

Louvain School of Management

Étude de centralisation de sites de production : cas appliqué à la production froide des selfs d'EpiCURA

Auteur : CRESTAN Joshua
Promoteur(s) : TANCREZ Jean-Sébastien
Année académique 2022-2023
Master [120] en ingénieur de gestion

Résumé

Depuis plusieurs années, l'environnement économique du secteur hospitalier est en constante évolution, poussant les hôpitaux à revoir leur organisation. Dans ce contexte dynamique, de plus en plus d'établissements de santé considèrent désormais les activités de logistique hospitalière comme un moyen de réaliser des économies potentielles.

Dans cette optique d'économie, ce mémoire-projet porte sur l'étude de la centralisation de la production froide destinée aux selfs des employés du centre hospitalier EpiCURA. L'objectif est d'évaluer les avantages financiers et organisationnels d'une telle modification. Le mémoire est divisé en trois parties majeures :

La première partie est consacrée à la revue de littérature, où sont explorés les concepts théoriques pertinents pour le projet, tels que les avantages et inconvénients généraux de la centralisation, ainsi que les problèmes de routage et de localisation des installations.

L'étude du cas pratique est développée dans la deuxième partie. Celle-ci commence par une présentation d'EpiCURA suivie d'une analyse du projet de centralisation dans laquelle les problèmes actuels sont identifiés. Des modèles d'optimisations permettant de définir les sites optimaux et la tournée optimale selon différentes alternatives sont ensuite détaillés. Pour finir, des formules permettant d'estimer les durées de production des repas froids sont présentées.

La troisième partie est dédiée à l'analyse managériale du projet. Pour commencer, une étude de rentabilité est réalisée pour déterminer le type de baguette le plus avantageux. Ensuite, les différentes options de centralisation sont envisagées et le scénario optimal est sélectionné. Celui-ci est, après cela, comparé à la situation actuelle afin de mesurer et détailler les divers gains qu'il engendre.

La conclusion de ce mémoire-projet est un bilan approfondi et récapitulatif des résultats, accompagné de recommandations concernant cette centralisation de la production froide.

Remerciements

Je tiens à remercier et exprimer ma gratitude envers toutes les personnes qui ont joué un rôle essentiel dans la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, je souhaite adresser mes remerciements les plus chaleureux à Mr. Benit, Mr. Fontaine et Mme. Adam pour leur accueil bienveillant chez EpiCURA, ainsi que pour leur engagement tout au long de cette période de recherche. Leur expertise et leur disponibilité ont été des atouts essentiels pour mener à bien ce projet.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers Mr. Tancrez, dont le soutien, la confiance et la disponibilité m'ont été d'une grande aide.

Un grand merci également à tous les membres du personnel d'EpiCURA pour leur coopération, leurs temps et leurs conseils.

Enfin, je tiens à remercier mes proches pour leur soutien et leurs encouragements.

Table des matières

1. Introduction	1
2. Revue de littérature	3
2.1 Le concept de centralisation	3
2.2 Les problèmes de routage	7
2.2.1 Le problème du voyageur de commerce	7
2.2.2 Le problème de tournées de véhicules	10
2.3 Les problèmes de localisation des installations	18
2.3.1 Le centre de gravité (COG)	18
2.3.2 Le problème de localisation des installations (UFLP)	19
3. Étude du cas pratique	22
3.1 Le centre hospitalier EpiCURA	22
3.2 Description du projet	26
3.2.1 Présentation du projet	26
3.2.2 Analyse de la situation actuelle	27
3.2.3 Les modifications à mettre en place	30
3.3 Détermination des lieux de production	34
3.3.1 Détermination du centre de gravité	35
3.3.2 Résultat du modèle d'optimisation de localisation des installations	36
3.3.3 Sélection des lieux de production	38
3.4 Détermination de la tournée	39
3.4.1 Modèle d'optimisation de la tournée	40
3.4.2 Modèle d'optimisation de la tournée à 2 dépôts	44
3.4.3 Modèle d'optimisation permettant d'utiliser les tournées existantes	46
3.4.4 Analyse des résultats	52
3.5 Détermination des temps de production	60
3.5.1 Analyse des temps de production actuels	60
3.5.2 Estimation des temps de production dans le cas d'une centralisation	65
4. Analyse managériale	71
4.1 Étude de rentabilité de la cuisson des baguettes	71
4.2 Analyses des différents scénarios	74
4.3 Comparaison avec la situation actuelle	81
4.3.1 Étude de la situation actuelle	82
4.3.2 Étude du scénario de centralisation	85
4.3.3 Comparaison des 2 situations	89

5. Conclusion	91
6. Références	94
7. Annexes	98

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les quantités moyennes mensuelles de repas froids sur chaque site	32
Tableau 2 : Le nombre d'employés sur chaque site pour la production froide	33
Tableau 3 : Le nombre de repas froids journaliers	35
Tableau 4 : Résultats du problème de localisation des installations	38
Tableau 5 : Résultats de la tournée 1 dépôt avec 1 véhicule et un retour au dépôt	53
Tableau 6 : Résultats de la tournée 1 dépôt avec 1 véhicule et sans retour dépôt	53
Tableau 7: Résultat scénario 2'	54
Tableau 8 : Résultats de la tournée 1 dépôt avec 2 véhicules et sans retour dépôt.....	54
Tableau 9 : Résultats de la tournée 2 dépôts avec 2 véhicules et un retour aux dépôts.....	55
Tableau 10 : Résultats de la tournée 2 dépôts avec 2 véhicules et sans retour dépôt	56
Tableau 11 : Résultats du modèle permettant d'utiliser les tournées existantes	58
Tableau 12 : Résumé des temps de production des repas froids.....	63
Tableau 13 : Estimation du nombre de repas froids journalier pour chaque site.....	66
Tableau 14 : Organisation de la production actuelle	82
Tableau 15 : Prix d'achat actuel des baguettes sur chaque site	83
Tableau 16 : Organisation de la production du scénario de centralisation	85
Tableau 17 : Organisation des préparations dans le scénario de centralisation	86
Tableau 18 : Comparaison de la situation actuelle et du scénario de centralisation	89

Liste des figures

Figure 1 : Exemple du TSP	8
Figure 2 : Exemple du VRP	10
Figure 3 : Les principales variantes du VRP	11
Figure 4 : La genèse d'EpiCURA	23
Figure 5 : Logo de l'accréditation OR.....	24
Figure 6 : Carte des sites d'EpiCURA	27
Figure 7 : Carte des centres géographique et de gravité	36
Figure 8 : Les matrices Sc et Sd.....	40
Figure 9 : Exemple avec 2 dépôts	44
Figure 10 : Les matrices Sc et Sd avec 2 dépôts.....	45
Figure 11 : Division en sous-tournées	47
Figure 12 : Décomposition en couples.....	47
Figure 13 : Exemple de la matrice des tournées	48
Figure 14 : Exemple de la matrice des missions.....	48
Figure 15 : Les scénarios potentiels pour la tournée avec 1 dépôt	52
Figure 16 : Les scénarios potentiels pour la tournée avec 2 dépôts.....	55
Figure 17 : Les 2 tournées intéressantes	59
Figure 18 : Les temps de production mesurés sur Ath.....	61
Figure 19 : Réorganisation des temps de production sur Ath	62
Figure 20 : Graphique comparant les temps unitaire sur les différents sites	63
Figure 21 : Technique de production des sandwichs sur Ath	64
Figure 22 : Technique de production des sandwichs sur Hornu	65
Figure 23 : Graphique comparant l'achat des 2 types de baguettes sur une période de 10 ans.....	73
Figure 24 : Les différents scénarios de centralisation potentiels	74
Figure 25 : Les 2 tournées intéressantes pour la centralisation	75
Figure 26 : Les 2 scénarios de centralisation sélectionnés	78
Figure 27 : Les 3 scénarios de centralisation sélectionnés avec une production de sandwichs en 2 parties	79
Figure 28 : Les tournées intéressants pour récupérer la vaisselle	81
Figure 29 : La tournée actuelle	83
Figure 30 : Organisation actuelle des préparations.....	84
Figure 31 : Tournée du scénario de centralisation	85

Liste des annexes

Annexe 1 : Tableau du nombre de chemins candidats en fonction du nombre de sommets ...	98
Annexe 2 : Les partenaires d'EpiCURA	98
Annexe 3 : Le menu du self chez EpiCURA le semaine du 24 avril 2023	99
Annexe 4 : Les tarifs du self	99
Annexe 5 : Les différents éléments de la tournée actuelle.....	100
Annexe 6 : Les caisses et conteneurs isothermes pour le transport	100
Annexe 7 : Les plans de la cuisine de Hornu	101
Annexe 8 : Les tournées actuelles du service transport	101
Annexe 9 : Les temps de trajets entre les sites d'EpiCURA	102
Annexe 10 : Les coordonnées des différents sites	102
Annexe 11: Les distances (en km) entre les différents sites :	102
Annexe 12 : Code Xpress du modèle d'optimisation de localisation des installations	102
Annexe 13 : Code Xpress du modèle d'optimisation de la tournée.....	103
Annexe 14 : Les modifications du codes pour le « VRP with no ending points »	106
Annexe 15 : Code Xpress du modèle d'optimisation de la tournée avec 2 dépôts	107
Annexe 16 : Modification de l'affichage pour plusieurs véhicules (sans retour dépôt)	110
Annexe 17 : Résultat du scénario 3 avec 3 véhicules :	110
Annexe 18 : Code Xpress du modèle d'optimisation permettant d'utiliser les tournées actuelles.....	111
Annexe 19 : Procédure pour stocker les tournées dans les matrices (cas avec possibilité de changements de tournées)	113
Annexe 20 : Procédure pour stocker les tournées dans les matrices (cas sans possibilité de changements de tournées)	115
Annexe 21 : Temps de production des sandwichs mesurés sur Baudour et Hornu	115
Annexe 22 : Temps de production des assiettes froides mesurés sur Baudour et Ath.....	116
Annexe 23 : Temps de préparation des sandwichs et assiettes froides mesurés sur Hornu...	116
Annexe 24 : Temps de production des sandwichs réarrangés sur Baudour et Hornu.....	117
Annexe 25 : Les différents scénarios	118
Annexe 26 : La tournée optimale du scénario 3''	120
Annexe 27 : Le trajet de cuisine vers la crèche à Hornu	120

1. Introduction

Depuis plusieurs années, l'environnement économique du secteur hospitalier est en constante évolution, poussant les hôpitaux à revoir leur organisation afin de s'adapter aux contraintes budgétaires. Dans ce contexte dynamique, de plus en plus d'établissements de santé considèrent désormais les activités de logistique hospitalière comme un moyen de réaliser des économies potentielles.

Dans cette optique d'économie, le centre hospitalier EpiCURA proposait une étude visant à calculer l'impact qu'une centralisation de la production froide destinée aux selfs des employés aurait d'un point de vue financier et organisationnel. Ce travail, qui est donc un mémoire-projet, a pour objectif de définir et quantifier la mise en place de cette centralisation. Ce mémoire s'appuie sur un stage de 3 mois au sein d'EpiCURA durant lequel les informations nécessaires à cette mission ont pu être collectées et analysées. Il est divisé en trois parties majeures.

La première partie est la revue de littérature. Elle consiste à explorer les concepts théoriques pertinents pour ce projet de centralisation de la production froide. Elle inclut l'analyse des avantages et inconvénients généraux de celle-ci ainsi que des problèmes de routage et de localisation des installations. Ces derniers sont accompagnés de modèles mathématiques appropriés.

La deuxième partie est consacrée à l'étude du cas pratique. Nous commencerons par présenter EpiCURA puis nous analyserons le projet de centralisation. Nous identifierons ensuite les problèmes de la situation actuelle pour proposer les solutions à mettre en place. En utilisant les problèmes de localisation des installations et de routage, nous déterminerons les lieux optimaux et le trajet optimal de la tournée pour la centralisation. Enfin, nous estimerons les durées de production des repas froids en nous appuyant sur des formules basées sur des mesures.

La troisième partie est consacrée à l'analyse managériale du projet. Nous commencerons par réaliser une étude de rentabilité pour identifier le type de baguette le plus avantageux. Après cela, nous identifierons les différentes options de centralisation afin de sélectionner le scénario optimal. Celui-ci sera ensuite comparé à la situation actuelle afin d'évaluer les gains potentiels.

Dans la conclusion de ce mémoire-projet, nous dresserons un bilan approfondi des résultats et des recommandations concernant la centralisation de la production froide destinée aux selfs d'EpiCURA. Nous analyserons l'impact des solutions proposées sur l'efficacité logistique et la rentabilité de l'établissement, tout en abordant les perspectives d'amélioration et d'optimisation de cette initiative de centralisation à long terme.

2. Revue de littérature

Dans ce chapitre, nous allons détailler les concepts théoriques intéressants et utiles pour réaliser le projet de centralisation de la production froide destinée aux selfs d'EpiCURA. Nous commencerons par définir le concept de centralisation en analysant les avantages et inconvénients qu'il engendre. Ensuite, nous détaillerons différents problèmes de routage permettant d'optimiser la tournée de véhicule. Nous commencerons par un modèle simple pour après détailler des variantes plus complexes. Nous finirons par développer des problèmes de localisation des installations permettant de définir l'endroit optimal où centraliser la production. Pour chacun des problèmes, un modèle mathématique est présenté.

2.1 Le concept de centralisation

La centralisation des lieux de production est un concept clé dans le domaine de l'industrie et de l'économie. Il désigne le regroupement des activités de production en un nombre restreint de sites, au lieu de les disperser sur plusieurs sites géographiquement distincts. Cette approche est couramment adoptée par les entreprises pour diverses raisons, notamment pour réduire les coûts de production, améliorer l'efficacité et la coordination, et faciliter la gestion des opérations. Cependant, la centralisation suscite également des débats quant à ses conséquences sur l'économie locale, l'emploi, l'environnement et la résilience des entreprises.

Dans un contexte où les établissements sont désormais constitués de plusieurs sites, de nombreux échanges de divers matériels (tels que médicaments, nourriture, linge, échantillons ...) ont lieu entre eux. Les gestionnaires des établissements commencent à examiner les activités de transport au sein de leur organisation afin de trouver des solutions leur permettant de diminuer les coûts.

On peut définir la centralisation intersites comme étant une méthodologie de gestion logistique qui vise à rationaliser et optimiser les échanges de biens et de services entre les différents sites ou établissements d'une même organisation. Elle consiste à regrouper les activités de transport, de stockage et de distribution au sein d'une entité centrale, plutôt que de les gérer de manière dispersée sur chaque site. Elle peut donc être motivée par plusieurs facteurs économiques, logistiques et organisationnels.

Les étapes principales pour réaliser une centralisation sont les suivantes :

1. Analyse des besoins : il est essentiel de réaliser une analyse approfondie des besoins de chaque site en matière de biens et de services. Cela permet de comprendre les flux de matériel entre les sites, d'identifier les points critiques et de déterminer les quantités nécessaires à chaque site.

2. Sélection des sites centraux : une fois les besoins analysés, il convient de choisir les sites qui joueront le rôle de centres de distribution. Ces sites centraux doivent être stratégiquement situés pour faciliter la distribution efficace des produits vers les autres sites.

3. Mise en place des infrastructures : les sites centraux doivent être équipés d'infrastructures appropriées pour le stockage et la distribution des biens. Cela peut inclure des entrepôts, des systèmes de gestion de stock, des moyens de transport adaptés ...

4. Consolidation des flux : la centralisation intersites implique de rassembler les commandes provenant de différents sites pour les regrouper en un seul envoi. Cela permet de réduire le nombre de transports et d'optimiser les coûts logistiques.

5. Gestion des stocks : en centralisant les stocks, il est possible de mieux contrôler les niveaux d'inventaire et d'éviter les surstocks ou les ruptures de stock, ce qui permet d'optimiser les coûts liés au stockage.

6. Utilisation de technologies de l'information : les technologies de l'information jouent un rôle crucial dans la gestion de la centralisation intersites. Des systèmes de gestion de la chaîne d'approvisionnement, de suivi des envois, et de gestion des stocks peuvent être utilisés pour améliorer l'efficacité et la visibilité des opérations logistiques.

7. Suivi et évaluation : une fois la centralisation intersites mise en place, il est important de suivre régulièrement les performances logistiques, d'analyser les résultats et de procéder à des ajustements si nécessaires pour améliorer continuellement le système.

Opter pour une centralisation permet plusieurs avantages dont voici les principaux :

- La centralisation évite la dilution des responsabilités et favorise la prise de décisions cohérentes avec la stratégie définie.
- Elle permet mathématiquement, combinée à une mise en commun des ressources, une réduction des effectifs.
- Un autre avantage est qu'elle permet d'avoir un meilleur contrôle sur le respect des procédures. Pour certaines industries, cela peut faciliter la conformité aux réglementations en vigueur, car il est plus facile de suivre les normes et les exigences légales dans un lieu unique.
- Elle harmonise des pratiques et professionnalise les métiers, ce qui est plus difficile au sein d'un réseau d'acteurs isolés sur leurs sites de production ou de distribution. En effet, regrouper des travailleurs hautement spécialisés dans un même lieu, favorise la collaboration, le partage des connaissances et l'amélioration continue des processus de production.
- La centralisation peut également faciliter l'automatisation de certaines étapes de processus.
- Elle permet aux entreprises de réaliser des économies d'échelle, car en augmentant leur production sur un nombre restreint de sites cela réduit les coûts unitaires de production. En produisant en grande quantité, une entreprise peut aussi négocier des tarifs réduits auprès des fournisseurs, réduire les coûts de transport, partager les frais généraux entre plusieurs unités de production ...
- Elle offre également aux entreprises la possibilité, en concentrant leurs ressources techniques et humaines sur quelques sites spécialisés, de favoriser l'innovation et la recherche et développement.
- Elle permet aux entreprises d'améliorer la coordination et la communication entre les équipes, ce qui peut accroître l'efficacité opérationnelle.
- Pour finir, la centralisation facilite la standardisation des procédés et des produits, ce qui peut conduire à une meilleure qualité globale. En effet, avoir une équipe centralisée fait en sorte que l'adhésion aux façons de faire est plus facile à réaliser qu'avec des individus répartis sur plusieurs sites.

Il y a cependant quand même des inconvénients à prendre en compte lorsqu'une centralisation est envisagée. Les principaux désavantages sont les suivants :

- Il y a une plus grande vulnérabilité aux risques. En effet, la centralisation peut rendre les entreprises plus vulnérables aux catastrophes naturelles, aux perturbations politiques ou aux problèmes logistiques survenant dans la région centrale. Si le site central est touché par une perturbation, tous les sites qui en dépendent seront aussi affectés. Si c'est un événement catastrophique majeur qui survient au niveau du site central, il pourrait entraîner la perte totale des activités de l'entreprise, car toutes les ressources sont concentrées en un seul endroit.
- La fermeture de sites de production dans certaines régions peut entraîner une perte d'emplois et des répercussions négatives sur l'économie locale.
- La concentration des activités peut entraîner une dépendance excessive envers une région/un site spécifique, ce qui peut affecter la capacité des entreprises à résister, à s'adapter et à se rétablir face à des perturbations, des crises ou des chocs économiques, environnementaux ou sociaux.
- La centralisation peut entraîner des défis logistiques en particulier si le site central est éloigné des matières premières, des fournisseurs ou des clients. Cela peut entraîner des délais d'approvisionnement plus longs, des coûts de transport plus élevés et des retards dans la livraison des produits finis.
- Les coûts de transport du site central vers les clients peuvent augmenter, en raison de distances plus grandes à parcourir.

En conclusion, la centralisation de plusieurs sites de production est un sujet parfois complexe avec des avantages et des inconvénients. Elle offre des opportunités d'économies d'échelle, de coordination, de standardisation et d'innovation, mais peut également engendrer des risques et des pertes d'emplois locaux. Les entreprises doivent donc évaluer attentivement les implications de la centralisation avant de prendre des décisions stratégiques.

2.2 Les problèmes de routage

Les problèmes de routage (« routing problems ») font référence à un ensemble de problèmes qui consistent à déterminer les meilleures routes ou itinéraires pour relier des points spécifiques dans un réseau. L'objectif principal est de trouver un itinéraire optimal ou une séquence optimale de déplacements tout en respectant certaines contraintes.

Ces problèmes sont donc importants dans le cadre d'une centralisation, car en déterminant les itinéraires les plus efficaces ils permettent d'optimiser les flux logistiques, de réduire les coûts opérationnels, d'améliorer la gestion de ressources ainsi que l'empreinte environnementale ou encore d'améliorer la satisfaction des clients.

Dans cette partie, nous commencerons par décrire le problème du voyageur de commerce qui est un des problèmes de routage le plus connu et simple qui sert de référence pour les autres modèles plus complexes. Ensuite, nous poursuivrons en exposant le problème classique de routage des véhicules ainsi que des variantes de celui-ci : en prenant en compte la capacité des véhicules ou les fenêtres de temps. Pour ces derniers, une description détaillée du problème est accompagnée d'un algorithme de résolution exact.

2.2.1 Le problème du voyageur de commerce

Le problème du voyageur de commerce (« Traveling Salesman Problem » – TSP), formulé pour la première fois en 1930, est l'un des problèmes les plus étudiés dans le domaine de l'optimisation. Il s'agit d'un problème d'optimisation combinatoire¹ dans lequel un voyageur de commerce doit visiter un certain nombre de villes différentes, en partant et en revenant à sa ville d'origine, tout en minimisant la distance totale parcourue. En d'autres termes, il s'agit de déterminer le chemin le plus court possible pour visiter toutes les villes une seule fois et revenir au point de départ (voir Figure 1).

¹ Un problème d'optimisation combinatoire : est un type de problème d'optimisation dans lequel nous cherchons à trouver la meilleure solution parmi un ensemble fini de possibilités.

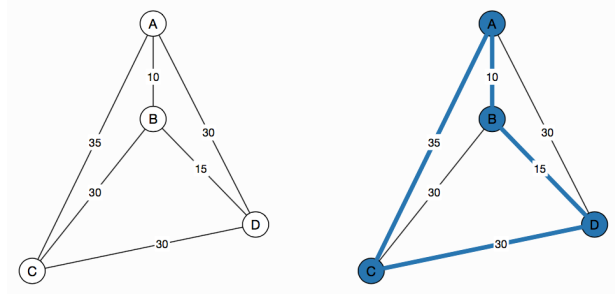


Figure 1 : Exemple du TSP

La formulation mathématique du TSP asymétrique est la suivante : considérons un graphe $G=(V,E)$ défini par V (l'ensemble des sommets numéroté de 0 à n) et E (l'ensemble des arêtes définies comme (i,j) avec i et $j \in V$). Les sommets (ou nœuds) sont les entités fondamentales du graphe, ils représentent les villes dans ce problème. Les arêtes sont les connexions entre les sommets du graphe, elles représentent dans ce cas la section de route reliant les villes. À chaque arête est associé un poids d_{ij} ($\forall (i,j) \in E$) qui lui est propre décrivant le coût qu'engendre la sélection de l'arête (i,j) . Une variable de décision x_{ij} est associée à chaque arête (i,j) , elle est égale à 1 si l'algorithme sélectionne l'arête allant du sommet i au sommet j et à 0 sinon.

$$\text{Min} \sum_{i \in V} \sum_{\substack{j \in V \\ j \neq i}} d_{ij} x_{ij} \quad (1.1)$$

$$\text{s. t :} \quad \sum_{\substack{j \in V \\ j \neq i}} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (1.2)$$

$$\sum_{\substack{i \in V \\ j \neq i}} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in V \quad (1.3)$$

$$\sum_{\substack{i,j \in S \\ i \neq j}} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset V : 2 \leq |S| \leq n - 2 \quad (1.4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \in V : i \neq j \quad (1.5)$$

La fonction objectif (1.1) permet de minimiser la somme des poids des arêtes (le coût total) du circuit hamiltonien² (dans G) réalisé par le voyageur de commerce. Les contraintes (1.2) et (1.3) indiquent que pour chaque sommet, une seule arête doit y rentrer et y sortir. La contrainte (1.4) permet la suppression des sous-tours (S représente un sous-ensemble des sommets de V). La contrainte (1.5) impose que les variables de décisions soient binaires.

² Un circuit hamiltonien : est un circuit passant par tous les nœuds une et une seule fois

La formulation présentée ci-dessus a été proposée par Dantzig et al. (1954). Elle est celle du problème du voyageur de commerce asymétrique (ATSP), cela signifie que le poids entre 2 sommets i et j d'une arête n'est pas forcément le même qu'on aille de i à j ou de j à i .

Malgré qu'il soit en apparence assez simple, le problème du voyageur de commerce est plus compliqué qu'il n'y paraît. En effet, lorsqu'il y a un grand nombre de sommets, nous ne connaissons pas de méthode de résolution permettant d'obtenir des solutions exactes en un temps raisonnable. Nous devons donc nous contenter de solutions approchées.

Nous pouvons visualiser facilement le fait que nous nous retrouvons face à une explosion combinatoire. En effet, le nombre de circuits hamiltoniens dans un graphe contenant n sommets ou plus est de $\frac{(n-1)!}{2}$. Cela signifie donc par exemple que pour un graphe de 20 sommets, il existe $6,082 \cdot 10^{16}$ chemins candidats ce qui devient vite extrêmement complexe à résoudre en un temps raisonnable pour un ordinateur (voir tableau en Annexe 1).

Les problèmes sont classés selon leur classe de complexité :

- **La classe P** (« Polynomial ») : regroupe les problèmes de décision (réponse égale à « oui ou non ») qui peuvent être résolus en un temps polynomial. Les problèmes les plus simples font partie de cette classe.

- **La classe NP** (« Nondeterministic Polynomial ») : regroupe les problèmes de décisions qui peuvent être vérifiés par un algorithme dans un temps polynomial.

- **La classe NP-complet** : regroupe les problèmes les plus difficiles de la classe NP. Un problème est dit NP-complet s'il est à la fois dans la classe NP et que tout autre problème de la classe NP peut être réduit à lui en un temps polynomial. Ils ont un temps d'exécution exponentiel en fonction de la taille des données d'entrée.

- **La classe NP-difficile** : regroupe les problèmes au moins aussi difficiles que les problèmes NP-complets. Ils ne nécessitent pas d'appartenir à la classe NP, contrairement aux problèmes NP-complets, et ils ne sont pas nécessairement vérifiables en temps polynomial. Ils servent de point de référence pour évaluer la complexité des problèmes.

Le problème du voyageur de commerce peut donc être divisé en différents problèmes potentiellement plus faciles à résoudre. Par exemple, une version du problème où l'on demande

s'il existe un trajet passant par toutes les villes dont la distance est inférieure à x kilomètres ? C'est une question "oui" ou "non", et nous sommes dans la classe de complexité NP.

Une autre version du problème classé NP-complet serait de demander s'il existe un circuit ou un chemin hamiltonien dans un graphe G donné.

Le problème du voyageur de commerce complet est au moins aussi difficile que la version simplifiée mentionnée ci-dessus, puisqu'il demande de trouver tous les cycles hamiltoniens possibles, puis de trouver le plus court d'entre eux. Par conséquent, le problème du voyageur de commerce est classé dans la catégorie des problèmes NP-difficiles.

2.2.2 Le problème de tournées de véhicules

Le problème de tournées de véhicules ("Vehicles Routing Problem" – VRP) est un problème d'optimisation combinatoire qui consiste à déterminer les itinéraires les plus efficaces pour une flotte de véhicules effectuant des livraisons ou des collectes à partir d'un dépôt central. Le VRP vise également à minimiser les coûts totaux (tels que les distances parcourues, les temps de conduite ...). La Figure 2 est un exemple d'une solution obtenue avec ce problème : il y a 3 véhicules qui partent du dépôt et ils minimisent le coût total (somme des poids des arêtes).

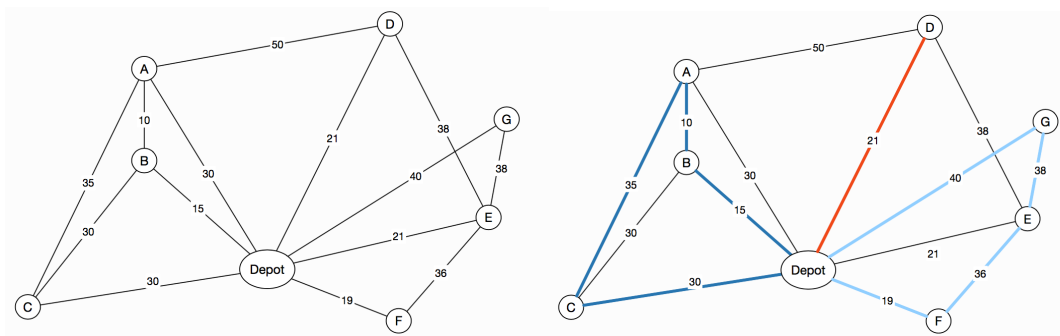


Figure 2 : Exemple du VRP

Dans le problème du VRP, chaque véhicule part du dépôt, visite un ou plusieurs clients sans répétition, garantissant que tous les clients soient desservis, puis revient au dépôt. Chaque client est desservi par un seul et même véhicule.

Ce problème peut être vu comme une généralisation du problème du voyageur de commerce. C'est donc également un problème de classe NP-difficile (Cordeau et al, 2007).

La première formulation du VRP classique par Dantzig et Ramser en 1959 a été publiée dans un article intitulé "The Truck Dispatching Problem". Il modélisait la manière dont une flotte de camions homogènes pouvait répondre à la demande de pétrole d'un certain nombre de stations-service à partir d'un point central et en parcourant une distance minimale.

Cinq ans plus tard, Clarke & Wright (1964) ont généralisé ce problème à un problème d'optimisation linéaire couramment rencontré dans le domaine de la logistique et du transport : il s'agit de savoir comment desservir un ensemble de clients, géographiquement dispersés autour d'un dépôt central, à l'aide d'une flotte de camions de capacités variables.

Les modèles VRP actuels sont toutefois très différents de ceux introduits par Dantzig & Ramser (1959) et Clarke & Wright (1964), car ils visent de plus en plus à intégrer les complexités de la vie réelle, comme les temps de trajet dépendant du temps (reflétant les embouteillages), les fenêtres temporelles pour l'enlèvement et la livraison ... Aujourd'hui, la littérature sur le VRP se développe de manière exponentielle à un rythme de 6 % par an (Kris Braekers et al., 2016).

Ce problème possède donc de nombreuses variantes, ajoutant par exemple des contraintes sur les véhicules ou sur les clients. La Figure 3 ci-dessous classe les principales variantes du VRP (Chen & Yang, 2017). Celles-ci peuvent être combinées entre elles pour obtenir des formulations plus complexes et plus adaptées à des problèmes spécifiques.

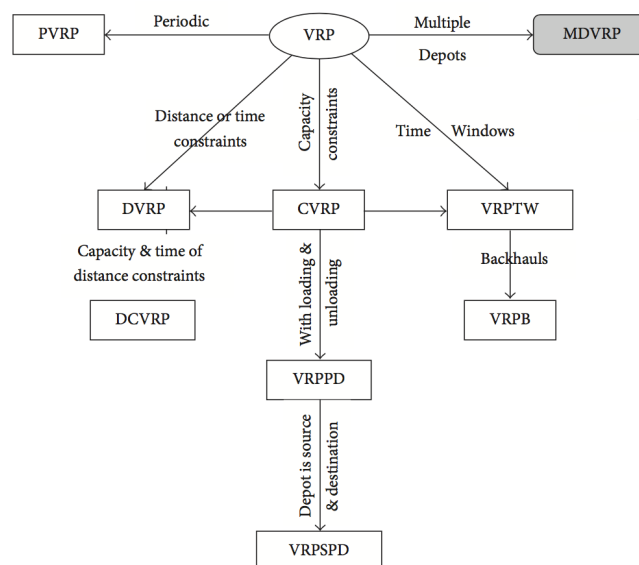


Figure 3 : Les principales variantes du VRP

Les variantes les plus courantes sont :

- **VRP avec capacité (CVRP)** : cette variante ajoute une contrainte de capacité aux véhicules, ce qui signifie que chaque véhicule a une limite de charge maximale à respecter lors des livraisons ou des collectes. C'est la variante la plus courante, 90% de la recherche actuelle est basée sur celle-ci (Kris Braekers et al., 2016).
- **VRP avec fenêtre temporelle (VRPTW)** : cette variante tient compte des contraintes de temps imposées aux clients. Chaque client a une fenêtre de temps spécifique dans laquelle il peut être servi, et les véhicules doivent respecter ces contraintes lors de la planification des itinéraires.
- **VRP avec plusieurs dépôts (MDVRP)** : cette variante concerne la situation où il existe plusieurs dépôts à partir desquels les véhicules partent pour desservir les clients. Chaque dépôt peut avoir sa propre flotte de véhicules.
- **VRP avec véhicules hétérogène (HVRP)** : dans cette variante du VRP, les véhicules diffèrent par leurs capacités, leurs coûts de fonctionnement, leurs vitesses, etc. Elle tient compte des caractéristiques hétérogènes des véhicules et vise à optimiser les itinéraires en tenant compte de ces différences.
- **VRP avec ramassage et livraison (VRPPD)** : dans cette variante, les véhicules sont chargés de réaliser à la fois des opérations de ramassage (« pickup ») et des opérations de livraison (« delivery ») auprès des clients. Chaque client est soit un point de collecte, soit un point de livraison.
- **VRP avec « backhauls » (VRPB)** : cette variante est similaire au problème de ramassage/livraison, mais, sur chaque itinéraire, toutes les livraisons doivent être effectuées avant tout ramassage.
- **VRP périodique (PVRP)** : cette variante du VRP prend en compte des contraintes de périodicité dans la planification des itinéraires. Par exemple, chaque client doit être visité un certain nombre de fois durant une période définie. Elle trouve des applications dans différents domaines tels que la distribution de produits périssables, la collecte de déchets, la maintenance

périodique, etc., où les activités de livraison ou de service doivent être effectuées de manière récurrente selon une périodicité définie.

Le CVRP, étant très utilisé, est considéré comme un problème NP-difficile. Par conséquent, au lieu de résoudre le CVRP lui-même, nous nous intéressons souvent à la relaxation LP du problème. En effet, la relaxation LP le transforme en un problème de programmation linéaire qui peut être résolu en un temps polynomial (Pham, 2021).

Nous allons donc nous intéresser à la formulation de programmation linéaire en nombres entiers proposée par Laporte, Nobert et Desrochers en 1985 du CVRP bien connue dans la littérature.

Dans cette formulation symétrique, les clients, le dépôt et les routes forment un graphe non-orienté $G=(V,E)$ où V est l'ensemble des sommets (numéroté de 0 à n où 0 est le dépôt). Chaque sommet $i \in V \setminus \{0\}$ représente un client dont la demande q_i est non négative. E est l'ensemble des arêtes et, tout comme le TSP, nous notons (i,j) une arête reliant les sommets d'indice i et j (avec i et $j \in V$). Cependant, dans ce modèle, nous utiliserons un seul index e associé aux arêtes (i,j) ($e \in E$). À chaque arête $e \in E = \{(i,j) : i,j \in V, i < j\}$ est associé un coût de déplacement c_e . Il y a également une flotte fixe de m véhicules identiques, chacun de capacité Q , disponible au dépôt.

On utilise une variable x_e pour chaque arête $e \in E$ qui indique le nombre de fois qu'elle fait partie de la solution : 0 indique que l'arête n'est empruntée par aucun véhicule, 1 signifie qu'un véhicule emprunte cette arête une fois et 2 indique que le véhicule fait un aller-retour (ce qui n'est possible que quand le véhicule part du dépôt, dessert un client et retourne directement au dépôt) (Baudoux, 2018). Pour un ensemble de sommets $S \subseteq V$, nous notons $\delta(S)$ l'ensemble des arêtes $e \in E$ qui ont une seule extrémité dans S (donc $\delta(S) = \{(i,j) : i \in S, j \notin S \text{ ou } i \notin S, j \in S\}$) (Cordeau et al, 2005). Si nous considérons un seul sommet $i \in V$ plutôt qu'un ensemble de sommets, nous notons $\delta(i)$ plutôt que $\delta(\{i\})$. Nous notons également $r(S)$, pour un ensemble de sommets $S \subseteq V \setminus \{0\}$, le nombre minimum de véhicules nécessaires pour servir tous les clients dans S . Il est souvent approximé par la « lower bound » du « Bin Packing Problem » (BPP) : $r(s) = \frac{\sum_{i \in S} q_i}{Q}$ (Toth & Vigo, 2001). Par exemple, si S contient 3 clients ayant une

demande de 10, 30 et 50 et que la capacité des véhicules est de 60, il faudra au minimum 2 véhicules ($r(S) = 2$).

$$\text{Min } \sum_{e \in E} c_e x_e \quad (2.1)$$

$$\text{s. t : } \sum_{e \in \delta(i)} x_e = 2 \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (2.2)$$

$$\sum_{e \in \delta(0)} x_e = 2m \quad (2.3)$$

$$\sum_{e \in \delta(0)} x_e \geq 2r(S) \quad \forall S \subseteq V \setminus \{0\}, S \neq \emptyset \quad (2.4)$$

$$x_e \in \{0,1\} \quad \forall e \notin \delta(0) \quad (2.5)$$

$$x_e \in \{0,1,2\} \quad \forall e \in \delta(0) \quad (2.6)$$

La fonction objectif (2.1) permet de minimiser le coût total des trajets. La première contrainte (2.2) stipule que chaque client est visité exactement une fois ; pour chaque client, un véhicule arrive et sort de ce nœud. La contrainte (2.3) signifie que m itinéraires sont créés ; les m véhicules utilisés sortent et reviennent au dépôt. La contrainte (2.4) a un double effet : elle impose que les véhicules respectent leur contrainte de capacité en assurant que pour chaque sous-ensemble de clients, il y ait au moins le nombre minimum requis de véhicules pour les desservir et elle impose également que les véhicules passent par le dépôt lors de leur tournée. Enfin, les contraintes (2.5) et (2.6) imposent que chaque arête entre deux clients soit parcourue au maximum une fois et que chaque arête incidente au dépôt soit parcourue au maximum deux fois. Dans ce dernier cas, le véhicule effectue un trajet en visitant un seul client.

Dans le cas d'un VRP classique, où nous n'avons pas de contrainte de capacité sur les véhicules, la contrainte (2.4) peut être remplacée par la contrainte (2.7). Celle-ci empêche qu'un véhicule effectue une tournée sans passer par le dépôt. En effet, pour un sous-ensemble S d'arêtes non connectées au dépôt il ne peut y avoir au maximum que $|S| - 1$ arêtes dans le cycle ce qui est impossible sans passer par le dépôt. Cependant, cette formulation donne lieu à un nombre exponentiel de contraintes, car il y en a une pour chaque sous-ensemble $S \subseteq E \setminus \delta(0)$ et qu'il en existe 2^n .

$$\sum_{e \in S} x_e \leq |S| - 1 \quad \forall S \subseteq E \setminus \delta(0), S \neq \emptyset \quad (2.7)$$

Un autre problème intéressant à développer est le VRPTW (avec fenêtres temporelles). Ce problème est une généralisation importante du VRP classique dans lequel le service à chaque client i doit être réalisé dans une fenêtre temporelle donnée $[a_i, b_i]$. Un véhicule est autorisé à arriver avant a_i et à attendre que le client soit disponible, mais les arrivées après b_i sont interdites. Le VRPTW est de complexité NP-difficile puisqu'il généralise le CVRP qui est obtenu lorsque $a_i = 0$ et $b_i = \infty$ pour chaque client i (Cordeau et al, 2007). Dans le cas d'une flotte de taille fixe, même la recherche d'une solution réalisable au VRPTW est un problème NP-complet (Toth & Vigo, 2001). Cependant, lorsque le problème est suffisamment contraint (c'est-à-dire lorsque les fenêtres temporelles sont suffisamment étroites), des instances de taille réaliste peuvent être résolues de manière optimale grâce à des techniques de programmation mathématique.

Le VRPTW peut être défini sur un graphe orienté $G=(V,A)$ où $|V|=n+2$, et le dépôt est représenté par les deux sommets 0 et $n+1$. Tous les itinéraires possibles pour les véhicules correspondent à des chemins dans G qui commencent au sommet 0 et se terminent au sommet $n+1$. L'ensemble des véhicules est noté K , avec $|K|=m$. Outre la fenêtre temporelle $[a_i, b_i]$ associée à chaque sommet $i \in N = V \setminus \{0, n+1\}$, une fenêtre temporelle est également associée aux sommets 0 et $n+1$ du dépôt : c'est-à-dire $[a_0, b_0] = [a_{n+1}, b_{n+1}] = [E, L]$, où E et L représentent respectivement le départ le plus tôt possible du dépôt et l'arrivée la plus tardive possible au dépôt. Nous notons s_i le temps de service en i (avec $s_0 = s_{n+1} = 0$) et t_{ij} le temps de trajet de i à j . Comme dans le CVRP, q_i représente la demande du client i , Q la capacité de chaque véhicule et c_{ij} le coût associé à l'arc (i,j) ($\forall (i,j) \in A$).

La formulation du problème qui suit a été formulée par Desrochers et al. (1988). Ce modèle implique deux types de variables : la variable binaire x_{ij}^k (avec $(i,j) \in A$ et $k \in K$) égale à 1 si l'arc (i,j) est utilisé par le véhicule k (0 sinon) et la variable continue w_i^k (avec $i \in N$ et $k \in K$) indiquant l'heure à laquelle le véhicule k commence à desservir le sommet i .

On note aussi $\delta^+(i) = \{j : (i,j) \in A\}$ l'ensemble des sommets j pour lesquels il existe un arc orienté partant du sommet i et arrivant au sommet j : c'est l'ensemble des successeurs du

sommet i . La notation $\delta^-(j) = \{i : (i,j) \in A\}$ signifie quant à elle l'ensemble des sommets i pour lesquels il existe un arc orienté partant du sommet i et arrivant au sommet j : c'est donc l'ensemble des prédécesseurs du sommet j . De la même manière, les notations $\delta^+(0)$ et $\delta^-(0)$ représentent respectivement l'ensemble des sommets vers lesquels le sommet 0 (dépôt) peut se déplacer (par les arcs sortants) et l'ensemble des sommets qui peuvent atteindre le sommet 0 (par les arcs rentrants) dans un graphe orienté.

$$\text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij}^k \quad (3.1)$$

$$\text{s. t :} \quad \sum_{k \in K} \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in N \quad (3.2)$$

$$\sum_{j \in \delta^+(0)} x_{0j}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (3.3)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(j)} x_{ij}^k - \sum_{i \in \delta^+(j)} x_{ji}^k = 1 \quad \forall k \in K, \forall j \in N \quad (3.4)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(n+1)} x_{i,n+1}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (3.5)$$

$$x_{ij}^k (w_i^k + s_i + t_{ij} - w_j^k) \leq 0 \quad \forall k \in K, \forall (i,j) \in A \quad (3.6)$$

$$a_i \leq w_i^k \leq b_i \quad \forall k \in K, \forall i \in V \quad (3.7)$$

$$\sum_{i \in N} q_i \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ij}^k \leq Q \quad \forall k \in K \quad (3.8)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, \forall (i,j) \in A \quad (3.9)$$

La fonction objectif (3.1) minimise le coût total des trajets. La contrainte (3.2) stipule que chaque client est visité exactement une fois, tandis que les contraintes (3.3) à (3.5) garantissent que chaque véhicule est utilisé exactement une fois, que chaque véhicule doit sortir du dépôt et y retourner en fin de tournée et que la conservation du flux est satisfaite à chaque sommet (client). La cohérence des variables temporelles w_k^i est assurée par la contrainte (3.6), tandis que les fenêtres temporelles sont imposées par la contrainte (3.7). Ces contraintes éliminent

également les sous-tours. Enfin, la contrainte (3.8) impose la restriction de la capacité des véhicules et la (3.9) que les variables x_{ij}^k soient binaires.

Cette formulation est non linéaire, dû à la contrainte (3.6) (Cordeau et al, 2005). Nous pouvons linéariser ce modèle en remplaçant cette contrainte par celle ci-dessous (3.10) notamment grâce à la contrainte de binarité (3.9) (Toth & Vigo, 2001).

$$w_j^k \geq w_i^k + s_i + t_{ij} - M_{ij}(1 - x_{ij}^k) \quad \forall k \in K, \forall (i, j) \in A \quad (3.10)$$

Où M_{ij} sont des grandes constantes. M_{ij} peuvent être remplacées par $\max\{0, b_i + s_i + t_{ij} - a_j\}$.

Dans la pratique, les problèmes de VRP (Vehicle Routing Problem) peuvent être résolus en utilisant différentes approches, en fonction de la taille du problème, des contraintes spécifiques et des objectifs recherchés. Les méthodes les plus couramment utilisées pour résoudre ces problèmes sont les suivantes :

- **Méthodes exactes** : Ces méthodes visent à trouver une solution optimale en examinant toutes les possibilités. Elles utilisent des techniques de programmation linéaire en nombres entiers (ILP) ou de recherche exhaustive pour explorer l'ensemble des solutions. Nous retrouvons également le « branch-and-bound » qui est une méthode de recherche systématique qui explore l'espace des solutions en divisant le problème en sous-problèmes plus petits. Il permet de trouver une solution optimale en évaluant de manière exhaustive toutes les combinaisons possibles. Les méthodes exactes sont généralement utilisées pour des problèmes de taille modérée ou lorsque des solutions optimales sont nécessaires.

- **Méthodes heuristiques** : Les méthodes heuristiques sont des approches d'optimisation qui fournissent des solutions de qualité acceptable dans un temps raisonnable. Elles sont basées sur des règles et des stratégies de construction d'itinéraires et d'affectation des clients aux véhicules. Parmi les méthodes heuristiques populaires pour le VRP, nous trouvons l'heuristique du plus proche voisin, l'heuristique de l'insertion la plus éloignée ou encore l'heuristique de recuit simulé.

- **Métaheuristiques** : Les métaheuristiques sont des techniques d'optimisation qui combinent des procédures de recherche globale et locale pour trouver des solutions de haute qualité. Elles permettent d'explorer efficacement l'espace des solutions et d'éviter de rester bloqué dans des optima locaux. Les métaheuristiques couramment utilisées pour le VRP comprennent les algorithmes génétiques, les algorithmes de colonies de fourmis, les algorithmes de recherche tabou, les algorithmes d'optimisation par essaim de particules ...

- **Approches hybrides** : Les approches hybrides combinent différentes méthodes et techniques pour résoudre les problèmes de VRP. Elles peuvent combiner des méthodes exactes avec des heuristiques pour obtenir des solutions de qualité supérieure. Par exemple, une méthode hybride peut commencer par utiliser une heuristique pour générer une solution initiale, puis appliquer une méthode exacte pour améliorer cette solution.

2.3 Les problèmes de localisation des installations

Lorsque l'on souhaite centraliser plusieurs sites et mettre en place des tournées pour les desservir, nous pouvons nous poser la question de la localisation des installations. Pour cela, nous pouvons faire appel au « facility location problem ». C'est un problème d'optimisation qui permet de déterminer l'emplacement optimal pour implanter une/des installation(s) de manière à minimiser les coûts ou à maximiser l'efficacité d'un système donné.

2.3.1 Le centre de gravité (COG)

Pour introduire ce problème, nous commencerons par détailler un modèle plus simple, appelé le problème du centre de gravité (COG). En logistique, le problème du centre de gravité est généralement défini comme le choix de l'emplacement d'une installation de manière à minimiser la distance moyenne pondérée par rapport à tous les points de demande. Une solution d'un problème de centre de gravité suggère que les installations soient situées au "centre" d'un ensemble de points de demande (Catanzaro, 2020).

Le problème du centre de gravité se base sur la notion du centre géographique. Les coordonnées de celui-ci peuvent être calculées comme étant la moyenne des latitudes (Lat) et des longitudes (Lon) de N installations :

$$Lat_{cg} = \sum_{i=1}^N \frac{Lat_i}{N} \quad (4.1)$$

$$Lon_{cg} = \sum_{i=1}^N \frac{Lon_i}{N} \quad (4.2)$$

On peut approximer la distance en kilomètres « à vol d'oiseau » entre les points i et j sur la surface d'une sphère de rayon R (comme la Terre avec $R \approx 6371$ km) avec la formule suivante en exprimant les coordonnées en radians ($Lat_{rad} = Lat_{deg} \cdot \frac{\pi}{180}$) :

$$dist_{ij} = R \cdot \arccos[\sin(Lat_i) \cdot \sin(Lat_j) + \cos(Lat_i) \cdot \cos(Lat_j) \cdot \cos(Lon_i - Lon_j)] \quad (4.3)$$

On parle de centre de gravité (COG) en ajoutant à cette notion de centre géographique un poids w_i aux différents éléments. Nous pouvons prendre par exemple le cas d'une société qui souhaite définir la localisation d'un centre de distribution. Pour cela, elle dispose des adresses de ses clients ainsi que le volume des livraisons en kilogrammes. Les coordonnées du centre de gravité se calculent comme suit (Sutaji & Sawarni, 2021) :

$$Lat_{cog} = \frac{\sum_{i=1}^N Lat_i w_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (5.1)$$

$$Lon_{cog} = \frac{\sum_{i=1}^N Lon_i w_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (5.2)$$

Dans cet exemple, w_i est le volume des livraisons aux clients (en kg). Avec cette notion de poids, cela signifie que les clients recevant des livraisons avec de gros volumes seront pris davantage en considération que celles qui ont des petits volumes.

2.3.2 Le problème de localisation des installations (UFLP)

Nous pouvons généraliser et étendre l'approche du centre de gravité par le « uncapacitated facility location problem » (UFLP). C'est des problèmes discrets³ de localisation les plus étudiés dans la littérature (Nevena & al, 2010). Comme expliqué précédemment, l'objectif du « UFLP » est de minimiser l'ensemble des coûts opérationnels en

³ Un problème discret : est un type de problème d'optimisation où les variables de décision et les solutions possibles sont discrètes, c'est-à-dire qu'elles prennent des valeurs spécifiques à partir d'un ensemble fini ou dénombrable. Dans un problème d'optimisation discret, les variables de décision peuvent être des variables binaires (prenant les valeurs 0 ou 1), des variables entières (prenant des valeurs entières) ou des variables catégorielles (prenant des valeurs parmi un ensemble fini de catégories).

déterminant les emplacements optimaux des installations de distribution (parmi ceux existants) ainsi que les clients qu'ils doivent desservir (sans contrainte de capacité).

Pour formuler ce problème, nous définissons n le nombre d'installations au total. L'ensemble des emplacements potentiels des installations de distribution est noté $R (= \{1, 2, \dots, n\})$ et j est utilisé pour indiquer le j -ième emplacement dans R ($j \in R$). Nous notons $C (= \{1, 2, \dots, n\})$ l'ensemble des installations « clientes » et i est utilisé pour indiquer le i -ième client dans C ($i \in C$). Nous définissons les paramètres f_j le coût fixe pour ouvrir l'installation j et c_{ij} le coût engendré si nous connectons l'installation de distribution j à l'installation cliente i .

Nous définissons également la variable de décision binaire y_j qui est égale à 1 si l'installation j est un emplacement sélectionné pour être une installation de distribution (0 sinon) et la variable binaire x_{ij} qui est égale à 1 si l'installation cliente i est desservie par l'installation j . Nous pouvons formuler le problème de la manière suivante :

$$\text{Min} \sum_{i \in C} \sum_{j \in R} c_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in R} f_j y_j \quad (6.1)$$

$$\text{s. t :} \quad \sum_{j \in R} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in C \quad (6.2)$$

$$y_j \geq x_{ij} \quad \forall i \in C, \forall j \in R \quad (6.3)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0, 1\} \quad \forall i \in C, \forall j \in R \quad (6.4)$$

La fonction objectif (6.1) minimise donc l'ensemble des coûts opérationnels. La contrainte (6.2) permet de s'assurer que chaque client est bien desservi par une installation de distribution. La contrainte (6.3) empêche qu'un client soit fourni par une installation qui n'est pas sélectionnée pour être une de distribution et la contrainte (6.4) oblige les variables décisionnelles à être binaires.

On peut modifier ce modèle de manière à obtenir une approche basée sur l'optimisation de la distance, où l'on définit le nombre d'installations à sélectionner (Q). Pour cela, nous définissons Dist_{ij} les distances (ex. en km) entre les installations potentielles de distribution (j) et les installations des clients (i) ainsi que Dem_i la demande du client i (en supposant que celle-ci soit connue).

On peut donc remplacer la fonction objectif (6.1) par celle ci-dessous (6.5). Dans cette dernière, les coûts fixes f_j pour ouvrir l'installation j et c_{ij} le coût engendré si nous connectons l'installation j à l'installation cliente i ont été supprimés.

$$\text{Min} \sum_{i \in C} \sum_{j \in R} \text{Dist}_{ij} \text{Dem}_i x_{ij} \quad (6.5)$$

On ajoute également une contrainte (6.6) définie ci-dessous qui permet d'imposer le nombre d'installations de distribution à sélectionner (Q) :

$$\sum_{j \in R} y_j = Q \quad (6.6)$$

3. Étude du cas pratique

Dans ce chapitre, nous allons commencer par présenter les centres hospitaliers EpiCURA. Ensuite, nous détaillerons et analyserons le projet de centralisation de la production froide des selfs en analysant la situation actuelle, en relevant les problèmes de celle-ci pour ensuite proposer les modifications à mettre en place. Après cela, nous déterminerons les lieux de production optimaux pour une centralisation en utilisant les problèmes de localisations des installations. Après avoir déterminé ces lieux, nous déterminerons le trajet optimal de la tournée à mettre en place en définissant diverses alternatives et en utilisant plusieurs modèles d'optimisation. Pour finir, nous estimerons les durées de production des différents repas froids à l'aide de formules basées sur des mesures réalisées chez EpiCURA.

3.1 Le centre hospitalier EpiCURA

- Un peu d'histoire :

L'origine du projet EpiCURA vient de la « politique de bassins de soins » lancée en 2006 par Rudy Demotte afin de rationaliser l'offre hospitalière. Il en résulte la fusion entre différents hôpitaux d'une même région, mettant l'accent sur une collaboration plutôt qu'une hyperconcurrence, permettant d'offrir à la population des programmes de soins les plus complets possibles.

En 2012, l'ASBL EpiCURA voit le jour, reprenant la gestion des patrimoines et des numéros d'agrément hospitalier du CHHF (Centre Hospitalier Hornu Frameries) et du RHMS (Réseau Hospitalier de Médecine Sociale) qui passent de petites structures locales à un centre hospitalier régional (voir Figure 4).

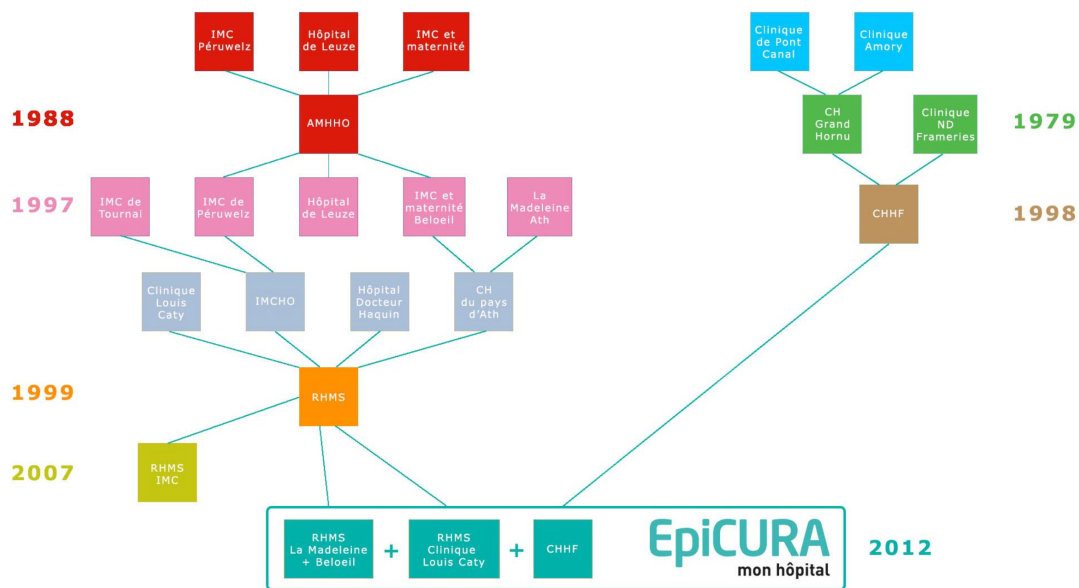


Figure 4 : La genèse d'EpiCURA

- Carte d'identité :

Le centre hospitalier EpiCURA occupe plus de 2500 collaborateurs et 400 médecins, répartis sur sept sites :

- 3 sites hospitaliers : Ath, Baudour, Hornu
- 4 polycliniques : Boleoil, Dour, Frameries, Jurbise

Sur l'ensemble des sites, le centre hospitalier dénombre un total de 806 lits, il est le 4^{ème} employeur du Hainaut (hors administrations).

Il compte également :

- 2 centres d'autodialyse extrahospitalière : Enghien, Frameries
- 1 Business Center (Epicentre)

- Les projets :

François Burhin, directeur général, explique dans une interview donnée à la RTBF le plan de rénovation « Crescendo » déjà mis en œuvre pour moderniser et agrandir les 3 sites. On retrouve par exemple les deux nouvelles unités de soin à Hornu, dont la nouvelle unité de production de cytostatiques visant à diminuer ou détruire les cellules cancéreuses et un hôpital de jour ; sur le site d'Ath : une nouvelle aile dédiée à la dialyse (décembre 2022) et l'inauguration du nouveau quartier opératoire (2023) ; des réaménagements profonds du service de kinésithérapie (débuté en mars 2023) sur le site de Baudour et dans quelques années un « gérontopôle » avec un centre de réhabilitation également sur ce site. En 2023, EpiCURA innove également avec

l'utilisation de casques de réalité virtuelle utilisés pendant certaines interventions de chirurgie orthopédique. EpiCURA élargit également son offre en matière de prélèvements sanguins en s'associant à 2 centres médicaux à Ath et Baisieux.

Le réseau PHARE crée POLARIS : un projet de Dossier Patient Informatisé Intégré (DPI) en partenariat avec Soft Way Medical.

Des projets qui se veulent réalistes, à taille humaine afin de garder une certaine proximité...

- Accréditation :

En juillet 2022, EpiCURA décroche l'accréditation de niveau « OR », attestant de la qualité des soins proposés aux patients, au regard de normes d'excellence internationales (Figure 5). Décerné par l'organisme Accréditation Canada sur base de la version 4 des référentiels, ce label renforce le positionnement d'EpiCURA dans les régions de Mons-Borinage et d'Ath et confirme son statut d'acteur incontournable du paysage hospitalier belge !



Figure 5 : Logo de l'accréditation OR

- Les partenaires :

EpiCURA travaille avec plusieurs partenaires, les principaux sont les suivants :

- Le réseau PHARE : il concrétise la collaboration interhospitalière locorégionale entre EpiCURA, le CHMouscron, le CHRHaute Senne et le CHwapi. Cette ASBL agréée couvre un bassin de soins de 618000 habitants. Les partenaires y coordonnent ensemble leur activités hospitalières en parfaite cohérence avec les besoins actuels et futurs de la population.

- Réseau : le Réseau Hainuyer œuvre pour la santé mentale des enfants et adolescents sur la province de Hainaut.

- Chambord : assure la coordination du Service Mobile d'Urgence et de Réanimation (SMUR) entre les hôpitaux de la région Mons-Borinage.

- MRS : Maison de Repos et de Soins « Le jardin des doudous »

- L'appart : initiatives d'habitations protégées

- UNESSA, Santhea, Réseau Santé Wallon, ... la liste de tous les partenaires est disponible en Annexe 2.

- La logistique :

Le département logistique d'EpiCURA a vu le jour il y a plus de deux décennies pendant l'ère du RHMS, lorsque le directeur général de l'époque a initié sa création dans le but d'optimiser l'organisation logistique. Ce département rassemble une équipe de plus de 350 collaborateurs et intègre les domaines des achats, de la cuisine, de l'entretien, des chauffeurs et du transport.

Aujourd'hui, ce département affiche une structure distincte :

Le département est placé sous la direction de Christophe Fontaine, qui occupe aujourd'hui le poste de directeur du département logistique ainsi que le poste de directeur général adjoint. Il est accompagné par François Benit qui occupe le poste de directeur adjoint du département logistique.

Deux chefs de service gèrent les achats hospitaliers : l'un pour l'approvisionnement général de l'hôpital, l'autre pour les procédures liées au marché public.

Un troisième chef intervient dans les différents types de transports :

- Le transport de personnes : qui s'occupe de déplacer des patients de leur domicile vers un hôpital, d'un site d'EpiCURA vers un autre site du centre hospitalier ou encore des sites externes à EpiCURA vers des sites internes au centre hospitalier, ou vice versa. Cela se fait à l'aide de divers types de transports adaptés aux besoins spécifiques des patients. Un logiciel interne est utilisé par le personnel d'EpiCURA et les entreprises sous-traitantes pour gérer les programmations et l'historique des transports. Certains trajets sont pris en charge par les patients.

- Le transport de choses, subdivisé en deux catégories : le transport interne (déplacements de matériel, de courrier, de prélèvements sanguins via des manutentionnaires, des logisticiens ou l'utilisation de tubes pneumatiques...) et le transport externe (déplacements de prélèvements, de médicaments, de rapports, de matériel spécifique médical, de nettoyage ou de bureau) se fait d'un site à un autre appartenant à EpiCURA. Une trentaine d'autres endroits (maisons de repos, instituts médicaux, des médecins ou infirmières en collaboration avec EpiCURA) sont également approvisionnés par ce service de transport.

Toutes les demandes de transport ne sont pas uniquement gérées par le service de transport d'EpiCURA. Les périodes de sous-effectif sont prises en charge par deux autres entreprises spécialisées en colis médicaux. La variabilité des demandes de transport, dues à des partenaires institutionnels, peut rendre certains trajets difficiles à gérer en temps voulu, ce qui conduit également à externaliser ces missions. Enfin, certains prélèvements nécessitent une analyse dans des laboratoires externes à Bruxelles ou en France, et ces transports sont eux aussi confiés à des tiers.

On retrouve également dans le département logistique un chef de service pour la cellule biomédicale. On y retrouve également 2 services supplémentaires : le service de « catering » qui gère les métiers liés à la préparation des repas pour les patients et le personnel et le service « housekeeping » qui est chargé de l'entretien des installations hospitalières. Dans ces deux services, un responsable dédié est désigné pour prendre en charge la gestion de chaque site principal (Ath, Hornu et Baudour). Ces responsables sont supervisés par 2 coordinateurs : Gaëtane Adam la coordinatrice « catering » et Maverick Olivier, coordinateur « housekeeping ».

3.2 Description du projet

Dans cette partie, nous allons nous attarder sur la description détaillée du projet, en abordant trois points clés : la présentation du problème, l'analyse de la situation actuelle et les modifications à mettre en place. Nous présenterons donc tout d'abord le problème central qui a motivé la réalisation de ce projet. Ensuite, nous analyserons en détail la situation actuelle chez EpiCURA mettant en évidence les défis et lacunes de celle-ci. Pour finir, nous explorerons les modifications proposées pour pallier ces lacunes.

3.2.1 Présentation du projet

Le problème à résoudre est le suivant : centraliser la production froide des selfs des centres EpiCURA sur un ou plusieurs sites en mettant en place une tournée dans le but de diminuer les coûts. En effet, comme nous le verrons dans l'analyse de la situation actuelle, il y a plusieurs centres hospitaliers d'EpiCURA répartis dans la région du Borinage et Ath qui proposent à leur personnel plusieurs repas servis dans des selfs durant le temps de midi. Dans ces selfs sont proposés des repas chauds et des repas froids (qui comprennent les sandwiches et les assiettes froides). Ceux-ci sont produits sur 3 sites différents (Ath, Hornu ainsi que Baudour) et une

tournée est actuellement mise en service pour desservir à partir d'Hornu les sites de Frameries et Epicentre (où sont les bureaux administratifs).

Le but de ce projet est donc de centraliser sur un ou plusieurs site(s) la production de ces sandwiches et assiettes froides et de modifier la tournée existante afin de diminuer les coûts de production et faciliter la gestion de la production en explorant plusieurs pistes possibles. Pour ce faire, EpiCURA compte également mettre en place un système de commandes en ligne du type « take away » (application Gloriafood) dont nous verrons l'impact par la suite.

3.2.2 Analyse de la situation actuelle

Les hôpitaux EpiCURA disposent actuellement de 3 cuisines réparties sur 3 sites différents pour la préparation des repas destinés aux patients, mais également pour le personnel. Ces 3 sites de production sont Ath, Baudour et Hornu. Ce dernier dessert la polyclinique de Frameries et Epicentre à l'aide d'une tournée. Ces différents sites sont visibles sur la carte sur la Figure 6. Il y a donc sur chacun de ces 3 sites un self qui ouvre à 11h30 sur Hornu et à 12h00 sur les autres sites (du lundi au vendredi).

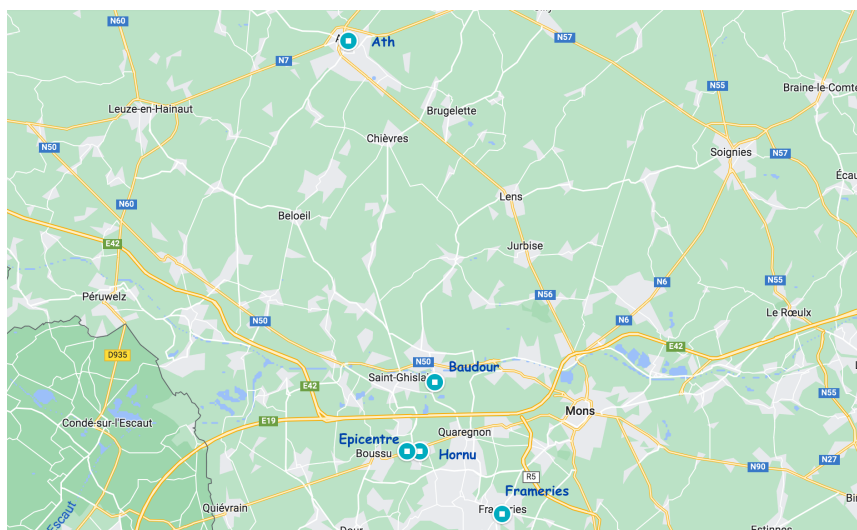


Figure 6 : Carte des sites d'EpiCURA

Une modification qui a été réalisée durant mon stage est l'uniformisation des menus entre tous les sites. En effet, jusqu'à récemment, chaque site réalisait son menu individuellement et devait le finaliser pour le poster sur l'intranet le jeudi de la semaine précédente. Aujourd'hui, les 3 sites proposent le même menu afin de faciliter le travail et permettre un gain de temps dans le choix de celui-ci. Un exemple du menu proposé par EpiCURA aux selfs lors d'une semaine d'avril est disponible en Annexe 3 (il change tous les jours) ainsi que les tarifs en Annexe 4.

Dans ces selfs sont proposés divers repas :

- **les repas froids** : qui comprennent 4 sandwichs différents (dont un du chef) et 1 assiette froide.
- **les repas chauds** : qui comprennent 2 plats (un du jour et un du chef), des paninis et des portions de frites (proposées 2 fois par semaine)
- **un potage** : qui est mis à la disposition du personnel gratuitement.
- **autres** : ils proposent également des desserts, des viennoiseries, des pâtisseries et diverses boissons.

Pour ce projet, nous allons surtout nous focaliser sur la production froide ainsi que le potage.

Concernant les sandwichs, de nombreuses garnitures ne sont pas celles proposées aux patients (poulet curry, américain, salade de poisson ...) et les baguettes sont gérées différemment en fonction du site. En effet, sur Hornu, elles sont commandées « prêtes à l'emploi », c'est-à-dire qu'il ne faut pas les cuire tandis que sur les 2 autres sites (Ath et Baudour), une cuisson est réalisée sur place. Pour les assiettes froides, il y a une corrélation le jour même ou le lendemain avec les garnitures des sandwichs. Les crudités utilisées sont principalement de la 4^{ème} gamme dans la réalisation de ces plats.

Comme expliqué précédemment, il y a une tournée actuellement qui part vers 10h00 de Hornu et qui se rend en premier lieu à la crèche (située sur le site de l'hôpital) pour y déposer du potage, mais aussi parfois d'autres fournitures (eau, tartines ...). Ensuite, elle se rend à Epicentre pour y décharger le potage et puis à Frameries. Sur ce site, elle décharge le même potage, mais aussi du potage sans assaisonnement destiné aux patients de la dialyse. Il y a également des plats froids spécialement préparés pour eux (souvent des tartines). Les patients de Frameries viennent 1 jour sur 2 sur le site ce qui fait que le menu est le même 2 jours de suite. Pour les employés, la camionnette décharge les assiettes froides et les sandwichs. Arrivé à Frameries, l'opérateur qui conduit la camionnette va faire le service et rester sur place jusque 13h : il y a un petit self, mais pas de cuisine. Étant donné qu'il n'y a pas de caisse à Frameries, cette personne va noter sur papier ce qu'il a vendu et à qui. Après ça, il reprend les invendus ainsi que la vaisselle sale, repasse par Epicentre pour aussi reprendre la vaisselle et retourne à Hornu. Une photo de la camionnette et des éléments de cette tournée sont visibles en Annexe 5.

Pour le transport des sandwichs et des assiettes froides, ceux-ci sont stockés dans des caisses réfrigérées et isothermes de dimensions : 600mm x 400mm et profondeur de 300mm. Elles

peuvent contenir 40 sandwichs ou 12 assiettes froides (+ 2 si elles sont penchées). Ces caisses peuvent rester plus de 3 heures sans craindre de réchauffement. Les potages eux sont stockés dans des conteneurs isothermes allant de 10 à 20L. Des photos de ces caisses et conteneurs sont visibles en Annexe 6.

Lorsque l'on parle des sandwichs et des assiettes froides pour le self, il faut exclure les préparations spécifiques pour les réunions. En effet, lors de réunions du personnel, ceux-ci peuvent commander directement en cuisine. Ces « extras » doivent être limités au maximum et ne sont pas à prendre en compte.

Aux selfs, il y a plusieurs manières de commander pour le repas de midi : sur les 3 sites, il y a la possibilité de commander en appelant le self directement (jusque 10h00). Il y a aussi moyen de commander en allant voir la personne qui est au comptoir du self au matin (jusque 9h30). Sur Ath, il y a une feuille accrochée sur un tableau près du self permettant aux employés d'écrire leur commande. Malgré ces systèmes, la plupart du personnel ne commande pas, ils se servent directement aux selfs dans ce qui est proposé. Le paiement se fait lors de la récupération du repas, pendant le temps de midi, aux selfs. À Frameries et Epicentre, il n'est pas possible de commander.

Il y a donc plusieurs problèmes notables dans cette situation actuelle :

Premièrement, la personne qui reste faire le service à Frameries pendant plus de 2h ne travaille pas de manière efficace. En effet, son rôle est de vendre les assiettes froides et sandwichs qu'il a pris à Hornu et il attend que les employés de Frameries viennent lui acheter. Il y a donc une perte de temps non négligeable.

Ensuite, il y a le fait qu'il n'y a pas de caisse sur Frameries : cela pose un problème, car les employés renseignent ce qu'ils prennent sur une feuille qui est ensuite donnée à la responsable des cuisines de Hornu qui elle va tenir les comptes pour chacun d'entre eux. C'est une énorme perte de temps qui demande environ 1 journée par mois du fait qu'il faille vérifier les comptes et rappeler les impayés. Il arrive également que certaines personnes ne paient jamais.

Il y a aussi un problème du fait que beaucoup de commandes sont prises par téléphone. C'est dérangeant, car cela oblige une personne travaillant dans la cuisine à stopper ce qu'elle fait pour

venir répondre et noter les commandes. En effet, la personne au self du matin n'a pas le temps de les prendre.

Un autre problème est le fait qu'ils ne proposent pas de sandwiches ni d'assiettes froides sur le site d'Epicentre. Sur ce site, il y a plus de 80 employés qui y travaillent ce qui pourrait être une source de revenus supplémentaire et cela permettrait au personnel de bénéficier de repas à faible prix.

Il y a également le fait qu'il y a les 3 sites qui produisent les mêmes repas. Cela pose problème, car il faut plus d'employés pour produire et chaque site doit commander séparément les mêmes stocks (en quantités différentes). Il y a donc une grosse perte d'efficacité et de temps. De plus, la technique de production des sandwiches n'est pas la même sur les 3 sites, ce qui n'est pas optimal.

Pour finir, il y a aussi un problème au niveau du choix de l'achat ou non de baguette à cuire sur place. En effet, comme expliqué précédemment, à Ath et Baudour les baguettes sont achetées chez « Bidfood » (au prix unitaire de 0,2462€) et nécessitent d'être cuites sur place. À Hornu, les baguettes sont achetées chez « Saey » (au prix unitaire de 0,45€), mais ne nécessitent pas de cuisson. Il faut donc calculer lequel est le plus rentable.

3.2.3 Les modifications à mettre en place

Pour pallier ces différents problèmes, plusieurs modifications doivent être mises en place :

Proposer un système de commande en ligne du type « take away » ce qui permettrait de récupérer les 2 heures où l'employé reste à Frameries faire le service, mais aussi ne plus devoir vérifier les comptes du personnel de Frameries et éviter les impayés. Cela permettrait également de supprimer les commandes téléphoniques qui font perdre du temps aux employés des cuisines. Cette solution va aussi donner l'occasion au personnel d'Epicentre de bénéficier des repas froids.

L'application qui est actuellement sélectionnée pour réaliser cette tâche se nomme « Gloriafood ». Proposée par Oracle, elle permet à ses utilisateurs de commander des repas proposés par un restaurant et d'effectuer le paiement en ligne directement au prix de 29€ par

mois avec un supplément de 0,05€ par transaction. Dans notre cas, l'application afficherait le nombre de repas disponibles et les employés auraient la possibilité de les commander pour le repas du midi. Sur les sites de Frameries et Epicentre, étant donné qu'il n'y a pas de caisse, les employés seraient obligés de commander et donc de payer en ligne sur l'application tandis que sur les autres sites, ils auraient le choix de soit payer en ligne ou soit payer à la caisse lors de la réception de la commande. Cependant, ils ne seraient pas obligés de commander.

En effet, EpiCURA souhaite laisser un stock disponible aux selfs afin de laisser la possibilité au personnel de se servir comme c'est déjà le cas actuellement. Cela permet d'éviter que si une personne oublie et/ou est dans l'incapacité de commander en ligne, elle ait quand même la possibilité de prendre un repas. Il arrive aussi qu'il y ait des personnes extérieures qui viennent manger aux selfs (consultants, habitants voisins de l'hôpital, visiteurs ...) et, n'ayant pas accès à l'application, il faut leur laisser la possibilité de manger sur place.

Étant donné ces contraintes, ils resteraient donc dans une approche « make-to-stock » (push view). C'est une stratégie de production où les produits sont fabriqués en anticipation de la demande prévue. Les fabricants produisent des biens et les stockent dans leur inventaire avant même de recevoir des commandes spécifiques. Cela signifie que les produits sont poussés sur le marché en fonction des prévisions de demande ou des niveaux de stock cibles. Cette stratégie peut entraîner des coûts d'inventaire plus élevés si la demande réelle diffère des prévisions.

La stratégie « make-to-order » (pull view) aurait été plus avantageuse, mais n'est pas possible dans cette configuration. C'est une stratégie de production où les produits ne sont fabriqués qu'en réponse à des commandes spécifiques des clients. L'entreprise n'entreprend la fabrication qu'après avoir reçu une commande client. Cette approche permet une personnalisation plus poussée des produits et réduit les coûts liés à l'inventaire. Cependant, cela peut entraîner des délais de livraison plus longs puisque la fabrication débute après la réception de la commande. Cette stratégie n'est pas réalisable, car il n'y a pas assez de délais pour produire les repas. En effet, si le personnel peut passer commande jusque 10h00 et que le self doit ouvrir à 11h30, il n'est pas possible de les produire en seulement 1h30 et, comme expliqué précédemment, il est nécessaire de garder un stock dans les selfs.

Cependant, malgré le risque d'avoir des invendus avec cette stratégie « make-to-stock », l'application « Gloriafood » va pouvoir fournir des chiffres sur les repas qui ont le plus de

succès (et inversement). Cela permettra de générer des statistiques plus précises sur la demande et donc de mieux adapter les quantités de production afin de diminuer ces invendus. Les invendus du lundi, mardi et mercredi chez EpiCURA sont par ailleurs actuellement donnés au CPAS (les autres jours ils ne sont pas ouverts).

Afin d'améliorer l'efficacité de la production et des commandes, la solution de centraliser la production des sandwichs et assiettes froides est envisagée. En effet, cela permettrait de gagner du temps lors de la production, mais aussi de centraliser les commandes sur un seul site et donc de faciliter le travail des employés en cuisine. Pour réaliser cette centralisation, une tournée devra être mise en place afin de desservir les sites. Il est nécessaire de prendre en compte 4 critères pour réaliser cette transformation :

- Les préparations :

Les sandwichs, les assiettes froides et le potage ne sont pas impactés par le transport. En effet, les caisses isothermes peuvent les garder plus de 3 heures sans problème. Cependant, sur le site d'Ath, des assiettes froides peuvent être consommées sur place : l'emballage n'est pas le même et il y a de la vaisselle. La question de garder ou non ce type d'assiettes froides doit-être posée.

Au niveau de la préparation, celle-ci peut être réalisée la veille : c'est-à-dire le tranchage du jambon et du fromage, la découpe des œufs, des légumes ... C'est déjà le cas à Hornu, mais pas entièrement à Ath ni Baudour. Seulement la mise en place doit être réalisée le jour même : c'est-à-dire la coupe des baguettes et déposer les aliments dans les sandwichs et assiettes.

Les quantités moyennes de repas froids produits par mois sont relevées dans le Tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1 : Les quantités moyennes mensuelles de repas froids sur chaque site

Quantités moyennes 2022	Sandwichs / mois	Assiettes froides / mois
Ath	858	306
Baudour	1040	206
Hornu	2270	540

- L'infrastructure :

Pour la production froide, l'idéal est de disposer d'un local réfrigéré. Un bon maintien de la température lors de la production est essentiel, car avant la livraison, les plats doivent être à <4°C. C'est le cas à Ath où ils disposent d'un assez grand local réfrigéré. À Baudour, il y a

également un local, mais celui-ci manque d'espace pour réaliser tous les repas froids : les sandwichs sont donc préparés sur le comptoir du self. À Hornu, il n'y a pas de local réfrigéré pour la production froide actuellement (des travaux vont possiblement être réalisés), mais c'est la cuisine qui dispose du plus d'espace. Cette cuisine est également disposée sur 2 étages : il y a un accès ascenseur permettant de descendre au -1 où est situé le stock (les plans sont visibles en Annexe 7).

Dans ces 3 cuisines, il y a des espaces de stockage réfrigérés en suffisance. À Ath et Baudour, il y a un four dans le self qui permet de cuire les baguettes (jusqu'à 100 par fournée). À Hornu, il y a 2 fours dans la cuisine, mais qui ne sont pas utilisés pour la cuisson des baguettes.

- Le personnel :

Au niveau des employés, ceux-ci sont liés à un site d'attache principal. Nous pouvons faire changer ce site d'attache sans l'accord de l'employé pour un déplacement entre Hornu et Baudour étant donné la faible distance qui les sépare. Pour Ath, il faut l'accord de l'employé. Dans toutes éventualités de changement de site, il y a tout de même un avenant de mobilité à faire signer.

Le nombre d'employés pour la production des repas froids est différent sur chaque site, ceux-ci sont repris dans le Tableau 2 ci-dessous :

Tableau 2 : Le nombre d'employés sur chaque site pour la production froide

Nombre d'employés	Prod. Sandwichs	Prod. Assiettes froides
Ath	2	2
Baudour	1	1
Hornu	3	1

- Le transport :

La cuisine d'Hornu dispose d'une camionnette (Ford Transit comme nous pouvons le voir en Annexe 5) qui effectue la tournée Hornu-Epicentre-Framerics. Elle ne dispose pas d'un système de réfrigération intégré, mais il y a la possibilité d'installer ce système. Comme décrit précédemment, les trajets peuvent être effectués avec des caisses isothermes contenant des plaques de glaçon permettant de tenir plus de 3 heures sans rupture de température. La camionnette dispose d'un espace de chargement capable de contenir plus de 25 caisses isothermes, ce qui est largement suffisant pour pouvoir transporter tous les repas froids des selfs de tous les sites d'EpiCURA.

Dans le cas d'une centralisation, le problème au niveau des transports est surtout situé au niveau des horaires. En effet, les selfs ouvrent à 11h30 à Hornu et à 12h00 sur les autres sites ce qui est assez tôt. EpiCURA peut donc envisager la possibilité d'utiliser plusieurs véhicules pour effectuer la tournée. Les camionnettes sont prises en leasing à un prix de 458,59€ par mois.

Il existe aussi actuellement chez EpiCURA 6 tournées intersites réalisées par le service transport. La piste de l'utilisation de ces tournées peut également être envisagée. Celles-ci sont reprises en Annexe 8.

Le projet de centralisation de la production froide consiste donc à, dans un premier temps, choisir le ou les lieu(x) de production. Ensuite, il faudra déterminer la tournée qui optimise le temps de trajet. Pour cela, plusieurs situations doivent être prises en compte notamment avec un nombre de véhicules et des lieux de production différents. Après cela, il sera nécessaire d'analyser les temps de production actuels pour estimer ces temps dans le cas d'une centralisation. Plusieurs situations seront à analyser : la cuisson ou non des baguettes, le nombre d'employés nécessaires ... Ces différents points d'études permettront de dégager plusieurs scénarios qui seront détaillés dans l'analyse managériale et le plus efficace sera comparé avec la situation actuelle.

3.3 Détermination des lieux de production

Dans cette partie, nous allons aborder la question du choix des lieux de production potentiels pour réaliser les repas froids des selfs d'EpiCURA. Dans un premier temps, nous déterminerons le centre géographique et le centre de gravité des différents sites. Ensuite, nous verrons un modèle d'optimisation qui permet de sélectionner les installations (parmi celles existantes) qui peuvent être des installations de distribution dans le but de minimiser les distances des trajets des livraisons. Pour finir, nous sélectionnerons les sites candidats pour devenir les emplacements de production.

3.3.1 Détermination du centre de gravité

Dans cette partie, nous allons calculer l'emplacement du centre de gravité des différents sites d'EpiCURA. Son emplacement suggère qu'une installation située à cet endroit est au centre de l'ensemble des points de demande à approvisionner. L'objectif de placer une installation à cet endroit est de minimiser les coûts de transport, de distribution.

Si nous appliquons la formule du centre géographique pour les 5 sites à approvisionner en repas froids (Hornu, Ath, Baudour, Frameries et Epicentre dont les coordonnées sont en Annexe 10), nous obtenons les coordonnées suivantes :

$$Lat_{cg} = \sum_{i=1}^N \frac{Lat_i}{N} = 50.476.992$$

$$Lon_{cg} = \sum_{i=1}^N \frac{Lon_i}{N} = 3.832.742$$

À partir de ces coordonnées, la distance moyenne (à vol d'oiseau) pour rejoindre les sites à partir de ce point peut être calculée comme suit :

$$dist_{cg\ i} = \frac{\sum_{i=1}^N R \cdot \arccos[\sin(Lat_{cg}) \cdot \sin(Lat_i) + \cos(Lat_{cg}) \cdot \cos(Lat_i) \cdot \cos(Lon_{cg} - Lon_i)]}{N}$$

$$= 7,38 \text{ km}$$

Nous pouvons ensuite ajouter à cette notion de centre géographique un poids w_i aux différents sites. Dans le cas d'EpiCURA, nous allons définir le poids comme étant le nombre de repas froids à servir sur chaque site i . Les nombres de sandwiches et assiettes froides que chaque site doit recevoir chaque jour ont été estimés et sont présents dans le Tableau 3 ci-dessous :

Tableau 3 : Le nombre de repas froids journaliers

Nombre de repas froids journaliers			
Site	Sandwichs	Assiettes Froides	Total
Hornu	95	20	115
Ath	65	20	85
Baudour	65	15	80
Frameries	25	10	35
Epicentre	20	5	25
Total	270	70	340

Les coordonnées du centre de gravité et la distance moyenne (à vol d'oiseau) sont donc :

$$Lat_{cog} = \frac{\sum_{i=1}^N Lat_i w_i}{\sum_{i=1}^N w_i} = 50.491.067$$

$$Lon_{cog} = \frac{\sum_{i=1}^N Lon_i w_i}{\sum_{i=1}^N w_i} = 3.825.686$$

$$dist_{cog i} = \frac{\sum_{i=1}^N R \cdot \arccos[\sin(Lat_{cog}) \cdot \sin(Lat_i) + \cos(Lat_{cog}) \cdot \cos(Lat_i) \cdot \cos(Lon_{cog} - Lon_i)]}{N}$$

$$= 8,30 \text{ km}$$

Voici ci-dessous une carte (Figure 7) permettant de visualiser les emplacements de ces 2 centres :

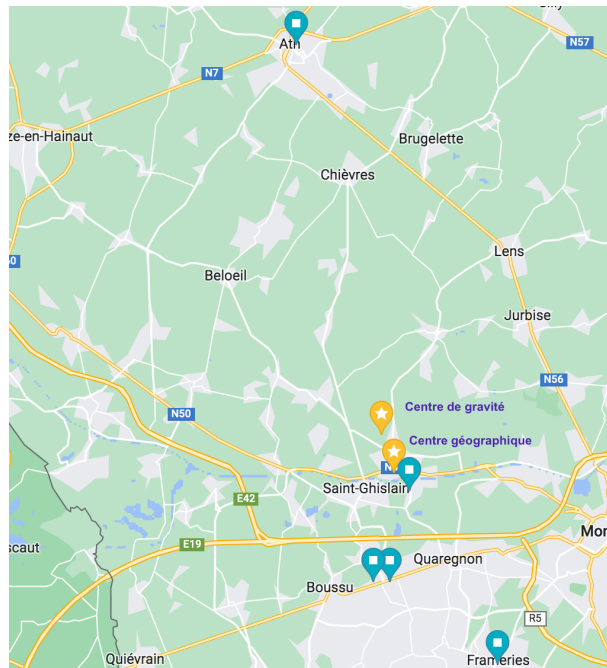


Figure 7 : Carte des centres géographique et de gravité

Les résultats obtenus sont influencés par l'excentricité d'Ath. Cependant, le site le plus proche de ces centres est Baudour. Cette analyse reste toutefois à nuancer, car il s'agit d'un centre déterminé à partir de coordonnées, qui ne prend donc pas en compte les distances réelles entre les sites et cette analyse est réalisée sur une petite zone géographique. La prise en compte des distances réelles est faite dans le point suivant.

3.3.2 Résultat du modèle d'optimisation de localisation des installations

Dans cette partie, nous allons étendre l'approche du centre de gravité avec le « uncapacitated facility location problem » (UFLP). Ce modèle permet de déterminer les installations parmi

celles existantes qui peuvent être des installations de distribution dans le but de minimiser la distance de trajet réelle entre celles-ci et les autres sites.

Voici ci-dessous le modèle utilisé :

- Indices et ensembles :

$i, j \in C = \{1, 2, \dots, N\}$: l'ensemble des installations

- Paramètres :

$N=5$: le nombre d'installations total

$Q=1$: le nombre d'installations de distribution à sélectionner

$Dist_{ij}$: la distance en km entre les points i et j ($i, j \in C$)

- Variables :

X_{ij} : =1 si l'installation i est desservie par l'installation de distribution j , 0 sinon.

Y_j : =1 si l'installation j est sélectionnée pour être une installation de distribution, 0 sinon.

- Modèle :

$$\text{Min} \sum_{i \in C} \sum_{j \in C} Dist_{ij} \cdot x_{ij} \quad (7.1)$$

$$\text{s. t : } \sum_{j \in C} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in C \quad (7.2)$$

$$\sum_{j \in C} y_j = Q \quad (7.3)$$

$$y_j \geq x_{ij} \quad \forall i, j \in C \quad (7.4)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in C \quad (7.5)$$

La fonction objectif (7.1) minimise la distance totale entre les sites de distributions et les sites à desservir. La contrainte (7.2) permet de s'assurer que chaque client est bien desservi par une installation de distribution. La contrainte (7.3) impose le nombre d'installations de distribution à sélectionner (Q) et la (7.4) empêche qu'un client soit fourni par une installation qui n'est pas une de distribution. La contrainte (6.4) oblige les variables décisionnelles à être binaires. La matrice des distances entre les sites et le code complet de ce modèle sur Xpress sont présents en Annexe 11 et Annexe 12.

Les résultats obtenus pour 1 et 2 centre(s) de distribution sont présents dans le Tableau 4 ci-dessous :

Tableau 4 : Résultats du problème de localisation des installations

Q=1	Q=2
Centre(s) de distribution : -Hornu Repartition : -Hornu desservi par Hornu -Ath desservi par Hornu -Baudour desservi par Hornu -Frameries desservi par Hornu -Epicentre desservi par Hornu	Centre(s) de distribution : -Hornu -Ath Repartition : -Hornu desservi par Hornu -Ath desservi par Ath -Baudour desservi par Hornu -Frameries desservi par Hornu -Epicentre desservi par Hornu

Les résultats montrent que Hornu devrait être un centre de distribution, car il est le site qui minimise le plus les distances réelles de trajet avec les autres sites. C'est donc à Hornu que devrait se faire la centralisation de la production des repas froids si les livraisons étaient effectuées par plusieurs véhicules ne pouvant pas contenir plusieurs chargements destinés à des sites différents en même temps. Ce qui, chez EpiCURA, n'est pas le cas car il y a la possibilité de transporter toutes les livraisons en même temps dans une camionnette.

Lorsque nous décidons d'utiliser 2 centres de distribution, les résultats montrent qu'Ath et Hornu sont les meilleurs choix. Ath, étant un site excentré, ne desservirait aucun autre site. Si nous prenons en compte la demande client dans la fonction objectif, les résultats restent les mêmes étant donné que ces sites ont la demande en repas froids la plus importante.

3.3.3 Sélection des lieux de production

Comme expliqué précédemment, ces analyses sont intéressantes, mais ne s'appliquent pas complètement dans le cadre d'une centralisation de la production des repas froids. Cette méthodologie pour déterminer les installations de distribution s'applique davantage à des cas où il y a des livraisons à effectuer avec des camions complètement chargés et qui effectuent des allers-retours entre le centre de distribution et leur site de livraisons sur de grandes zones géographiques.

Chez EpiCURA, ils ne disposent que d'une camionnette (ils n'excluent pas la possibilité d'en utiliser une 2^{ème}) et celle-ci peut contenir la totalité des livraisons de l'ensemble des sites ce qui

lui permet de réaliser une tournée directement sans effectuer des allers-retours vers le centre de distribution. C'est le sujet du chapitre suivant dont le but est de déterminer cette tournée.

Cette analyse peut cependant être intéressante pour EpiCURA dans le cas où, par exemple, ils chercheraient à déterminer l'endroit idéal pour placer un stock d'articles de rechange pour l'ensemble des sites. Dans ce cas précis, l'emplacement peut être déterminé par cette solution et c'est donc Hornu qui serait désigné. En effet, des livraisons seraient réalisées en urgence en partance d'Hornu vers les autres sites ce qui fait que sur du long terme, l'ensemble des distances réalisées pour ces livraisons (et donc des coûts de transport) seraient plus faibles que si un autre site de distribution avait été choisi.

Pour le choix des lieux de production des repas froids, ce sont les sites de Hornu et Ath qui sont retenus comme lieux potentiels. En effet, le site de Baudour est celui qui a l'infrastructure la moins adaptée pour accueillir une production importante de repas froids : malgré le fait qu'il y ait un local réfrigéré, celui-ci n'est pas assez grand tout comme le reste de la cuisine où les sandwiches sont préparés sur le comptoir du self. À Hornu se situe la cuisine ayant le plus d'espace et Ath dispose déjà d'un assez grand local réfrigéré. Ce n'est actuellement pas le cas d'Hornu, mais des travaux vont possiblement être réalisés dans le futur. Ces caractéristiques rendent ces 2 sites candidats pour produire les repas froids des selfs de l'ensemble des sites.

3.4 Détermination de la tournée

Dans cette partie nous allons aborder différents modèles d'optimisation qui permettent de déterminer le trajet idéal de la tournée. Dans un premier temps, nous verrons un modèle qui détermine le trajet optimal de la tournée (qui minimise le temps de trajet) reprenant la logique du « vehicule routing problem » (VRP). Nous verrons ensuite une variante de ce problème ayant le même objectif, mais ne prenant pas en compte le retour au dépôt dans son trajet. Après cela, un modèle d'optimisation de la tournée avec 2 dépôts sera présenté, il s'agit d'un cas spécifique à ce projet dû à l'excentricité du site d'Ath. Pour finir, nous verrons un modèle qui permet de déterminer, dans les tournées actuelles du service transport, des trajets permettant d'effectuer les missions de livraisons. Les résultats de ces modèles avec les données réelles d'EpiCURA seront ensuite analysés.

3.4.1 Modèle d'optimisation de la tournée

Ce premier modèle consiste à déterminer la tournée qui minimise le temps du trajet de celle-ci en démarrant et revenant à un dépôt. Dans cette modélisation, nous avons la possibilité de définir des scénarios en modifiant le site de production des sandwiches, des assiettes froides ainsi que le lieu du dépôt (départ et fin de la tournée), mais également le nombre de véhicules.

Ce modèle fonctionne avec un système de missions de livraison : il y a des points de chargement ($\in Sc$) et de déchargement ($\in Sd$). Une mission est réalisée quand la tournée passe par le point de chargement avant le point de déchargement. Ce système permet donc de pouvoir choisir des lieux de production et de dépôt différents, car la tournée est obligée de réaliser toutes les missions. Les points de chargement correspondent aux lieux de production des sandwiches et des assiettes froides comme nous pouvons le voir sur la Figure 8 (avec pour exemple Hornu et Ath).

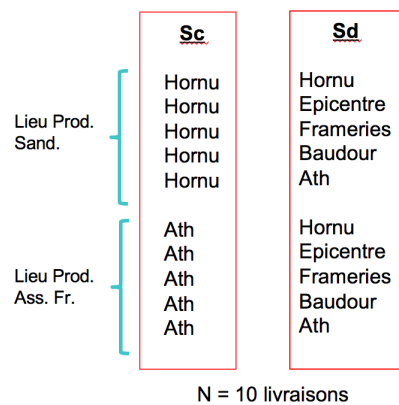


Figure 8 : Les matrices Sc et Sd

Voici le modèle ci-dessous :

- Indices et ensembles :

$i, j \in Sc = \{1, 2, \dots, N\}$: l'ensemble des points de chargements

$i, j \in Sd = \{N+1, N+2, \dots, 2N\}$: l'ensemble des points de déchargements

$0, 2N+2$: le point de départ et le point d'arrivée (dépôt)

$i, j \in Si = Sc \cup Sd \cup \{0, 2N+1\} = \{0, 1, 2, \dots, 2N, 2N+1\}$: l'ensemble des points (départ, chargement, déchargement, arrivée)

$v \in Sv = \{1, \dots, Nv\}$: l'ensemble des véhicules

- Paramètres :

PS=1 : choix du lieu de prod. des sandwiches (1=Hornu, 2=Ath, 3=Baudour)
 PA=2 : choix du lieu de prod. des assiettes froides (1=Hornu, 2=Ath, 3=Baudour)
 LieuStart=1 : choix du lieu de dépôt (départ/arrivée navette) (1=Hornu, 2=Ath, 3=Baudour)
 Nv=1 : le nombre de véhicule(s)
 N=10 : le nombre de livraisons
 M=240 : le temps maximal (en minutes) de roulage autorisé pour un véhicule
 TTraij_{ij} : le temps de trajet entre les points i et j (i,j ∈ Si)
 Timewaiting=10 : le temps d'attente sur les lieux lors de la livraison (en minutes)

- Variables :

X_{ij}^v : =1 si le véhicule v va directement du point i (∈ Si) au point j (∈ Si) ,0 sinon.
 t_i^v : moment de l'arrivée du véhicule v au point i (∈ Si) (en minutes)
 U_i^v : valeur représentant l'ordre de passage au point i par le véhicule v

- Modèle :

$$\text{Min} \sum_{i \in Si} \sum_{j \in Si} \sum_{v \in Sv} TTraij_{ij} \cdot X_{ij}^v \quad (8.1)$$

$$\text{s. t :} \quad \sum_{j \in Si} \sum_{v \in Sv} X_{ij}^v = 1 \quad \forall i \in Sc \quad (8.2)$$

$$\sum_{j \in Si} X_{ij}^v = \sum_{j \in Si} X_{N+i,j}^v \quad \forall i \in Sc, \forall v \in Sv \quad (8.3)$$

$$\sum_{j \in Si} X_{ji}^v = \sum_{j \in Si} X_{ij}^v \quad \forall i \in Sc \cup Sd, \forall v \in Sv \quad (8.4)$$

$$\sum_{j \in Si} X_{0,j}^v = 1 \quad \forall v \in Sv \quad (8.5)$$

$$\sum_{i \in Si} X_{i,0}^v = 0 \quad \forall v \in Sv \quad (8.6)$$

$$\sum_{j \in Si} X_{2N+1,j}^v = 0 \quad \forall v \in Sv \quad (8.7)$$

$$\sum_{i \in Si} X_{i,2N+1}^v = 1 \quad \forall v \in Sv \quad (8.8)$$

$$t_j^v \geq t_i^v + \text{timewaiting} + T\text{Traij}_{ij} - M.(1 - X_{ij}^v) \quad \forall i, j \in Si, \forall v \in Sv, \\ \forall T\text{Traij}_{ij} \neq 0 \quad (8.9)$$

$$t_j^v \geq t_i^v + T\text{Traij}_{ij} - M.(1 - X_{ij}^v) \quad \forall i, j \in Si, \forall v \in Sv, \forall T\text{Traij}_{ij} = 0 \quad (8.10)$$

$$t_{N+i}^v - t_i^v \geq 0 \quad \forall i \in Sc, \forall v \in Sv \quad (8.11)$$

$$t_{2N+1}^v - t_0^v \geq 0 \quad \forall v \in Sv \quad (8.12)$$

$$U_i^v + 1 \leq U_j^v + M.(1 - X_{ij}^v) \quad \forall i, j \in Si, \forall v \in Sv \quad (8.13)$$

$$U_i^v \geq 1 \quad \forall i \in Si, \forall v \in Sv \quad (8.14)$$

$$U_i^v \leq M \quad \forall i \in Si, \forall v \in Sv \quad (8.15)$$

$$U_i^v \in \mathbb{R} \quad \forall i \in Si, \forall v \in Sv \quad (8.16)$$

$$X_{ij}^v \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in Si, \forall v \in Sv \quad (8.17)$$

$$t_i^v \in \mathbb{R}^+ \quad \forall i \in Si, \forall v \in Sv \quad (8.18)$$

La fonction objectif (8.1) minimise donc le temps de trajet total. La première contrainte (8.2) permet de définir que chaque livraison doit être réalisée. La contrainte (8.3) définit que chaque livraison (chargement + déchargement) est réalisée par un seul véhicule et la contrainte (8.4) est la loi des nœuds : un véhicule qui rentre dans un point (chargement ou déchargement) doit en ressortir. Les contraintes (8.5) à (8.8) contraignent le dépôt : un véhicule doit partir du dépôt et un véhicule doit arriver au point d'arrivée. Les contraintes (8.9) et (8.10) définissent t_i^v , le moment d'arrivée : la première introduit la notion du temps d'attente (timewaiting) lorsque l'on change de site tandis que la seconde ne le prend pas en compte lorsqu'on reste sur le même site. Dans le cas d'un modèle où nous ne devons pas prendre en compte le temps d'attente, les contraintes (8.9) et (8.10) peuvent être remplacées par une seule (8.19) :

$$t_j^v \geq t_i^v + T\text{Traij}_{ij} - M.(1 - X_{ij}^v) \quad \forall i, j \in Si, \forall v \in Sv \quad (8.19)$$

La contrainte (8.11) définit que l'on doit passer par le point de chargement avant le point de déchargement et la (8.12) contrainte un temps minimum de roulage pour les véhicules (elle n'est pas essentielle). Ensuite, la contrainte (8.13) permet l'élimination des sous-tours. Les

contraintes (8.14) à (8.18) définissent les domaines des variables. Le code complet de ce modèle sur Xpress est présent en **Annexe 13**.

Ce modèle est utilisé dans ce cas pour minimiser les temps de trajets, mais il peut également minimiser la distance si l'on modifie la matrice $TTraj_{ij}$ avec des données en kilomètres et que l'on supprime la variable « timewaiting ».

Le modèle, dans la configuration présentée ci-dessus, ne va utiliser qu'un seul véhicule (même si plusieurs sont disponibles) étant donné que le chemin le plus court (en temps total) sera toujours réalisable par un véhicule (car il y a un retour au dépôt). Il y a une nécessité d'utiliser plusieurs véhicules si nous contraignons la durée maximale de roulage pour chaque véhicule (8.20) (ex. 150 minutes) :

$$t_{2N+1}^v \leq 150 \quad \forall v \in Sv \quad (8.20)$$

Dans ce modèle, il y a une certaine redondance des contraintes (8.9 - 8.10) et (8.13). En effet, les variables t_i^v et U_i^v ont un rôle similaire étant donné qu'elles représentent toutes les deux l'ordre de passage au point i . Cependant, la variable t_i^v définit, en plus de l'ordre, le moment d'arrivée (en minutes) au point i . Cette notion permet de définir des contraintes de « time windows » comme la (8.20). Si nous ne souhaitons pas garder ce moment d'arrivée, mais simplement trouver le trajet le plus court, nous pouvons enlever la variable U_i^v et les contraintes de (8.13) à (8.16) et remplacer les contraintes (8.9) et (8.10) par une seule (8.21) :

$$t_j^v \geq t_i^v + 1 + TTraj_{ij} - M \cdot (1 - X_{ij}^v) \quad \forall i, j \in Si, \forall v \in Sv \quad (8.21)$$

Avec cette modification, la valeur de t_i^v ne correspondra donc plus à la valeur d'arrivée au point i , mais sera utilisée comme étant un ordre de passage (comme U_i^v actuellement). Cette contrainte (8.21) jouera le rôle de contrainte d'élimination des sous-tours.

Ce modèle est intéressant, mais il minimise le temps de trajet en prenant en compte le retour au dépôt dans son itinéraire. Ce qui, pour EpiCURA, n'est pas l'objectif principal. En effet, le principal problème est de minimiser le temps de trajet pour réaliser toutes les missions, sans prendre en compte le retour au dépôt du véhicule. La principale contrainte d'EpiCURA est de livrer sur les différents sites le plus rapidement possible, et non pas de livrer et de revenir au dépôt le plus rapidement. Cette différence impacte donc l'itinéraire optimal.

Ce type de modèle est appelé « vehicle routing problem with no ending points ». Cela signifie que l'on définit un lieu de départ des véhicules (le dépôt), mais pas de lieu d'arrivée. L'astuce pour modéliser ce problème sans modifier la modélisation actuelle est de définir un lieu d'arrivée fictif où les temps de trajet pour y arriver sont nuls. La seule modification à réaliser est donc dans la matrice $T_{Traij,j}$ où les temps de trajet pour revenir au dépôt sont égaux à 0. Les 2 modifications à réaliser dans le code sur Xpress sont présentées en Annexe 14. Dans ce type de problème, il y a donc une utilité à travailler avec plusieurs véhicules (sans contraindre leur durée maximale de roulage).

3.4.2 Modèle d'optimisation de la tournée à 2 dépôts

Une des particularités de l'implémentation des sites est l'excentricité d'Ath. En effet, Ath est situé à minimum 40 minutes de son site le plus proche (Baudour) tandis que tous les autres sont situés à maximum 20 minutes l'un de l'autre. Nous pouvons donc imaginer le cas où l'on utilise 2 véhicules qui partiraient de dépôts différents et où ils échangeraient leur production sur un lieu d'échange. Un des deux véhicules retournerait à son lieu de production et l'autre effectuerait la tournée sur les autres sites en optimisant le temps de trajet.

Prenons l'exemple de la Figure 9 où il y a 2 lieux de production : le lieu 1 et le lieu 2. Un premier véhicule part du lieu 1 pour aller vers le lieu 3 (le lieu d'échange) et le deuxième véhicule fait de même en partant du lieu 2. Les 2 véhicules arrivent donc en même temps sur le lieu 3 où ils vont s'échanger leur production : le véhicule 2 repart avec les repas produits sur le lieu 1, destinés à être consommés pour le lieu 2, et le véhicule 1 repart avec les repas produits sur le lieu 2 destinés à être consommés sur tous les autres sites. Le deuxième véhicule va donc retourner sur le lieu 2 et le premier véhicule va distribuer les repas sur les autres sites en optimisant son trajet.

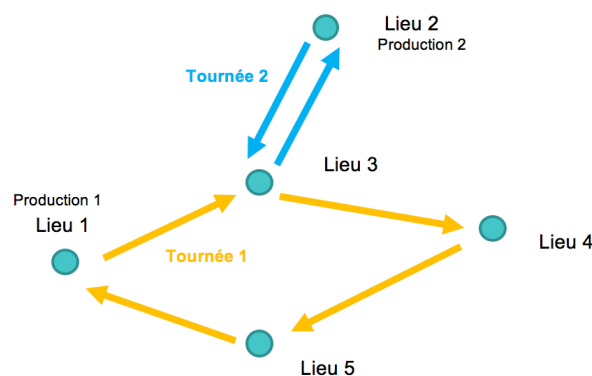


Figure 9 : Exemple avec 2 dépôts

Ce modèle est donc une simple variante du précédent étant donné que la tournée 2 ne peut-être qu'un simple aller-retour vers le lieu d'échange, seule la tournée 1 doit être optimisée. Il doit donc y avoir une bonne coordination entre les véhicules pour que ceux-ci arrivent en même temps sur le lieu d'échange et ne perdent pas de temps à attendre.

La modélisation reste donc la même que pour le modèle d'optimisation des tournées vu au point précédent étant donné que c'est la tournée 1 qui est à minimiser. Les seules modifications réalisées sont dans les matrices Sc et Sd (et donc dans la matrice $TTraij_{ij}$) comme nous pouvons le voir sur la Figure 10. En effet, dans la matrice Sc , le lieu de production 2 est remplacé par le lieu d'échange et dans la matrice Sd , le lieu de production 2 est remplacé par le lieu de production 1. Dans cet exemple, le lieu de production 1 est Hornu, le lieu de production 2 est Ath et le lieu d'échange est Baudour. Comme nous pouvons le voir, il y a une redondance de certaines missions ; cela permet simplement de ne pas devoir modifier le code.

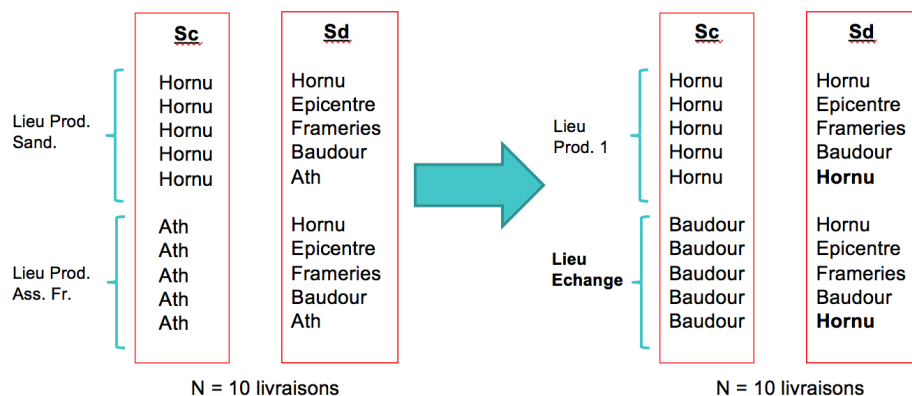


Figure 10 : Les matrices Sc et Sd avec 2 dépôts

Le code complet de ce modèle sur Xpress est présent en Annexe 15. Il comporte également d'autres modifications que le code du premier modèle, notamment au niveau de l'affichage de la solution. Dans ce programme, nous avons la possibilité de définir des scénarios en modifiant le site de production des sandwiches, des assiettes froides, le lieu des dépôts (départ et fin des tournées) ainsi que le lieu d'échange. Nous pouvons aussi choisir le nombre de véhicules à utiliser pour réaliser la tournée 1.

Tout comme le modèle d'optimisation de la tournée avec un seul dépôt décrit au point précédent, il minimise le temps de trajet (de la tournée 1) en prenant en compte le retour au dépôt dans son itinéraire. Pour EpiCURA, l'objectif principal est de réaliser les livraisons le plus rapidement possible c'est pourquoi nous pouvons également modifier ce modèle de la même manière : en ne définissant pas de lieu d'arrivée et donc en supprimant le retour au dépôt

(« vehicle routing problem with no ending points »). Les 2 modifications à réaliser dans le code sur Xpress sont les mêmes que celles présentées en Annexe 14.

3.4.3 Modèle d'optimisation permettant d'utiliser les tournées existantes

Une piste intéressante qu'EpiCURA souhaite explorer est l'utilisation des tournées actuelles du service transport pour livrer les repas froids. Ces tournées sont décrites en Annexe 8. L'idée est donc de réaliser un modèle d'optimisation qui permet de trouver, dans les tournées du service transport, la possibilité ou non d'effectuer une livraison allant du point i au point j avant une heure définie et si c'est le cas de déterminer le chemin de la livraison pour qu'elle soit réalisée au plus vite.

Par exemple, dans les 2 tournées suivantes (en minutes) :

T1 : Hornu (480) → Ath (516) → Epicentre (565) → Hornu (600)

T2 : Baudour (480) → Frameries (495) → Epicentre (555) → Ath (595)

Y'a-t-il la possibilité de réaliser la mission **Baudour vers Hornu** avant 10h15 (615) ?

Le but du modèle sera alors de renvoyer la solution :

« Aller de Baudour à Epicentre en utilisant la tournée 2 puis d'Epicentre à Hornu avec la tournée 1 : arrivée à Hornu à 10h00 (600) ≤ 10h15 (615) ».

L'objectif du modèle est donc de trouver des trajets dans des tournées existantes pour réaliser des missions de livraisons le plus tôt possible. Par exemple, si la tournée 2 devient :

T2 : Baudour (480) → Frameries (495) → Epicentre (555) → Ath (595) → Hornu (610)

Le modèle renverra la même solution que précédemment étant donné qu'il peut arriver à Hornu à 10h00 (600) avec un changement de tournée à Epicentre. Cependant, nous verrons une variante de ce modèle qui permet de déterminer la possibilité ou non de réaliser une mission de livraison au plus tôt sans utiliser de changement de tournée. Dans ce modèle, si nous reprenons l'exemple avec la première version de la tournée 2, il ne renverrait pas de solution étant donné que la mission n'est pas réalisable. Cependant, avec la version modifiée de la tournée 2, le modèle renverra la solution :

« Aller de Baudour à Hornu en utilisant la tournée 2 : arrivée à Hornu à 10h10 (610) ≤ 10h15 (615) ».

Pour mettre en place un modèle de ce type, il est nécessaire d'organiser les données. Pour cela, les tournées existantes sont stockées dans la matrice $Tournees_{ij}^k$. Les tournées ne peuvent pas contenir plus d'une fois le nom d'une même ville. Celles dont ce n'est pas le cas, il faut les diviser en sous-tournées. Dans l'exemple, la tournée 1 doit donc être décomposée en 2 sous-tournées comme décrites dans la Figure 11 ci-dessous.

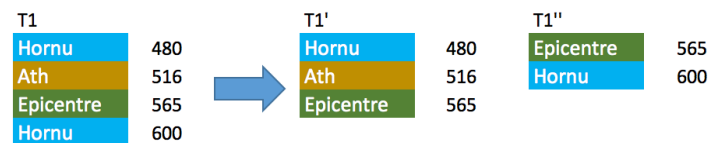


Figure 11 : Division en sous-tournées

Une fois toutes les tournées ne contenant au maximum qu'une seule fois chaque ville, elles sont décomposées en couples comme présentés sur la Figure 12. Un couple est représenté par 2 sites (le point de départ et le point d'arrivée) ainsi que l'heure à laquelle la tournée arrive sur le point d'arrivée. Tous les couples possibles dans la tournée sont répertoriés (avec le point de départ).

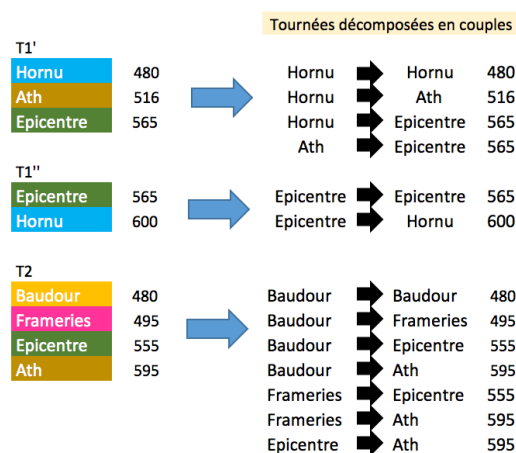


Figure 12 : Décomposition en couples

Tous ces couples sont ensuite stockés dans la matrice $Tournees_{ij}^k$ qui contient, pour chaque tournée k, les temps d'arrivée pour arriver au point j en partant du point i. Un exemple de la tournée 2 stockée dans la matrice $Tournees_{ij}^k$ est présenté sur la Figure 13.

		Points d'arrivée					
		T2	Hornu	Epicentre	Frameries	Ath	Baudour
Points de départ	Hornu		0	0	0	0	0
	Epicentre		0	0	0	595	0
	Frameries		0	555	0	595	0
	Ath		0	0	0	0	0
	Baudour		0	555	495	595	480

Figure 13 : Exemple de la matrice des tournées

Dans la matrice $Tournees_{ij}^k$, il y a une tournée supplémentaire qui y est ajoutée. Celle-ci est appelée « la tournée backup ». Elle contient des temps d'arrivée égaux à 1 dans toute sa matrice. Cela signifie que tous les couples (et donc les trajets) sont possibles. Elle est utilisée dans le cas où il n'y a pas de solutions, pas de trajet possible pour réaliser une mission de livraison. Cela permet au programme Xpress de ne pas se mettre en « erreur ».

Les missions de livraisons sont quant à elles stockées dans la matrice $Missions_{ij}^m$. De la même manière, ce sont des couples : représentés par un point de départ et un point d'arrivée ainsi que l'heure à laquelle la livraison doit être faite sur le point d'arrivée. Elles sont donc stockées de manière similaire comme nous pouvons le voir sur la Figure 14 où la mission de l'exemple (Baudour vers Hornu avant 10h15) est affichée dans la matrice $Missions_{ij}^m$.

		Points d'arrivée					
		Mission 1	Hornu	Epicentre	Frameries	Ath	Baudour
Points de départ	Hornu		0	0	0	0	0
	Epicentre		0	0	0	0	0
	Frameries		0	0	0	0	0
	Ath		0	0	0	0	0
	Baudour		615	0	0	0	0

Figure 14 : Exemple de la matrice des missions

Voici le modèle ci-dessous :

- Indices et ensembles :

$i, j, l \in \text{Villes} = \{1, 2, \dots, 5\}$: l'ensemble des sites (villes)

$m \in \text{NM} = \{1, 2, \dots, \text{NbM}\}$: l'ensemble des missions

$k \in \text{nbtournees} = \{1, 2, \dots, \text{nbt}+1\}$: l'ensemble des sous-tournées
(+1 car une tournée « backup »).

- Paramètres :

NbM=2 : le nombre de missions à réaliser

nbt=13 : le nombre de tournées

M=9999 : un grand nombre

$Missions_{ij}^m$: pour chaque mission m, le temps d'arrivée maximum pour aller de la ville i à la ville j

$Tournees_{ij}^k$: le temps d'arrivée de la sous-tournée k pour arriver au point j en partant du point i.

MDA^m : les points de départ et d'arrivée des missions m (point de départ = $MDA(m)$ et point d'arrivée = $MDA(m+NbM)$).

$Departtournees^k$: lieu de départ de la tournée k

- Variable :

X_{ij}^{mk} : =1 si la tournée k allant du site i au site j est sélectionné pour réaliser la mission m, 0 sinon.

- Modèle :

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{\substack{m \in \\ NM}} \sum_{\substack{k \in \\ nbtournees}} \sum_{\substack{i \in \\ Villes}} \sum_{\substack{j \in \\ Villes}} X_{i MDA(m+NbM) j}^{mk} \cdot Tournees_{i MDA(m+NbM) j}^k \\ & + M \cdot \sum_{\substack{m \in \\ NM}} \sum_{\substack{i \in \\ Villes}} \sum_{\substack{j \in \\ Villes}} X_{ij}^{m(nbt+1)} \end{aligned} \quad (9.1)$$

$$\text{s. t :} \quad \sum_{\substack{i \in \\ Villes}} \sum_{\substack{j \in \\ Villes}} X_{ij}^{mk} \leq 1 \quad \forall m \in NM, \forall k \in nbtournees \quad (9.2)$$

$$X_{ij}^{mk} \leq Tournees_{ij}^k \quad \forall m \in NM, \forall k \in nbtournees, \forall i, j \in Villes \quad (9.3)$$

$$\sum_{\substack{k \in \\ nbtournees}} \sum_{\substack{j \in \\ Villes}} X_{MDA(m) j}^{mk} = 1 \quad \forall m \in NM \quad (9.4)$$

$$\sum_{\substack{k \in \\ nbtournees}} \sum_{\substack{i \in \\ Villes}} X_{i MDA(m)}^{mk} = 0 \quad \forall m \in NM \quad (9.5)$$

$$\sum_{k \in \text{nbtournees}} \sum_{i \in \text{Villes}} X_{i \text{MDA}(m+NbM)}^{mk} = 1 \quad \forall m \in NM \quad (9.6)$$

$$\sum_{k \in \text{nbtournees}} \sum_{j \in \text{Villes}} X_{\text{MDA}(m+NbM)j}^{mk} = 0 \quad \forall m \in NM \quad (9.7)$$

$$\sum_{k \in \text{nbtournees}} \sum_{j \in \text{Villes}} X_{ji}^{mk} = \sum_{k \in \text{nbtournees}} \sum_{j \in \text{Villes}} X_{ij}^{mk} \quad \forall m \in NM, \forall i \in \text{Villes}, \quad (9.8)$$

$$i \neq \text{MDA}(m),$$

$$i \neq \text{MDA}(m + NbM)$$

$$X_{i \text{MDA}(m+NbM)}^{mk} \cdot \text{Tournees}_{i \text{MDA}(m+NbM)}^k \leq \sum_{l \in \text{Villes}} \text{Missions}_{i \text{MDA}(m+NbM)}^m \quad (9.9)$$

$$\forall m \in NM,$$

$$\forall k \in \text{nbtournees},$$

$$\forall i \in \text{Villes}$$

$$\sum_{k \in \text{nbtournees}} \sum_{j \in \text{Villes}} X_{ji}^{mk} \cdot \text{Tournees}_{ji}^k \leq \sum_{k \in \text{nbtournees}} \sum_{j \in \text{Villes}} X_{ij}^{mk} \cdot \text{Tournees}_{\text{Departtournee}(k) i}^k$$

$$+ M \cdot (1 - \sum_{k \in \text{nbtournees}} \sum_{j \in \text{Villes}} X_{ij}^{mk}) \quad \forall m \in NM, \forall i \in \text{Villes} \quad (9.10)$$

$$X_{ii}^{mk} = 0 \quad \forall m \in NM, \forall k \in \text{nbtournees}, \forall i \in \text{Villes} \quad (9.11)$$

$$X_{ij}^{mk} \in \{0,1\} \quad \forall m \in NM, \forall k \in \text{nbtournees}, \forall i, j \in \text{Villes} \quad (9.12)$$

La fonction objectif (9.1) minimise les temps de trajet pour réaliser la mission le plus rapidement possible. Dans le cas où il n'y a pas de trajet possible, la « tournée backup » est utilisée et cela est pénalisé dans la fonction objectif. La contrainte (9.2) définit que, pour chaque mission, il ne peut y avoir qu'un couple au maximum sélectionné dans chaque tournée. La contrainte (9.3) stipule qu'il ne peut pas y avoir de couple sélectionné où le temps d'arrivée est égal à 0. Les contraintes (9.4) et (9.5) indiquent que pour chaque mission, nous ne pouvons quitter qu'une seule fois le site de départ et ne pas y revenir. Les contraintes (9.6) et (9.7) ont la même logique que pour le site d'arrivée : nous ne pouvons arriver qu'une seule fois sur ce site et nous ne pouvons pas le quitter.

Ensuite, la contrainte (9.8) est la loi des nœuds : elle stipule que si nous arrivons sur un site, nous devons le quitter sauf s'il s'agit des points de départ ou d'arrivée. La contrainte (9.9) est une contrainte de temps : elle oblige les temps d'arrivée des trajets à être inférieurs aux temps d'arrivée définis dans les missions. Nous utilisons ici un indice « 1 » pour sélectionner le point de départ avec une somme ce qui permet de récupérer la valeur du temps d'arrivée maximum de la mission étant donné que la matrice $Missions_{ij}^m$ est complétées de 0.

La contrainte (9.10) est également une contrainte de temps : elle permet, lors d'un changement de tournée 1 dans une tournée 2 sur un site, d'empêcher de passer par ce site si l'heure d'arrivée de la tournée 2 est inférieure à l'heure d'arrivée de la tournée 1. Dans l'exemple vu précédemment, c'est cette contrainte qui vérifie que l'on puisse passer d'Epicentre de la tournée 2 vers Epicentre de la tournée 1 car la tournée 2 arrive sur le site à 9h15 (555) et la tournée 1 à 9h25 (565). Dans cette contrainte, le terme « $+M \cdot (1 - \sum \sum X_{ij}^{mk})$ » permet de ne pas prendre en compte la contrainte dans les cas où $X_{ij}^{mk} = 0$.

Pour finir, la contrainte (9.11) empêche la sélection de couple ayant la même ville comme point de départ et point d'arrivée et la (9.12) définit la binarité de la variable X_{ij}^{mk} . Le code complet de ce modèle sur Xpress est présent en Annexe 18.

Pour modéliser la variante de ce problème d'optimisation qui permet de déterminer la possibilité ou non de réaliser une mission de livraison au plus tôt sans utiliser de changement de tournée, il est nécessaire de simplifier le modèle.

La première modification à mettre en place est le stockage des données dans la matrice $Tournees_{ij}^k$. En effet, la décomposition des tournées en sous-tournées n'est plus nécessaire : nous pouvons directement décomposer les tournées complètes en missions (couples) et les stocker dans la matrice.

La seconde modification à réaliser est de supprimer les contraintes (9.8) et (9.10) qui concernent les changements de tournées. Pour finir, la contrainte (9.2) doit être remplacée par la contrainte (9.13) ci-dessous. Elle permet de définir que pour chaque mission, il ne peut y avoir qu'un seul couple sélectionné.

$$\sum_{k \in \text{nbtournees}} \sum_{i \in \text{Villes}} \sum_{j \in \text{villes}} X_{ij}^{mk} \leq 1 \quad \forall m \in NM \quad (9.13)$$

3.4.4 Analyse des résultats

Dans cette partie, nous allons analyser les résultats donnés par les 3 modèles d'optimisation présentés précédemment. Nous verrons donc, dans un premier temps, la tournée qui minimise le temps de trajet en revenant au dépôt puis en n'y revenant pas dans le cas de plusieurs scénarios. Ensuite, nous verrons quelles sont les tournées optimales dans le cas où il y a 2 dépôts également en revenant ou non au dépôt selon plusieurs scénarios. Pour finir, nous analyserons les livraisons qui peuvent être effectuées par les tournées du service transport. Tous les résultats ont été obtenus grâce au logiciel FICO Xpress IVE et les différents codes de ces modèles sont disponibles dans les annexes.

- Résultats du modèle d'optimisation de la tournée

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, il y a 2 sites potentiels intéressants pour réaliser la production des repas froids : Hornu et Ath. Nous allons donc analyser les résultats obtenus sur base de 4 scénarios ci-dessous (Figure 15) :

Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3		Scénario 3	
Site de production 1 :	Hornu	Site de production 1 :	Hornu	Site de production 1 :	Hornu	Site de production 1 :	Ath
Site de production 2 :	Ath	Site de production 2 :	Ath	Site de production 2 :	Hornu	Site de production 2 :	Ath
Lieu de départ du véhicule :	Hornu	Lieu de départ du véhicule :	Ath	Lieu de départ du véhicule :	Hornu	Lieu de départ du véhicule :	Ath

Figure 15 : Les scénarios potentiels pour la tournée avec 1 dépôt

Voici ci-dessous dans le Tableau 5 les résultats obtenus dans le cas où il y a une optimisation du trajet complet (prenant en compte le retour au dépôt) et l'utilisation de 1 véhicule. Les temps de trajet intersites ont été calculés sur base des temps donnés par Google Maps en y ajoutant une marge de 20% (voir Annexe 9). Les temps de livraisons sur chaque site ont été estimés à 10 minutes.

Tableau 5 : Résultats de la tournée 1 dépôt avec 1 véhicule et un retour au dépôt

Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
<p>Horaire : ----- Start : Hornu - 8h00 Arrivée : Ath - 8h43 Depart : Ath - 8h53 Arrivée : Baudour - 9h33 Depart : Baudour - 9h43 Arrivée : Frameries - 10h03 Depart : Frameries - 10h13 Arrivée : Epicentre - 10h29 Depart : Epicentre - 10h39 Arrivée : Hornu - 10h43 Depart : Hornu - 10h53 End : Hornu</p> <p>temps du total : 173min - 2h53 temps du trajet : 123min - 2h03</p>	<p>Horaire : ----- Start : Ath - 8h00 Arrivée : Hornu - 8h43 Depart : Hornu - 8h53 Arrivée : Epicentre - 8h57 Depart : Epicentre - 9h07 Arrivée : Frameries - 9h23 Depart : Frameries - 9h33 Arrivée : Baudour - 9h53 Depart : Baudour - 10h03 Arrivée : Ath - 10h43 Depart : Ath - 10h53 End : Ath</p> <p>temps du total : 173min - 2h53 temps du trajet : 123min - 2h03</p>	<p>Horaire : ----- Start : Hornu - 8h00 Arrivée : Epicentre - 8h04 Depart : Epicentre - 8h14 Arrivée : Frameries - 8h30 Depart : Frameries - 8h40 Arrivée : Baudour - 9h00 Depart : Baudour - 9h10 Arrivée : Ath - 9h50 Depart : Ath - 10h00 Arrivée : Hornu - 10h43 Depart : Hornu - 10h53 End : Hornu</p> <p>temps du total : 173min - 2h53 temps du trajet : 123min - 2h03</p>	<p>Horaire : ----- Start : Ath - 8h00 Arrivée : Baudour - 8h40 Depart : Baudour - 8h50 Arrivée : Frameries - 9h10 Depart : Frameries - 9h20 Arrivée : Hornu - 9h36 Depart : Hornu - 9h46 Arrivée : Epicentre - 9h50 Depart : Epicentre - 10h00 Arrivée : Ath - 10h43 Depart : Ath - 10h53 End : Ath</p> <p>temps du total : 173min - 2h53 temps du trajet : 123min - 2h03</p>

Comme nous pouvons le voir, tous les trajets trouvés possèdent le même résultat : 173 minutes. Cela est dû au fait qu'il y ait le retour au point de départ (dépôt) pris en considération dans l'itinéraire et qu'il n'y a pas un trop grand nombre de possibilités. Il n'est pas intéressant d'envisager l'utilisation d'un 2^{ème} véhicule dans ce modèle, car il ne serait pas utilisé étant donné que le chemin le plus court (en temps total) sera toujours réalisable par un véhicule (dû au retour vers le dépôt).

Voici donc ci-dessous dans le Tableau 6 les résultats obtenus lorsque le retour au dépôt n'est pas pris en compte dans le trajet et lorsqu'on utilise 1 véhicule. Ce modèle est plus intéressant, car la principale contrainte d'EpiCURA est de livrer sur les différents sites le plus rapidement possible, et non pas de livrer et de revenir au dépôt le plus rapidement.

Tableau 6 : Résultats de la tournée 1 dépôt avec 1 véhicule et sans retour dépôt

Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
<p>Horaire : ----- Start : Hornu - 8h00 Arrivée : Ath - 8h43 Depart : Ath - 8h53 Arrivée : Baudour - 9h33 Depart : Baudour - 9h43 Arrivée : Epicentre - 9h57 Depart : Epicentre - 10h07 Arrivée : Hornu - 10h11 Depart : Hornu - 10h21 Arrivée : Frameries - 10h37 Depart : Frameries - 10h47 End : Hornu</p> <p>temps total : 167min - 2h47 temps du trajet : 117min - 1h57</p>	<p>Horaire : ----- Start : Ath - 8h00 Arrivée : Hornu - 8h43 Depart : Hornu - 8h53 Arrivée : Epicentre - 8h57 Depart : Epicentre - 9h07 Arrivée : Frameries - 9h23 Depart : Frameries - 9h33 Arrivée : Baudour - 9h53 Depart : Baudour - 10h03 Arrivée : Ath - 10h43 Depart : Ath - 10h53 End : Ath</p> <p>temps total : 173min - 2h53 temps du trajet : 123min - 2h03</p>	<p>Horaire : ----- Start : Hornu - 8h00 Arrivée : Epicentre - 8h04 Depart : Epicentre - 8h14 Arrivée : Frameries - 8h30 Depart : Frameries - 8h40 Arrivée : Baudour - 9h00 Depart : Baudour - 9h10 Arrivée : Ath - 9h50 Depart : Ath - 10h00 End : Hornu</p> <p>temps total : 120min - 2h00 temps du trajet : 80min - 1h20</p>	<p>Horaire : ----- Start : Ath - 8h00 Arrivée : Baudour - 8h40 Depart : Baudour - 8h50 Arrivée : Epicentre - 9h04 Depart : Epicentre - 9h14 Arrivée : Hornu - 9h18 Depart : Hornu - 9h28 Arrivée : Frameries - 9h43 Depart : Frameries - 9h53 End : Ath</p> <p>temps total : 114min - 1h54 temps du trajet : 74min - 1h14</p>

Comme nous pouvons le voir, les 2 scénarios où toute la production est centralisée sur un seul site (scénarios 3 et 4) sont les plus intéressants. En effet, cela est dû au fait qu'il n'y ait pas d'aller-retour vers le site d'Ath qui est excentré.

Un scénario qui peut être envisagé par EpiCURA est que le site d'Ath produise l'ensemble de ses repas froids en plus de ceux à livrer sur les autres sites. Par exemple, nous pouvons envisager que Hornu produise les sandwiches et qu'Ath produise les assiettes froides, mais aussi ses sandwiches. Cette configuration permet de supprimer la mission la plus contraignante : livrer les sandwiches de Hornu vers Ath. En supprimant cette mission, nous obtenons un scénario 2' plus intéressant présenté sur le Tableau 7.

Tableau 7: Résultat scénario 2'

Scénario 2'
Horaire : ----- Start : Ath - 8h00 Arrivée : Hornu - 8h43 Depart : Hornu - 8h53 Arrivée : Epicentre - 8h57 Depart : Epicentre - 9h07 Arrivée : Baudour - 9h21 Depart : Baudour - 9h31 Arrivée : Frameries - 9h51 Depart : Frameries - 10h01 End : Ath temps total : 121min - 2h01 temps du trajet : 81min - 1h20

Dans ce modèle, nous pouvons envisager la possibilité d'utiliser plusieurs véhicules. Voici donc ci-dessous dans le Tableau 8 les résultats obtenus si nous décidons de réaliser les livraisons avec 2 véhicules. Le code pour l'affichage de la solution a été modifié et est disponible en Annexe 16.

Tableau 8 : Résultats de la tournée 1 dépôt avec 2 véhicules et sans retour dépôt

Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Horaire Vehicule 1 : ----- Start : Hornu - 8h00 Arrivée : Ath - 8h43 Depart : Ath - 8h53 Arrivée : Baudour - 9h33 Depart : Baudour - 9h43 Arrivée : Hornu - 9h57 Depart : Hornu - 10h07 Arrivée : Epicentre - 10h11 Depart : Epicentre - 10h21 Arrivée : Frameries - 10h37 Depart : Frameries - 10h47 End : Hornu temps total : 167min - 2h47 Horaire Vehicule 2 : ----- Start : Hornu - 8h00 End : Hornu temps total : 0min - 0h00 temps du trajet cumule : 117min - 1h57	Horaire Vehicule 1 : ----- Start : Ath - 8h00 End : Ath temps total : 0min - 0h00 Horaire Vehicule 2 : ----- Start : Ath - 8h00 Arrivée : Hornu - 8h43 Depart : Hornu - 8h53 Arrivée : Epicentre - 8h57 Depart : Epicentre - 9h07 Arrivée : Frameries - 9h23 Depart : Frameries - 9h33 Arrivée : Baudour - 9h53 Depart : Baudour - 10h03 Arrivée : Ath - 10h43 Depart : Ath - 10h53 End : Ath temps total : 173min - 2h53 temps du trajet cumule : 123min - 2h03	Horaire Vehicule 1 : ----- Start : Hornu - 8h00 Arrivée : Baudour - 8h14 Depart : Baudour - 8h24 Arrivée : Ath - 9h04 Depart : Ath - 9h14 End : Hornu temps total : 74min - 1h14 Horaire Vehicule 2 : ----- Start : Hornu - 8h00 Arrivée : Epicentre - 8h04 Depart : Epicentre - 8h14 Arrivée : Frameries - 8h30 Depart : Frameries - 8h40 End : Hornu temps total : 40min - 0h40 temps du trajet cumule : 74min - 1h14	Horaire Vehicule 1 : ----- Start : Ath - 8h00 Arrivée : Baudour - 8h40 Depart : Baudour - 8h50 Arrivée : Hornu - 9h04 Depart : Hornu - 9h14 Arrivée : Epicentre - 9h18 Depart : Epicentre - 9h28 Arrivée : Frameries - 9h44 Depart : Frameries - 9h54 End : Ath temps total : 114min - 1h54 Horaire Vehicule 2 : ----- Start : Ath - 8h00 End : Ath temps total : 0min - 0h00 temps du trajet cumule : 74min - 1h14

Lorsque la production n'est pas centralisée au même endroit (scénario 1 et 2), il n'y a pas l'utilité d'avoir un 2^{ème} véhicule si ceux-ci partent du même dépôt. C'est également le cas pour le scénario 4, cela s'explique par le fait qu'Ath soit excentré : utiliser plusieurs véhicules en partance d'un site éloigné augmente la durée de trajet totale, cela n'a donc pas d'intérêt.

Par ailleurs, pour le scénario 3, il y a un réel gain de temps : en effet, Hornu ayant une position centrale par rapport aux différents sites, l'utilisation de plusieurs véhicules apporte un intérêt. Les sites seraient tous livrés au plus tard 1h14 après le départ contre 2h00 s'il n'y a qu'un véhicule. L'utilisation de plusieurs camionnettes de livraisons permet donc dans certains cas de diminuer le délai des livraisons. Un test a aussi été réalisé avec 3 véhicules sur le scénario 3 mais n'améliore pas la solution : un véhicule n'est pas utilisé (voir Annexe 17).

- Résultats du modèle d'optimisation de la tournée avec 2 dépôts

Comme expliqué précédemment, ce modèle permet de prendre en compte le cas où nous utilisons 2 véhicules qui partent de dépôts différents et qui échangeraient leur production sur un lieu d'échange. Un des deux véhicules retournerait à son lieu de production et l'autre effectuerait la tournée sur les autres sites en optimisant le temps de trajet. Étant donné qu'il y a 2 sites potentiels pour réaliser la production des repas froids (Ath et Hornu), nous allons analyser les résultats obtenus sur base de 3 scénarios ayant comme lieux de production ces 2 sites (voir Figure 16).

Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3	
Site de production 1 :	Hornu	Site de production 1 :	Hornu	Site de production 1 :	Hornu
Site de production 2 :	Ath	Site de production 2 :	Ath	Site de production 2 :	Ath
Lieu de départ du véhicule 1 :	Hornu	Lieu de départ du véhicule 1 :	Ath	Lieu de départ du véhicule 1 :	Hornu
Lieu d'échange :	Hornu	Lieu d'échange :	Baudour	Lieu d'échange :	Frameries

Figure 16 : Les scénarios potentiels pour la tournée avec 2 dépôts

Voici ci-dessous dans le Tableau 9 les résultats obtenus dans le cas où il y a une optimisation du trajet complet (prenant en compte le retour au dépôt dans la tournée).

Tableau 9 : Résultats de la tournée 2 dépôts avec 2 véhicules et un retour aux dépôts

Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Horaire V1: ----- Start : Hornu - 8h00 Arrivée : Epicentre - 8h04 Depart : Epicentre - 8h14 Arrivée : Frameries - 8h30 Depart : Frameries - 8h40 Arrivée : Baudour - 9h00 Depart : Baudour - 9h10 Arrivée : Hornu - 9h24 Depart : Hornu - 9h34 End : Hornu ----- temps total V1 : 94min - 1h34 temps du trajet V1 : 54min - 0h54 Horaire V2: ----- Start : Ath - partir au plus tard : 7h07 Arrivée : Hornu - 7h50 Depart : Hornu - 8h00 End : Ath - 8h43 ----- temps total V2 : 1h36 temps du trajet V2 : 1h26	Horaire V1: ----- Start : Hornu - 8h00 Arrivée : Baudour - 8h14 Depart : Baudour - 8h24 Arrivée : Frameries - 8h44 Depart : Frameries - 8h54 Arrivée : Epicentre - 9h10 Depart : Epicentre - 9h20 Arrivée : Hornu - 9h24 Depart : Hornu - 9h34 End : Hornu ----- temps total V1 : 94min - 1h34 temps du trajet V1 : 54min - 0h54 Horaire V2: ----- Start : Ath - partir au plus tard : 7h34 Arrivée : Baudour - 8h14 Depart : Baudour - 8h24 End : Ath - 9h04 ----- temps total V2 : 1h30 temps du trajet V2 : 1h20	Horaire V1: ----- Start : Hornu - 8h00 Arrivée : Frameries - 8h16 Depart : Frameries - 8h26 Arrivée : Baudour - 8h46 Depart : Baudour - 8h56 Arrivée : Epicentre - 9h10 Depart : Epicentre - 9h20 Arrivée : Hornu - 9h24 Depart : Hornu - 9h34 End : Hornu ----- temps total V1 : 94min - 1h34 temps du trajet V1 : 54min - 0h54 Horaire V2: ----- Start : Ath - partir au plus tard : 7h26 Arrivée : Frameries - 8h16 Depart : Frameries - 8h26 End : Ath - 9h16 ----- temps total V2 : 1h50 temps du trajet V2 : 1h40

Comme dans le modèle précédent, tous les trajets trouvés possèdent le même résultat : 54 minutes. Cela est dû au fait qu'il y ait le retour au point de départ (dépôt) pris en considération dans l'itinéraire. Voici donc ci-dessous dans le Tableau 10 les résultats obtenus lorsque le retour au dépôt n'est pas pris en compte dans le trajet.

Tableau 10 : Résultats de la tournée 2 dépôts avec 2 véhicules et sans retour dépôt

Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
<p>Horaire V1: ----- Start : Hornu - 8h00 Arrivee : Epicentre - 8h04 Depart : Epicentre - 8h14 Arrivee : Baudour - 8h28 Depart : Baudour - 8h38 Arrivee : Frameries - 8h58 Depart : Frameries - 9h08 End : Hornu ----- temps total V1 : 68min - 1h08 temps du trajet V1: 38min - 0h38</p> <p>Horaire V2: ----- Start : Ath - partir au plus tard : 7h07 Arrivee : Hornu - 7h50 Depart : Hornu - 8h00 End : Ath - 8h43 ----- temps total V2 : 1h36 temps du trajet V2 : 1h26</p>	<p>Horaire V1: ----- Start : Hornu - 8h00 Arrivee : Baudour - 8h14 Depart : Baudour - 8h24 Arrivee : Hornu - 8h38 Depart : Hornu - 8h48 Arrivee : Epicentre - 8h52 Depart : Epicentre - 9h02 Arrivee : Frameries - 9h18 Depart : Frameries - 9h28 End : Hornu ----- temps total V1 : 88min - 1h28 temps du trajet V1: 48min - 0h48</p> <p>Horaire V2: ----- Start : Ath - partir au plus tard : 7h34 Arrivee : Baudour - 8h14 Depart : Baudour - 8h24 End : Ath - 9h04 ----- temps total V2 : 1h30 temps du trajet V2 : 1h20</p>	<p>Horaire V1: ----- Start : Hornu - 8h00 Arrivee : Frameries - 8h16 Depart : Frameries - 8h26 Arrivee : Hornu - 8h42 Depart : Hornu - 8h52 Arrivee : Epicentre - 8h56 Depart : Epicentre - 9h06 Arrivee : Baudour - 9h20 Depart : Baudour - 9h30 End : Hornu ----- temps total V1 : 90min - 1h30 temps du trajet V1: 50min - 0h50</p> <p>Horaire V2: ----- Start : Ath - partir au plus tard : 7h26 Arrivee : Frameries - 8h16 Depart : Frameries - 8h26 End : Ath - 9h16 ----- temps total V2 : 1h50 temps du trajet V2 : 1h40</p>

Par rapport à la tournée avec un seul dépôt, cette configuration permet de diminuer drastiquement la durée de la tournée. Nous pouvons visualiser que les scénarios 1 et 2 sont les plus intéressants. Le scénario 1 permet de terminer la tournée le plus tôt (à 9h08) à Frameries tandis que le scénario 2 permet de partir plus tard d'Ath, ce qui laisse plus de flexibilité pour la production sur ce site.

Nous pouvons donc conclure que si la durée de production est plus importante à Hornu, le scénario 1 est privilégié tandis que si elle est plus importante à Ath, c'est le scénario 2 qui est privilégié. En effet, si l'heure d'arrivée maximale à Frameries est 12h00, dans le scénario 1 le départ de Hornu pourra se faire plus tard que dans le scénario 2 : 10h52 contre 10h32. A contrario, le départ d'Ath pourra se faire plus tard dans le scénario 2 que dans le 1 : 10h06 contre 9h59.

Dans le scénario envisagé par EpiCURA où Ath produit l'ensemble de ses repas froids en plus de ceux à livrer sur les autres sites, ce type de configuration peut être intéressant, car cela permettrait aux véhicules de ne pas arriver en même temps sur le lieu de l'échange, ce qui est le point sensible de cette tournée à 2 dépôts. En effet, il suffit que la camionnette provenant d'Ath arrive sur le lieu d'échange avant celle qui fait la tournée. Dans le cas du scénario 1, il y

a également la possibilité que les 2 véhicules n'arrivent pas au même moment sur le lieu d'échange étant donné qu'il s'agit du lieu de production (Hornu). Il faut cependant que les repas en destination d'Ath soient prêts quand la camionnette arrive à Hornu pour ne pas perdre de temps.

- Résultats du modèle d'optimisation permettant d'utiliser les tournées existantes

Comme expliqué précédemment, il existe des tournées chez EpiCURA gérées par le service transport (voir Annexe 8). Comme Ath et Hornu sont les sites potentiels pour la production des repas froids, il est intéressant d'explorer la possibilité de réaliser des livraisons à partir de ces sites en utilisant les tournées existantes. Les missions que nous allons explorer sont donc celles partant du site d'Ath vers les 4 autres sites et de même en partance de Hornu. Les livraisons doivent être effectuées avant 12h00 sur tous les sites excepté Hornu avant 11h30.

Pour mettre en place ce modèle, il est nécessaire d'organiser les données. La procédure pour stocker les tournées existantes dans les matrices $Tournees_{ij}^k$ et $Departtournees^k$ est disponible en Annexe 19. Dans un premier temps, il faut sélectionner seulement les sites importants ainsi que la tranche horaire adéquate : dans notre cas, elle sera de 8h00 jusque 12h00. En effet, la tournée ne commencera pas avant 8h00 et les livraisons doivent être faites avant l'ouverture des selfs à 12h00. Après cela, il faut décomposer ces tournées en sous-tournées lorsqu'il y a plusieurs fois le même site pour ensuite les stocker dans les matrices. Pour le modèle ne prenant pas en compte le changement de tournées, la procédure pour stocker les données ne nécessite pas de décomposer les tournées en sous-tournées. La procédure pour cette variante est disponible en Annexe 20.

Dans cette analyse, nous allons observer les résultats selon les 2 variantes du modèle : la première en cherchant à déterminer la réalisation des livraisons le plus tôt possible en laissant la possibilité au modèle d'effectuer des changements de tournées et, dans la seconde, en ne permettant pas au modèle d'effectuer ces changements. Voici donc ci-dessous dans le Tableau 11 les résultats obtenus.

Tableau 11 : Résultats du modèle permettant d'utiliser les tournées existantes

Avec possibilité de changements de tournées	Sans possibilité de changements de tournées
Mission 1 : Ath ==> Hornu (avant 690 - 11h30) Tournee 1 : Ath --> Baudour (670-11h10) Tournee 5 : Baudour --> Hornu (690-11h30)	Mission 1 : Ath ==> Hornu (avant 690 - 11h30) Pas de possibilites
Mission 2 : Ath ==> Epicentre (avant 720 - 12h00) Pas de possibilites	Mission 2 : Ath ==> Epicentre (avant 720 - 12h00) Pas de possibilites
Mission 3 : Ath ==> Frameries (avant 720 - 12h00) Tournee 1 : Ath --> Baudour (670-11h10) Tournee 2 : Baudour --> Frameries (720-12h00)	Mission 3 : Ath ==> Frameries (avant 720 - 12h00) Pas de possibilites
Mission 4 : Ath ==> Baudour (avant 720 - 12h00) Tournee 1 : Ath --> Baudour (670-11h10)	Mission 4 : Ath ==> Baudour (avant 720 - 12h00) Tournee 1 : Ath --> Baudour (670-11h10)
Mission 5 : Hornu ==> Epicentre (avant 720 - 12h00) Tournee 4 : Hornu --> Epicentre (600-10h00)	Mission 5 : Hornu ==> Epicentre (avant 720 - 12h00) Tournee 4 : Hornu --> Epicentre (600-10h00)
Mission 6 : Hornu ==> Frameries (avant 720 - 12h00) Tournee 2 : Hornu --> Baudour (560-9h20) Tournee 6 : Baudour --> Frameries (590-9h50)	Mission 6 : Hornu ==> Frameries (avant 720 - 12h00) Tournee 2 : Hornu --> Frameries (600-10h00)
Mission 7 : Hornu ==> Ath (avant 720 - 12h00) Pas de possibilites	Mission 7 : Hornu ==> Ath (avant 720 - 12h00) Pas de possibilites
Mission 8 : Hornu ==> Baudour (avant 720 - 12h00) Tournee 2 : Hornu --> Baudour (560-9h20)	Mission 8 : Hornu ==> Baudour (avant 720 - 12h00) Tournee 2 : Hornu --> Baudour (560-9h20)

En analysant les résultats, nous pouvons remarquer que le fait de laisser l'opportunité d'utiliser des changements de tournées augmente les possibilités de trajets et améliore les résultats. Par exemple, pour la mission 6 qui a pour but de réaliser une mission allant de Hornu à Frameries, le changement de tournée permet d'arriver sur le site à 9h50 contre 10h00 sans changements. Il n'y a pas la possibilité de réaliser les missions 2 et 7 et les missions 1 et 2 ne sont pas réalisables sans utiliser de changement.

Cette approche peut donc être intéressante pour EpiCURA, mais il est nécessaire ensuite de vérifier la place disponible dans ces camionnettes aux moments où elles devraient transporter des repas froids, mais également de vérifier la propreté et la compatibilité avec les éléments qu'elles transportent.

Pour conclure cette partie, nous pouvons retenir 2 tournées intéressantes pour la suite. Il s'agit des tournées déterminées par le modèle d'optimisation de la tournée avec 1 véhicule (lorsque le retour au dépôt n'est pas pris en compte) pour les scénarios 1 et 2 (voir Figure 17).

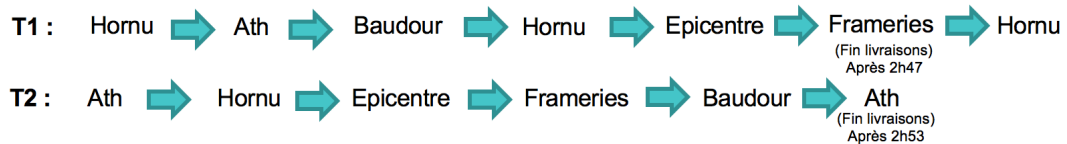


Figure 17 : Les 2 tournées intéressantes

Il y a une différence pour le trajet 1 par rapport au résultat renvoyé par Xpress : l'inversion entre les sites de Hornu et Epicentre. Cette modification n'impacte pas le résultat étant donné que la durée du trajet allant de Baudour à Hornu et celle allant de Baudour à Epicentre est la même.

Dans ce modèle, nous cherchons à minimiser le temps pour effectuer les livraisons et non pas le trajet complet. En effet, la principale contrainte d'EpiCURA est d'arriver à produire les repas froids et les livrer au plus vite sur les sites. Nous verrons dans le chapitre suivant que les temps de production sont longs et qu'il est donc nécessaire d'effectuer les livraisons rapidement pour arriver sur les sites avant l'ouverture des selfs au détriment de minimiser le tour complet qui diminuerait le nombre de kilomètres total et donc les coûts de transport.

Dans ces 2 scénarios, les lieux de productions sont Ath et Hornu. EpiCURA souhaite conserver ces 2 sites pour la production des repas froids, cela permet de ne pas devoir déplacer tout le personnel sur un seul site et de pouvoir produire les repas en parallèle et donc gagner du temps. En effet, dû au manque de place dans les cuisines, il est difficilement envisageable que 2 équipes différentes réalisent en même temps les sandwichs et les assiettes froides. Pour ces différents points, il n'est donc pas envisagé de centraliser la production sur un même site, malgré des scénarios plus intéressants au niveau de la tournée.

EpiCURA souhaite également, dans un premier temps, essayer de mettre en place une configuration ne comprenant qu'un véhicule pour ne pas augmenter les coûts liés à l'utilisation d'une 2^{ème} camionnette. Par rapport à l'utilisation des tournées du service transport, EpiCURA n'émet pas l'impossibilité de les utiliser, mais préfère une solution sans si cela est réalisable. Les horaires de départ et de fin de la tournée seront déterminés par rapport aux temps de production dans le chapitre suivant.

3.5 Détermination des temps de production

Dans cette partie, nous allons dans un premier temps analyser et comparer les temps de production des sandwichs et des assiettes froides sur les 3 sites : Hornu, Ath et Baudour. Ensuite, sur base de ces mesures et de l'analyse des techniques de production, nous allons estimer les durées de production à l'aide de formules pour un nombre de préparations donné, permettant par la suite de réaliser des scénarios de centralisation.

3.5.1 Analyse des temps de production actuels

Pour analyser les temps de production sur chacun des sites, la première étape a été de prendre des mesures sur les différents sites. Cette étape permet d'appréhender le problème de la centralisation en ayant une vision concrète des différents enjeux sur le terrain.

Pour effectuer ces mesures, il faut, à l'aide d'une montre, reporter pour chaque activité réalisée par un employé l'heure de commencement et l'heure de fin de celle-ci. Cette démarche permet d'obtenir une répartition des tâches détaillée pour chaque personne.

Pour les sandwichs, les mesures ont été prises sur les 3 sites tandis que pour les assiettes froides, seulement sur les sites de Baudour et Ath (seulement les heures de commencement et de fin). Les mesures des préparations (le tranchage du jambon, du fromage, la découpe des légumes ...) pour la production du lendemain ont été prises sur Hornu.

Voici ci-dessous (Figure 18) les temps de production des sandwichs mesurés sur Ath. Ceux-ci sont accompagnés d'un diagramme de Gantt permettant de visualiser davantage la répartition des tâches. Les temps pour Hornu et Baudour sont disponibles en Annexe 21.

Personne	De	A	Durée	Nombre	Durée/unité	Temps hors prod.	Mission
P1	08:30:00	08:45:00				00:15:00	Préparation : amener stock + laver + 4 bacs + étiquettes
P2	08:35:00	08:36:10	00:01:10	7	00:00:10	00:05:00	Couper jambon
P2	08:37:10	08:38:20	00:01:10	7	00:00:10	00:01:00	Couper fromage
P2	08:39:20	08:40:40	00:01:20	8	00:00:10	00:01:00	Couper chimay
P1,P2	08:45:00	09:00:00	00:15:00				PAUSE
P1	09:05:00	09:17:00	00:12:00	63	00:00:11	00:05:00	Couper les sandwichs
P2	09:05:00	09:19:00	00:14:00	37	00:00:23	00:05:00	(S. Chef) Couper les boulettes
P1	09:20:00	09:44:00	00:24:00	37	00:00:39	00:03:00	(S.Chef) Mettre sauce+boulette+oignon frit
P2	09:20:00	09:45:00	00:25:00	37	00:00:41	00:01:00	(S.Chef) Mettre coupe œuf+salade+carotte+emballer+mettre bac
P1	09:46:00	09:49:00	00:03:00	11	00:00:16	00:02:00	(S. Saumon) Mettre salade saumon
P2	09:48:00	09:55:00	00:07:00	11	00:00:38	00:03:00	(S.Saumon) Mettre concombre+salade+carotte+emballer+bac
P1	09:49:00	09:53:00	00:04:00	7	00:00:34	00:00:00	(S.Dago) Mettre mayo+ fromage + jambon
P2	09:56:00	10:02:00	00:06:00	7	00:00:51	00:01:00	(S.Dago) Mettre salade+carotte+emballer+bac
P1	09:54:00	09:58:00	00:04:00	8	00:00:30	00:01:00	(S.Chimay) Mettre mayo+ fromage
P2	10:04:00	10:08:00	00:04:00	8	00:00:30	00:02:00	(S.Chimay) Mettre salade+carotte+emballer+bac
Temps total :	01:38:00		02:01:40 (! pause)			00:45:00	

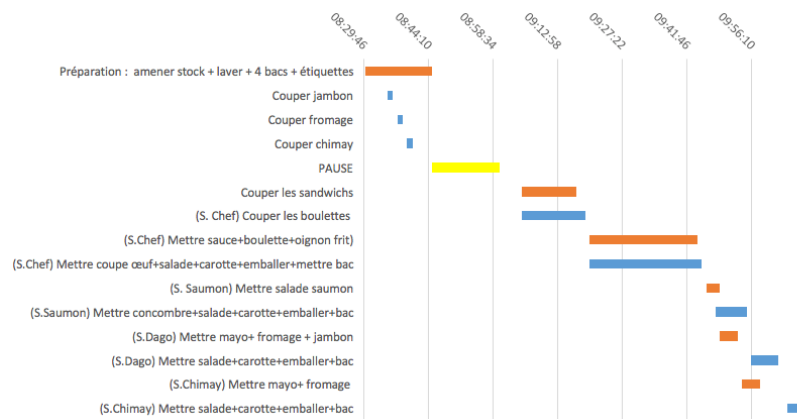


Figure 18 : Les temps de production mesurés sur Ath

Pour chaque tâche (mission), il y a l'indication de la personne qui l'a réalisée, l'heure de début et de fin, la durée, le nombre de sandwiches concernés, la durée unitaire ainsi que le temps hors production. Le temps hors production est le temps qui s'est écoulé entre la fin de la tâche précédente et le début de la tâche en question, ils correspondent par exemple aux temps pour aller chercher les aliments dans le stock, pour répondre au téléphone, pour discuter ... Au début, avant de commencer la production, il y a une durée de préparation de 15 minutes durant laquelle l'employée va préparer la zone de production : ce temps est comptabilisé comme un temps « hors production ». Dans ces mesures, les temps de cuisson des baguettes à Ath et Baudour ne sont pas comptabilisés.

Pour les assiettes froides, les temps mesurés sont disponibles en Annexe 22. Les tâches ne sont pas détaillées : la production des assiettes froides est moins problématique que celle des sandwiches étant donné qu'elle est moins complexe et que la quantité à produire est plus faible (environs 70). Les temps de préparation effectués la veille ont quant à eux été mesurés (à Hornu) et sont détaillés en Annexe 23.

Pour pouvoir exploiter et comparer ces données, il est nécessaire de rendre ces situations les plus similaires possibles. Pour chacun des sites, des modifications et des hypothèses sont donc émises pour les différentes tâches de la production des sandwiches :

- **Baudour** : dans les temps hors production, le chargement et déchargement des baguettes dans le four n'est plus pris en compte. La durée de la pause a été enlevée, le nombre de baguettes à couper a été diminué, car certaines n'étaient pas destinées aux sandwiches et les préparations ont été enlevées également.

- Ath : la pause et les préparations ont été supprimées et les tâches ont été réorganisées pour que les 2 employés finissent la production en même temps.

- Hornu : les différentes tâches pour la production des sandwiches du chef ont été détaillées sur base de celles mesurées à Ath (n'ayant pas de mesures précises à cette heure sur Hornu). La coupe des cornichons étant normalement une préparation qui doit être effectuée la veille a été supprimée. Les tâches ont été réorganisées de manière à ce que les employés commencent et finissent en même temps et, pour finir, les temps d'emballage effectués par la personne P2 ont été réévalués à la baisse étant donné qu'il s'agissait de sa première semaine de travail à ce poste.

Ces modifications permettent d'obtenir des scénarios plus exploitables pour estimer les temps de production dans le cas d'une centralisation. En effet, les employés commenceraient et finiraient en même temps et les préparations seraient réalisées la veille. Après ces modifications, l'organisation de tâches et les temps de production des sandwiches d'Ath deviennent ceux présentés sur la Figure 19 ci-dessous. Pour les sites de Baudour et Hornu, ils sont présents en Annexe 24.

Personne	De	A	Durée	Nombre	Durée/unité	Temps hors prod.	Mission
P1	08:30:00	08:45:00				00:15:00	Préparation : amener stock + laver + 4 bacs + étiquettes
P2	08:33:00	08:45:00	00:12:00	63	00:00:11		Couper les sandwiches
P2	08:48:00	09:12:00	00:24:00	37	00:00:39	00:03:00	(S.Chef) Mettre sauce+boulette+oignon frit
P1	08:45:41	09:10:41	00:25:00	37	00:00:41	00:01:00	(S.Chef) Mettre coupe œuf+salade+carotte+emballer+mettre bac
P2	09:14:00	09:17:00	00:03:00	11	00:00:16	00:02:00	(S. Saumon) Mettre salade saumon
P1	09:13:41	09:20:41	00:07:00	11	00:00:38	00:03:00	(S.Saumon) Mettre concombre+salade+carotte+emballer+bac
P2	09:17:00	09:21:00	00:04:00	7	00:00:34	00:00:00	(S.Dago) Mettre mayo+ fromage + jambon
P1	09:21:41	09:27:41	00:06:00	7	00:00:51	00:01:00	(S.Dago) Mettre salade+carotte+emballer+bac
P1	09:27:41	09:29:41	00:02:00	4	00:00:30	00:00:00	(S.Chimay) Mettre salade+carotte+emballer+bac
P2	09:22:00	09:26:00	00:04:00	8	00:00:30	00:01:00	(S.Chimay) Mettre mayo+ fromage
P2	09:28:00	09:30:00	00:02:00	4	00:00:30	00:02:00	(S.Chimay) Mettre salade+carotte+emballer+bac
Temps total :	01:00:00		01:29:00			00:31:00	

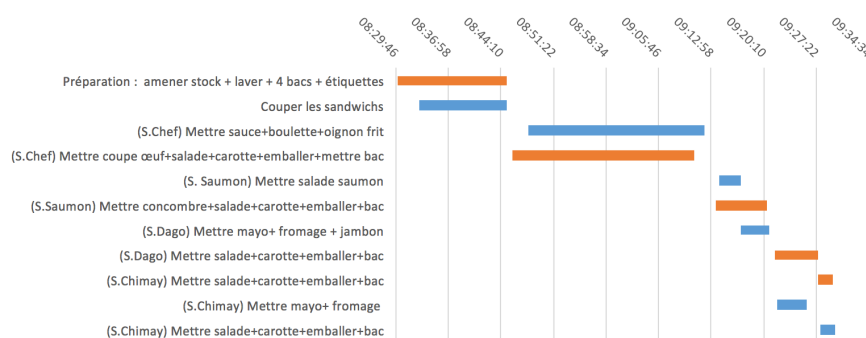


Figure 19 : Réorganisation des temps de production sur Ath

Nous pouvons résumer les temps de production des repas froids dans le Tableau 12 ci-dessous ainsi que réaliser 2 graphiques comparant les temps unitaires des sandwiches et assiettes froides des différents sites (Figure 20).

Tableau 12 : Résumé des temps de production des repas froids

Production des sandwiches										
Site	Nombre de préparations	Nombre d'employés	Heure de départ	Heure de fin	Durée	Temps unitaire	Temps hors production	Temps de production	Temps total	% temps hors prod.
Baudour	62	1	08:00:00	10:02:06	02:02:06	00:01:58	00:41:00	01:21:06	02:02:06	33,58%
Ath	63	2	08:30:00	09:30:00	01:00:00	00:00:57	00:31:00	01:29:00	02:00:00	25,83%
Hornu	123	3	06:30:00	08:01:07	01:31:07	00:00:44	01:23:00	03:07:57	04:30:57	30,63%

Production des assiettes froides						
Site	Nombre de préparations	Nombre d'employés	Heure de départ	Heure de fin	Durée	Temps unitaire
Ath	22	2	07:30:00	08:00:00	00:30:00	00:01:22
Baudour	12	1	08:00:00	08:25:00	00:25:00	00:02:05

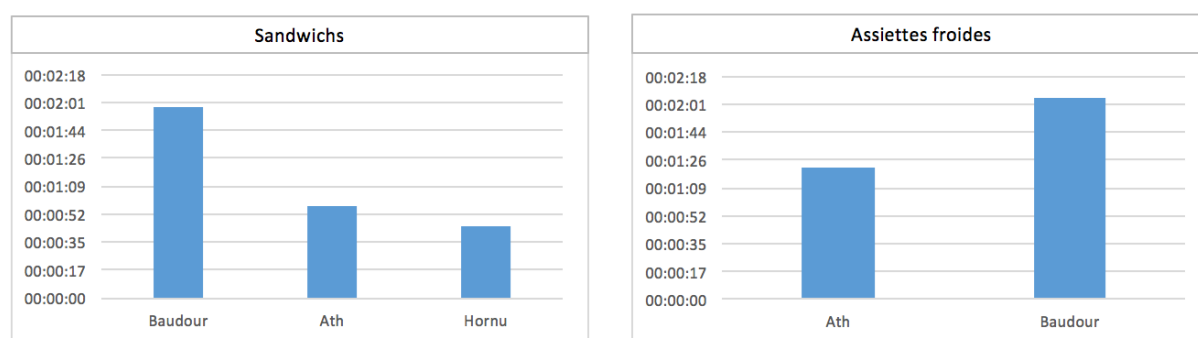


Figure 20 : Graphique comparant les temps unitaire sur les différents sites

Ces graphiques permettent de visualiser que, plus il y a d'employés, plus le temps unitaire est faible. Il faut toutefois nuancer ces comparaisons entre les sites, car plusieurs facteurs les influencent. En effet, les sandwiches ne sont pas les mêmes sur les 3 sites, ce qui peut donc modifier le nombre de tâches à réaliser : exemple à Baudour lors des mesures, c'était une journée spéciale où les sandwiches du chef étaient remplacés par des wraps. Ce n'est également pas les mêmes quantités et le même personnel. Par exemple, à Ath, les 2 employées sont plus expérimentées qu'à Hornu où pour 2 d'entre elles c'était leur première semaine à ce poste. Il y a aussi le fait que les infrastructures ne sont pas les mêmes, ce qui engendre par exemple à Hornu des délais plus longs pour aller chercher des éléments dans le stock étant donné que celui-ci est situé à l'étage inférieur à la différence de Ath où il est juste à côté de la cuisine.

La plus grosse différence entre la production sur les différents sites est la manière de travailler. En effet, à Ath les 2 employées travaillent à la chaîne (voir Figure 21) : la première prend les baguettes préalablement coupées une par une et y ajoute les aliments qui sont positionnés devant elle pour ensuite placer la baguette garnie dans une zone de stockage intermédiaire. Après, la deuxième prend les baguettes stockées une à une dans cette zone intermédiaire, y ajoute d'autres garnitures, l'emballe et la dépose dans le stock des sandwiches finis. Une fois tous les sandwiches du même type produits, les employées changent les aliments, déplacent le

stock de sandwiches finis dans la chambre froide et reprennent ensuite pour le type suivant. Cette méthode permet aux employées de ne pas avoir beaucoup de déplacements et de ne pas avoir beaucoup de temps hors production (seulement aller chercher les bacs d'aliments et déplacer le stock de sandwiches finis) ce qui permet donc de ne pas dépenser de temps inutilement.

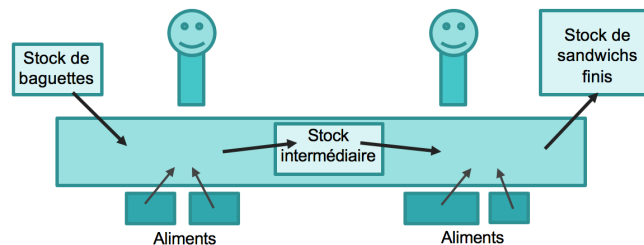


Figure 21 : Technique de production des sandwiches sur Ath

A Hornu, la manière de travailler est beaucoup moins efficace (voir Figure 22). En effet, elles travaillent avec un système de plateaux : sur chaque plateau, une douzaine de baguettes sont déposées, coupées et ouvertes prêtes à recevoir les garnitures. Les aliments sont placés sur un chariot derrière les employées et celles-ci font des allers-retours vers ce chariot pour aller chercher et déposer les aliments dans les sandwiches (excepté pour les salades de type américain, poulet curry, ... où elles les prennent à côté d'elles). Une fois les sandwiches suffisamment garnis, tous les plateaux sont poussés en même temps pour avancer vers la zone d'emballage où les sandwiches sont emballés puis stockés et les plateaux vides retournent au début de la table. Le problème ici est que les employées font beaucoup de déplacements en allant vers le chariot des aliments et elles ne placent qu'un seul élément à la fois contrairement à Ath. En effet, à Hornu, une employée va par exemple déposer les œufs et l'autre employée les tomates ce qui fait qu'elles vont se croiser et qu'elles se gênent dans leurs déplacements tandis que sur Ath, la même employée va déposer les œufs et les tomates sans bouger de sa position. Nous pouvons visualiser en Annexe 21 qu'il y a quasiment une tâche par aliment posé à Hornu, ce qui provoque une perte de temps assez conséquente. C'est également à cause de ce système qu'il y a beaucoup de temps hors production : elles se déplacent beaucoup et sont donc désordonnées, elles vérifient souvent les recettes et prennent un temps de réflexion entre chaque tâche pour se demander quoi faire après. Le désavantage d'Hornu est aussi le fait de devoir aller chercher des aliments dans le stock situé à l'étage inférieur, ce qui augmente encore davantage les temps de déplacements.

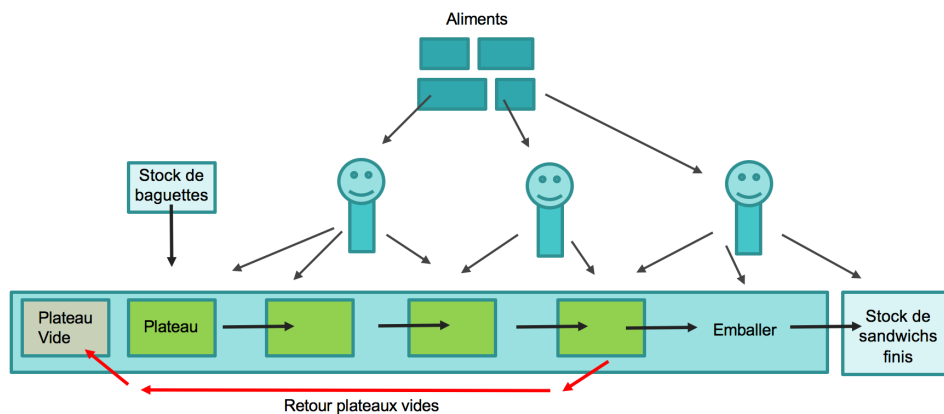


Figure 22 : Technique de production des sandwiches sur Hornu

A Baudour, il n'y a qu'un seul employé pour la production des sandwiches. Il travaille d'une manière similaire à Ath. En effet, il réalise les sandwiches sur le comptoir du self en disposant à côté de lui tous les aliments nécessaires. Il n'effectue donc qu'un seul déplacement en ramenant directement du stock les aliments pour tous les sandwiches sur un chariot. Pour la production, il prend les sandwiches un à un et y ajoute toutes les garnitures directement.

Concernant les assiettes froides, à Ath, ce sont les mêmes employées qui les produisent en utilisant la même technique. Elles les réalisent avant les sandwiches pendant que les baguettes sont occupées à cuire.

3.5.2 Estimation des temps de production dans le cas d'une centralisation

Pour estimer les temps de production des sandwiches dans le cas d'une centralisation, nous allons donc utiliser les mesures prises sur Ath étant donné qu'il s'agit du site ayant la manière de travailler la plus efficace. C'est cette organisation de travail qui doit être appliquée. Nous allons tout de même ajouter des marges de temps supplémentaires afin de nous assurer que les temps estimés soient réalisables même en cas de problème ou retard.

La première estimation à réaliser est le nombre de repas froids à produire sur les différents sites. Ces nombres sont estimés dans le Tableau 13 ci-dessous. Ils sont revus légèrement à la hausse par rapport aux différentes mesures, ce qui permet d'avoir une marge de temps de production supplémentaire. Pour Epicentre, étant donné qu'il n'y a actuellement pas de repas froids proposés, il a fallu les estimer. Il y a environ 80 personnes sur le site, nous pouvons considérer que 25% des employés commanderaient des sandwiches et que 6,25% achèteraient des assiettes froides.

Tableau 13 : Estimation du nombre de repas froids journalier pour chaque site

Nombre de repas froids journaliers			
Site	Sandwichs	Assiettes Froides	Total
Hornu	95	20	115
Ath	65	20	85
Baudour	65	15	80
Frameries	25	10	35
Epicentre	20	5	25
Total	270	70	340

Nous pouvons estimer la durée de production par la formule suivante (dans le cas où les employés commencent et finissent au même moment) :

$$\text{Durée de production} = \frac{\text{Temps total de prod.} + \text{Temps total hors prod.}}{\text{Nombre d'opérateurs}}$$

- Temps total hors production :

Comme expliqué précédemment, les temps hors production sont les temps qui s'écoulent entre les différentes tâches de production. Ils correspondent donc aux durées de préparation, par exemple : les temps pour aller chercher les aliments dans le stock, pour répondre au téléphone, pour vérifier les recettes ...

Pour estimer ce temps hors production total pour un nombre S de sandwichs, nous utilisons les mesures prises à Ath : pour 63 sandwichs, le temps total hors production est de 31 minutes. Pour assurer une marge, nous allons estimer ce temps à 40 minutes. Cette marge permet de prendre en compte le fait que le personnel et les infrastructures ne sont pas les mêmes sur les différents sites : en effet, à Ath les 2 employées sont expérimentées ce qui n'est pas le cas partout et le stock se trouve juste à côté de la cuisine minimisant de ce fait le temps des déplacements.

Pour ce temps hors production, nous prenons en compte le fait que le nombre de personnes l'influence. En effet, plus il y a des personnes pour réaliser une tâche, plus il y a des interactions entre ces personnes et donc que les temps hors production se voient augmenter. En effet, nous pouvons citer la loi des rendements décroissants qui stipule que lorsque les facteurs de production restent constants (par exemple, la technologie, les équipements, etc.), l'ajout de travailleurs supplémentaires à une tâche finira par entraîner une augmentation de la production ou de la productivité, mais à un taux décroissant. En d'autres termes, au début, chaque travailleur supplémentaire peut apporter une amélioration significative de la production, mais

à mesure que le nombre de travailleurs augmente, les gains supplémentaires diminueront progressivement. Dans les différents scénarios de centralisation, la production des sandwiches est réalisée par 1,2 ou 3 personnes, nous allons donc estimer le temps total hors production pour 1 employé à 35 minutes et pour 3 employés à 45 minutes (pour 63 sandwiches).

Ces temps hors production peuvent être considérés comme fixes si le nombre de sandwiches à produire ne varie pas énormément. En effet, les temps de préparation, de déplacements dans le stock ou encore de vérification des recettes ne seront pas beaucoup impactés par le nombre de sandwiches si celui-ci n'a pas beaucoup évolué. Dans le cas d'une centralisation totale de la production, il y a 270 sandwiches à produire. Dans ce cas, ces temps vont évidemment augmenter : nous pouvons estimer qu'ils vont au maximum doubler (dans le cas où la production est réalisée à la chaîne comme à Ath) et donc le total sera égal à 1h10 (70minutes) pour 1 employé, 1h20 (80 minutes) pour 2 et 1h30 (90minutes) pour 3 employés.

Pour estimer ce temps total hors production (en minutes) à partir du nombre de sandwiches S à produire (entre 63 et 270), nous pouvons utiliser la formule ci-dessous qui est l'équation de la droite entre ces 2 points :

$$\begin{aligned} \text{Temps total hors prod.}_{sand.} \quad 1P &= \frac{\Delta y}{\Delta x} S + P = \frac{70 - 35}{270 - 63} S + \left(35 - \frac{70 - 35}{270 - 63} \cdot 63 \right) \\ &= 0,169 S + 24,34 \end{aligned}$$

De la même manière :

$$\text{Temps total hors prod.}_{sand.} \quad 2P = 0,193 S + 27,82$$

$$\text{Temps total hors prod.}_{sand.} \quad 3P = 0,217 S + 31,3$$

- Temps total de production :

Le temps total de production est la somme des temps des tâches durant lesquelles il y a des opérations de production, exemple : couper les baguettes, placer les garnitures, emballer ... Ces temps sont directement proportionnels au nombre de sandwiches à produire.

Pour estimer ce temps de production total pour un nombre S de sandwiches, nous utilisons les mesures prises à Ath : pour 63 sandwiches, le temps total de production est de 1h29. Pour assurer une marge et prendre en compte le fait qu'il n'y a pas que des équipes avec des employées aussi expérimentées qu'à Ath, nous allons estimer ce temps total à 1h35 (95 minutes). Nous pouvons

donc calculer le temps de production moyen pour un sandwich : $\frac{95}{63} = 1,507$ (1min 30s). La formule pour estimer le temps total de production (en minutes) à partir d'un nombre S de sandwiches à produire est :

$$\text{Temps total de prod.}_{sand.} = 1,507 S$$

Pour le temps de production, nous faisons l'hypothèse que le nombre d'employés l'influence de manière proportionnelle. En effet, lorsque nous ne prenons pas en compte les interactions, une tâche est réalisée 2 fois plus rapidement si le nombre d'employés double.

- Durée de la production :

Sur base de ces formules, nous pouvons exprimer la durée de la production (en minutes) pour un nombre S de sandwiches à produire (entre 63 et 270) :

*Durée de production*_{sand.} 1P

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Temps total de prod.}_{sand.} + \text{Temps total hors prod.}_{sand.}}{\text{Nombre d'opérateurs}} \\ &= \frac{(0,169 S + 24,34) + 1,507 S}{1} \\ &= \frac{1,676 S + 24,34}{1} \end{aligned}$$

De la même manière :

$$\text{Durée de production}_{sand.} 2P = \frac{1,7 S + 27,82}{2}$$

$$\text{Durée de production}_{sand.} 3P = \frac{1,724 S + 31,3}{3}$$

Pour estimer la durée de production des assiettes froides, nous allons effectuer la même démarche également sur base des mesures d'Ath. Le temps hors production total pour les assiettes froides à Ath peut être estimé comme étant 25% du temps total (même pourcentage que les sandwiches). Ce temps est donc égal à 15 minutes pour une production de 22 assiettes avec 2 employés. Pour assurer une marge, nous allons estimer ce temps à 18 minutes. Nous pouvons estimer ce temps total à 15 minutes pour 1 employé et 21 minutes pour 3. Dans le cas d'une centralisation totale de la production, il y a 70 assiettes froides à produire. Dans ce cas, ce temps va augmenter : nous pouvons considérer qu'il va au maximum doubler et il sera donc

égal à 30,36 et 42 minutes pour 1,2 et 3 employés respectivement. La formule pour estimer le temps total hors production (en minutes) à partir nombre d'assiettes froides A à produire entre 22 et 70 est donc :

$$\begin{aligned} \text{Temps total hors prod.}_{ass.} 1P &= \frac{\Delta y}{\Delta x} A + P = \frac{30 - 15}{70 - 22} A + \left(15 - \frac{36 - 18}{70 - 22} \cdot 22 \right) \\ &= 0,312 A + 8,125 \end{aligned}$$

De la même manière :

$$\text{Temps total hors prod.}_{ass.} 2P = 0,375 A + 9,75$$

$$\text{Temps total hors prod.}_{ass.} 3P = 0,437 A + 11,375$$

Pour estimer le temps de production total pour un nombre A d'assiettes froides, les mesures de Ath sont : pour 22 assiettes, le temps total de production est de 45 minutes auquel nous ajoutons une marge de 5 minutes. Nous pouvons ensuite calculer le temps de production moyen pour une assiette : $\frac{50}{22} = 2,272$ (2min 16s). La formule pour estimer le temps total de production (en minutes) est donc :

$$\text{Temps total de prod.}_{ass.} = 2,272 A$$

Nous pouvons donc exprimer la durée de la production (en minutes) pour un nombre A d'assiettes froides à produire (entre 22 et 70) :

$$\text{Durée de production}_{ass.} 1P$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Temps total de prod.}_{ass.} + \text{Temps total hors prod.}_{ass.}}{\text{Nombre d'opérateurs}} \\ &= \frac{(0,312 A + 8,125) + 2,272 A}{1} \\ &= \frac{2,584 A + 8,125}{1} \end{aligned}$$

De la même manière :

$$\text{Durée de production}_{ass.} 2P = \frac{2,647 A + 9,75}{2}$$

$$\text{Durée de production}_{ass.} 3P = \frac{2,709 A + 11,375}{3}$$

Pour les préparations effectuées la veille, en utilisant la même démarche avec les mesures réalisées à Hornu, nous obtenons les formules suivantes :

$$\text{Durée de production}_{\text{prepa.sand.1P}} = \frac{0,505 S + 14,6}{1}$$

$$\text{Durée de production}_{\text{prepa.sand.2P}} = \frac{0,512 S + 18,8}{2}$$

$$\text{Durée de production}_{\text{prepa.ass.1P}} = \frac{0,666 A + 10}{1}$$

$$\text{Durée de production}_{\text{prepa.ass.2P}} = \frac{0,691 A + 11,25}{2}$$

Dans toutes les durées de production, il n'y a pas de temps de pause pris en compte. Cela est dû au fait que les employés d'EpiCURA peuvent travailler pendant 4h30 sans avoir de pause obligatoire.

4. Analyse managériale

Dans ce chapitre, nous allons commencer par réaliser une étude de rentabilité permettant de définir s'il est préférable de commander des baguettes déjà cuites ou alors de les cuire sur place. Sur base de cette étude, du trajet des tournées et des formules permettant d'estimer les temps de production, nous détaillerons et analyserons les différents scénarios de centralisation réalisables. Pour finir, nous sélectionnerons le scénario optimal pour ensuite le comparer à la situation actuelle afin de valider le projet.

4.1 Étude de rentabilité de la cuisson des baguettes

Dans les durées de production calculées dans le chapitre précédent, le temps de cuisson des baguettes n'est pas pris en compte. Actuellement, à Ath et Baudour les baguettes sont achetées chez « Bidfood » (au prix unitaire de **0,2462€**) et nécessitent d'être cuites sur place, mais à Hornu les baguettes sont achetées chez « Saey » (au prix unitaire de **0,45€**), mais ne nécessitent pas de cuisson. Dans le cas d'une centralisation, le choix de cuire ou non les baguettes est donc essentiel, une étude de rentabilité est nécessaire.

Pour faire cette étude, les données suivantes sont utilisées :

- Coût horaire d'un employé en cuisine chez EpiCURA : **33,36€**.
- Nombre de sandwiches à produire au total par jour : **270 sandwiches**.
- Durée d'allumage du four pour 1 fournée : la cuisson des baguettes est réalisée pendant 13 minutes réglé à 175°C. Avec le temps d'allumage, nous pouvons estimer la durée d'une fournée à **30 minutes**.
- Nombre de sandwiches maximum par fournée : **110 sandwiches**.
- Puissance du four : **20 kW** (modèle Enodis Convotherm easyDial 10 niveaux GN1/1)
- Prix du MWh chez EpiCURA (2023) : 263,87€ (le kWh : **0,26387€**).

Pour comparer les 2 situations (avec et sans cuisson), nous allons supposer que le temps pour récupérer les commandes est le même pour les 2 types de baguettes et nous ne prenons pas en compte de coût horaire pendant la cuisson. Pour calculer le coût à l'année, nous comptons 260 jours par an (52 semaines * 5 jours/semaine).

- Coût journalier des baguettes déjà cuites

$$\begin{aligned} \text{Coût journalier} &= \text{prix d'achat unitaire} \cdot \text{nombre de sandwiches} \\ &= 0,45\text{€} \cdot 270 = \mathbf{121,50\text{€}} \end{aligned}$$

$$\text{Coût annuel} = 121,50\text{€} \cdot 260 = \mathbf{31590,00\text{€}}$$

- Coût journalier des baguettes à cuire

$$\begin{aligned} \text{Coût journalier} &= \text{prix d'achat baguettes} + \text{coût consommation four} \\ &\quad + \text{coût horaire employé} \end{aligned}$$

$$\text{Le prix d'achat des baguettes est de : } 0,2462\text{€} \cdot 270 = 66,47\text{€}$$

Le coût de la consommation électrique du four est calculé comme étant :

$$\begin{aligned} \text{Coût consommation four} &= \text{puissance du four (kW)} \cdot \text{durée (h)} \cdot \text{prix du kWh} \left(\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right) \\ &= 20\text{kW} \cdot 1,5\text{h} \cdot 0,26387 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 7,916\text{€} \end{aligned}$$

Dans ce calcul, nous prenons en compte qu'il y a 3 fournées à faire de 30 minutes chacune étant donné qu'il y a 270 sandwiches à réaliser et qu'une fournée ne peut accueillir que 110 sandwiches au maximum. N'ayant pas la courbe de consommation du four en kWh, nous faisons également l'hypothèse que le four fonctionne à plein régime (20kW) durant toute la cuisson.

Le coût horaire de l'employé est basé sur le temps que celui-ci prend pour mettre et enlever les baguettes du four. Nous considérons ce temps égal à 10 minutes pour chaque fournée. Étant donné qu'il y en a 3, le temps total est de 30 minutes (0,5h). Le coût horaire de l'employé est donc de : $33,36 \text{ €/h} \cdot 0,5\text{h} = 16,68\text{€}$

Le coût journalier et le coût annuel des baguettes à cuire sont donc :

$$\text{Coût journalier} = 66,47\text{€} + 7,916\text{€} + 16,68\text{€} = \mathbf{91,06\text{€}}$$

$$\text{Coût annuel} = 91,06\text{€} \cdot 260 = \mathbf{23677,16\text{€}}$$

Il y a donc un gain de **30,44€** par jour (donc environ **7914,40€** à l'année) dans le cas où il faut cuire toutes les baguettes.

Dans l'étude ci-dessus, l'achat et la maintenance du four ne sont pas pris en compte. En effet, les fours chez EpiCURA ne sont pas essentiellement destinés à la cuisson des baguettes c'est pourquoi nous avons négligé cet impact précédemment. Nous pouvons calculer l'impact qu'aurait l'achat d'un four exclusivement destiné à la cuisson des baguettes. L'achat d'un four équivalent est d'environ 8000€ et nous pouvons estimer qu'ils sont au moins utilisés pendant 10 ans. La maintenance d'un de ces fours est estimée par EpiCURA à, en moyenne, 500€ par an.

Le coût journalier de la maintenance est donc : $500\text{€}/260 = 1,92\text{€}$

Le coût journalier de l'achat du four réparti sur 10 ans est : $8000\text{€}/(10.260) = 3,08\text{€}$

Le coût journalier et le coût annuel des baguettes à cuire en comptant l'achat d'un four exclusivement réservé aux baguettes sont donc :

Coût journalier = $91,06\text{€} + 1,92\text{€} + 3,08\text{€} = \mathbf{96,06\text{€}}$

Coût annuel = $96,06\text{€} . 260 = \mathbf{24975,60\text{€}}$

Dans le cas où un four est acheté et la maintenance prise en compte, il y a toujours un gain de **25,44€** par jour (environ **6614,40€** à l'année). En faisant les hypothèses qu'il n'y a pas d'indexation de salaire, que le prix de l'électricité est fixe et que les fournisseurs n'augmentent pas leurs prix pendant 10 ans, nous pouvons visualiser sur la Figure 23 ci-dessous le graphique des coûts cumulés des achats de baguettes déjà cuites et des achats de baguettes à cuire (en comptant l'achat du four et la maintenance) sur une période de 10 ans. Nous pouvons visualiser dans ce graphique que la différence après cette période est de **58144€** et que l'achat du four est rentabilisé au cours de la 2^{ème} année.

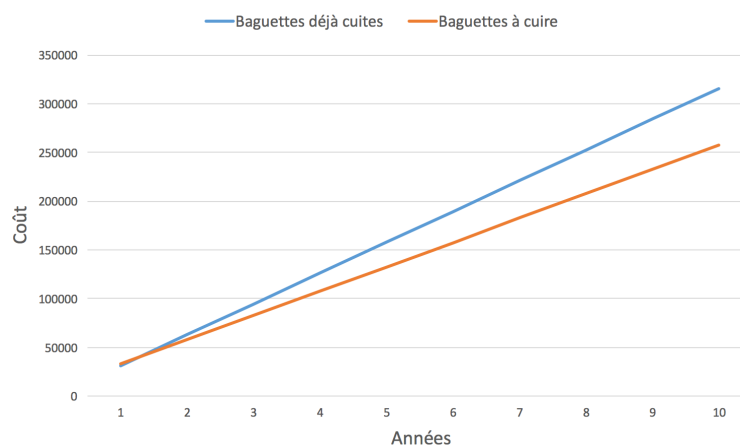


Figure 23 : Graphique comparant l'achat des 2 types de baguettes sur une période de 10 ans

Pour conclure cette partie, le choix de commander des baguettes à cuire dans les cuisines d'EpiCURA est le plus rentable. Nous pouvons donc ajouter aux durées de production calculées dans la partie précédente une durée de **45 minutes**. Cette durée est le temps nécessaire estimé pour : mettre dans le four les baguettes à cuire pendant 13 minutes, les sortir et les laisser refroidir 15 minutes (avec une petite marge de 7 minutes supplémentaires pour les déplacements). Après cette durée, la production des sandwichs peut commencer, car la cuisson d'une tournée comprend jusqu'à 110 baguettes. Les autres tournées peuvent être réalisées pendant la production.

4.2 Analyses des différents scénarios

Dans cette partie, nous allons analyser et sélectionner les scénarios les plus efficaces sur bases des différentes contraintes et choix déterminés dans les chapitres précédents. Les 2 critères de sélection les plus importants des scénarios sont les suivants :

- L'heure de fin des livraisons de la tournée : EpiCURA cherche à finir les livraisons sur les différents sites le plus tôt possible de manière à avoir le maximum de flexibilité en cas d'imprévu.
- Les coûts : EpiCURA cherche un scénario réduisant au maximum les différents coûts. Ils peuvent être diminués en centralisant au maximum la production et en minimisant le nombre d'employés.

Les 4 scénarios envisagés sont présentés sur la Figure 24 ci-dessous. Pour ces différents scénarios, les lieux de production sont Ath et Hornu et les assiettes froides et sandwichs ne sont pas réalisés sur le même site. Le lieu de départ de la tournée est envisagé sur un de ces 2 sites.

Scénario 1		Scénario 2
Site de prod. des sandwichs : Hornu		Site de prod. des sandwichs : Ath
Site de prod. des assiettes froides : Ath		Site de prod. des assiettes froides : Hornu
Lieu du départ de la tournée : Hornu		Lieu du départ de la tournée : Hornu
Scénario 3		Scénario 4
Site de prod. des sandwichs : Hornu		Site de prod. des sandwichs : Ath
Site de prod. des assiettes froides : Ath		Site de prod. des assiettes froides : Hornu
Lieu du départ de la tournée : Ath		Lieu du départ de la tournée : Ath

Figure 24 : Les différents scénarios de centralisation potentiels

Ces scénarios utilisent 2 tournées différentes déterminées dans les chapitres précédents (voir Figure 25). La tournée est sélectionnée en fonction du site de départ du véhicule et minimise le

temps pour réaliser les livraisons le plus rapidement. Les scénarios 1 et 2 utilisent donc la tournée 1 et les scénarios 3 et 4 la tournée 2. Dans ces tournées, le temps d'arrêt pour décharger les livraisons sur les sites est estimé à 10 minutes. L'avantage de ces 2 tournées est aussi que la production de la soupe et des repas pour la dialyse destinée aux sites d'Épicentre et Frameries peut toujours être réalisée sur Hornu. En effet, les tournées passent d'abord par Hornu avant Épicentre et Frameries comme la tournée actuellement mise en place, ce qui permet de ne pas modifier l'organisation de la production de la soupe.

Tournée 1		Tournée 2	
Sites	Heure	Sites	Heure
Start : Hornu	00:00:00	Start : Ath	00:00:00
Arrivée : Ath	00:43:00	Arrivée : Hornu	00:43:00
Depart : Ath	00:53:00	Depart : Hornu	00:53:00
Arrivée : Baudour	01:33:00	Arrivée : Epicentre	00:57:00
Depart : Baudour	01:43:00	Depart : Epicentre	01:07:00
Arrivée : Hornu	01:57:00	Arrivée : Frameries	01:23:00
Depart : Hornu	02:07:00	Depart : Frameries	01:33:00
Arrivée : Epicentre	02:11:00	Arrivée : Baudour	01:53:00
Depart : Epicentre	02:21:00	Depart : Baudour	02:03:00
Arrivée : Frameries	02:37:00	Arrivée : Ath	02:43:00
Depart : Frameries	02:47:00	End : Ath	02:53:00
Arrivée : Hornu	03:03:00		
End : Hornu	03:13:00		
Temps fin des livraisons :	02:47:00	Temps fin des livraisons :	02:53:00
Temps total trajet :	03:13:00	Temps total trajet :	02:53:00
Nombre de km :	75,8	Nombre de km :	73,5

Figure 25 : Les 2 tournées intéressantes pour la centralisation

La problématique qu'il reste à définir est le nombre d'employés et l'organisation de la production.

Pour diminuer l'heure de fin des livraisons de la tournée, il y a la possibilité de diviser la production en plusieurs parties. Cette modification permet de commencer la tournée en transportant seulement la production à livrer. La production destinée au site où elle est réalisée commence après que la tournée soit partie. Par exemple, si le site de production des sandwichs est Hornu, les employés vont d'abord réaliser les sandwichs en destination des autres sites pour démarrer la tournée et ensuite réaliser les sandwichs pour Hornu. Le problème de cette modification est que cela va augmenter les coûts liés à la production. En effet, cela va nécessiter de devoir recommencer une production du début étant donné qu'il y a plusieurs types de sandwichs et donc d'être obligé de comptabiliser une deuxième fois tous les temps hors production de préparation.

Pour diminuer les coûts liés à la production, la solution est de réduire le nombre d'employés. Cette diminution permet de réduire le nombre total d'heures de production. Par exemple, si

nous voulons produire 270 sandwiches avec 2 employés, la durée de la production sera de 243 minutes et donc au total 486 minutes à payer tandis qu'avec 3 employés, la durée sera de 166 minutes et donc un temps total de 498 minutes (selon les formules calculées précédemment). Il y a une différence de 12 minutes qui au taux horaire de 33,36€/h revient à 6,67€. Outre cette petite différence, EpiCURA cherche à minimiser le nombre d'employés dans les cuisines, car ceux-ci réalisent également d'autres tâches (les repas des patients par exemple) et, plus il y a d'employés, plus la complexité liée à l'organisation et la gestion du personnel augmente. Le problème de cette modification est qu'en diminuant le personnel, l'heure de fin des livraisons de la tournée va augmenter.

Il y a donc un compromis à faire entre ces 2 paramètres pour sélectionner les scénarios. Le but est de minimiser le nombre d'employés tout en veillant à ce que la tournée ait livré tous les sites à l'heure d'ouverture des selfs.

Pour chacun des 4 scénarios, une variante (notée « scénario x' ») est envisagée en divisant la production des sandwiches en plusieurs parties, ce qui permet de commencer la tournée plus tôt. La variante du scénario 1 est différente, car la tournée passe 2 fois par le site de production, ce qui permet de réaliser une tournée en 2 étapes : livrer les sandwiches à Ath et Baudour puis repasser à Hornu récupérer les sandwiches pour Epicentre et Frameries. Le scénario 3 dispose d'une variante supplémentaire (« scénario 3'' ») : celle-ci envisage que le site d'Ath produise l'ensemble des assiettes froides, mais également les sandwiches qui lui sont destinés. Cela permet de ne pas effectuer la mission de livraison des sandwiches de Hornu vers Ath qui est la plus contraignante. Comme nous l'avons vu dans le chapitre de détermination de la tournée, une tournée plus optimale a été déterminée (voir Annexe 26). Cependant, elle ne sera pas utilisée pour ce scénario, car le gain de temps est minime : le trajet total fait 80,3km et la fin des livraisons est réalisée seulement 2 minutes plus tôt comparé à la tournée 2 qui elle fait 73,5km.

Les différents scénarios sont présentés en Annexe 25. Ceux-ci sont optimisés pour nécessiter le minimum d'employés pour la production tout en veillant à ce que les livraisons soient réalisées avant l'ouverture des selfs. La production débute à 6h00 : c'est l'heure au plus tôt à laquelle les employés peuvent commencer à travailler. Dans ces scénarios, la possibilité de réaliser plusieurs productions en simultané dans la même cuisine n'est pas prise en compte ni la possibilité qu'il y ait plus de 3 employés par production.

Pour chaque scénario, il y a les informations de chaque production : le nombre d'employés, le nombre de préparations et la durée de celle-ci déterminée par les formules définies précédemment. Il y a ensuite l'heure de commencement et de fin de chaque production : lorsqu'il s'agit de la première production de sandwiches, le temps de cuisson des baguettes (45 minutes) est ajouté à l'heure de fin et, s'il y a plusieurs parties, la seconde commence 15 minutes après la précédente laissant le temps aux employés de réaliser leur pause si c'est la même équipe qui réalise les différentes parties de production. Le temps de cuisson des baguettes est comptabilisé une seule fois, car les autres fournées sont réalisées en parallèle de la production. Il y a ensuite l'heure de départ de la tournée, qui est calculée sur base de l'heure de fin de la production avec une marge supplémentaire de 15 minutes et qui définit l'heure à laquelle la tournée peut partir. Les informations « finir avant » et « bottleneck » (goulot d'étranglement) permettent de visualiser la production qui contraint l'horaire de la tournée : si celle-ci la contraint, la mention « oui » est notée pour la production étant le « bottleneck » et, les heures au plus tard auxquelles doivent être finies les autres productions (par rapport à la tournée), sont mentionnées dans l'information « finir avant ». Il y a aussi le nombre total d'heures prestées par les employés pour chaque production (le temps pour préparer la cuisson des baguettes n'est pas pris en compte dans ces heures). Il y a ensuite l'horaire de la tournée dans lequel le « bottleneck » et l'heure de fin des livraisons sont mis en gras. Pour finir, il y a les informations de la durée totale du trajet, du nombre de kilomètres de celui-ci et du nombre total d'heures prestées par les employés de toutes les productions et par le chauffeur de la camionnette effectuant la tournée.

Dans Annexe 25, les scénarios réalisables sont notés en vert et ceux qui ne le sont pas en rouge (l'heure de fin des livraisons est plus tard que celle de l'ouverture des selfs). Parmi ces scénarios réalisables, les 2 plus intéressants sont les suivants (voir Figure 26) :

Scénario 2	
Site de prod. des sandwiches :	Ath
Site de prod. des assiettes froides :	Hornu
Lieu du départ de la tournée :	Hornu

Scénario 3	
Site de prod. des sandwiches :	Hornu
Site de prod. des assiettes froides :	Ath
Lieu du départ de la tournée :	Ath

Tournée 1	
Sites	Heure
Start : Hornu	09:02:36
Arrivée : Ath	09:45:36
Depart : Ath	09:55:36
Arrivée : Baudour	10:35:36
Depart : Baudour	10:45:36
Arrivée : Hornu	10:59:36
Depart : Hornu	11:09:36
Arrivée : Epicentre	11:13:36
Depart : Epicentre	11:23:36
Arrivée : Frameries	11:39:36
Depart : Frameries	11:49:36
Arrivée : Hornu	12:05:36
End : Hornu	12:15:36
Heure fin des livraisons :	11:49:36
Durée totale trajet :	03:13:00
Heures payées :	14:44:49
Nombre de km :	75,8

Tournée 2	
Sites	Heure
Start : Ath	09:02:36
Arrivée : Hornu	09:45:36
Depart : Hornu	09:55:36
Arrivée : Epicentre	09:59:36
Depart : Epicentre	10:09:36
Arrivée : Frameries	10:25:36
Depart : Frameries	10:35:36
Arrivée : Baudour	10:55:36
Depart : Baudour	11:05:36
Arrivée : Ath	11:45:36
End : Ath	11:55:36
Heure fin des livraisons :	11:55:36
Durée totale trajet :	02:53:00
Heures payées :	14:24:49
Nombre de km :	73,5

Scénario	Production	Employé(s)	Nombre	Durée	De	A	Départ tournée	Finir avant	Bottleneck	Heures payées	Cuisson
2	Prod. Sandwichs Ath	3	270	02:45:36	06:00:00	09:30:36	09:45:36			08:16:47	00:45:00
2	Prod. Ass. Froides Hornu	2	70	01:37:31	06:00:00	07:37:31	07:52:31	09:02:36	non	03:15:02	00:00:00
3	Prod. Sandwichs Hornu	3	270	02:45:36	06:00:00	09:30:36	09:45:36			08:16:47	00:45:00
3	Prod. Ass. Froides Ath	2	70	01:37:31	06:00:00	07:37:31	07:52:31	09:02:36	non	03:15:02	00:00:00

Figure 26 : Les 2 scénarios de centralisation sélectionnés

Ces 2 scénarios ont une organisation de la production similaire : elle est réalisée en une seule partie avec le même nombre d'employés, mais les sites de production sont inversés. Le scénario 2 permet de livrer les sites plus rapidement (fin des livraisons à 11h49 contre 11h55 pour le scénario 3), mais il possède un trajet total plus long (75,8km en 3h13 contre 73,5km en 2h53). Le scénario 3 permet donc de diminuer le nombre total d'heures prestées par les employés dû au temps total de trajet plus faible.

Ces 2 scénarios possèdent donc leurs avantages, mais impliquent d'autres paramètres :

Le scénario 3 minimise davantage les coûts, mais il implique de devoir modifier le lieu de dépôt de la camionnette à Ath. La camionnette, en étant à Hornu, permet aux employés de livrer des repas à une crèche située sur le même site à environ 100m des cuisines (voir Annexe 27) de manière plus confortable qu'en poussant le chariot chargé directement jusque-là. Ce « luxe » ne leur sera donc plus permis.

Le scénario 2 minimise davantage l'heure de fin des livraisons, mais il implique de devoir déplacer une personne supplémentaire sur le site d'Ath pour la production des sandwiches. En

effet, actuellement 2 employées réalisent d'abord les assiettes froides puis les sandwiches et le scénario 2 nécessite 3 employés pour les sandwiches à Ath.

Pour les autres scénarios réalisables, la production des sandwiches est divisée en plusieurs parties, ce qui permet de réaliser les livraisons plus tôt, mais cela engendre une augmentation des coûts de production. Les scénarios les plus intéressants avec une production divisée sont les suivants (voir Figure 27) :

Scénario 1'		Scénario 2'		Scénario 3'	
Site de prod. des sandwiches :	Hornu	Site de prod. des sandwiches :	Ath	Site de prod. des sandwiches :	Hornu
Site de prod. des assiettes froides :	Ath	Site de prod. des assiettes froides :	Hornu	Site de prod. des assiettes froides :	Ath
Lieu du départ de la tournée :	Hornu	Lieu du départ de la tournée :	Hornu	Lieu du départ de la tournée :	Ath
Prod. sandwiches en 2 parties et 2 passages		Prod. sandwiches en 2 parties		Prod. sandwiches en 2 parties	

Tournée 1		Tournée 1		Tournée 2	
Sites	Heure	Sites	Heure	Sites	Heure
Start : Hornu	08:41:00	Start : Hornu	08:25:14	Start : Ath	08:59:40
Arrivée : Ath	09:24:00	Arrivée : Ath	09:08:14	Arrivée : Hornu	09:42:40
Depart : Ath	09:34:00	Depart : Ath	09:18:14	Depart : Hornu	09:52:40
Arrivée : Baudour	10:14:00	Arrivée : Baudour	09:58:14	Arrivée : Epicentre	09:56:40
Depart : Baudour	10:24:00	Depart : Baudour	10:08:14	Depart : Epicentre	10:06:40
Arrivée : Hornu	10:38:00	Arrivée : Hornu	10:22:14	Arrivée : Frameries	10:22:40
Depart : Hornu	10:48:00	Depart : Hornu	10:32:14	Depart : Frameries	10:32:40
Arrivée : Epicentre	10:52:00	Arrivée : Epicentre	10:36:14	Arrivée : Baudour	10:52:40
Depart : Epicentre	11:02:00	Depart : Epicentre	10:46:14	Depart : Baudour	11:02:40
Arrivée : Frameries	11:18:00	Arrivée : Frameries	11:02:14	Arrivée : Ath	11:42:40
Depart : Frameries	11:28:00	Depart : Frameries	11:12:14	End : Ath	11:52:40
Arrivée : Hornu	11:44:00	Arrivée : Hornu	11:28:14		
End : Hornu	11:54:00	End : Hornu	11:38:14		
Heure fin des livraisons :	11:28:00	Heure fin des livraisons :	11:12:14	Heure fin des livraisons :	11:52:40
Durée totale trajet :	03:13:00	Durée totale trajet :	03:13:00	Durée totale trajet :	02:53:00
Heures payées :	15:03:15	Heures payées :	15:06:02	Heures payées :	14:42:41
Nombre de km :	75,8	Nombre de km :	75,8	Nombre de km :	73,5

Scénario	Production	Employé(s)	Nombre	Durée	De	A	Départ tournée	Finir avant	Bottleneck	Heures payées	Cuisson
1'	Prod. Sandwichs Hornu 1	3	130	01:25:08	06:00:00	08:10:08	08:25:08	08:41:00	non	04:15:25	00:45:00
1'	Prod. Sandwichs Hornu 2	2	140	02:12:55	08:25:08	10:38:03	10:53:03	11:30:00	non	04:25:49	00:00:00
1'	Prod. Ass. Froides Ath	1	70	03:09:00	06:00:00	09:09:00	09:24:00		oui	03:09:00	00:00:00
2'	Prod. Sandwichs Ath 1	3	205	02:08:14	06:00:00	08:53:14	09:08:14		oui	06:24:43	00:45:00
2'	Prod. Sandwichs Ath 2	1	65	02:13:17	09:08:14	11:21:31	11:36:31	12:00:00	non	02:13:17	00:00:00
2'	Prod. Ass. Froides Hornu	2	70	01:37:31	06:00:00	07:37:31	07:52:31	08:25:14	non	03:15:02	00:00:00
3'	Prod. Sandwichs Hornu 1	2	175	02:42:40	06:00:00	09:27:40	09:42:40		oui	05:25:19	00:45:00
3'	Prod. Sandwichs Hornu 2	2	95	01:34:40	09:42:40	11:17:20	11:32:20	11:30:00	non	03:09:19	00:00:00
3'	Prod. Ass. Froides Ath	2	70	01:37:31	06:00:00	07:37:31	07:52:31	08:59:40	non	03:15:02	00:00:00

Figure 27 : Les 3 scénarios de centralisation sélectionnés avec une production de sandwiches en 2 parties

Les scénarios 2' et 3' sont les variantes des 2 scénarios présentés précédemment. Le 2' n'apporte pas d'avantages supplémentaires comparé au scénario 2 si ce n'est une heure de fin de livraison réalisée encore plus tôt, mais il augmente le nombre d'heures prestées. Le scénario 3' offre quant à lui un avantage comparé au 3 au niveau du nombre d'employés : il permet une configuration n'en nécessitant au total que 4. En effet, les 2 mêmes employés peuvent réaliser les productions 1 et 2 à la suite. Nous remarquons cependant que la 2^{ème} production se finit à 11h32 ce qui est 2 minutes trop tard, car le self ouvre à 11h30 sur Hornu. Ces 2 minutes ne sont

pas un problème étant donné les marges de temps qui ont été prises en compte et qu'une pause de 15 minutes est comptabilisée entre ces 2 productions : cette pause n'est pas obligatoire étant donné que les employés peuvent travailler jusqu'à 4h30 en une fois et que sans la cuisson des baguettes, ils travailleraient théoriquement 4h17 (de 6h45 à 11h02). Le scénario 1' quant à lui est aussi intéressant, car il permet de répartir plus équitablement le nombre de sandwiches entre les 2 productions. Il reste cependant moins efficace que les scénarios 2' et 3' au niveau de l'heure de livraisons des missions et des heures prestées.

Le scénario 3'' présentés en Annexe 26 qui envisage que le site d'Ath produise les assiettes froides, mais également les sandwiches qui lui sont destinés est intéressant, car il offre la possibilité de réaliser les livraisons encore plus tôt pour une organisation de production similaire au scénario 3'. Cependant, le fait que toute la production des sandwiches ne soit pas centralisée, il engendre une gestion des commandes et des stocks sur les 2 sites, ce qui n'est pas le but recherché. Ce scénario aurait été envisagé s'il n'y avait pas de solutions réalisables avec une centralisation de la production des sandwiches sur le même site.

Le scénario le plus intéressant et qui est proposé à EpiCURA est le scénario 3. Il réalise toute la production des sandwiches en une seule partie, ce qui est un gain de temps et cela facilite l'organisation des cuisines par rapport aux scénarios qui divisent cette production. Si nous le comparons au scénario 2, il permet de diminuer davantage les coûts, car il y a moins d'heures prestées par les employés et il y a moins de kilomètres à parcourir dans la tournée. Le scénario 2 termine les livraisons 6 minutes avant le scénario 3, ce qui n'est pas tellement significatif, car elles sont quand même toutes réalisées avant l'ouverture des selfs. C'est aussi un scénario qui offre une possibilité de sécurité : en effet, s'il manque un employé à Hornu pour la production des sandwiches le matin même, ce scénario 3 peut se transformer en scénario 3' en divisant la production en 2 parties, car celles-ci sont réalisables par 2 employés.

Il reste cependant la question de la vaisselle sale à récupérer. En effet, la tournée qui part actuellement d'Hornu vers Epicentre puis Frameries repasse ensuite par Epicentre reprendre la vaisselle sale utilisée pour boire la soupe. Cette vaisselle comprend les conteneurs isothermes ainsi que les bols et cuillères utilisés. Avec cette nouvelle tournée, la camionnette ne repasse pas par les sites, car cela serait inefficace de refaire un trajet de plus de 70km pour la récupérer.

Plusieurs solutions sont donc envisagées :

- Utiliser de la vaisselle jetable (bols et cuillères)
- Laisser les employés faire leur vaisselle sur les sites
- Récupérer cette vaisselle dans la tournée du lendemain

La solution qui a été choisie par EpiCURA est de laisser les employés faire leur vaisselle (bols et assiettes) sur les sites d'Epicentre et Frameries. Les conteneurs seront quant à eux récupérés par la tournée du lendemain. Il reste cependant le problème du weekend : en effet, la tournée n'est pas réalisée le weekend c'est pourquoi il y a une nécessité de ramener les conteneurs isothermes le vendredi. La solution qui a été choisie est d'utiliser les tournées du service transport pour ramener les conteneurs d'Epicentre et Frameries vers un des 3 sites où il y a un local vaisselle (Hornu, Ath ou Baudour) pendant l'après-midi.

Dans les tournées du services transport (voir Annexe 8), voici les tournées intéressantes pour réaliser cette mission (Figure 28) :

Tournée 2		Tournée 5	
Frameries	13h40 - 14h	Frameries	13h40
Epicentre	14h20 - 14h40	Hornu	14h20 - 14h40
Hornu	14h20 - 14h40	Baudour	15h - 15h20
		Frameries	15h40 - 16h
		Hornu	16h20 - 16h40
		Baudour	17h - 17h20
		Frameries	17h40 - 18h
		Hornu	18h20 - 18h30

Figure 28 : Les tournées intéressants pour récupérer la vaisselle

C'est la tournée 2 qui a été choisie pour reprendre les conteneurs isothermes sales le vendredi.

4.3 Comparaison avec la situation actuelle

Dans cette partie, nous allons analyser et comparer les différences de la mise en place du scénario 3 (défini dans le point précédent) par rapport à la situation actuelle chez EpiCURA. Nous allons donc, pour chaque point qui diffère entre les 2 situations, détailler et quantifier cette différence. Nous commencerons par analyser la situation actuelle puis le scénario 3 pour ensuite les comparer et visualiser l'impact de la centralisation.

4.3.1 Étude de la situation actuelle

Voici ci-après les différents points qui diffèrent de la centralisation décrite par le scénario 3 :

- La production des repas :

Le premier point qui diffère est la production des repas froids. En effet, il y a actuellement les 3 sites qui réalisent les sandwichs et les assiettes froides. L'organisation de la production est détaillée dans le Tableau 14 ci-dessous. Pour obtenir des données comparables, les temps de production sont calculés de la même manière que pour le scénario 3 : les préparations sont considérées comme étant effectuées la veille, il n'y a pas de pause, les employés commencent et finissent en même temps, la cuisson des baguettes n'est pas prise en compte, il y a des marges de temps similaire et la technique de production est de type « à la chaîne ». Cependant, pour Hornu, étant donné que la production n'est pas réalisée avec une technique « à la chaîne », la durée reprise est celle mesurée sur le site avec les hypothèses de modifications détaillées au point « 3.5.1 Analyse des temps de production actuels ». Avec une modification de la technique de production à Hornu, la durée serait environ 1h19 (déterminé par la formule).

Tableau 14 : Organisation de la production actuelle

Production	Employé(s)	Nombre	Durée	Heures payées
Sandwichs Ath	2	65	01:09:10	02:18:19
Sandwichs Hornu	3	120	01:31:07	04:33:21
Sandwichs Baudour	1	65	02:13:17	02:13:17
Assiettes froides Ath	2	20	00:31:21	01:02:41
Assiettes froides Hornu	1	30	01:25:39	01:25:39
Assiettes froides Baudour	1	15	00:46:53	00:46:53
				12:20:10

Au total sur tous les sites confondus, il y a 6 employés qui réalisent les repas froids des selfs. Ils réalisent environ 250 sandwichs par jour et 65 assiettes froides. Cette production nécessite un total de **12h20** prestées par les employés.

- La tournée actuelle :

La tournée actuelle est détaillée sur la Figure 29 ci-dessous :

Tournée actuelle	
Sites	Heure
Start : Hornu	10:15:00
Arrivée : Epicentre	10:19:00
Depart : Epicentre	10:29:00
Arrivée : Frameries	10:45:00
Depart : Frameries	13:00:00
Arrivée : Epicentre	13:16:00
Depart : Epicentre	13:26:00
Arrivée : Epicentre	13:26:00
Arrivée : Hornu	13:30:00
End : Hornu	13:40:00
Durée totale trajet :	03:25:00
Nombre de km :	18,6

Figure 29 : La tournée actuelle

Dans cette tournée, l'employé va jusque Frameries et reste plus de 2h00 sur place pour effectuer le service. Au total, il effectue donc une tournée d'une durée de **3h25**. Nous pouvons également ajouter le coût du trajet : en comptant que la Ford Transit consomme 7L/100km et que le prix du diesel est à 1,80€/L, le trajet de 18,6km revient à **2,344€**.

- Achat des baguettes :

Le prix d'achat des baguettes est différent sur le site d'Hornu, car elles sont achetées déjà cuites. Le Tableau 15 ci-dessous détaille le prix d'achat des baguettes sur chacun des sites. Le coût total des baguettes s'élève à **86€**.

Tableau 15 : Prix d'achat actuel des baguettes sur chaque site

Lieu	Nombre	Cuisson	Prix achat	Prix total
Ath	65	OUI	0,2462 €	16,003 €
Hornu	120	NON	0,45 €	54,000 €
Baudour	65	OUI	0,2462 €	16,003 €
				86,006 €

Au prix des baguettes, nous devons ajouter la main-d'œuvre et le prix de l'électricité dépensée pour cuire les baguettes. Une fournée nécessite 10 minutes de main-d'œuvre et il y en a une sur Ath et sur Baudour. Cela représente donc **20 minutes** de main-d'œuvre.

Le prix de l'électricité payé par EpiCURA est de 263,87€/kWh et le four est utilisé 30 minutes par fournée. Si nous considérons que le four est à pleine puissance (20kW), le prix de l'électricité de ces 2 fournées est de **5,277€**.

- Les préparations effectuées la veille :

Comme expliqué précédemment, pour comparer les situations, il est nécessaire de les rendre similaires. Les préparations de la production sont donc considérées comme réalisées la veille sur tous les sites malgré qu'actuellement ce n'est le cas que sur le site d'Hornu. L'organisation de ces préparations est détaillée dans la Figure 30 ci-dessous. Les durées sont calculées selon les formules détaillées dans le chapitre précédent.

Préparations	Employé(s)	Nombre	Durée	Heures payées
Sandwichs Ath	1	65	00:47:26	00:47:26
Sandwichs Hornu	1	120	01:15:12	01:15:12
Sandwichs Baudour	1	65	00:47:26	00:47:26
Assiettes froides Ath	1	20	00:23:19	00:23:19
Assiettes froides Hornu	1	30	00:29:59	00:29:59
Assiettes froides Baudour	1	15	00:19:59	00:19:59
				04:03:20

Figure 30 : Organisation actuelle des préparations

Pour 250 sandwichs et 65 assiettes froides, le nombre total d'heures prestées par les employés pour réaliser les préparations est de **4h03**.

- La durée des commandes :

Comme expliqué dans la description du projet, chaque site doit commander séparément les mêmes stocks. Un employé est donc chargé de commander chaque jour les quantités de chaque aliment pour la réalisation des repas froids. Ce temps est estimé à environ 15 minutes par jour. Étant donné qu'il y a 3 sites, cela représente **45 minutes**.

- Vérification des comptes :

Étant donné qu'il n'y a pas de caisse à Frameries, le personnel renseigne ce qu'ils prennent sur une feuille qui est ensuite donnée à la responsable des cuisines de Hornu qui va tenir les comptes pour chacun des employés. C'est une perte de temps qui demande environ 1 journée par mois (6h00) ce qui représente environ **18 minutes** par jour.

4.3.2 Étude du scénario de centralisation

Voici ci-après les différents points qui diffèrent de la situation actuelle :

- Coûts de production :

La production des repas froids dans le scénario de centralisation est effectuée sur 2 sites : les sandwiches à Hornu et les assiettes froides à Ath. L'organisation de la production est détaillée dans le Tableau 16 ci-dessous. Les temps de production ont été estimés par les formules détaillées dans le chapitre précédent : elles ne prennent pas en compte les préparations, il n'y a pas de pause, les employés commencent et finissent en même temps, la cuisson des baguettes n'est pas prise en compte et la technique de production est de type « à la chaîne ».

Tableau 16 : Organisation de la production du scénario de centralisation

Production	Employé(s)	Nombre	Durée	Heures payées
Sandwichs Hornu	3	270	02:45:36	08:16:47
Assiettes froides Ath	2	70	01:37:31	03:15:02
				11:31:49

Au total, sur les 2 sites confondus, il y a 5 employés qui réalisent les repas froids des selfs. Ils réalisent environ 270 sandwiches par jour et 70 assiettes froides, ce qui est plus qu'actuellement étant donné que le site d'Epicentre bénéficiera de repas froids. Cette production nécessite un total de **11h31** prestées par les employés.

- La tournée :

La tournée du scénario 3 est détaillée sur la Figure 31 ci-dessous :

Tournée 2	
Sites	Heure
Start : Ath	09:02:36
Arrivée : Hornu	09:45:36
Depart : Hornu	09:55:36
Arrivée : Epicentre	09:59:36
Depart : Epicentre	10:09:36
Arrivée : Frameries	10:25:36
Depart : Frameries	10:35:36
Arrivée : Baudour	10:55:36
Depart : Baudour	11:05:36
Arrivée : Ath	11:45:36
End : Ath	11:55:36
Durée totale trajet :	02:53:00
Nombre de km :	73,5

Figure 31 : Tournée du scénario de centralisation

Cette tournée dure **2h53** au total. Nous pouvons également ajouter le coût du trajet : en comptant que la Ford Transit consomme 7L/100km et que le prix du diesel est à 1,80€/L, le trajet de 73,5km revient à **9,261€**.

Dans cette analyse, le leasing de la camionnette n'est pas pris en compte, car EpiCURA a des contrats pouvant effectuer plus de 30000km par an. Le prix reste donc le même dans les 2 situations.

- Achat des baguettes :

Le prix d'achat des baguettes est celui du fournisseur Bidfood (prix unitaire de 0,2462€) étant donné qu'il est préférable de les cuire sur place. Avec 270 baguettes, le coût total s'élève à **66,474€**.

Au prix des baguettes, nous devons ajouter la main-d'œuvre et le prix de l'électricité dépensée pour cuire les baguettes. Une fournée nécessite 10 minutes de main-d'œuvre et il y en a 3, car chacune des fournées peut contenir maximum 110 baguettes. Cela représente donc **30 minutes** de main-d'œuvre.

Le prix de l'électricité payé par EpiCURA est de 263,87€/kWh et le four est utilisé 30 minutes par fournée. Si nous considérons que le four est à pleine puissance (20kW), le prix de l'électricité de ces 3 fournées est de **7,916€**.

L'achat d'un four et la maintenance ne sont pas pris en compte étant donné qu'il y a déjà des fours à Hornu et qu'ils sont utilisés pour d'autres repas également.

- Les préparations effectuées la veille :

Les préparations sont réalisées la veille de la production. L'organisation de ces préparations est détaillée dans le Tableau 17 ci-dessous et les durées sont calculées selon les formules détaillées dans le chapitre précédent.

Tableau 17 : Organisation des préparations dans le scénario de centralisation

Préparations	Employé(s)	Nombre	Durée	Heures payées
Sandwichs Hornu	2	270	01:18:31	02:37:02
Assiettes froides Ath	1	70	00:56:37	00:56:37
				03:33:40

Pour 270 sandwiches et 75 assiettes froides, le nombre total d'heures prestées par les employés pour réaliser ces préparations est estimé à **3h33**.

- Le coût de l'application Gloriafood :

EpiCURA, dans le scénario de centralisation, va proposer un système de commandes en ligne du type « take away » qui est l'application « Gloriafood ». Proposée par Oracle, elle permettra aux employés d'EpiCURA de commander les repas proposés et d'effectuer le paiement en ligne directement. Le prix de cette application est 29€ par mois avec un supplément de 0,05€ par transaction.

Nous pouvons estimer que le nombre de sandwiches et assiettes froides commandés sur cette application sera au maximum d'environ 200 sandwiches et 60 assiettes froides. Cela représente au maximum 260 transactions par jour, ce qui ferait un total de 13€. Si nous y ajoutons le prix fixe de l'application sur une base de 20 jours par mois, cela revient à 1,45€ journalier. Le coût de l'application « Gloriafood » serait donc d'environ **14,45€** par jour.

- La durée des commandes :

Chaque jour, un employé est chargé de commander les quantités de chaque aliment pour la réalisation des repas froids. Dans le scénario de centralisation, ces commandes ne seront réalisées que sur les sites d'Ath pour les assiettes froides et Hornu pour les sandwiches. Nous pouvons estimer ce temps total pour les commandes à environ **20 minutes**.

- Les ventes supplémentaires :

Le scénario de centralisation permet de proposer au site d'Epicentre des repas froids. Il y a environ 20 sandwiches et 5 assiettes froides produites pour ce site. Si nous estimons que 18 sandwiches et 4 assiettes sont vendues en moyenne chaque jour et que nous utilisons les marges moyennes réalisées sur les repas froids calculées par EpiCURA (1,20€/sandwich et 1,80€/assiette froide), ces nouvelles ventes permettraient de générer **28,80€** supplémentaire. Nous utilisons les mêmes marges même si celles-ci ont été estimées sur base des temps de production actuels. Étant donné que ces temps ont diminué dans le scénario de centralisation, nous pourrions imaginer qu'elles soient plus importantes.

- Les commandes groupées :

Dans le cas d'une centralisation des commandes sur un seul site, plusieurs avantages sont à considérer en général :

- Des économies d'échelle : en regroupant les commandes, nous pourrions bénéficier d'économies d'échelle, nous pouvons négocier des tarifs plus avantageux avec les fournisseurs en raison d'un volume d'achat plus important.

- Rationalisation des processus : centraliser les commandes peut permettre une meilleure gestion et une rationalisation des processus, réduisant ainsi les coûts administratifs liés aux achats.

- Réduction des coûts de livraison : en passant des commandes plus importantes et sur un site au lieu de plusieurs auprès des fournisseurs, nous pourrions potentiellement négocier des coûts de livraison plus bas ou bénéficier de la livraison gratuite, ce qui pourrait réduire les coûts totaux.

- Réduction des coûts de stockage : en ayant plus qu'un stock sur un seul site au lieu de plusieurs stocks répartis, nous pourrions réduire les coûts de stockage associés et mieux gérer les commandes de manière à éviter les surstocks.

- Meilleure visibilité sur les dépenses : la centralisation permet par ailleurs une meilleure visibilité sur les dépenses globales, ce qui peut aider à identifier les domaines où des économies supplémentaires pourraient être réalisées.

Pour notre cas de centralisation, EpiCURA ne réaliserait pas d'économies d'échelle étant donné qu'ils commandent auprès des mêmes fournisseurs tous les repas de tous les centres hospitaliers. Leurs contrats sont donc déjà négociés pour l'ensemble des sites. Ils ne réaliseraient pas non plus de réduction sur les coûts de livraisons, car ils bénéficient déjà actuellement de la livraison gratuite. La réduction des coûts de stockage peut être négligée, car il y a toujours sur les 3 sites les stocks des aliments pour tous les autres repas : le fait de supprimer les stocks des repas froids sur certains sites ne va donc pas impacter significativement le coût.

La centralisation des commandes va tout de même permettre de mieux les gérer, d’avoir une meilleure visibilité sur les dépenses en général, mais aussi de rationaliser les processus en améliorant la gestion tant administrative que directive. Nous allons donc considérer que dans notre scénario de centralisation, nous ne réaliserons pas de gain financier en ayant regroupé les commandes.

4.3.3 Comparaison des 2 situations

En énumérant les différences entre la situation actuelle et le scénario de centralisation, nous pouvons les comparer. Cette comparaison qui reprend chacun des points qui diffèrent entre les 2 situations est détaillée dans le Tableau 18 ci-dessous :

Tableau 18 : Comparaison de la situation actuelle et du scénario de centralisation

	Situation actuelle	Situation de centralisation (scénario 3)
La production des repas	6 employés, 250 sandwiches & 60 assiettes froides Technique : "à la chaîne" sauf Hornu Durée : 12:20:10	5 employés, 270 sandwiches & 70 assiettes froides Technique : "à la chaîne" Durée : 11:31:49
La tournée	Coût du trajet : 2,34 € Durée : 03:25:00	Coût du trajet : 9,261 € Durée : 02:53:00
Achat des baguettes	Coût d'achat : 86,006 € Coût électricité : 5,277 € Durée main d'œuvre : 00:20:00	Coût d'achat : 66,474 € Coût électricité : 7,916 € Durée main d'œuvre : 00:30:00
Les préparations la veille	Durée : 04:03:20	Durée : 03:33:40
La durée des commandes	Durée : 00:45:00	Durée : 00:20:00
Vérification des comptes	Durée : 00:18:00	
Application Gloriafood		Coût : 14,45 €
Ventes supplémentaires		Bénéfice (-) : 28,80 €
Total	Durée : 21:11:30 Coût : 93,627 €	Durée : 18:48:29 Coût : 69,301 €

Nous pouvons donc conclure que, en adoptant un scénario de centralisation, le nombre total d’heures gagnées serait estimé à **2h23** par jour. Il y a également un gain au niveau des coûts de **24,32€**.

Pour calculer le gain totalement en euros, nous pouvons valoriser les heures gagnées au taux horaire des employés en cuisine. Chez EpiCURA, ce taux est de 33,36€/heure. Pour obtenir un gain proche de la réalité, nous n’allons pas prendre en compte la durée des commandes ni la durée de la vérification des comptes de Frameries. En effet, ces 2 tâches sont réalisées par les responsables des cuisines qui ont un salaire fixe. Ce ne sont donc pas des heures que nous pourrions théoriquement récupérer et donc être considérées comme des coûts directs.

Les tâches comme la production des repas, la tournée, la mise en place des baguettes dans le four ainsi que les préparations effectuées la veille sont réalisées par les opérateurs en cuisine. Ceux-ci, pour beaucoup d'entre eux, sont payés en fonction du nombre d'heures prestées. Les heures gagnées en réalisant ces tâches peuvent donc être considérées comme des gains financiers si nous les valorisons au taux horaire.

La durée totale de la situation actuelle sans prendre en compte la durée des commandes ni la durée de la vérification des comptes est de 20h08. Pour la situation de centralisation, cette durée est de 18h28, il y a donc un gain de 1h40. En valorisant cette durée au taux de 33,36€/heure, nous obtenons un gain de 55,61€. En y ajoutant les 24,32€ de gain des autres tâches, nous pouvons estimer que le gain total du scénario de centralisation par rapport à la situation actuelle est de **79,93€** par jour. Cette différence à l'année (260 jours ouvrés) représente un gain financier de **20781,80€**.

En dehors du gain financier, le scénario de centralisation permet d'améliorer de nombreux aspects. En effet, au niveau de la gestion du personnel, de la gestion des stocks, de l'organisation et de l'administratif, elle permet de faciliter le travail des employés. Elle permet également de proposer des repas froids sur le site d'Epicentre. L'application « Gloriafood » va aussi pouvoir fournir des chiffres sur les repas qui ont le plus de succès, ce qui permettra de générer des statistiques plus précises sur la demande et donc de mieux adapter les quantités de production. Le scénario de centralisation permet aussi de ne pas devoir modifier le site de production de la soupe ni des repas pour la dialyse de Frameries.

Plusieurs gains qu'apporte la situation de centralisation ont été négligés dans cette comparaison comme le fait de ne plus avoir de repas impayés sur le site de Frameries ou que la personne au comptoir ne doive plus prendre les commandes au téléphone grâce au système de commandes en ligne.

5. Conclusion

Ce mémoire-projet avait pour objectif d'étudier l'impact financier et organisationnel d'une centralisation de la production froide destinée aux selfs des employés d'EpiCURA. En proposant des changements adaptés aux contraintes économiques et organisationnelles actuelles, cette étude ambitionne donc de proposer une solution concrète et de contribuer au développement d'une logistique hospitalière plus efficace et résiliente face aux défis en constante évolution du secteur de la santé.

Pour définir cette solution, nous avons commencé ce mémoire par une revue de littérature permettant de définir des concepts généraux essentiels dans la mise en place d'une centralisation. Après avoir précisé les avantages et inconvénients, nous avons abordé les problèmes de routage en commençant par détailler le problème du voyageur de commerce pour ensuite discuter de problèmes de routages plus complexes. Nous avons également expliqué le problème de localisation des installations permettant de définir les localisations optimales pour une centralisation.

Dans la deuxième partie de ce mémoire, nous avons dans un premier temps présenté l'entreprise EpiCURA. Ensuite, nous avons analysé la situation actuelle en relevant les principaux problèmes de celle-ci qui étaient que l'employé qui restait plus de 2 heures sur Frameries n'était pas productif, que le système pour tenir les comptes n'était pas efficace, que le système de commande était dérangerant pour les employés, que le site d'Epicentre ne bénéficiait pas de repas froids, que 2 types de baguettes différentes étaient achetées et que les trois sites produisaient les mêmes repas. Les solutions ont donc été trouvées : mettre en place un système de commandes en ligne et centraliser les productions des assiettes froides et des sandwichs sur un même site.

Après cela, nous avons appliqué le problème de localisation des installations au cas d'EpiCURA, mais ayant des caractéristiques différentes, ces analyses ne s'appliquaient pas complètement pour le cas d'une centralisation de la production froide. Pour des raisons liées aux infrastructures, ce sont les sites de Hornu et Baudour qui ont été retenus comme lieux potentiels pour centraliser la production.

Nous avons ensuite réalisé plusieurs modèles d'optimisation dont leurs constructions sont similaires aux problèmes de routage, permettant de définir la tournée optimale qui minimise le temps de trajet pour réaliser toutes les livraisons sur les différents sites. Pour cela, plusieurs alternatives ont été envisagées : une tournée avec un dépôt (et un ou deux véhicules), une tournée avec deux dépôts (et donc deux véhicules), mais aussi un cas de figure où les livraisons seraient réalisées par les tournées actuelles du service transport. À la suite de ces différentes analyses, nous avons pu retenir deux tournées intéressantes avec un seul dépôt (et un véhicule). Ces tournées prennent en compte des scénarios où la production des sandwiches n'est pas réalisée sur le même site que la production des assiettes froides. C'est un choix d'EpiCURA qui préférerait conserver deux sites distincts pour la production permettant ainsi de ne pas déplacer tout le personnel sur le même site et aussi par contrainte d'espace.

Le dernier point qui est traité dans cette deuxième partie est l'estimation des temps de production. En effet, pour réaliser les scénarios de centralisation, il est nécessaire de pouvoir estimer les durées que prend la réalisation des repas froids. Sur base de mesures réalisées et d'analyse des techniques de production sur les différents sites, nous avons pu définir des formules pouvant estimer, en fonction du nombre d'employés et de repas, les durées de production, mais aussi de préparation (à effectuer la veille) des sandwiches et des assiettes froides si la méthode est de type « à la chaîne ».

La troisième partie de ce mémoire est consacrée à l'analyse managériale du projet. Le premier point qui a été abordé est une étude de rentabilité permettant de définir s'il est préférable de commander des baguettes déjà cuites ou alors de les cuire sur place. Les résultats de cette étude ont montré qu'il était avantageux de les cuire sur place, ce qui oblige à considérer une durée de 45 minutes supplémentaires dans les durées de production des sandwiches.

Ensuite, sur base des lieux de production, des trajets des tournées et des durées de production, nous avons pu établir plusieurs scénarios de centralisation dont cinq ont été détaillés. Parmi ces scénarios, c'est le scénario 3 qui est le plus intéressant : il permet de réaliser les productions en une seule partie, mais également de diminuer davantage les coûts, car moins de kilomètres sont parcourus et que les employés ont moins d'heures à prester. Il permet également d'offrir une situation de sécurité s'il manque une personne à la production des sandwiches en divisant cette production en deux parties (scénario 3').

Après cela, nous avons étudié la situation actuelle en comparant les points qui diffèrent avec le scénario 3 de centralisation. Cette comparaison nous a permis de conclure qu'en adoptant le scénario de centralisation, le nombre total d'heures gagnées est estimé à 2h23 par jour et il y a également un gain au niveau des coûts de 24,32€. En ramenant cette durée au taux horaire et en ne prenant en compte que les heures réellement récupérables, nous avons pu estimer que le gain financier journalier est de 79,93€. Cette différence à l'année représente un total de 20781,80€. Cette économie n'est pas négligeable.

En dehors du gain financier, le scénario de centralisation présente d'autres avantages : il améliore différents aspects tels que la gestion du personnel, des stocks, de l'organisation et de l'administratif, facilitant ainsi le travail des employés. De plus, il permet de proposer des repas froids sur le site d'Epicentre. L'application "Gloriafood" fournira des données sur les repas les plus populaires, permettant ainsi de générer des statistiques précises sur la demande et d'ajuster les quantités de production de manière plus efficace.

En conclusion, ce mémoire-projet a atteint son objectif en proposant une solution viable pour une centralisation de la production froide au sein d'EpiCURA. Cette étude contribue ainsi au développement d'une logistique hospitalière plus efficace et adaptée aux enjeux du secteur de la santé. Il est espéré que les recommandations présentées ici permettront à EpiCURA de mettre en place ce scénario avec succès, en améliorant la satisfaction des employés et la qualité des repas proposés, tout en réalisant des économies substantielles. La mise en œuvre de cette solution concrète marque une étape importante vers l'amélioration continue des services offerts par l'hôpital.

6. Références

- Abraich, A. (2019). *Problème du voyageur de commerce - TSP*. Université Evry Val-d'Essonne. Consulté à l'adresse <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10106.24002>
- Baudoux, L. (2018). *Collaboration de solveurs du problème de tournées de véhicules*. Université catholique de Louvain. Consulté à l'adresse <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:17209>
- Berrada, M. (2016). *Centralisation vs décentralisation du pilotage des stocks d'une chaîne à deux échelons*. ESMA. <https://doi.org/10.48376/IMIST.PRSM/remarem-v1i13.4288>
- Braekers, K., Ramaekers, K., & Van Nieuwenhuysse, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.12.007>
- Brucato, C. (2013). *The traveling salesman problem*. University of Pittsburgh. Consulté à l'adresse <https://www.mathematics.pitt.edu/sites/default/files/TSP.pdf>
- Bibmath. (2015). Classes de complexité. En ligne <https://www.bibmath.net/dico/index.php?action=affiche&quoi=./c/complexite.html>
- Catanzaro, D. (2020). *Optimization*.
- Catanzaro, D. (2020). *Quantitative Decision Making*.
- Chen, D., & Yang, Z. (2017). Multiple Depots Vehicle Routing Problem in the Context of Total Urban Traffic Equilibrium. *Journal of Advanced Transportation*, 4, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2017/8524960>
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operation Research*, 12, 568-581.
- Cordeau, J., Laporte, G., Savelsbergh, M., & Vigo, D. (2007). Chapter 6 : Vehicle Routing. *Transportation*, 14, 367-428.
- Dalmeijer, K., & Spliet, R. (2014). *Flow formulations for the Time Window Assignment Vehicle Routing Problem*. Erasmus University Rotterdam. Consulté à l'adresse <http://hdl.handle.net/2105/16592>
- Dantzig, G.B., Fulkerson, D.R., & Johnson, S.M. (1954). Solution of a Large-Scale Traveling-Salesman Problem. *Journal of the Operations Research Society of America*, 2, 393–410.
- Dantzig, G.B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6, 80–91.
- Decamps, A. (2021). *Optimisation du transport intersites au sein de l'entreprise EpiCURA*. Université catholique de Louvain. Consulté à l'adresse <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:30281>

Dechamps, T. (2022). *Epicura fête ses dix ans avec des nouveaux projets... et l'arrivée d'un concurrent de taille*. En ligne <https://www.rtbf.be/article/epicura-fete-ses-dix-ans-avec-des-nouveaux-projets-et-larrivee-dun-concurrent-de-taille-10923342>

Desrochers, M., and F. Soumis (1988). A generalized permanent labeling algorithm for the shortest path problem with time windows. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 26, 191–212.

Electroguide. (2020). *Quelle est la consommation d'un four électrique ?* En ligne <https://www.electroguide.com/consommation-four-electrique>

Enodis. (2021). *Four Convotherm 10 niveaux*. En ligne <https://www.enodis.fr/produits/10-niveaux-easydial-%E2%80%93gn-1%2F1>

EpiCURA. (2022). *Accréditation Or*. En ligne http://www.epicura.be/images/EpiCURA/PDF/CP/CP_AC_18072022.pdf

EpiCURA. (2021). *Carte d'identité*. En ligne <http://www.epicura.be/footer/qui-sommes-nous>

EpiCURA. (2020). *Crescendo*. En ligne <http://crescendo.epicura.be/>

EpiCURA. (2021). *Historique*. En ligne <http://www.epicura.be/footer/historique>

EpiCURA. (2021). *Rapport annuel 2021*. En ligne http://www.epicura.be/images/EpiCURA/PDF/plaquettes/RA_2021_BAT_WEB.pdf

EpiCURA. (2019). *Réseau Phare*. En ligne http://www.epicura.be/images/EpiCURA/PDF/Reseau_PHARE_DP.pdf

Farahani, R. Z., Abedian, M., & Sharahi, S. (2009). Dynamic Facility Location Problem. *Facility Location*, 347–372. https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2151-2_15

Geodesie. (2016). *Comment obtenir la distance entre deux points connus en longitude et latitude sur la sphère ?*. IGN. Consulté à l'adresse https://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/Distance_longitude_latitude.pdf

Goetschalckx, M., & Jacobs-Blecha, C. (1989). The vehicle routing problem with backhauls. *European Journal of Operational Research*, 42, 39–51.

Laporte, G. (2010). A concise guide to the traveling salesman problem. *Journal of the Operational Research Society*, 61, 35-40.

Laporte, G. (2009). Fifty years of Vehicle Routing. *Transportation Science*. 43, 408-416.

Lazic, N., Frey, B. & Aarabi, P. (2010). Solving the Uncapacitated Facility Location Problem Using Message Passing Algorithms. *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Artificial Intelligence and Statistics*, PMLR 9:429-436 <https://proceedings.mlr.press/v9/lazic10a.html>

- Li, F., Fasano, J., & Tan, H. (2011). Location Problems for Supply Chain. *Supply Chain Management New Perspectives*, 15, <https://doi.org/10.5772/22402>
- Liong, C., Wan, I., & Omar, K. (2008). Vehicle routing problem: Models and solutions. *Journal of Quality Measurement and Analysis*, 4(1), 205–218. <http://journalarticle.ukm.my/1868/>
- Malapert, A. (2006). *Optimisation de tournées de véhicules pour l'exploitation de Réseau Telecom*. Université Paris 6 Pierre et Marie Curie. Consulté à l'adresse <https://www.i3s.unice.fr/~malapert/publications/malapert-06-FT.pdf>
- Matai, R., Singh, S. P., & Mittal, M. (2010). Traveling Salesman Problem: an Overview of Applications, Formulations, and Solution Approaches. *Traveling Salesman Problem, Theory and Applications*. <https://doi.org/10.5772/12909>
- Milian, B. (2021). *Pour une Supply Chain agile : centraliser ou décentraliser ?* En ligne <https://demanddriventech.com/fr/blog-fr/pour-une-supply-chain-agile-centraliser-ou-decentraliser/>
- Munari, P., Dollevoet, T., & Spliet, R. (2016). *A generalized formulation for vehicle routing problems*. Cornell University. Consulté à l'adresse <https://arxiv.org/abs/1606.01935>
- Ngueveu, S. U. (2009). *Problèmes de tournées de véhicules avec contraintes particulières pour la maîtrise des risques*. Université de technologie Troyes. Consulté à l'adresse https://homepages.laas.fr/sungueve/Docs/PhD/These_SUNGUEVEU_20062009.pdf
- Onnela, N. (2015). *Determining the optimal distribution center location*. Trepo. Consulté à l'adresse <https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/22938>
- Ozaydin, E. (2008). *Capacitated vehicle routing problem with time windows*. Sabanci University. Consulté à l'adresse <https://research.sabanciuniv.edu/id/eprint/8533/>
- Paquette, J., Roy, J., & Beaulieu, M. (2014). *Gestion du transport dans les établissements de santé et de services sociaux au Québec*. HEC Montréal. Consulté à l'adresse https://cpp.hec.ca/wp-content/uploads/2014/07/CE_2013_02.pdf
- Paquette, J., Roy, J., & Beaulieu, M. (2014). Gestion du transport intersites : le secteur des services peut apprendre de celui de la santé. *Gestion*. <https://doi.org/10.3917/riges.394.0036>
- Pham, M. N. (2021). Comparison between LP bound of the Two-Index and the Three-Index Vehicle Flow Formulation for the Capacitated Vehicle Routing Problem. *Econometric Institute Research Papers*. Consulté à l'adresse <http://hdl.handle.net/1765/135594>
- Sutaji, M., & Hasibuan, S. (2021). *Determination of distribution center location for paper packaging using Center of Gravity method and Analytical Hierarchy Process*. IEOM. Consulté à l'adresse <http://www.ieomsociety.org/singapore2021/papers/707.pdf>
- Tancrez, J. (2021). *Projet quantitatif et Gestion de projet*.

Toth, P., & Vigo, D. (2001). *The Vehicle Routing Problem*. Society for Industrial et Applied Mathematics

WayToLearnX. (2020). *Différence entre un problème NP-Complet et NP-Difficile*. En ligne <https://waytolearnx.com/2019/03/difference-entre-un-probleme-np-complet-et-np-difficile.html>

7. Annexes

Annexe 1 : Tableau du nombre de chemins candidats en fonction du nombre de sommets

n	$(n - 1)!$
	2
3	1
4	3
5	12
6	60
7	360
8	2520
9	20160
10	181440
20	$6,082.10^{16}$
30	$4,420.10^{30}$
40	$6,019.10^{46}$

Annexe 2 : Les partenaires d'EpiCURA



Annexe 3 : Le menu du self chez EpiCURA le semaine du 24 avril 2023

EpiCURA
mon hôpital

MENU DE LA SEMAINE DU 24/04 AU 28/04/2023

LUNDI	MARDI	MERCREDI	JEUDI	VENREDI
<p>Potage carotte (œufs, lait ,céleris)</p> <p>Chef : filet de poulet , goudda, ananas, oignons secs , sce hannibal (œuf, lait, blé)</p> <p>Classique : Américain (œuf, moutarde, blé), Thon Cocktail (œuf, poisson, moutarde, blé), Brie (blé)</p> <p>Salade grecque : Féta , olives, courgettes, tomates, concombre , salade</p> <p>rôti orloff, ananas et PN (blé, lait)</p> <p>OU</p> <p>paella de la mer (crustacés, œuf, poisson, lait, céleri, soja, mollusque)</p> <p style="text-align: right;"><small>Calcul de la facture</small></p>	<p>Potage Brocolis (œufs, lait ,céleris)</p> <p>Chef : Chèvre, miel, amande effilées, tomates , roquette (blé)</p> <p>Classique : Dagobert (œuf, moutarde, lait, blé), Pitta (œuf, moutarde, blé), mousse de saumon (œuf, moutarde, blé)</p> <p>Roti de porc , pdt froides, carottes, tomates, haricots verts, betteraves</p> <p>escalope de dinde parmigiane, penne nature et sauce tomate (lait)</p> <p>OU</p> <p>Burger végétarien, (pain bun tigre) sauce au choix (sésame, œuf, lait)</p> <p>Frangipane (blé, œuf, lait, soja)</p>	<p>Potage Cresson (œufs, lait ,céleris)</p> <p>Chef : chorizo, tomates séchées, concombre, olives, courgettes grillées (lait, soja, blé)</p> <p>Classique : Américain (œuf, moutarde, blé), Scampis (crustacé, œuf, poisson, moutarde, blé), Fol epi</p> <p>Poire au crabe, pdt froide , tomates ,carotte , œuf , salade (crustacé, œuf, poisson, moutarde)</p> <p>épigramme d'agneau sauce thym, salade , gratin dauphinois (blé, soja, lactose)</p> <p>OU</p> <p>poulet teriyaki, riz cantonais et brocolis (blé, soja, sésame, œuf)</p> <p>Semoule de riz</p>	<p>Potage Navet (œufs, lait ,céleris)</p> <p>Chef : Filet de poulet fine herbes, sauce à l'ail , radis, tomates, roquette (lactose, blé, œuf)</p> <p>Classique : Dagobert (œuf, moutarde, blé), salami (blé, céleris), thon piquant (blé, œuf, poisson, moutarde)</p> <p>Ronde de France (Brie, Fol'epi, camembert, emmental) + crudités + pain au fruit/noix</p> <p>penne courgette féta OU</p> <p>hachis parmentier à la patate douce, petit pois, haché tomate</p> <p>Orange</p>	<p>Potage courgette (œufs, lait ,céleris)</p> <p>Chef : Pain de viande , mayo/moutarde, betterave , salade (blé, œuf, moutarde, lait)</p> <p>Classique : Américain (œuf, moutarde, blé), poulet mayo (œuf, lait, moutarde, céleri, blé), goudda (blé)</p> <p>Taboulet merguez , dés de tomates, raisins secs, coriandre , concombre, Féta (blé)</p> <p>poisson florentine et purée (œuf, lait)</p> <p>OU</p> <p>roulade de poulet farcie au tomate séchée, potatos et salade (œuf, lait, céleri, moutarde, soja)</p> <p>Yaourt au fruit</p>

BON APPETIT

Dans le cadre du processus de préparation des repas distribués au sein du Centre Hospitalier EpiCURA, nous ne pouvons éviter totalement le risque de présence de certains produits provoquant des allergies ou intolérances alimentaires. Pour toutes questions concernant les allergènes, n'hésitez pas à vous adresser aux collaborateurs de la cuisine. La composition des plats peut changer.

Annexe 4 : Les tarifs du self

Epi DELICES
ESPACE DE VIE

Tarif

REPAS FROIDS			
Sandwich classique	3 €		
Sandwichs spéciaux (saumon, italien,...)	3,5 €		
Assiette froide	4,5 €		
REPAS CHAUDS			
Plat du jour	4,5 €		
Plat du chef.	4,5 €		
Steak/frites/salade	5,5 €		
Panini	4 €		
Portion de frites (sauce comprise)	2 €		
À emporter	+ 0,5 €		
		DIVERS	
		Dessert	0,75 €
		Pâtisserie	0,75 €
		Viennoiserie	1 €
		BOISSONS	
		Soft/eau aromatisée 50cl	2 €
		Eau pétillante/plate 50cl	1,5 €

EpiCURA
mon hôpital

Annexe 5 : Les différents éléments de la tournée actuelle



Annexe 6 : Les caisses et conteneurs isothermes pour le transport



Annexe 7 : Les plans de la cuisine de Hornu

Etage 0 :



Etage -1 :



Annexe 8 : Les tournées actuelles du service transport

T1	T2	T3	T4	T5	T6
Epicentre 8h	Epicentre 7h	Epicentre 8h40	Epicentre 8h	Epicentre 10h30	Epicentre 9h
Baudour 8h30	Hornu 7h10 - 7h20	Bau/Hor 9h	Dour 8h30 - 9h	Bau/Hor 11h10	Bau/Hor 9h30 - 10h30
Beloeil 9h	Frameries 7h40 - 8h	Fram/Hor 10h00-10h20	Baisieux 8h30 - 9h	Hornu 11h30	Frameries 9h30 - 10h30
Ath 10h	Hornu 8h20 - 8h40	Baudour 10h40	Hornu 9h30	Chambord 12h00	Hornu 9h30 - 10h30
Beloeil 10h45	Baudour 9h - 9h20	Epicentre 11h	Epicentre 10h	Frameries 12h00	Baudour 10h45
Baudour 11h10	Frameries 9h40 - 10h	DOUR 11h-13h	Arbre de Vie 10h30 - 13h	Arbre de Vie 12h00	Epicentre 11h15
Beloeil 13h30	Hornu 10h20 - 10h40	Dct/Hôme 11h-13h	Dct/Hôme 10h30 - 13h	DISCA 12h20	DOUR 11h45
Ath 14h	Baudour 11h - 11h20	Baudour 13h	Chambord 10h30 - 13h	Hornu 12h50	Baudour 13h
Beloeil 14h45	Frameries 11h40 - 12h	Dct/Hôme 14h	Baudour 14h	Frameries 13h40	Baudour 13h
Baudour 15h30	Hornu 12h20 - 12h40	Bau/Hor 14h30 - 14h50	Dct/Hôme 14h	DISCA 14h15	Dct/Hôme 14h
Epicentre 16h	Baudour 13h - 13h20	Hornu 15h	Bau/Hor 14h30 - 14h50	Hornu 14h20 - 14h40	Bau/Hor 14h30 - 14h50
	Frameries 13h40 - 14h	Dct/Hôme 15h	Hornu 15h	Baudour 15h - 15h20	Hornu 15h
	Epicentre 14h20 - 14h40	Epicentre 16h	Dct/Hôme 15h	Frameries 15h40 - 16h	Dct/Hôme 15h
	Hornu 14h20 - 14h40		Epicentre 16h	Hornu 16h20 - 16h40	Epicentre 16h
	Epicentre 15h			Baudour 17h - 17h20	
				Bau/Hor 17h10-17h30	
				Frameries 17h40 - 18h	
				Hornu 18h20 - 18h30	
				Epicentre 18h36	

Annexe 9 : Les temps de trajets entre les sites d'EpiCURA

Temps de trajet					
	Hornu	Epicentre	Frameries	Ath	Baudour
Hornu	0	4	16	43	14
Epicentre	4	0	16	43	14
Frameries	16	16	0	50	20
Ath	43	43	50	0	40
Baudour	14	14	20	40	0

Annexe 10 : Les coordonnées des différents sites

Coordonnées des différents sites		
	Latitude	Longitude
Hornu	50.437.112	3.830.276
Ath	50.634.415	3.777.577
Baudour	50.470.324	3.842.356
Frameries	50.406.612	3.893.142
Epicentre	50.436.497	3.820.359

Annexe 11: Les distances (en km) entre les différents sites :

Matrice de la distance (km) entre les sites					
	Hornu	Ath	Baudour	Frameries	Epicentre
Hornu	0	30	7	7	1
Ath	30	0	26	35	30
Baudour	7	26	0	10	7
Frameries	7	35	10	0	8
Epicentre	1	30	7	8	0

Annexe 12 : Code Xpress du modèle d'optimisation de localisation des installations

```

model EpicuraModel
uses "nmxprs", "nmsheet"

setparam("XPRS_VERBOSE",false)
setparam("XPRS_CUTSTRATEGY",0)    !-1=autom, 3=aggressive, 0=no cuts
setparam("XPRS_HEURSTRATEGY",0)   !-1=autom, 3=aggressive, 0=no cuts
setparam("XPRS_PRESOLVE",1)
setparam("XPRS_MAXTIME",1000)     !temps de recherche
setparam("XPRS_MIPRELSTOP",0.001)

declarations
!paramètres
N=5           !le nombre de villes
Q=2           !le nombre d'installations de distribution
C=1..N       !l'ensemble des installations

X : array(C,C) of mpvar
Y : array(C) of mpvar

Dist: array(C,C) of integer
!Dem: array(C) of integer
NomVilles: array(C) of string

obj:linctr
end-declarations

```

```

initializations from "mmsheet.excel:noindex;DATA_Self1.xlsx"
Dist as "[TempsTrajet$B30:F34]"
end-initializations

NomVilles:["Hornu","Ath","Baudour","Frameries","Epicentre"]
!Dem:=[115,85,80,35,25]      !initialisation de la demande

!obj:=sum(i in C,j in R) X(i,j)*Dist(i,j)*Dem(i)
obj:=sum(i in C,j in C) X(i,j)*Dist(i,j)      !7.1

forall(i in C) sum(j in C) X(i,j) = 1          !7.2

sum(j in C) Y(j) = Q                          !7.3

forall(i in C, j in C) Y(j) >= X(i,j)        !7.4

forall(i in C, j in C) X(i,j) is_binary      !7.5
forall(j in C) Y(j) is_binary                !7.5

minimize(obj)

!affichage de la solution
writeln(getobjval)
writeln("")
writeln("Centre(s) de distribution : ")
forall(j in C | getsol(Y(j))=1)writeln("-",NomVilles(j))
writeln("")
writeln("Repartition : ")
forall(i in C, j in C | getsol(X(i,j))=1)writeln("-",NomVilles(i)," desservi par ",NomVilles(j))
writeln("")

end-model

```

Annexe 13 : Code Xpress du modèle d'optimisation de la tournée

```

model EpicuraModel
uses "mmsheet", "mmsheet"

setparam("XPRS_VERBOSE",false)
setparam("XPRS_CUTSTRATEGY",0)      !-1=autom, 3=aggressive, 0=no cuts
setparam("XPRS_HEURSTRATEGY",0)     !-1=autom, 3=aggressive, 0=no cuts
setparam("XPRS_PRESOLVE",1)
setparam("XPRS_MAXTIME",1000)       !temps de recherche
setparam("XPRS_MIPRELSTOP",0.001)

declarations
!paramètres
Nv=1          !1 véhicule
PS=1         !lieu de production sandwich : 1=Hornu, 2=Ath, 3=Baudour
PA=2         !lieu de production ass.froides : 1=Hornu, 2=Ath, 3=Baudour
LieuStart=1  !lieu de départ du véhicule : 1=Hornu, 2=Ath, 3=Baudour

N=10         !nombre de livraisons
StartH=480   !heure de départ pour l'affichage (8h)
M=240        !temps maximal de roulage autorisé pour 1 vehicule
Villes=1..5
timewaiting=10 !temps d'attente sur les lieux lors de la livraison

Sc=1..N
Sd=N+1..2*N
Si=0..2*N+1
Su=1..2*N    !Sc U Sd
Sv=1..Nv     !les véhicules

X : array(Sv,Si,Si) of mpvar
t : array (Sv,Si) of mpvar      !le moment d'arrivée du véhicule v au point j
Uvi: array(Sv,Si) of mpvar    !ordre de passage au point i par le véhicule v

nbPS:integer      !le numero du lieu de prod. des sandwiches
nbPA:integer      !le numero du lieu de prod. des ass. froide
nbV:integer       !le numero du départ/arriv?e du véhicule

NomVilles : array(Villes) of string
TTrajVilles: array(Villes,Villes) of integer
interm:array(Si) of integer

```

```

SC: array(Sc) of integer
SD: array(Sd) of integer
TTraij: array(Si,Si) of integer

Heure:integer      /pour affichage en heure
moduloH:integer

obj:linctr

end-declarations

initializations from "mmsheet.excel:noindex;DATA_Self3.xlsx"
NomVilles as "[TempsTrajet$B2:F2]"
TTrajVilles as "[TempsTrajet$B3:F7]"

end-initializations

function MinHeure(Min,Heure,moduloH:integer): string      /affichage de l'heure

    Heure:=Min div 60
    moduloH:=Min mod 60

    if getsize(strfmt(moduloH,0))=1 then
        returned:=strfmt(Heure,0)+"h0"+strfmt(moduloH,0)
    else
        returned:=strfmt(Heure,0)+"h"+strfmt(moduloH,0)
    end-if

end-function

/initialisation des matrices SC et SD
if PS=1 then
nbPS:=1      /Hornu
elif PS=2 then
nbPS:=4      /Ath
elif PS=3 then
nbPS:=5      /Baudour
end-if

if PA=1 then
nbPA:=1      /Hornu
elif PA=2 then
nbPA:=4      /Ath
elif PA=3 then
nbPA:=5      /Baudour
end-if
SC:=[nbPS,nbPS,nbPS,nbPS,nbPS,nbPA,nbPA,nbPA,nbPA,nbPA] /les missions de livraisons
SD:=[1,2,3,4,5,1,2,3,4,5]

/initialisation du lieu de depart du vehicule
if LieuStart=1 then
nbV:=1      /Hornu
elif LieuStart=2 then
nbV:=4      /Ath
elif LieuStart=3 then
nbV:=5      /Baudour
end-if

/initialisation de la matrice TTraij
forall(i in Sc) interm(i):=SC(i)
forall(i in Sd) interm(i):=SD(i)
interm(0):=nbV      /depart = choix
interm(2*N+1):=nbV /arrivee = choix
forall(i in Si, j in Si) TTraij(i,j):=TTrajVilles(interm(i),interm(j))

obj:=sum(i in Si,j in Si,v in Sv) (X(v,i,j)*TTraij(i,j))      /8.1
/obj:=sum(v in Sv) (t(v,2*N+1)-t(v,0))

/ Chaque livraison doit etre realisee
forall(i in Sc)sum(j in Si,v in Sv) X(v,i,j)=1      /8.2

/chargement et dechargement realises par un seul vehicule
forall(i in Sc, v in Sv) sum(j in Si) X(v,i,j) = sum(j in Si) X(v,i+N,j)      /8.3

/loi des noeuds
forall(i in Su, v in Sv) sum(j in Si) X(v,j,i) = sum(j in Si) X(v,i,j)      /8.4

/departs et arrivees au depot
forall(v in Sv) sum(j in Si) X(v,0,j)=1      /8.5
forall(v in Sv) sum(i in Si) X(v,i,0)=0      /8.6
forall(v in Sv) sum(i in Si) X(v,i,2*N+1)=1      /8.8
forall(v in Sv) sum(j in Si) X(v,2*N+1,j)=0      /8.7

/modele en xvij binaire

```

```

forall(i in Si,j in Si, v in Sv) X(v,i,j) is_binary /8.17

!elimination des sous-tours
forall(i in Si, j in Si, v in Sv) Uvi(v,i)+1<=Uvi(v,j)+M*(1-X(v,i,j)) /8.13
forall(i in Si,v in Sv) Uvi(v,i)>=1 /8.14
forall(i in Si,v in Sv) Uvi(v,i)<=M /8.15
forall(i in Si, v in Sv) Uvi(v,i) is_integer /8.16

!!définition de t(i,v) (moment d'arrivée)
forall(i in Si, j in Si, v in Sv) do
  if TTraij(i,j)<>0 then
    t(v,j) >= t(v,i)+timewaiting +TTraij(i,j) - (M*(1-X(v,i,j))) /8.9
  end-if
end-do
forall(i in Si, j in Si, v in Sv) do
  if TTraij(i,j)=0 then
    t(v,j) >= t(v,i)+TTraij(i,j) - (M*(1-X(v,i,j))) /8.10
  end-if
end-do

!forall(i in Si, j in Si, v in Sv) t(v,j) >= t(v,i)+TTraij(i,j) - (M*(1-X(v,i,j))) /8.19

forall(i in Si,v in Sv) t(v,i)>=0 /8.18
forall(i in Si, v in Sv) t(v,i) is_integer /8.18

!on doit passer à l'origine avant la destination
forall(i in Sc, v in Sv) t(v,N+i) - (t(v,i)) >=0 /8.11

!temps min de roulage
forall(v in Sv) t(v,2*N+1) - t(v,0) >= 0 /trouver plus vite solution /8.12

!si on ajoute une contrainte de temps (plusieurs vehicules)
!forall(v in Sv) t(v,2*N+1) <= 150 /8.20

minimize(obj)

!affichage de la solution
writeln(getobjval)
forall(v in Sv,i in Si, j in Si | getsol(X(v,i,j))=1)writeln("Vehicule ",v," : ",i," ",j)

writeln("")
forall(v in Sv)do
  write("Vehicule ",v," : 0")
  i:=0
  while(i<>2*N+1)do
    forall(j in Si|getsol(X(v,i,j))=1)do
      write(" ",j)
      i:=j
    end-do
  end-do
  writeln("")
end-do

forall(v in Sv)do
  writeln("-----")
  writeln("Vehicule ",v)
  writeln("Start : ", NomVilles(nbV))
  i:=0
  while(i<>2*N+1)do
    forall(j in Si|getsol(X(v,i,j))=1)do
      !if(j>0 and j<=N)then writeln ("Chargement: ",NomVilles(inter(j))," : ",MinHeure(integer(getsol(t(v,j))),Heure,moduleH))
      !if(j>0 and j<=N)then writeln ("Chargement: ",NomVilles(inter(j))," : ",getsol(t(v,j)))
      !if(j>0 and j<=N)then writeln ("Chargement: ",NomVilles(inter(j)))
      !elif(j>N and j<2*N+1)then writeln ("Dechargement: ",NomVilles(inter(j))," : ",MinHeure(integer(getsol(t(v,j))),Heure,moduleH))
      !elif(j>N and j<2*N+1)then writeln ("Dechargement: ",NomVilles(inter(j))," : ",getsol(t(v,j)))
      !elif(j>N and j<2*N+1)then writeln ("Dechargement: ",NomVilles(inter(j)))
    end-if
    i:=j
  end-do
end-do
writeln("End : ", NomVilles(nbV))
writeln("")
end-do

writeln("Horaire : ")
writeln("-----")
writeln("Start : ",NomVilles(nbV)," - ",MinHeure(StartH,Heure,moduleH))
forall(v in Sv)do
  i:=0
  tempsH:=0
  nom:="test"
  timetot:=StartH /0
  while(i<>2*N+1)do
    forall(j in Si|getsol(X(v,i,j))=1)do
      if NomVilles(inter(j))<>nom then

```

```

    tempsH:=integer(getsol(t(v,j)))

    if getsol(t(v,j))<>0 then      /pas écrire le premier lieu
        writeln("Arrivee : ",NomVilles(intermed(j)), " - ",MinHeure(tempsH+timetot-timewaiting,Heure,moduloH))
        writeln("Depart : ",NomVilles(intermed(j)), " - ",MinHeure(tempsH+timetot,Heure,moduloH))
    end-if
end-if

    nom:=NomVilles(intermed(j))
    i:=j
end-do
end-do
writeln("End : ", NomVilles(nbV))
writeln(" ")

writeln("temps du total : ",getsol(t(1,2*N+1)-t(1,0)), "min - ",MinHeure(integer(getsol(t(1,2*N+1)-t(1,0))),Heure,moduloH))
/writeln("temps total : ",getsol(t(1,2*N+1)-t(1,0)) + timetot - StartH, "min - ",MinHeure(integer(getsol(t(1,2*N+1)-t(1,0)) + timetot - StartH),Heure,moduloH))
writeln("temps du trajet : ",getobjval, "min - ",MinHeure(integer(getobjval),Heure,moduloH))

end-model

```

Annexe 14 : Les modifications du codes pour le « VRP with no ending points »

Initialisation de la matrice TTraij_{ij}

```

!initialisation de la matrice TTraij
forall(i in Sc) intermed(i):=SC(i)
forall(i in Sd) intermed(i):=SD(i)
intermed(0):=nbV                /depart = choix
intermed(2*N+1):=nbV           /arrivee = choix
forall(i in Si, j in Si) TTraij(i,j):=TTrajVilles(intermed(i),intermed(j))

forall(i in Si) TTraij(i,2*N+1):=0      /définir point fictif de retour ou il n'y a pas de temps de trajet

```

Modification du 3^{ème} affichage :

```

writeln("Horaire : ")
writeln("-----")
writeln("Start : ",NomVilles(nbV), " - ",MinHeure(StartH,Heure,moduloH))
forall(v in Sv)do
    i:=0
    tempsH:=0
    nom:="test"
    timetot:=StartH /heure de debut de l'affichage
    while(i<>2*N+1)do
        forall(j in Si|getsol(X(v,i,j))=1)do

            if NomVilles(intermed(j))<>nom then
                tempsH:=integer(getsol(t(v,j)))
                if getsol(t(v,j))<>0 and j<> 21 then      /pas écrire le premier lieu et le dernier (lieu fictif)
                    writeln("Arrivee : ",NomVilles(intermed(j)), " - ",MinHeure(tempsH+timetot-timewaiting,Heure,moduloH))
                    writeln("Depart : ",NomVilles(intermed(j)), " - ",MinHeure(tempsH+timetot,Heure,moduloH))
                end-if
            end-if

            nom:=NomVilles(intermed(j))
            i:=j
        end-do
    end-do
end-do
writeln("End : ", NomVilles(nbV))
writeln(" ")

```

Annexe 15 : Code Xpress du modèle d'optimisation de la tournée avec 2 dépôts

```

model EpicuraModel|
uses "mmsprs", "mmsheet"

setparam("XPRS_VERBOSE",false)
setparam("XPRS_CUTSTRATEGY",0)  !-1=autom, 3=aggressive, 0=no cuts
setparam("XPRS_HEURSTRATEGY",0)  !-1=autom, 3=aggressive, 0=no cuts
setparam("XPRS_PRESOLVE",1)
setparam("XPRS_MAXTIME",1000)    !temps de recherche
setparam("XPRS_MIPRELSTOP",0.001)

declarations
/paramètres
Nv=1          !1 vehicule pour la tournée 1
PS=1         !lieu de production sandwich : 1=Hornu, 2=Ath, 3=Baudour
PA=2         !lieu de production ass.froides : 1=Hornu, 2=Ath, 3=Baudour
LieuStartV1=1 !lieux des departs/arrivees vehicule1 (dimension=Nv)
LieuStartV2=PA !lieux des departs/arrivees vehicule2
nblieu=4     !lieu d'echange : 1=Hornu, 2=Ath, 3=Baudour, 4=Frateries

N=10        !nombre de livraisons
StartH=480  !heure de départ pour l'affichage (8h)
M=240       !temps maximal de roulage autorisé pour 1 vehicule
Villes=1..5
timewaiting=10 !temps d'attente sur les lieux lors de la livraison

Sc=1..N
Sd=N+1..2*N
Si=0..2*N+1
Su=1..2*N   !Sc U Sd
Sv=1..Nv    !les véhicules

X : array(Sv,Si,Si) of mpvar
t : array(Sv,Si) of mpvar !le moment d'arrivée du véhicule v au point j
Uvi: array(Sv,Si) of mpvar !ordre de passage au point i par le véhicule v

nbPS:integer !le numero du lieu de prod. des sandwiches
nbPA:integer !le numero du lieu de prod. des ass. froide
nbV1:integer !le numero du départ/arrivee du véhicule
nbV2:integer !le num?ro du d?part/arrivee v2
nbECH:integer !le numéro du lieu de depot

NomVilles : array(Villes) of string
TTrajVilles: array(Villes,Villes) of integer
interm:array(Si) of integer
SC: array(Sc) of integer
SD: array(Sd) of integer
TTrajij: array(Si,Si) of integer

Heure:integer !pour affichage en heure
moduloH:integer

obj:lincnr

end-declarations

initializations from "mmsheet.excel:noindex;DATA_Self3.xlsx"
NomVilles as "[TempsTrajet$B2:F2]"
TTrajVilles as "[TempsTrajet$B3:F7]"

end-initializations

function MinHeure(Min,Heure,moduloH:integer): string !affichage de l'heure

    Heure:=Min div 60
    moduloH:=Min mod 60

    if getsize(strfmt(moduloH,0))=1 then
        returned:=strfmt(Heure,0)+"h0"+strfmt(moduloH,0)
    else
        returned:=strfmt(Heure,0)+"h"+strfmt(moduloH,0)
    end-if

end-function

/initialisation des matrices SC et SD
if PS=1 then
nbPS:=1 !Hornu
elif PS=2 then
nbPS:=4 !Ath
elif PS=3 then
nbPS:=5 !Baudour
end-if

if PA=1 then
nbPA:=1 !Hornu
elif PA=2 then
nbPA:=4 !Ath
elif PA=3 then
nbPA:=5 !Baudour
end-if

```

```

if nbLieu=1 then
nbECH:=1      /Hornu
elif nbLieu=2 then
nbECH:=4      /Ath
elif nbLieu=3 then
nbECH:=5      /Baudour
elif nbLieu=4 then
nbECH:=3      /Frameries
end-if

SC:=[nbPS,nbPS,nbPS,nbPS,nbPS,nbECH,nbECH,nbECH,nbECH] /les missions de livraisons
SD:=[1,2,3,4,5,1,2,3,4,5]

/suppression de la mission vers le lieu de production 2 (remplacer par lieu 1)
forall(k in 1..N)do
    if SD(N+k) = nbPA then
        SD(N+k):=nbPS
    end-if
end-do

/initialisation du lieu de depart des vehicules
if LieuStartV1=1 then
nbV1:=1      /Hornu
elif LieuStartV1=2 then
nbV1:=4      /Ath
elif LieuStartV1=3 then
nbV1:=5      /Baudour
end-if

if LieuStartV2=1 then
nbV2:=1      /Hornu
elif LieuStartV2=2 then
nbV2:=4      /Ath
elif LieuStartV2=3 then
nbV2:=5      /Baudour
end-if

/initialisation de la matrice TTraij
forall(i in Sc) interm(i):=SC(i)
forall(i in Sd) interm(i):=SD(i)
interm(0):=nbV1      /depart = choix
interm(2*N+1):=nbV1 /arrivee = choix
forall(i in Si, j in Si) TTraij(i,j):=TTrajVilles(interm(i),interm(j))

obj:=sum(i in Si,j in Si,v in Sv) (X(v,i,j)*TTraij(i,j))
/obj:=sum(v in Sv) (t(v,2*N+1)-t(v,0))

/ Chaque livraison doit etre realisee
forall(i in Sc)sum(j in Si,v in Sv) X(v,i,j)=1

/chargement et dechargement realises par un seul vehicule
forall(i in Sc, v in Sv) sum(j in Si) X(v,i,j) = sum(j in Si) X(v,i+N,j)

/loi des noeuds
forall(i in Su, v in Sv) sum(j in Si) X(v,j,i) = sum(j in Si) X(v,i,j)

/departs et arrivees au depot
forall(v in Sv) sum(j in Si) X(v,0,j)=1
forall(v in Sv) sum(i in Si) X(v,i,0)=0
forall(v in Sv) sum(i in Si) X(v,i,2*N+1)=1
forall(v in Sv) sum(j in Si) X(v,2*N+1,j)=0

/modele en xvij binaire
forall(i in Si,j in Si, v in Sv) X(v,i,j) is_binary

/elimination des sous-tours
forall(i in Si, j in Si, v in Sv) Uvi(v,i)+1<=Uvi(v,j)+M*(1-X(v,i,j))
forall(i in Si,v in Sv) Uvi(v,i)>=1
forall(i in Si,v in Sv) Uvi(v,i)<=M
forall(i in Si, v in Sv) Uvi(v,i) is_integer

//definition de t(i,v) (moment d'arrivee)
forall(i in Si, j in Si, v in Sv) do
    if TTraij(i,j)<>0 then
        t(v,j) >= t(v,i) + timewaiting + TTraij(i,j) - (M*(1-X(v,i,j))) /8.9
    end-if
end-do
forall(i in Si, j in Si, v in Sv) do
    if TTraij(i,j)=0 then
        t(v,j) >= t(v,i) + TTraij(i,j) - (M*(1-X(v,i,j))) /8.10
    end-if
end-do

forall(i in Si,v in Sv) t(v,i)>=0
forall(i in Si, v in Sv) t(v,i) is_integer

/on doit passer à l'origine avant la destination
forall(i in Sc, v in Sv) t(v,N+1) - (t(v,i)) >=0

/temps max/min de roulage

forall(v in Sv) t(v,2*N+1) - t(v,0) >= 0 /juste celle-là trouve plus vite solution
/forall(v in Sv) t(v,2*N+1) - t(v,0) <= M-1

minimize(obj)

```

```

/affichage de la solution
writeln(getobjval)
forall(v in Sv, i in S1, j in S1 | getsol(X(v,i,j))=1) writeln("Vehicule ",v," : ",i," ",j)

writeln("")
forall(v in Sv) do
  write("Vehicule ",v," : 0")
  i:=0
  while(i<>2*N+1) do
    forall(j in S1|getsol(X(v,i,j))=1) do
      write(" ",j)
      i:=j
    end-do
  end-do
writeln("")
end-do

forall(v in Sv) do
  writeln("-----")
  writeln("Vehicule ",v)
  writeln("Start : ", NomVilles(nbV1))
  i:=0
  while(i<>2*N+1) do
    forall(j in S1|getsol(X(v,i,j))=1) do
      /if(j>0 and j<=N) then writeln ("Chargement: ",NomVilles(interm(j))," : ",MinHeure(integer(getsol(t(v,j))),Heure,moduloH))
      /if(j>0 and j<=N) then writeln ("Chargement: ",NomVilles(interm(j))," : ",getsol(t(v,j)))
      /if(j>0 and j<=N) then writeln ("Chargement: ",NomVilles(interm(j)))
      /elif(j>N and j<2*N+1) then writeln ("Dechargement: ",NomVilles(interm(j))," : ",MinHeure(integer(getsol(t(v,j))),Heure,moduloH))
      /elif(j>N and j<2*N+1) then writeln ("Dechargement: ",NomVilles(interm(j))," : ",getsol(t(v,j)))
      /elif(j>N and j<2*N+1) then writeln ("Dechargement: ",NomVilles(interm(j)))
    end-if
    i:=j
  end-do
end-do
writeln("End : ", NomVilles(nbV1))
writeln("")
end-do

writeln("Horaire V1: ")
writeln("-----")
writeln("Start : ",NomVilles(nbV1)," - ",MinHeure(StartH,Heure,moduloH))
forall(v in Sv) do
  i:=0
  tempsH:=0
  nom:="test"
  timetot:=StartH /0
  while(i<>2*N+1) do
    forall(j in S1|getsol(X(v,i,j))=1) do
      if NomVilles(interm(j))<nom then
        tempsH:=integer(getsol(t(v,j)))
        if getsol(t(v,j))<>0 then /pas écrire le premier lieu
          writeln("Arrivee : ",NomVilles(interm(j))," - ",MinHeure(tempsH+timetot-timewaiting,Heure,moduloH))
          writeln("Depart : ",NomVilles(interm(j))," - ",MinHeure(tempsH+timetot,Heure,moduloH))
        end-if
      end-if
      nom:=NomVilles(interm(j))
      i:=j
    end-do
  end-do
  writeln("End : ", NomVilles(nbV1))
  writeln("-----")
  writeln("temps total V1 : ",getsol(t(1,2*N+1)-t(1,0)),"min - ",MinHeure(integer(getsol(t(1,2*N+1)-t(1,0))),Heure,moduloH))
  writeln("temps du trajet V1: ",getobjval,"min - ",MinHeure(integer(getobjval),Heure,moduloH))
  writeln(" ")

  writeln(" ")
  writeln("Horaire V2: ")
  writeln("-----")
  writeln("Start : ",NomVilles(nbV2)," - partir au plus tard : ",MinHeure(integer((getsol(t(1,N+nbECH))+StartH-timewaiting)-(TtrajVilles(nbV2,nbECH))),Heure,moduloH) /heure arrivee lieu d'echange - temps de trajet
  writeln("Arrivee : ",NomVilles(nbECH)," - ",MinHeure(integer(getsol(t(1,N+nbECH))+StartH-timewaiting),Heure,moduloH))
  writeln("Depart : ",NomVilles(nbECH)," - ",MinHeure(integer(getsol(t(1,N+nbECH))+StartH),Heure,moduloH))
  writeln("End : ",NomVilles(nbV2)," - ",MinHeure(integer(getsol(t(1,N+nbECH))+StartH+TtrajVilles(nbV2,nbECH)),Heure,moduloH))

  writeln("-----")
  writeln("temps total V2 : ",MinHeure(integer(getsol(t(1,N+nbECH))+StartH+TtrajVilles(nbV2,nbECH)+timewaiting)-(integer((getsol(t(1,N+nbECH))+StartH)-(TtrajVilles(nbV2,nbECH))),Heure,moduloH))
  writeln("temps du trajet V2 : ",MinHeure(integer(getsol(t(1,N+nbECH))+StartH+TtrajVilles(nbV2,nbECH)+timewaiting)-(integer((getsol(t(1,N+nbECH))+StartH)-(TtrajVilles(nbV2,nbECH))))-timewaiting,Heure,moduloH))
end-model

```

Annexe 16 : Modification de l'affichage pour plusieurs véhicules (sans retour dépôt)

```
forall(v in Sv)do
writeln("")
writeln("")
writeln("Horaire Vehicule ",v," : ")
writeln("-----")
writeln("Start : ",NomVilles(nbV)," - ",MinHeure(StartH,Heure,moduloH))
i:=0
tempsH:=0
nom:="test"
timetot:=StartH /heure de debut de l'affichage
while(i<>2*N+1)do
  forall(j in Si|getsol(X(v,i,j))=1)do

    if NomVilles(inter(j))<>nom then
      tempsH:=integer(getsol(t(v,j)))
      if getsol(t(v,j))<>0 and j<> 21 then /pas écrire le premier lieu et le dernier (lieu fictif)
        writeln("Arrivee : ",NomVilles(inter(j))," - ",MinHeure(tempsH+timetot-timewaiting,Heure,moduloH))
        writeln("Depart : ",NomVilles(inter(j))," - ",MinHeure(tempsH+timetot,Heure,moduloH))

      end-if
    end-if

    nom:=NomVilles(inter(j))
    i:=j
  end-do
end-do
writeln("End : ", NomVilles(nbV))
writeln(" ")
writeln("temps total : ",getsol(t(v,2*N+1)-t(v,0)),"min - ",MinHeure(integer(getsol(t(v,2*N+1)-t(v,0))),Heure,moduloH))
end-do
writeln(" ")
writeln(" ")
writeln("temps du trajet cumule : ")
writeln(getobjval,"min - ",MinHeure(integer(getobjval),Heure,moduloH))
```

Annexe 17 : Résultat du scénario 3 avec 3 véhicules :

```
Horaire Vehicule 1 :
-----
Start : Hornu - 8h00
Arrivee : Baudour - 8h14
Depart : Baudour - 8h24
Arrivee : Ath - 9h04
Depart : Ath - 9h14
End : Hornu

temps total : 74min - 1h14

Horaire Vehicule 2 :
-----
Start : Hornu - 8h00
End : Hornu

temps total : 0min - 0h00

Horaire Vehicule 3 :
-----
Start : Hornu - 8h00
Arrivee : Epicentre - 8h04
Depart : Epicentre - 8h14
Arrivee : Frameries - 8h30
Depart : Frameries - 8h40
End : Hornu

temps total : 40min - 0h40

temps du trajet cumule :
74min - 1h14
```



```

0,0,0,720,0,
0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,

0,0,0,0,720,
0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,

/initialisation matrice NDA
nb:=1
for all (m in NM) do
  for all (i in Villes) do
    for all (j in Villes) do
      if Missions(m,i,j)<>0 then
        NDA[nb]:=i
        NDA[nb+NbM]:=j
        nb:=nb+1
      end-if
    end-do
  end-do
end-do

/obj:=sum(m in NM,k in nbtournees,i in Villes,j in Villes) X(m,k,i,j) + M*(sum(m in NM,i in Villes,j in Villes) X(m,(nbt+1),i,j)) /*Tournees(k,i,j)
obj:=sum(m in NM,k in nbtournees,i in Villes,j in Villes) X(m,k,i,NDA(m+NbM)) *Tournees(k,i,NDA(m+NbM)) + M*(sum(m in NM,i in Villes,j in Villes) X(m,(nbt+1),i,j)) /*9.1

/ pour chaque mission, dans chaque tournées max 1 seul Xkij selectionne
for all (m in NM,k in nbtournees,i in Villes,j in Villes) X(m,k,i,j)<=1 /*9.2
/for all (m in NM) sum(k in nbtournees,i in Villes,j in Villes) X(m,k,i,j)<=1 /*9.13 /*pour variante sans changement de tournées

/ ne peut pas selectionner des Xkij où tournée = 0
for all (m in NM,k in nbtournees,i in Villes,j in Villes) X(m,k,i,j)<=Tournees(k,i,j) /*9.3

for all (m in NM) sum(k in nbtournees,j in Villes) X(m,k,NDA(m),j)=1 /*>=1 qui sort du départ /*9.4
for all (m in NM) sum(k in nbtournees,i in Villes) X(m,k,i,NDA(m))=0 /*pas revenir au départ /*9.5
for all (m in NM) sum(k in nbtournees,i in Villes) X(m,k,i,NDA(m+NbM))=1 /*>=1 qui arrive à la fin /*9.6
for all (m in NM) sum(k in nbtournees,j in Villes) X(m,k,NDA(m+NbM),j)=0 /*pas partir de la fin /*9.7

/loi noeud (attention pas pt de depart et d arrivee)
for all (m in NM) for all (i in Villes | i<>NDA(m) and i<>NDA(m+NbM)) sum(k in nbtournees,j in Villes) X(m,k,j,i) = sum(k in nbtournees,j in Villes) X(m,k,i,j) /*9.8

/contrainte temps (tous les temps d'arrivee < temps mission)
for all (m in NM,k in nbtournees,i in Villes) X(m,k,i,NDA(m+NbM)) *Tournees(k,i,NDA(m+NbM)) <= sum(i in Villes) Missions(m,i,NDA(m+NbM)) /*9.9

/contrainte temps (pas possible de selectionner un arc avec un temps d'arrivee plus tot que le precedent)
for all (m in NM,i in Villes) sum(k in nbtournees,j in Villes) X(m,k,j,i) *Tournees(k,j,i) <= sum(k in nbtournees,j in Villes) X(m,k,i,j) *Tournees(k,DepartTournees(k),i) + M*(1-sum(k in nbtournees,j in Villes) X(m,k,i,j))

/peut pas prendre des X(k,i,i)
for all (m in NM,k in nbtournees,i in Villes) X(m,k,i,i)=0 /*9.11

/ modele en xkij binaire
for all (m in NM,k in nbtournees,i in Villes,j in Villes) X(m,k,i,j) is_binary /*9.12

minimize(obj)

/affichage de la solution
writeln(getobjval)
for all (m in NM,k in nbtournees,i in Villes,j in Villes | getcol(X(m,k,i,j))-1) writeln("X ",m,"",k,"",i,"",j)
writeln("")

for all (m in NM) do
  writeln("")
  writeln("Mission ",m," : ",nonVilles(NDA(m)), " --> ",nonVilles(NDA(m+NbM)), " [avant ",Missions(m,NDA(m),NDA(m+NbM)), " - ",MinHeure(Missions(m,NDA(m),NDA(m+NbM))),Heure,moduloH,"]")
  for all (k in nbtournees,i in Villes,j in Villes | getcol(X(m,k,i,j))-1) do
    if k<>(nbt+1) then /*la tournée backup
      writeln(" Tournée ",NomTour(k)," : ",nonVilles(i)," --> ",nonVilles(j)," ("",Tournees(k,i,j),"-",MinHeure(Tournees(k,i,j)),Heure,moduloH,")")
    else
      writeln(" Pas de possibilites")
    end-if
  end-do
end-do
end-mode|

```

Annexe 19 : Procédure pour stocker les tournées dans les matrices (cas avec possibilité de changements de tournées)

Liste des tournées avec les lieux intéressants (entre 8h et 12h)

T1	
Epicentre	8h
Baudour	8h30
Ath	10h
Baudour	11h10

T2	
Frameries	8h
Hornu	8h20 - 8h40
Baudour	9h - 9h20
Frameries	9h40 - 10h
Hornu	10h20 - 10h40
Baudour	11h - 11h20
Frameries	11h40 - 12h

T3	
Epicentre	8h40
Hornu	9h
Frameries	10h10
Baudour	10h40
Epicentre	11h

T4	
Epicentre	8h
Hornu	9h30
Epicentre	10h

T5	
Epicentre	10h30
Baudour	11h10
Hornu	11h30
Frameries	12h00

T6	
Epicentre	9h
Baudour	9h30 - 10h30
Frameries	9h30 - 10h30
Hornu	9h30 - 10h30
Baudour	10h45
Epicentre	11h15

Avec minutes

T1	
Epicentre	480
Baudour	510
Ath	600
Baudour	670

T2	
Frameries	480
Hornu	520
Baudour	560
Frameries	600
Hornu	640
Baudour	680
Frameries	720

T3	
Epicentre	520
Hornu	540
Frameries	610
Baudour	640
Epicentre	660

T4	
Epicentre	480
Hornu	570
Epicentre	600

T5	
Epicentre	630
Baudour	670
Hornu	690
Frameries	720

T6	
Epicentre	540
Baudour	560
Frameries	590
Hornu	630
Baudour	645
Epicentre	675

Formatage des tournées

T1		T2		T3		T4		T5		T6	
Epicentre	480	Ath	600	Frameries	480	Baudour	560	Hornu	640	Epicentre	630
Baudour	510	Baudour	670	Hornu	520	Frameries	600	Baudour	680	Epicentre	540
Ath	600			Baudour	560	Hornu	640	Frameries	720	Baudour	560
										Frameries	590
										Hornu	630
										Baudour	645
										Epicentre	675

Matrices des tournées (décomposées en missions)

T1					
	Hornu	Epicentre	Frameries	Ath	Baudour
Hornu	0	0	0	0	0
Epicentre	0	480	0	600	510
Frameries	0	0	0	0	0
Ath	0	0	0	0	0
Baudour	0	0	0	600	0

T7					
	Hornu	Epicentre	Frameries	Ath	Baudour
Hornu	0	0	0	0	0
Epicentre	0	0	0	0	0
Frameries	0	0	0	0	0
Ath	0	0	0	0	0
Baudour	0	660	0	0	640

T2					
	Hornu	Epicentre	Frameries	Ath	Baudour
Hornu	0	0	0	0	0
Epicentre	0	0	0	0	0
Frameries	0	0	0	0	0
Ath	0	0	0	600	670
Baudour	0	0	0	0	0

T8					
	Hornu	Epicentre	Frameries	Ath	Baudour
Hornu	0	0	0	0	0
Epicentre	570	480	0	0	0
Frameries	0	0	0	0	0
Ath	0	0	0	0	0
Baudour	0	0	0	0	0

T3					
	Hornu	Epicentre	Frameries	Ath	Baudour
Hornu	0	0	0	0	560
Epicentre	0	0	0	0	0
Frameries	520	0	480	0	560
Ath	0	0	0	0	0
Baudour	0	0	0	0	0

T9					
	Hornu	Epicentre	Frameries	Ath	Baudour
Hornu	570	600	0	0	0
Epicentre	0	0	0	0	0
Frameries	0	0	0	0	0
Ath	0	0	0	0	0
Baudour	0	0	0	0	0

T4					
	Hornu	Epicentre	Frameries	Ath	Baudour
Hornu	0	0	0	0	0
Epicentre	0	0	0	0	0
Frameries	640	0	0	0	0
Ath	0	0	0	0	0
Baudour	640	0	600	0	560

T10					
	Hornu	Epicentre	Frameries	Ath	Baudour
Hornu	0	0	720	0	0
Epicentre	690	630	720	0	670
Frameries	0	0	0	0	0
Ath	0	0	0	0	0
Baudour	690	0	720	0	0

T5					
	Hornu	Epicentre	Frameries	Ath	Baudour
Hornu	640	0	720	0	680
Epicentre	0	0	0	0	0
Frameries	0	0	0	0	0
Ath	0	0	0	0	0
Baudour	0	0	720	0	0

T11					
	Hornu	Epicentre	Frameries	Ath	Baudour
Hornu	0	0	0	0	0
Epicentre	630	540	590	0	560
Frameries	630	0	0	0	0
Ath	0	0	0	0	0
Baudour	630	0	590	0	0

T6					
	Hornu	Epicentre	Frameries	Ath	Baudour
Hornu	0	0	610	0	640
Epicentre	540	520	610	0	640
Frameries	0	0	0	0	640
Ath	0	0	0	0	0
Baudour	0	0	0	0	0

T12					
	Hornu	Epicentre	Frameries	Ath	Baudour
Hornu	630	675	0	0	645
Epicentre	0	0	0	0	0
Frameries	0	0	0	0	0
Ath	0	0	0	0	0
Baudour	0	675	0	0	0

Matrices des départ tournées (DepartTourneesk)

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	Backup
Epicentre	Ath	Frateries	Baudour	Hornu	Epicentre	Baudour	Epicentre	Hornu	Epicentre	Epicentre	Hornu	
2	4	3	5	1	2	5	2	1	2	2	1	1

Matrices totale des tournées (Tourneekij)

0	0	0	0	0
0	480	0	600	510
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	600	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	600	670
0	0	0	0	0
0	0	0	0	560
0	0	0	0	0
520	0	480	0	560
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
640	0	0	0	0
0	0	0	0	0
640	0	600	0	560
640	0	720	0	680
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	720	0	0
0	0	610	0	640
540	520	610	0	640
0	0	0	0	640
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	660	0	0	640
0	0	0	0	0
570	480	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
570	600	0	0	0

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	720	0	0
690	630	720	0	670
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
690	0	720	0	0
0	0	0	0	0
630	540	590	0	560
630	0	0	0	0
0	0	0	0	0
630	0	590	0	0
630	675	0	0	645
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	675	0	0	0
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

Backup

Annexe 20 : Procédure pour stocker les tournées dans les matrices (cas sans possibilité de changements de tournées)

Avec minutes

T1	Epicentre 480 Baudour 510 Ath 600 Baudour 670	T2	Frameries 480 Hornu 520 Baudour 560 Frameries 600 Hornu 640 Baudour 680 Frameries 720	T3	Epicentre 520 Hornu 540 Frameries 610 Baudour 640 Epicentre 660	T4	Epicentre 480 Hornu 570 Epicentre 600	T5	Epicentre 630 Baudour 670 Hornu 690 Frameries 720	T6	Epicentre 640 Baudour 660 Frameries 690 Hornu 630 Baudour 645 Epicentre 675
-----------	--	-----------	---	-----------	---	-----------	---	-----------	--	-----------	--

Matrices des tournées (décomposées directement en missions)

T1	T3	T6
T1	T3	T6
T2	T4	T5
T2	T4	T5

Il faut ensuite mettre ces tableaux à la suite dans la matrice $Tournees_{ij}^k$.

Annexe 21 : Temps de production des sandwiches mesurés sur Baudour et Hornu

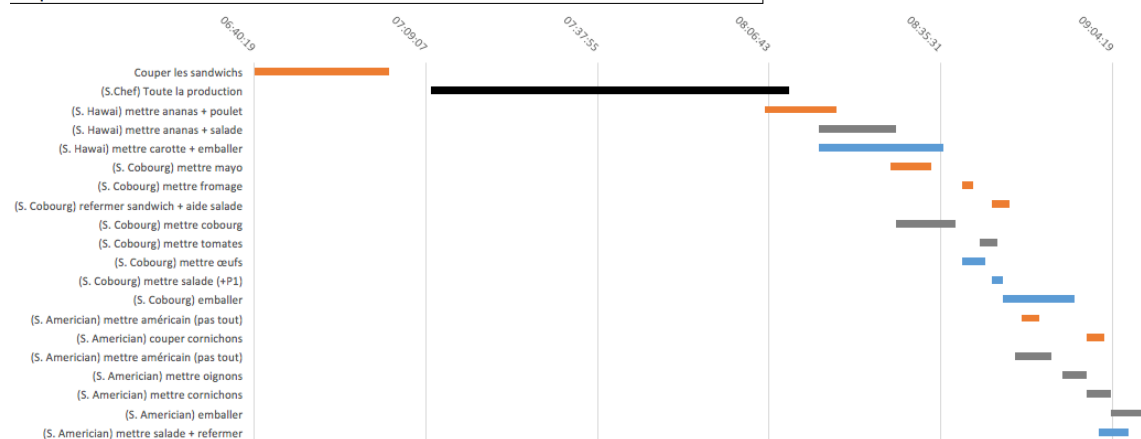
Baudour :

Personne	De	A	Durée	Nombre	Durée/unité	Temps hors prod.	Mission
P1	08:00:00	08:15:00				00:15:00	Préparation : chercher stock, laver...
P1	08:17:00	08:56:00	00:39:00	18	00:02:10	00:02:00	Faire assiette wrap (=chef sandwich)
P1	09:01:00	09:05:00	00:04:00	16	00:00:15	00:05:00	Couper Jambon + fromage
P1	09:19:00	09:29:00	00:10:00	62	00:00:10	00:14:00	Couper sandwich (attention FOUR dans le temps hors prod. à enlever et 62 car baguette sans rien)
P1	09:30:00	10:05:00	00:35:00			00:01:00	PAUSE + Reunion (exceptionnel)
P1	10:19:00	10:36:00	00:17:00	16	00:01:04	00:14:00	(S. Dago) Production 1 à 1
P1	10:36:00	10:45:00	00:09:00	11	00:00:49	00:00:00	(S. Sauc. Jamb) Production 1 à 1
P1	10:47:00	10:56:00	00:09:00	17	00:00:32	00:02:00	(S. T. Cocktail) Production 1 à 1
Temps total :			02:56:00				2:03:00 (1pause) 0:53:00



Hornu :

Personne	De	A	Durée	Nombre	Durée/unité	Temps hors prod.	Mission
P1	06:40:00	07:03:00	00:23:00	123	00:00:11	00:00:00	Couper les sandwichs
P1 rejoint par P2,P3 (7h40)	07:10:00	08:10:00	01:00:00	39	00:01:32	00:00:00	(S.Chef) Toute la production
P1	08:06:00	08:18:00	00:12:00	31	00:00:23	00:00:00	(S. Hawaii) mettre ananas + poulet
P3	08:15:00	08:28:00	00:13:00	31	00:00:25	00:05:00	(S. Hawaii) mettre ananas + salade
P2	08:15:00	08:36:00	00:21:00	31	00:00:41	00:05:00	(S. Hawaii) mettre carotte + emballer
P1	08:27:00	08:34:00	00:07:00	27	00:00:16	00:09:00	(S. Cobourg) mettre mayo
P1	08:39:00	08:41:00	00:02:00	27	00:00:04	00:05:00	(S. Cobourg) mettre fromage
P1	08:44:00	08:47:00	00:03:00	27	00:00:07	00:03:00	(S. Cobourg) refermer sandwich + aide salade
P3	08:28:00	08:38:00	00:10:00	27	00:00:22	00:00:00	(S. Cobourg) mettre cobourg
P3	08:42:00	08:45:00	00:03:00	27	00:00:07	00:04:00	(S. Cobourg) mettre tomates
P2	08:39:00	08:43:00	00:04:00	27	00:00:09	00:03:00	(S. Cobourg) mettre œufs
P2	08:44:00	08:46:00	00:02:00	27	00:00:04	00:01:00	(S. Cobourg) mettre salade (+P1)
P2	08:46:00	08:58:00	00:12:00	27	00:00:27	00:00:00	(S. Cobourg) emballer
P1	08:49:00	08:52:00	00:03:00	26	00:00:07	00:02:00	(S. American) mettre américain (pas tout)
P1	09:00:00	09:03:00	00:03:00	26	00:00:07	00:08:00	(S. American) couper cornichons
P3	08:48:00	08:54:00	00:06:00	26	00:00:14	00:03:00	(S. American) mettre américain (pas tout)
P3	08:56:00	09:00:00	00:04:00	26	00:00:09	00:02:00	(S. American) mettre oignons
P3	09:00:00	09:04:00	00:04:00	26	00:00:09	00:00:00	(S. American) mettre cornichons
P3	09:04:00	09:11:00	00:07:00	26	00:00:16	00:00:00	(S. American) emballer
P2	09:02:00	09:07:00	00:05:00	26	00:00:12	00:04:00	(S. American) mettre salade + refermer
Temps total :	02:31:00		03:24:00			00:54:00	



Annexe 22 : Temps de production des assiettes froides mesurés sur Baudour et Ath

Site	Nombre de P.	De	A	Durée totale	Nombre
Ath	2	07:30:00	08:00:00	00:30:00	22
Baudour	1	08:00:00	08:25:00	00:25:00	12

Annexe 23 : Temps de préparation des sandwichs et assiettes froides mesurés sur Hornu

Sandwichs :

Personne	De	A	Durée	Nombre	Durée/unité	Temps hors prod.	Mission
P1	10:10:00	10:32:00	00:22:00	120	00:00:11	00:10:00	Couper+laver concombre, tomates et œufs (+parfois ananas)
P1	10:37:00	10:46:20	00:09:20	56	00:00:10	00:05:00	Couper jambon
P1	10:47:20	10:56:40	00:09:20	56	00:00:10	00:01:00	Couper fromage
P1	11:01:40	11:15:28	00:13:48	36	00:00:23	00:05:00	Couper boulettes
Temps total :	01:15:28		0:54:28			0:21:00	

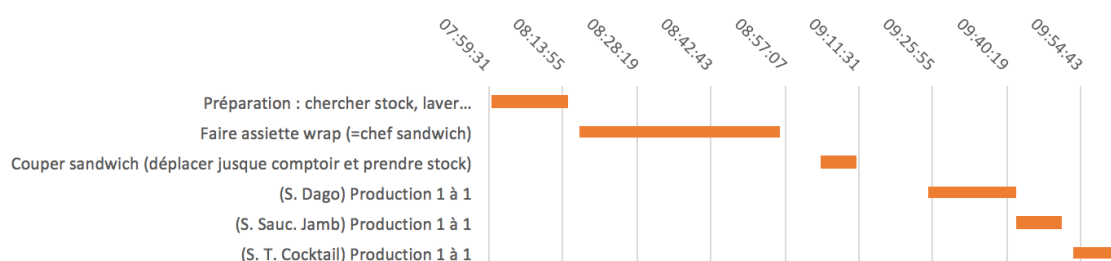
Assiettes froides :

Personne	De	A	Durée	Nombre	Durée/unité	Temps hors prod.	Mission
P1	10:10:00	10:15:30	00:05:30	30	00:00:11	00:10:00	Couper+laver concombre, tomates, œufs
P1	10:18:30	10:30:00	00:11:30	30	00:00:23	00:03:00	Couper viande (boulette, merguez, poulet,...)
Temps total :	00:30:00		0:17:00			0:13:00	

Annexe 24 : Temps de production des sandwichs réarrangés sur Baudour et Hornu

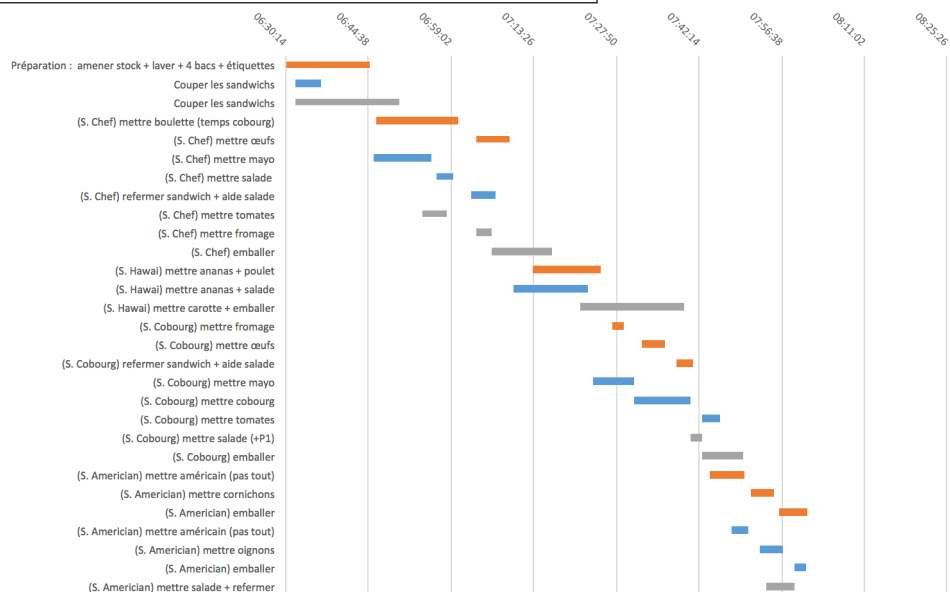
Baudour :

Personne	De	A	Durée	Nombre	Durée/unité	Temps hors prod.	Mission
P1	08:00:00	08:15:00				00:15:00	Préparation : chercher stock, laver...
P1	08:17:00	08:56:00	00:39:00	18	00:02:10	00:02:00	Faire assiette wrap (=chef sandwich)
P1	09:04:00	09:11:06	00:07:06	44	00:00:10	00:08:00	Couper sandwich (déplacer jusque comptoir et prendre stock)
P1	09:25:06	09:42:06	00:17:00	16	00:01:04	00:14:00	(S. Dago) Production 1 à 1
P1	09:42:06	09:51:06	00:09:00	11	00:00:49	00:00:00	(S. Sauc. Jamb) Production 1 à 1
P1	09:53:06	10:02:06	00:09:00	17	00:00:32	00:02:00	(S. T. Cocktail) Production 1 à 1
Temps total :	02:02:06		1:21:06			0:41:00	



Hornu :

Personne	De	A	Durée	Nombre	Durée/unité	Temps hors prod.	Mission	Répartition
P1	06:30:00	06:45:00				00:15:00	Préparation : amener stock + laver + 4 bacs + étiquettes	
P2	06:32:00	06:36:31	00:04:31	24,6	00:00:11	00:02:00	Couper les sandwichs	20%
P3	06:32:00	06:50:02	00:18:02	98,4	00:00:11	00:02:00	Couper les sandwichs	80%
P1	06:46:00	07:00:27	00:14:27	39	00:00:22	00:01:00	(S. Chef) mettre boulette (temps cobourg)	
P1	07:03:27	07:09:13	00:05:47	39	00:00:09	00:03:00	(S. Chef) mettre œufs	
P2	06:45:31	06:55:37	00:10:07	39	00:00:16	00:09:00	(S. Chef) mettre mayo	
P2	06:56:37	06:59:31	00:02:53	39	00:00:04	00:01:00	(S. Chef) mettre salade	
P2	07:02:31	07:06:51	00:04:20	39	00:00:07	00:03:00	(S. Chef) refermer sandwich + aide salade	
P3	06:54:02	06:58:22	00:04:20	39	00:00:07	00:04:00	(S. Chef) mettre tomates	
P3	07:03:22	07:06:16	00:02:53	39	00:00:04	00:05:00	(S. Chef) mettre fromage	
P3	07:06:16	07:16:40	00:10:24	39	00:00:16	00:00:00	(S. Chef) emballer	
P1	07:13:13	07:25:13	00:12:00	31	00:00:23	00:04:00	(S. Hawaii) mettre ananas + poulet	
P2	07:09:51	07:22:51	00:13:00	31	00:00:25	00:03:00	(S. Hawaii) mettre ananas + salade	
P3	07:21:40	07:39:45	00:18:05	31	00:00:35	00:05:00	(S. Hawaii) mettre carotte + emballer	
P1	07:27:13	07:29:13	00:02:00	27	00:00:04	00:02:00	(S. Cobourg) mettre fromage	
P1	07:32:13	07:36:13	00:04:00	27	00:00:09	00:03:00	(S. Cobourg) mettre œufs	
P1	07:38:13	07:41:13	00:03:00	27	00:00:07	00:02:00	(S. Cobourg) refermer sandwich + aide salade	
P2	07:23:51	07:30:51	00:07:00	27	00:00:16	00:01:00	(S. Cobourg) mettre mayo	
P2	07:30:51	07:40:51	00:10:00	27	00:00:22	00:00:00	(S. Cobourg) mettre cobourg	
P2	07:42:51	07:45:51	00:03:00	27	00:00:07	00:02:00	(S. Cobourg) mettre tomates	
P3	07:40:45	07:42:45	00:02:00	27	00:00:04	00:01:00	(S. Cobourg) mettre salade (+P1)	
P3	07:42:45	07:49:57	00:07:12	27	00:00:16	00:00:00	(S. Cobourg) emballer	
P1	07:44:13	07:50:13	00:06:00	26	00:00:14	00:03:00	(S. American) mettre américain (pas tout)	
P1	07:51:13	07:55:13	00:04:00	26	00:00:09	00:01:00	(S. American) mettre cornichons	
P1	07:56:13	08:01:07	00:04:54	18,2	00:00:16	00:01:00	(S. American) emballer	70%
P2	07:47:51	07:50:53	00:03:02	26	00:00:07	00:02:00	(S. American) mettre américain (pas tout)	
P2	07:52:53	07:56:47	00:03:54	26	00:00:09	00:02:00	(S. American) mettre oignons	
P2	07:58:47	08:00:53	00:02:06	7,8	00:00:16	00:02:00	(S. American) emballer	
P3	07:53:57	07:58:57	00:05:00	26	00:00:12	00:04:00	(S. American) mettre salade + refermer	30%
Temps total :	01:31:07		03:07:57			01:23:00		



Annexe 25 : Les différents scénarios

Scénario	Production	Employé(s)	Nombre	Durée	De	A	Départ tournée	Finir avant	Bottleneck	Heures payées	Cuisson
1	Prod. Sandwichs Hornu	3	270	02:45:36	06:00:00	09:30:36	09:45:36		oui	08:16:47	00:45:00
1	Prod. Ass. Froides Ath	1	70	03:09:00	06:00:00	09:09:00	09:24:00	10:28:36	non	03:09:00	00:00:00
1'	Prod. Sandwichs Hornu 1	3	130	01:25:08	06:00:00	08:10:08	08:25:08	08:41:00	non	04:15:25	00:45:00
1'	Prod. Sandwichs Hornu 2	2	140	02:12:55	08:25:08	10:38:03	10:53:03	11:30:00	non	04:25:49	00:00:00
1'	Prod. Ass. Froides Ath	1	70	03:09:00	06:00:00	09:09:00	09:24:00		oui	03:09:00	00:00:00
2	Prod. Sandwichs Ath	3	270	02:45:36	06:00:00	09:30:36	09:45:36		oui	08:16:47	00:45:00
2	Prod. Ass. Froides Hornu	2	70	01:37:31	06:00:00	07:37:31	07:52:31	09:02:36	non	03:15:02	00:00:00
2'	Prod. Sandwichs Ath 1	3	205	02:08:14	06:00:00	08:53:14	09:08:14		oui	06:24:43	00:45:00
2'	Prod. Sandwichs Ath 2	1	65	02:13:17	09:08:14	11:21:31	11:36:31	12:00:00	non	02:13:17	00:00:00
2'	Prod. Ass. Froides Hornu	2	70	01:37:31	06:00:00	07:37:31	07:52:31	08:25:14	non	03:15:02	00:00:00
3	Prod. Sandwichs Hornu	3	270	02:45:36	06:00:00	09:30:36	09:45:36		oui	08:16:47	00:45:00
3	Prod. Ass. Froides Ath	2	70	01:37:31	06:00:00	07:37:31	07:52:31	09:02:36	non	03:15:02	00:00:00
3'	Prod. Sandwichs Hornu 1	2	175	02:42:40	06:00:00	09:27:40	09:42:40		oui	05:25:19	00:45:00
3'	Prod. Sandwichs Hornu 2	2	95	01:34:40	09:42:40	11:17:20	11:32:20	11:30:00	non	03:09:19	00:00:00
3'	Prod. Ass. Froides Ath	2	70	01:37:31	06:00:00	07:37:31	07:52:31	08:59:40	non	03:15:02	00:00:00
3''	Prod. Sandwichs Hornu	2	205	03:08:10	06:00:00	09:53:10	10:08:10		oui	06:16:19	00:45:00
3''	Prod. Sandwichs Ath	1	65	02:13:17	09:24:00	11:37:17	11:52:17	12:00:00	non	02:13:17	00:00:00
3''	Prod. Ass. Froides Ath	1	70	03:09:00	06:00:00	09:09:00	09:24:00	09:25:10	non	03:09:00	00:00:00
4	Prod. Sandwichs Ath	3	270	02:45:36	06:00:00	09:30:36	09:45:36		oui	08:16:47	00:45:00
4	Prod. Ass. Froides Hornu	1	70	03:09:00	06:00:00	09:09:00	09:24:00	10:28:00	non	03:09:00	00:00:00
4'	Prod. Sandwichs Ath 1	3	205	02:08:14	06:00:00	08:53:14	09:08:14		oui	06:24:43	00:45:00
4'	Prod. Sandwichs Ath 2	1	65	02:13:17	09:08:14	11:21:31	11:36:31	12:00:00	non	02:13:17	00:00:00
4'	Prod. Ass. Froides Hornu	1	70	03:09:00	06:00:00	09:09:00	09:24:00	09:51:14	non	03:09:00	00:00:00

Scénario 1	
Site de prod. des sandwichs :	Hornu
Site de prod. des assiettes froides :	Ath
Lieu du départ de la tournée :	Hornu

Scénario 1'	
Site de prod. des sandwichs :	Hornu
Site de prod. des assiettes froides :	Ath
Lieu du départ de la tournée :	Hornu
Prod. sandwichs en 2 parties et 2 passages	

Scénario 2	
Site de prod. des sandwichs :	Ath
Site de prod. des assiettes froides :	Hornu
Lieu du départ de la tournée :	Hornu

Tournée 1	
Sites	Heure
Start : Hornu	09:45:36
Arrivée : Ath	10:28:36
Depart : Ath	10:38:36
Arrivée : Baudour	11:18:36
Depart : Baudour	11:28:36
Arrivée : Hornu	11:42:36
Depart : Hornu	11:52:36
Arrivée : Epicentre	11:56:36
Depart : Epicentre	12:06:36
Arrivée : Frameries	12:22:36
Depart : Frameries	12:32:36
Arrivée : Hornu	12:48:36
End : Hornu	12:58:36
Heure fin des livraisons :	12:32:36
Durée totale trajet :	03:13:00
Heures payées :	14:38:47
Nombre de km :	75,8

Tournée 1	
Sites	Heure
Start : Hornu	08:41:00
Arrivée : Ath	09:24:00
Depart : Ath	09:34:00
Arrivée : Baudour	10:14:00
Depart : Baudour	10:24:00
Arrivée : Hornu	10:38:00
Depart : Hornu	10:48:00
Arrivée : Epicentre	10:52:00
Depart : Epicentre	11:02:00
Arrivée : Frameries	11:18:00
Depart : Frameries	11:28:00
Arrivée : Hornu	11:44:00
End : Hornu	11:54:00
Heure fin des livraisons :	11:28:00
Durée totale trajet :	03:13:00
Heures payées :	15:03:15
Nombre de km :	75,8

Tournée 1	
Sites	Heure
Start : Hornu	09:02:36
Arrivée : Ath	09:45:36
Depart : Ath	09:55:36
Arrivée : Baudour	10:35:36
Depart : Baudour	10:45:36
Arrivée : Hornu	10:59:36
Depart : Hornu	11:09:36
Arrivée : Epicentre	11:13:36
Depart : Epicentre	11:23:36
Arrivée : Frameries	11:39:36
Depart : Frameries	11:49:36
Arrivée : Hornu	12:05:36
End : Hornu	12:15:36
Heure fin des livraisons :	11:49:36
Durée totale trajet :	03:13:00
Heures payées :	14:44:49
Nombre de km :	75,8

Scénario 2'	
Site de prod. des sandwiches :	Ath
Site de prod. des assiettes froides :	Hornu
Lieu du départ de la tournée :	Hornu
Prod. sandwiches en 2 parties	

Scénario 3	
Site de prod. des sandwiches :	Hornu
Site de prod. des assiettes froides :	Ath
Lieu du départ de la tournée :	Ath

Scénario 3'	
Site de prod. des sandwiches :	Hornu
Site de prod. des assiettes froides :	Ath
Lieu du départ de la tournée :	Ath
Prod. sandwiches en 2 parties	

Tournée 1	
Sites	Heure
Start : Hornu	08:25:14
Arrivée : Ath	09:08:14
Depart : Ath	09:18:14
Arrivée : Baudour	09:58:14
Depart : Baudour	10:08:14
Arrivée : Hornu	10:22:14
Depart : Hornu	10:32:14
Arrivée : Epicentre	10:36:14
Depart : Epicentre	10:46:14
Arrivée : Frameries	11:02:14
Depart : Frameries	11:12:14
Arrivée : Hornu	11:28:14
End : Hornu	11:38:14
Heure fin des livraisons : 11:12:14	
Durée totale trajet : 03:13:00	
Heures payées : 15:06:02	
Nombre de km : 75,8	

Tournée 2	
Sites	Heure
Start : Ath	09:02:36
Arrivée : Hornu	09:45:36
Depart : Hornu	09:55:36
Arrivée : Epicentre	09:59:36
Depart : Epicentre	10:09:36
Arrivée : Frameries	10:25:36
Depart : Frameries	10:35:36
Arrivée : Baudour	10:55:36
Depart : Baudour	11:05:36
Arrivée : Ath	11:45:36
End : Ath	11:55:36
Heure fin des livraisons : 11:55:36	
Durée totale trajet : 02:53:00	
Heures payées : 14:24:49	
Nombre de km : 73,5	

Tournée 2	
Sites	Heure
Start : Ath	08:59:40
Arrivée : Hornu	09:42:40
Depart : Hornu	09:52:40
Arrivée : Epicentre	09:56:40
Depart : Epicentre	10:06:40
Arrivée : Frameries	10:22:40
Depart : Frameries	10:32:40
Arrivée : Baudour	10:52:40
Depart : Baudour	11:02:40
Arrivée : Ath	11:42:40
End : Ath	11:52:40
Heure fin des livraisons : 11:52:40	
Durée totale trajet : 02:53:00	
Heures payées : 14:42:41	
Nombre de km : 73,5	

Scénario 3''	
Site de prod. des sandwiches :	Hornu
Site de prod. des assiettes froides :	Ath
Lieu du départ de la tournée :	Ath
Pas de centraliser prod. sandwiches sur Ath	

Scénario 4	
Site de prod. des sandwiches :	Ath
Site de prod. des assiettes froides :	Hornu
Lieu du départ de la tournée :	Ath

Scénario 4'	
Site de prod. des sandwiches :	Ath
Site de prod. des assiettes froides :	Hornu
Lieu du départ de la tournée :	Ath
Prod. sandwiches en 2 parties	

Tournée 2	
Sites	Heure
Start : Ath	09:25:10
Arrivée : Hornu	10:08:10
Depart : Hornu	10:18:10
Arrivée : Epicentre	10:22:10
Depart : Epicentre	10:32:10
Arrivée : Frameries	10:48:10
Depart : Frameries	10:58:10
Arrivée : Baudour	11:18:10
Depart : Baudour	11:28:10
Arrivée : Ath	12:08:10
End : Ath	12:18:10
Heure fin des livraisons : 11:28:10	
Durée totale trajet : 02:53:00	
Heures payées : 14:31:36	
Nombre de km : 73,5	

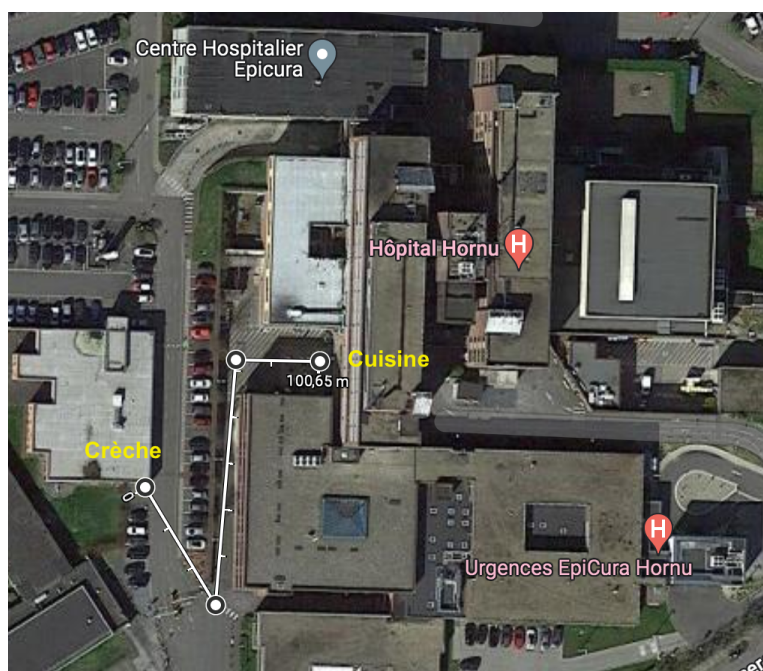
Tournée 2	
Sites	Heure
Start : Ath	09:45:36
Arrivée : Hornu	10:28:36
Depart : Hornu	10:38:36
Arrivée : Epicentre	10:42:36
Depart : Epicentre	10:52:36
Arrivée : Frameries	11:08:36
Depart : Frameries	11:18:36
Arrivée : Baudour	11:38:36
Depart : Baudour	11:48:36
Arrivée : Ath	12:28:36
End : Ath	12:38:36
Heure fin des livraisons : 12:38:36	
Durée totale trajet : 02:53:00	
Heures payées : 14:18:47	
Nombre de km : 73,5	

Tournée 2	
Sites	Heure
Start : Ath	09:08:14
Arrivée : Hornu	09:51:14
Depart : Hornu	10:01:14
Arrivée : Epicentre	10:05:14
Depart : Epicentre	10:15:14
Arrivée : Frameries	10:31:14
Depart : Frameries	10:41:14
Arrivée : Baudour	11:01:14
Depart : Baudour	11:11:14
Arrivée : Ath	11:51:14
End : Ath	12:01:14
Heure fin des livraisons : 12:01:14	
Durée totale trajet : 02:53:00	
Heures payées : 14:40:00	
Nombre de km : 73,5	

Annexe 26 : La tournée optimale du scénario 3''

Tournée 3	
Sites	Heure
Start : Ath	00:00:00
Arrivée : Hornu	00:43:00
Depart : Hornu	00:53:00
Arrivée : Epicentre	00:57:00
Depart : Epicentre	01:07:00
Arrivée : Baudour	01:21:00
Depart : Baudour	01:31:00
Arrivée : Frameries	01:51:00
Depart : Frameries	02:01:00
Arrivée : Ath	02:51:00
End : Ath	03:01:00
Temps fin des livraisons :	02:01:00
Temps total trajet :	03:01:00
Nombre de km :	80,3

Annexe 27 : Le trajet de cuisine vers la crèche à Hornu



UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Louvain School of Management

Chaussée de Binche 151, 7000 Mons, Belgique | www.uclouvain.be/lsm