de la Marchandise) est un projet pluridisciplinaire co-financé par la région Normandie, dans le cadre des RIN (Réseaux d'Intérêts Normands), et par le FEDER (Fond Européen de Développement Régional). L'objectif du projet est d'étudier des aspects liés aux évolutions de la chaîne d'approvisionnement et, en particulier, de construire et évaluer les chaînes d'approvisionnement glocales. Les membres du consortium sont principalement des chercheurs de différentes spécialités, notamment des Sciences de Gestion, des Mathématiques Appliquées, de l'Informatique et du Droit.

Le projet FuMa s'est focalisé sur les chaînes d'approvisionnement alimentaires en considérant deux enjeux majeurs. D'une part, le souhait du consommateur est, de plus en plus, de pouvoir bénéficier d'une alimentation saine et produite localement. D'autre part, la région Normandie désire accompagner les évolutions des secteurs agricoles et agro-alimentaires et participer au développement socio-économique de la Normandie. Plus précisément, le projet s'attache à étudier l'articulation entre les modes d'approvisionnement alimentaire à échelle locale et globale. Une chaîne d'approvisionnement intégrant les deux échelles est appelée chaîne d'approvisionnement *glocale*.

1.2 Les circuits alimentaires de proximité

Une des questions soulevées par les chaînes d'approvisionnement glocales est celle du développement des circuits alimentaires de proximité. Un circuit alimentaire de proximité est un schéma d'approvisionnement dans lequel la distance entre le lieu de production des aliments et le lieu de consommation n'excède pas une certaine distance. Cette distance maximum est souvent fixée à 30 km pour les fruits et légumes et à 80 km pour les produits transformés ADEME (2011). Ces circuits de distribution permettent de répondre à la fois aux besoins du consommateur et aux enjeux de développement économique régional qui se posent aux collectivités.

1.3 Les Food Hubs

Le *Food Hub*, ou “plateforme alimentaire” en français, est une notion indissociable des circuits alimentaires de proximité. Un *Food Hub* est un lieu ou une organisation qui permet de faciliter l’agrégation, le stockage, la préparation, la distribution et/ou la vente de biens alimentaires produits localement WIKIPEDIA (2022). Il est implanté au plus près des agriculteurs et des consommateurs, et doit être conçu pour avoir une logistique simplifiée ainsi que des coûts de fonctionnement relativement faibles.

Présents aux Etats-Unis dans les années 70, les *Food Hubs* connaissent un essor en Europe et en France depuis une quinzaine d’années.

Les *Food Hubs* s’opposent aux grands entrepôts industriels conventionnels, d’une part en raison de leurs superficies plus réduites et de leurs logistiques plus simples, et d’autre part en raison de leurs lieux d’implantation. Une des problématiques que nous avons abordée dans le projet FuMa porte précisément sur l’identification des lieux d’implantation d’un réseau de *Food Hubs* sur le territoire normand et dans un circuit de proximité. La Figure 1 donne un exemple d’implantation de *Food Hubs*.

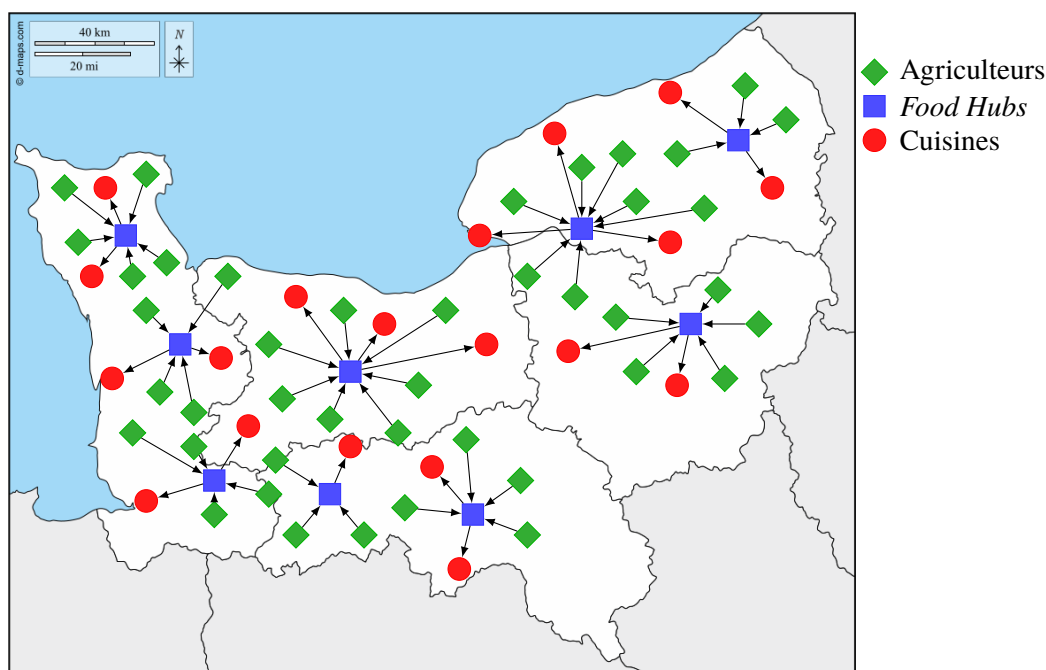


FIGURE 1 – Problématique de localisation des *Food Hubs* en approvisionnement local

2. Cas d’application : les cantines scolaires normandes

2.1 La chaîne d’approvisionnement

La problématique de localisation des *Food Hubs* a été considérée dans le cadre de l’approvisionnement en aliments locaux des cantines scolaires normandes. Nous considérons trois types de produits en particulier : **viande, lait et légumes**. En pratique, les cantines scolaires sont elles-mêmes approvisionnées par les cuisines scolaires qui collectent les produits, confectionnent les repas et les redistribuent aux cantines.

Le schéma d’approvisionnement que nous étudions considère donc les agriculteurs comme fournisseurs des trois types de produits et les cuisines scolaires comme destinataires (ou clients). Entre les deux se trouvent les *Food Hubs* dont le rôle est d’aggréger les flux de produits fournis par les agriculteurs afin de les redistribuer aux cuisines scolaires. Plusieurs types de structures peuvent faire office de *Food Hubs*, à savoir de petits entrepôts implantés localement, des coopératives, des Groupements Agricoles d’Exploitation en Commun (GAEC) ou encore des grossistes de produits frais locaux. La Figure 2 présente les flux logistiques considérés dans notre modèle.

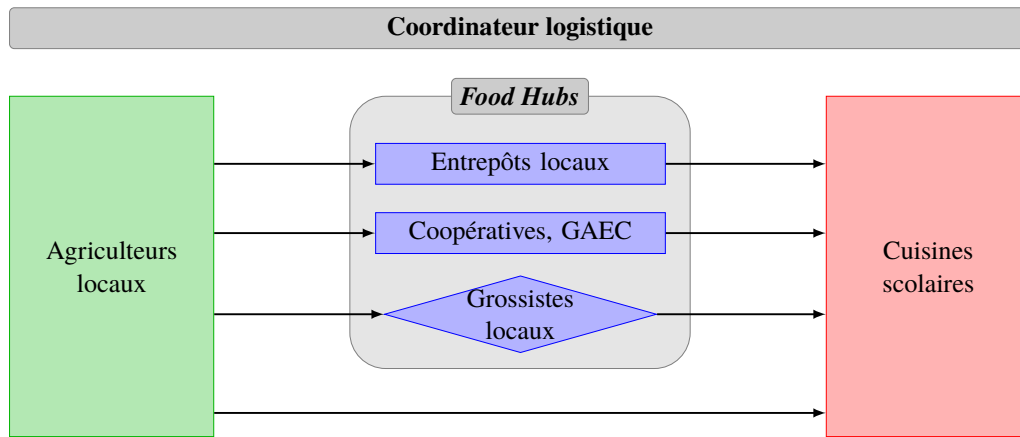


FIGURE 2 – Flux logistiques des agriculteurs locaux jusqu’aux cuisines scolaires

Le problème de localisation des *Food Hubs* consiste donc à déterminer l’emplacement optimal des *Food Hubs* en considérant d’une part les demandes des cuisines en viande, lait et légumes et d’autre part, les volumes de production moyens fournis par les agriculteurs. Enfin, d’autres aspects, tels que la condition de proximité entre les lieux de production et les cuisines, et les coûts sont pris en compte et sont détaillés ci-dessous.

2.2 Description détaillée de la problématique

Notons par $\mathcal{F} = \{\text{Viande}, \text{Lait}, \text{Légume}\}$ l’ensemble des familles de produits et considérons un ensemble de cuisines scolaires \mathcal{C} réparties sur un territoire donné. Chaque cuisine est caractérisée par sa position géographique et les quantités hebdomadaires demandées (appelées demandes) de chaque type de produits (viande, lait et légumes).

Considérons aussi un ensemble \mathcal{A} d’agriculteurs également répartis sur le territoire et fournissant un ou plusieurs familles de produits de \mathcal{F} . Chaque agriculteur est caractérisé par sa position géographique ainsi que les quantités hebdomadaires fournies (appelées aussi offres) pour chaque type de produit. Cette quantité est considérée comme nulle si l’agriculteur ne fournit par un produit donné sur la période considérée.

Considérons également un ensemble \mathcal{H} de lieux possibles pouvant accueillir les *Food Hubs* répartis sur le territoire. Chaque possibilité d’implantation de *hub* est caractérisée par sa position géographique et le coût d’utilisation du *hub* dans ce lieu. Le coût d’utilisation inclut le coût d’ouverture du *hub* (construction ou location) et tous les coûts fixes liés au fonctionnement du *hub* (électricité, etc.). Nous supposons aussi que les *Food Hubs* qui seront ouverts sont capables de gérer les trois familles de produits et qu’ils disposent de capacité suffisante pour manutentionner

tous les flux qui y transiteront.

Enfin, nous supposons que le transport des produits entre les agriculteurs et les *Food Hubs* est assuré par des véhicules utilitaires, et le transport des *Food Hubs* vers les cuisines est assuré à l'aide de véhicules de plus grandes capacités. Chaque véhicule est caractérisé par sa capacité en produits et son coût kilométrique.

Le problème de localisation des *Food Hubs* que nous considérons ici consiste à :

- sélectionner un ensemble de lieux parmi les lieux possibles qui accueilleront les *Food Hubs*,
- déterminer, pour chaque période, les flux de chaque produit
 - allant de chaque agriculteur vers chaque *Food Hub* ouvert,
 - allant de chaque *Food Hub* ouvert vers chaque cuisine,
- calculer le coût total constitué de la somme du coût d'utilisation des *Food Hubs* et du coût total de transport.

Les contraintes et les principales notions prises en compte dans le problème sont les suivantes.

(a) **Satisfaction de la demande et excès/déficit de la production**

Dans l'idéal, la demande en produits des cuisines à chaque période doit pouvoir être assurée en totalité par la chaîne d'approvisionnement. En pratique, selon le territoire considéré et les volumes produits localement, les demandes des cuisines peuvent être satisfaites en totalité ou non. Dans le cas où la production d'un produit donné excède la demande totale des cuisines, sur une période donnée, nous imposons que les flux de produits soient calculés de sorte que la demande de chaque cuisine sur ce produit soit satisfaite. Dans le cas contraire, toute la production locale doit être utilisée pour à approvisionner le plus de cuisines possibles.

(b) **Un circuit de proximité**

Le circuit de proximité impose que les flux de produits soient calculés de sorte que la distance entre les agriculteurs et les cuisines soit inférieure à 80 km. Dans notre modèle, cet aspect est assuré en imposant une pénalité à tous les flux agriculteur-cuisine dont la distance dépasse 80 km.

(c) **Affectation agriculteurs et cuisines**

Nous faisons l'hypothèse que chaque agriculteur approvisionne un seul *Food Hub*. Par contre, une cuisine peut être approvisionnée par plusieurs *Food Hubs*.

(d) **Les coûts d'utilisation des *Food Hubs***

Les coûts d'utilisation des *Food Hubs* intègrent tous les coûts fixes liés à la mise en place d'un *hub* et sur l'horizon de temps de 12 semaines. Ce coût intègre notamment le coût du foncier, le coût de construction ou de location (si nécessaire) et tous les coûts fixes liés au fonctionnement du *hub*. Les coûts variables, quant à eux, ne sont pas pris en compte.

(e) **Les coûts de transport**

Les coûts de transport sont calculés à partir des différents flux des agriculteurs vers les *Food Hubs* d'une part, et des *Food Hubs* vers les cuisines d'autre part. Ce coût est obtenu précisément à partir du nombre de véhicules de chaque type nécessaire à l'acheminement des différents flux, du coût fixe de chaque véhicule et du coût kilométrique combiné aux distances parcourues par le véhicule.

3. Le modèle mathématique

La formulation mathématique ci-dessous permet de modéliser l'ensemble de la problématique. Sa résolution fournit à la fois la position optimale des *Food Hubs* ainsi que les différents flux entre les agriculteurs, les *Food Hubs* et les cuisines. Il indique aussi le coût total formé par le coût d'utilisation des *Food Hubs* et le coût de transport des différents flux. Les principales variables de décisions (*i.e.* les inconnues) du problème sont brièvement décrites ci-dessous. Il est à noter que l'indice f désigne une famille de produits (viande, lait ou légumes) et l'indice k désigne un produit et son lieu de production. Cette distinction nous permet d'identifier l'origine géographique des familles de produits et identifier les produits locaux.

- Pour chaque position possible h , la variable de type y_h vaut 1 si un *Food Hub* est ouvert à la position h et 0 dans le cas contraire.
- Les variables de type z_{hkt} modélisent les flux de produits k des agriculteurs vers les *Food Hubs* h , à la période t .
- Les variables de type q_{hckt} modélisent les flux de produits k des *Food Hubs* h vers les cuisines c , à la période t .
- Les variables de type Θ_{aht} et Θ_{hct} modélisent les nombres de véhicules utilisés, à chaque période t , pour acheminer les produits vers les *Food Hubs* h et vers les cuisines c , respectivement.
- Les variables de types λ_c^k permettent d'introduire la contrainte de proximité entre les lieux de production k et les cuisines c .

De même, les principales données d'entrée du problème sont décrites ci-dessous.

- τ désigne le nombre de périodes de l'horizon de temps. Ici, $\tau = 12$ semaines.
- f_h désigne le coût d'utilisation du *Food Hub* h .
- d_{cft} désigne la demande de la cuisine c à la période t pour la famille de produit f .
- w_{kt} désigne le volume de production d'un produit k donné à la période t .
- c_{ah} et c_{hc} désignent le coût d'utilisation d'un véhicule des agriculteurs vers les *hubs* et des *hubs* vers les cuisines, respectivement. Ce coût d'utilisation intègre le coût fixe du véhicule ainsi que le coût de transport sur la distance parcourue par le véhicule.
- M_l désigne la pénalité infligée à un flux dont la distance dépasse les 80km.
- V_a et V_c désignent les capacités, en kilogrammes, des véhicules utilisées pour transporter les produits entre les agriculteurs et les *hubs*, et entre les *hubs* et les cuisines. Ici, $V_a = 600$ kg et $V_c = 1\,500$ kg.

Le problème de localisation des *Food Hubs* en circuit de proximité peut donc être modélisé mathématiquement comme suit.

$$\text{Minimiser } \underbrace{\sum_{h \in \mathcal{H}} f_h y_h}_{\text{coût total d'utilisation des hubs}} + \underbrace{\sum_{t=1}^{\tau} \sum_{h \in \mathcal{H}} \sum_{a \in \mathcal{A}} c_{ah} \Theta_{aht}}_{\text{coût de transport fermes vers hub}} + \underbrace{\sum_{t=1}^{\tau} \sum_{(h,c) \in \mathcal{HC}} c_{hc} \Theta_{hct}}_{\text{coût de transport hubs vers cuisines}} + \underbrace{\sum_{k \in \mathcal{P}} \sum_{(h,c) \in \mathcal{HC}_k} M_l \lambda_k^c}_{\text{pénalité sur la distance}} \quad (1)$$

sous les contraintes

$$\sum_{h \in \mathcal{H}_k} z_{hkt} \leq w_{kt} \quad \forall k \in \mathcal{P}, \forall t \in \llbracket 1; \tau \rrbracket \quad (2)$$

$$\sum_{c \in C_k: (h,c) \in \mathcal{H}C_k} q_{hckt} = z_{hkt} \quad \forall k \in \mathcal{P}, \forall h \in \mathcal{H}_k, \forall t \in \llbracket 1; \tau \rrbracket \quad (3)$$

$$\sum_{k \in \mathcal{P}_f} \sum_{(h,c) \in \delta_k^-(c)} q_{hckt} = d_{cft} \quad \forall f \in \mathcal{F}, \forall c \in C_f, \forall t \in \llbracket 1; \tau \rrbracket, \text{ si dem. excédant} \quad (4)$$

$$\sum_{c \in C_f} \sum_{k \in \mathcal{P}_{cf}} \sum_{(h,c) \in \delta_k^-(c)} q_{hckt} = \sum_{k \in \mathcal{P}_f} w_{kt} \quad \forall f \in \mathcal{F}, \forall t \in \llbracket 1; \tau \rrbracket, \text{ si dem. déficit.} \quad (5)$$

$$\sum_{k \in \mathcal{P}_a} z_{hkt} \leq M x_{aht} \quad \forall a \in \mathcal{A}, \forall t \in \llbracket 1; \tau \rrbracket \quad (6)$$

$$\sum_{h \in \mathcal{H}} x_{aht} \leq 1 \quad \forall a \in \mathcal{A}, \forall t \in \llbracket 1; \tau \rrbracket \quad (7)$$

$$\Theta_{aht} \geq \frac{\sum_{k \in \mathcal{P}_a} z_{hkt}}{V_a} \quad \forall (a, h) \in \mathcal{A} \times \mathcal{H}, \forall t \in \llbracket 1; \tau \rrbracket \quad (8)$$

$$\Theta_{hct} \geq \frac{\sum_{k \in \mathcal{P}} q_{hckt}}{V_c} \quad \forall (h, c) \in \mathcal{H} \times C, \forall t \in \llbracket 1; \tau \rrbracket \quad (9)$$

$$\sum_{t \in \llbracket 1; \tau \rrbracket} \sum_{h \in \mathcal{H}} q_{hckt} \leq M \lambda_k^c \quad \forall k \in \mathcal{P}, \forall c \in C \text{ et } \text{dist}(k, c) > 80 \text{ km} \quad (10)$$

$$\Theta_{aht}, \Theta_{hct} \in \mathbb{Z}_+ \quad \forall a \in \mathcal{A}, \forall h \in \mathcal{H}, \forall c \in C, \forall t \in \llbracket 1; \tau \rrbracket \quad (11)$$

$$z_{hkt} = 0 \quad \forall k \notin \mathcal{P}_h, \forall h \in \mathcal{H}, \forall t \in \llbracket 1; \tau \rrbracket \quad (12)$$

$$\lambda_k^c, x_{aht}, y_h \in \{0,1\} \quad \forall k \in \mathcal{P}, \forall c \in C, \forall a \in \mathcal{A}, \forall h \in \mathcal{H}, \forall t \in \llbracket 1; \tau \rrbracket \quad (13)$$

L'expression (1) est la fonction objective de la formulation. Elle correspond à la somme des coûts d'ouverture des *hubs*, des coûts totaux de transport et des pénalités en cas de dépassement de la distance des 80 km. Les inégalités (2) indiquent que la quantité de produits expédiée par un agriculteur vers les *hubs* ne peut pas dépasser son volume de production. L'équation (3) permet de relier d'une part le flux de produit d'un agriculteur vers un *hub* et, d'autre part, du *hub* vers les cuisines clientes. Cette contrainte permet notamment de vérifier si les flux de produits respectent ou non la distance des 80 km. Les contraintes (4) et (5) permettent de modéliser la couverture de la demande dans le cas où la production d'un aliment excède la demande ou non. Les contraintes (6) et (7), quant à elles, modélisent le fait qu'un agriculteur est rattaché au plus à un seul *hub* et que les flux de produits de cet agriculteur vers ce *hub* sont positifs ou nuls. Les contraintes (8) et (9) permettent d'estimer les nombres de véhicules nécessaires pour transporter les flux entre des agriculteurs vers les *hubs* et des *hubs* vers les cuisines. Les contraintes (10) permettent d'identifier les flux de produits entre les agriculteurs et les cuisines dont la distance totale parcourue dépasse les 80 km. Ces flux se voient notamment attribuer une pénalité dans la fonction objectif. Enfin, les contraintes (11), (12) et (13) indiquent la nature des variables de la formulation.

Dans notre étude, ce modèle mathématique a été résolu à l'aide du logiciel spécialisé CPLEX 12.9 IBM (2019). Dans la section suivante, nous présentons l'application de ce modèle et sa résolution dans le cas de la région Normandie.

4. Application au cas de la région Normandie

4.1 Les données d'entrée

Les données d'entrée du modèle sont générées à l'aide de données statistiques régionales et nationales décrites ci-dessous.

(a) Les cuisines scolaires et les demandes en produits

Les cuisines scolaires clientes sont choisies dans et autour des moyennes et grandes villes du territoire normand. Les effectifs des établissements scolaires considérés sont obtenus à partir du site web de l'académie de Normandie. Les demandes hebdomadaires en viande, lait et légumes sont obtenus en couplant ses effectifs et les recommandations nutritionnelles hebdomadaires du ministère de l'Éducation Nationale.

(b) Les agriculteurs et les volumes de production

Le panel d'agriculteurs choisis pour l'étude sont ceux recensés sur des bases de données établies pour la région normandie. Ces bases intègrent notamment des agriculteurs produisant au moins un des produits considérés (lait, viande et légumes), et qui sont engagés dans une démarche circuit court ou circuit de proximité. Ces bases sont accessibles via les plateformes "Au rendez-vous des Normands" et "Bienvenue à la ferme". Les volumes de production en viande, lait et légumes sont générés à l'aide de données statistiques fournies par la DRAAF.

(c) Les *Food Hubs* possibles et les coûts d'utilisation

Les lieux possibles pour les *Food Hubs* sont choisis de façon aléatoire sur l'ensemble du territoire. Les coûts d'utilisation des *Food Hubs* sont quant à eux considérés comme identiques pour tous les *Food Hubs* potentiels, et relativement petit en comparaison de gros entrepôts industriels ou des Marchés d'Intérêt National (M.I.N.) comme ceux de Rouen ou de Rungis. Pour notre étude nous considérons qu'il est égal à 100 €/semaine.

(d) Les véhicules de transport

Pour le transport, nous considérons l'utilisation de véhicules de types utilitaires et camions. Pour les besoins de l'étude, les capacités de ces types de véhicules sont données en kilogrammes. Les véhicules utilitaires ont une capacité estimée à 600 kg alors que, pour un camion, elle est estimée à 1 500 kg. Les coûts de transport quant à eux sont estimés à partir de données nationales fournies par le C.N.R..

Les données utilisées pour chaque département sont résumées ci-dessous. Le tableau 1 donne, pour chaque département de la région Normandie et pour chaque produit, le ratio en pourcentage entre le volume de production et la demande. Un ratio supérieur à 100% indique un excédant de la production par rapport à la demande estimée. À l'inverse, un ratio inférieur à 100% indique un déficit.

Département	Lait(%)	Légumes(%)	Viande(%)
Seine-Maritime	37.37	4.01	23.47
Calvados	97.26	9.97	42.25
Manche	109.49	14.57	43.24
Eure	26.47	17.30	45.95
Orne	124.25	9.88	107.48

TABLEAU 1 – Ratio production/demande par département

Le tableau 2 présente les nombres d’agriculteurs, de cuisines clientes et de *Food Hubs* possibles pour chaque département.

Département	Nbre de cuisines	Nbre d’agriculteurs	Nbre <i>Food Hubs</i> possibles
Seine-Maritime	205	48	30
Calvados	68	26	25
Manche	98	49	32
Eure	96	49	25
Orne	66	27	20

TABLEAU 2 – Caractéristiques des données par département.

4.2 Résultats et analyses

La résolution du modèle mathématique pour chaque département normand permet d’avoir une sélection de *Food Hubs*, une affectation des flux entre agriculteurs, *Food Hubs* et cuisines, ainsi qu’une idée du coût global, selon les différents scénarios considérés.

4.2.1 Résultats pour les données actuelles

Dans un premier temps, nous considérons un scénario dans lequel les volumes de production sont générés à partir des résultats de l’étude statistique décrite précédemment, et reflétant la réalité du terrain.

Les figures 3 et 4 présentent les données d’entrée et les solutions pour les départements de la Seine Maritime et du Calvados. Les figures 3a et 4a renseignent sur la localisation des cuisines clientes et des fermes pour ces deux départements. Quant aux figures 3b et 4b, elles indiquent la position des *Food Hubs* choisis ainsi que l’affectation des agriculteurs et des cuisines aux *Food Hubs*.

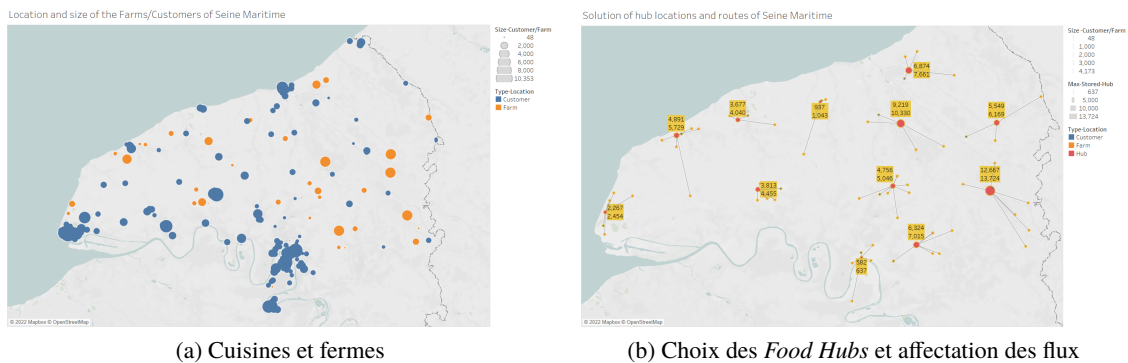


FIGURE 3 – Placement optimal des *Food Hubs* pour la Seine Maritime

Les résultats montrent que, pour chaque département, plusieurs *Food Hubs* sont ouverts (entre 9 et 13) et sont répartis à travers tout le territoire considéré. Aussi, certaines cuisines sont desservies par plusieurs *Food Hubs* et certains de ces hubs sont ouverts à proximité de fermes existantes. Ce résultat conforte l’idée selon laquelle une ferme qui dispose de suffisamment d’espace peut servir de hub. Enfin, pour la Seine Maritime, seules 13 cuisines sont desservies sur un total de 205. Cela s’explique par la faible part de demande couverte par la production locale

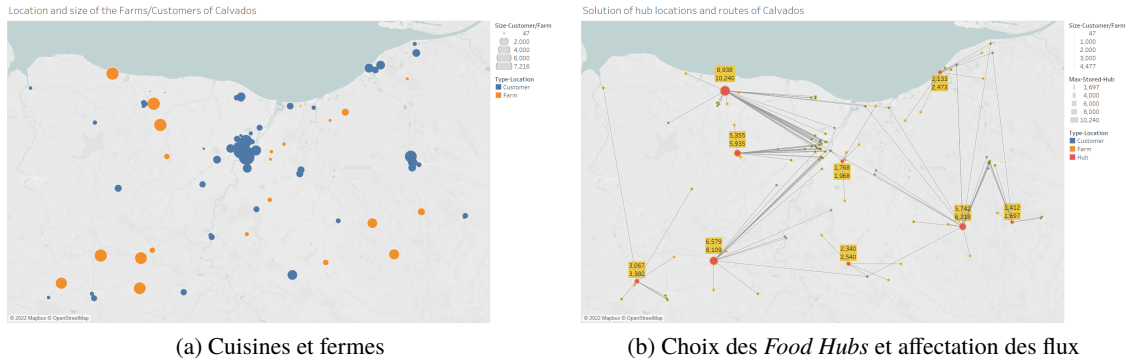


FIGURE 4 – Placement optimal des *Food Hubs* pour le Calvados

dans ce département (environ 4% pour les légumes par exemple). En revanche, pour le Calvados toutes les cuisines (68) sont desservies. En comparaison avec la Seine Maritime, la part de demande couverte par la production locale est plus importante dans le Calvados (cf. tableau 1).

Le tableau 3 ci-dessous décrit les solutions obtenues pour tous les départements normands. Pour chaque département, il donne les nombres de *Food Hubs* ouverts et de cuisines desservies, le coût de transport ainsi que le coût total (transport + utilisation des *hubs*). Les coûts sont exprimés en euros.

Département	Nb <i>Food Hubs</i> ouverts	Nb Cuisines desservies	Coût transport	Coût total
Seine-Maritime	12	13	9 423	10 623
Calvados	9	68	12 762	13 662
Manche	13	74	8 147	9 447
Eure	12	14	5 247	6 447
Orne	9	66	7 187	8 087

TABLEAU 3 – Résultats pour les cinq départements normands

4.2.2 Scénario alternatif : Cas d'une production excédentaire

Dans cette section, nous présentons les résultats obtenus pour des données différentes. Nous considérons ici le scénarios où la production en viande, lait et légumes est excédentaire par rapport à la demande. Par conséquent, seules les volumes de production sont modifiées par rapport au scénario précédent.

La Figure 5 montre la répartition des *Food Hubs* et des flux pour le Calvados et la Seine Maritime pour ce scénario.

Le tableau 4 donne les résultats pour tous les départements dans le cas d'une production excédentaire. Nous constatons qu'en règle générale, pour ce cas, plus de *Food Hubs* sont ouverts et que la quasi-totalité des clients sont desservies. Comme dans le cas de la production originale, nous observons que les *Food Hubs* sont, pour la plupart, ouverts à proximité des fermes existantes. Cela renforce encore l'idée d'exploiter, si possible, les fermes existantes. Enfin, ces résultats mettent en évidence la flexibilité de notre approche notamment lorsque les données de production ou de consommation sont amenées à évoluer.

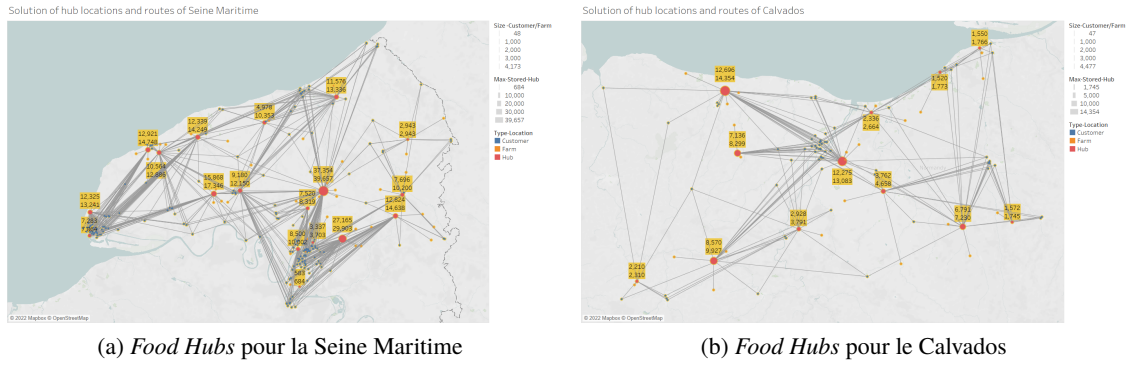


FIGURE 5 – Placement optimal des *Food Hubs* dans le scénario d'une production excédentaire

Département	Nb <i>Food Hubs</i> ouverts	Nb Cuisines desservies	Coût transport	Coût total
Seine-Maritime	18	205	51 161	52 961
Calvados	13	68	20 213	21 513
Manche	14	98	18 642	20 042
Eure	16	95	16 898	18 498
Orne	9	66	11 257	12 157

TABLEAU 4 – Résultats pour les cinq départements normands.

5. Conclusion et Perspectives

Cet article présente un outil d'aide à la décision pour étudier la problématique de localisation des *Food Hubs* dans une chaîne d'approvisionnement en circuit de proximité. L'outil est basé sur une formulation mathématique modélisant la problématique et ses diverses contraintes. Son application dans le cas des cinq départements normands permet de montrer une répartition pertinente des *Food Hubs* et des flux de produits sur le territoire normand. Les résultats confortent aussi l'idée d'ouvrir des *Food Hubs* dans des lieux proches des lieux de production.

Nous avons montré que le modèle mathématique introduit dans cet article présente l'avantage d'être flexible et s'adapte facilement aux modifications de données. Par exemple, il est possible d'ajouter d'autres familles de produits (comme le poisson) ou de détailler les familles de produits comme les légumes (pommes de terre, carottes, etc.) sans changer le modèle mathématique.

Une problématique brièvement évoquée est celle de l'adéquation entre la production locale et la demande des cuisines. Les volumes de produits locaux étant bien souvent déficitaires par rapport à la demande des cuisines, il est nécessaire d'élaborer des schémas d'approvisionnement et de consommation permettant de couvrir au mieux les besoins des cantines scolaires. L'outil développé ici peut permettre d'évaluer différents schémas et de choisir le plus efficient.

Enfin, dans le cas d'un schéma d'approvisionnement mixte combinant approvisionnement local et global, il est nécessaire d'intégrer les entrepôts de fournisseurs et les entreprises de l'agro-industrie. Le problème de localisation de *hubs* étudié dans cet article nécessite alors des modifications mineures pour ajouter les fournisseurs globaux dans la chaîne d'approvisionnement.

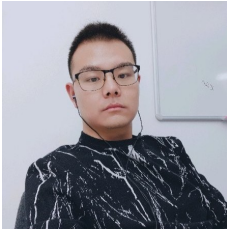
Références

ADEME (2011). Lettre Eco-Acteurs Ensemble 15.

IBM (2019). CPLEX 12.9. <https://www.ibm.com/products/ilog-cplex-optimization-studio>.

WIKIPEDIA (2022). Food Hubs. https://en.wikipedia.org/wiki/Food_hubs.

Biographie des auteurs



Yaheng CUI a un doctorat en Informatique de l'Ecole Centrale de Lille, obtenu en décembre 2020. Ses travaux portent sur les modèles de décisions décentralisées dans les réseaux logistiques. Il est actuellement Ingénieur de Recherche à l'Université Le Havre Normandie et travaille sur le projet RIN FuMa (Futur de la Marchandise).



Ibrahima DIARRASSOUBA est Enseignant-Chercheur en Mathématiques Appliquées à l'Université Le Havre Normandie. Ces travaux entrent dans le cadre de la Recherche Opérationnelle et plus particulièrement sur les problèmes de logistique, de transport et de conception de réseaux. Il est auteur de plusieurs publications dans des revues nationales et internationales.



Cedric JONCOUR est Enseignant-Chercheur en Mathématiques Appliquées à l'Université Le Havre Normandie. Ces travaux entrent dans le cadre de la Recherche Opérationnelle et plus particulièrement sur les problèmes de logistique, de transport et de conception de réseaux. Il publie ses travaux dans des revues nationales et internationales.



Sophie MICHEL Loyal est Enseignant-Chercheur en Mathématiques Appliquées à l'Université Le Havre Normandie. Ces travaux entrent dans le cadre de la Recherche Opérationnelle et plus particulièrement sur les problèmes de logistique, de transport et de planification tactique. Elle publie ses travaux dans des revues nationales et internationales.