

DEVELOPPEMENT D'UN OUTIL DE SUIVI DES MOUVEMENTS DES GRAINS DE BLE BIOLOGIQUE AU NIVEAU DE LA CHAINE D'APPROVISIONNEMENT

LOIC PARRENIN^{1,2}, CHRISTOPHE DANJOU^{1,2}, BRUNO AGARD^{1,2}

¹ Laboratoire en Intelligence des Données

² Département de mathématiques et génie industriel,

École Polytechnique de Montréal, CP 6079, succursale Centre-Ville, Montréal, Québec, Canada
loic.parrenin@polymtl.ca, christophe.danjou@polymtl.ca, bruno.agard@polymtl.ca

RESUME : Dans la production de farines biologique, les grains de blé suivent un processus logistique avec de nombreux contrôles en termes de qualité et de quantité. Différentes variétés de blé, chacune avec ses propres qualités, impactent directement la qualité de la farine produite. Le manque d'information sur la qualité des grains de blé entreposés ou mélangés dans des silos le long de la chaîne d'approvisionnement complexifie le suivi à destination de l'usine de transformation. Nous proposons de nouveaux outils pour le suivi des grains de blé. Ce suivi fournit une meilleure connaissance des qualités et des quantités de grains de blé en inventaire, d'où une meilleure réactivité sur la chaîne logistique. Face à l'augmentation des flux logistiques et aux imprévus météorologiques ou économiques, il est nécessaire d'avoir un processus d'approvisionnement en grain flexible et réactif pour assurer l'ensemble des commandes de chaque client.

MOTS-CLES : Grain de blé biologique, chaîne d'approvisionnement, transformation numérique, industrie 4.0.

1 INTRODUCTION

Dans le contexte socioéconomique actuel, plusieurs raisons poussent les consommateurs à valoriser des produits biologiques, que ce soit pour des choix de santé, un choix environnemental, ou simplement pour soutenir l'économie locale [13]. Les habitudes des consommateurs ainsi que leurs besoins évoluent. Avec la croissance démographique et des habitudes de consommation différentes, la demande de produits alimentaires biologiques augmente [1], en particulier pour le blé biologique.

Dans le secteur industriel de transformation des grains de blé, de nombreux contrôles sont réalisés le long de la chaîne de valeur afin de garantir les quantités, la traçabilité et la qualité de la farine. Les données collectées ne sont pas forcément exploitées à leur plein potentiel et peuvent être sauvegardées par différents intervenants à plusieurs endroits le long de la chaîne de valeur. À partir des données collectées, l'objectif global est d'optimiser les paramètres de production d'une usine de transformation de grain biologique pour améliorer les rendements et maîtriser la variabilité de la qualité du produit fini.

La collecte des données sur la chaîne d'approvisionnement et de production (qualité et quantité des grains de blé, paramètres de contrôle et d'état des machines de production) est la première étape pour atteindre l'objectif global. La deuxième étape consistera à structurer et traiter l'ensemble des données (collectées à l'étape 1) afin de construire un modèle de prédiction sur la qualité des produits finis en fonction des paramètres machines et de qualités des grains de blé utilisés. Finalement un modèle d'optimisation des réglages des machines de production sera élaboré à l'aide d'algorithmes

d'apprentissage machine dans le but d'améliorer les rendements des moulins à farine.

La chaîne d'approvisionnement a une influence importante dans la qualité des produits finis biologiques. En effet, le transformateur ne peut avoir recours à des agents chimiques pour corriger la qualité de ces intrants. La qualité des grains de blé réceptionnés à l'usine de transformation conditionne donc la qualité de la farine biologique pouvant être produite. Il est donc nécessaire de suivre de manière rigoureuse les qualités et quantités des lots de grain de blé arrivants de chaque fournisseur.

Pour répondre à cette problématique, nous proposons un état de l'art sur les grains de blé et leurs spécificités (2.1), la chaîne d'approvisionnement de la récolte aux usines de transformation au Canada (2.2) et les points de contrôles des grains de blé au niveau de la chaîne d'approvisionnement au Canada (2.3). La section 3 présente la méthodologie de conception de l'outil de suivi pour les mouvements de grains de blé le long de la chaîne d'approvisionnement. La section 4 expose un cas d'étude qui a servi à la validation de la méthode. Finalement, la section 5 rappelle les résultats et propose quelques perspectives pour l'utilisation de l'outil.

2 ÉTAT DE L'ART

Le secteur de la transformation alimentaire est un domaine complexe notamment en raison de la manipulation de matières premières vivantes. La qualité des grains de blé peut varier en fonction des variétés, de leur provenance, des conditions d'entreposage, du processus de mouillage des grains de blé, etc... Cette section va décrire les principales caractéristiques des grains de blé, la

chaîne d'approvisionnement, et les différents points de contrôles qualité du blé.

2.1 Caractéristiques des grains de blé

Deux principales sortes de blé sont plus largement cultivées [15] : le blé dur (durum) et le blé tendre (hard et soft). Le blé dur au Canada est utilisé pour la fabrication du couscous et des pâtes alimentaires. Le blé tendre au Canada est employé dans les boulangeries pour la fabrication du pain (blé tendre vitreux dit blé dur ou de force), de pâtisserie (blé tendre dit blé faible ou mou) et de la pâte à pizza. Les blés sont semés à différentes périodes de l'année en fonction des zones climatiques. Le blé de printemps est semé généralement autour du mois de mars (entre avril et mai au Québec) dans les régions où les conditions climatiques durant l'hiver sont plus rudes. Le blé d'hiver est généralement semé autour du mois d'octobre (entre août et septembre au Québec) dans les régions méditerranéennes et tempérées. La récolte se déroule généralement en été par temps sec. Le grain de blé est situé dans un épi de blé et se compose de 3 parties distinctes [3] : le germe ($\approx 3\%$ en masse) ; l'albumen ou amande farineuse ou endosperme (84%) et les enveloppes ou son (13%). Le germe est riche en matières grasses et en vitamines B et E, l'endosperme est principalement constitué de glucides (amidon) et de protéines (dont le gluten) et les enveloppes sont riches en fibres, mais nutritionnellement pauvres par rapport à l'endosperme [3]. La teneur en gluten est intimement corrélée avec la teneur en protéine. La teneur en protéine de blé varie en fonction des facteurs d'environnement alors que la qualité du gluten varie en fonction des facteurs héréditaires du blé [15].

Pour classer ces blés, les principales caractéristiques analysées lors de la réception sont : le taux d'humidité (quantité d'eau présente au niveau du grain), le taux de protéine (le gluten est à l'origine de l'élasticité de la pâte et le taux de protéine est un des critères principaux pour fixer le prix du blé), le taux d'amidon (qui permet le gonflement de la pâte à pain [14]), les concentrations en toxines DON (désoxynivalénoles) et OTA (Ochratoxine A) - les concentrations de ces toxines produites par certaines espèces de moisissures peuvent nuire à la salubrité des grains et des aliments [7] - et le poids spécifique des grains (indicateur déterminant le prix du grain [16]).

Des essais technologiques sont réalisés pour obtenir de l'information plus précise sur la qualité de ces grains de blé. Lors des essais technologiques, un des indicateurs clés informant sur la qualité des grains de blé pouvant impacter le prix d'achat est le BEM (Brabender Energy Max), qui se mesure grâce au Glutopeak. Le Glutopeak est un appareil de mesure pour tester la qualité du gluten [2]. Plus le BEM est élevé, meilleur est la qualité du gluten et donc de la farine.

2.2 Chaîne d'approvisionnement de la récolte du grain de blé aux usines de transformation

Entre la récolte du grain de blé et sa transformation en farine, le blé suit un long processus au cours duquel il sera manipulé et stocké. [15] précise que « la généralisation du moissonnage-battage a conduit au développement d'une infrastructure, concrétisée par la mise en place des installations (bâtiments et équipement) en fonction de la réception, du séchage, du nettoyage, de la désinfestation et de l'expédition ». Le moissonnage-battage est l'opération qui consiste à récolter les grains de blé ou tout autre type de céréale dans un champ à l'aide d'une moissonneuse-batteuse. La moissonneuse-batteuse aura ainsi pour rôle de couper les tiges de blé et battre le blé pour extraire les grains de blé des épis de blé. Le processus pour acheminer ces grains à l'usine de transformation (Figure 1) débute aussitôt que les grains de blé sont récoltés (1).

À l'étape 2, le blé est transporté jusqu'aux silos de collecte (3). Un échantillon est prélevé et analysé pour l'émission de certificat d'analyse (4). Cette étape permet d'identifier le type de blé et vérifier la qualité du blé. Le blé est transporté (5) dans un « silo terminus » (6) où il sera entreposé, nettoyé et séché avant d'être expédié (7) à l'acheteur (8).

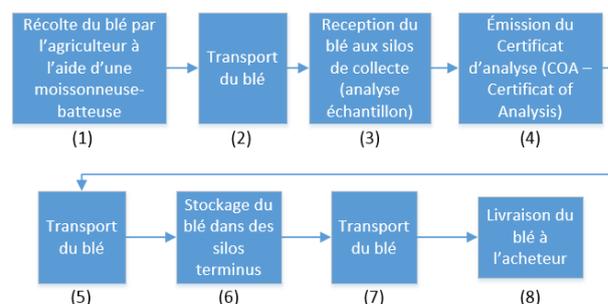


Figure 1: Processus simplifié de l'approvisionnement en grain de blé

Les commandes de blé passées à l'agriculteur se font par rapport aux besoins de l'usine de transformation de manière à couvrir les besoins en matières premières pour la production. Le transport des grains suit un processus rigoureux. Le blé peut transiter à travers un centre de grain, une plateforme de chargement ou être acheminé directement à l'usine de transformation.

La Commission canadienne des grains précise les règlements à suivre pour le stockage du blé [9] et le transport des grains [10]. La Commission canadienne des grains propose également un système de classement par grain et d'inspection permettant d'identifier la qualité du grain et assurer sa commercialisation [8].

2.3 Contrôle de la qualité du grain de blé au niveau du processus d'approvisionnement

D'après la Loi sur les grains [8], la commission canadienne des grains est responsable de l'approbation des normes de classification ainsi que des critères

d'inspection [5]. L'inspection est réalisée par plusieurs prises d'échantillons [6], en établissant un classement et en délivrant une certification d'analyse des lots de blé. Les analyses sont réalisées pour les grains manipulés aux silos de collecte et de terminus. Les échantillons représentatifs du lot de blé réceptionné sont prélevés à l'entrée des silos directement depuis les véhicules de transport à l'aide d'une sonde mécanique. L'analyse regroupe de nombreuses informations telles que : le taux d'impuretés (pailles, pierres, brindilles...); masse spécifique du grain ; taux d'humidité ; taux de protéine ; la catégorie (printemps ou hiver) ; la présence de graines étrangères ; la condition du grain (apparence, maturité...); la classe (blé roux de printemps de l'Est canadien, blé roux de printemps Canada Prairie...) [4]; l'aspect (vitreux ou translucide). À partir de ces analyses, le responsable de silo détermine le grade du blé. Il est alors possible de déterminer le silo dans lequel le lot de blé sera entreposé. Avant d'être entreposé dans le silo approprié, le lot de blé réceptionné subira une étape de pré-nettoyage afin de retirer un maximum de matières étrangères.

Un processus de séchage est parfois nécessaire lorsque le taux d'humidité dépasse 14,5 % à des fins de conservation. Il faut toutefois surveiller à ne pas décolorer, fissurer ou endommager le grain lors du séchage [15]. Le long de la chaîne d'approvisionnement, le blé peut être stocké à divers endroits. Il est important de veiller aux conditions environnementales ainsi que les propriétés des grains de blé qui peuvent altérer leur qualité. Les moisissures, les insectes parasites, les acariens, les rongeurs, les altérations d'origine mécanique (fissure, cassure des grains) peuvent causer une altération de la qualité du grain lors du stockage [15]. Une bonne conservation du blé nécessite de préserver l'intégrité des protéines notamment le gluten et de maintenir le pouvoir germinatif du grain (un grain non germé).

Avant toute commande, pour s'approvisionner en blé, le meunier réalise des analyses sur un échantillon provenant des silos afin de vérifier le type et la qualité du grain. Une fois l'échantillon accepté, le blé peut être livré. Une dernière inspection est réalisée lors de la réception des grains de blé à l'usine de transformation.

3 METHODOLOGIE

De nombreuses données sont capturées le long de la chaîne d'approvisionnement informant sur la qualité des grains de blé, les quantités entreposées ou en mouvement. Pour une meilleure intégration et un meilleur suivi des flux d'approvisionnement des grains de blé entre les fournisseurs, les intervenants gérant les stocks de matière première et la production, nous proposons de développer un outil intégrant l'ensemble des données pertinentes dans une base de données. Pour construire cet outil, permettant un meilleur suivi des grains de blé biologique à partir de la capture des données sur la chaîne de valeur, une méthodologie a été suivie rigoureusement.

La méthode se compose de 3 phases détaillées ci-dessous. Le déroulement complet de la méthode permet

d'avoir un meilleur suivi ainsi qu'une meilleure traçabilité de l'information.

3.1 Cartographie de l'approvisionnement

Dans cette première phase, il s'agit d'observer et de documenter les tâches effectuées par chaque individu participant dans le processus d'approvisionnement. Les symboles standardisés ANSI (institut national de normalisation américain) [11], sont utilisés pour la représentation graphique de la cartographie. Avec un flux du processus d'approvisionnement assez linéaire et impliquant assez peu d'intervenants, le formalisme de modélisation ANSI a été choisi pour réaliser la cartographie.

La cartographie du processus permet de mieux comprendre les interactions et d'identifier les différentes données utilisées. La cartographie réalisée représente les processus actuels de niveau intermédiaire et montre la séquence des activités, mais ne décrit pas les tâches de chacune des activités à un niveau détaillé [12]. Le but est d'analyser chaque processus et d'identifier les goulots d'étranglement potentiels, les tâches jugées répétitives, n'apportant aucune valeur ajoutée. La démarche suivie pour construire la cartographie a été de :

1. Récupérer des documents de cartographie existants au sein de l'entreprise (si disponibles) ;
2. Choisir une étape spécifique du processus ;
3. Observer et questionner sous forme d'entrevue semi-dirigée l'activité qui est réalisée par la personne ressource ;
4. Passer à l'activité suivante et répéter l'étape 3 pour obtenir une séquence d'activité jusqu'à l'état final du processus.

L'étape 3 a pour objectif de récupérer un maximum d'information. Les informations doivent permettre de connaître : l'action de la tâche effectuée ; les types de données manipulés ; les documents créés ; les moyens de transmission des informations à partager ; les départements ou ressources externes à qui l'information est transmise.

3.2 Création de bases de données et d'interfaces

La cartographie réalisée à la phase 1 permet d'observer la séquence des activités et les types de données collectées le long du processus d'approvisionnement. Afin d'éviter toute redondance d'information et s'assurer de partager les bonnes informations à jour à d'autres utilisateurs, la création d'une base de données est nécessaire pour remplir les deux besoins précédemment évoqués.

Une méthode de type agile a été appliquée afin de mettre en opération rapidement les outils développés tout en gardant une flexibilité sur la structuration et les différents besoins de chaque utilisateur. Les bases de données construites et prêtes à être utilisées seront améliorées de manière itérative à travers des retours d'expériences des utilisateurs. Il est important de se questionner sur l'utilité de chaque type de données et garder le strict minimum

nécessaire comme donnée pour le bon suivi des grains de blé le long de la chaîne d'approvisionnement.

L'approche proposée pour construire la base de données ainsi que l'interface se déroule comme ci :

1. Observer à partir de la cartographie réalisée la séquence d'activité et la simplifier si possible ;
2. Regrouper les types de données utilisés par les utilisateurs ;
3. Lister l'ensemble des utilisateurs futurs nécessitant un accès à la base de données ;
4. Communiquer avec chacun des utilisateurs concernant leurs besoins ;
5. Partager les responsabilités et définir les niveaux d'accès de chaque utilisateur ;
6. Modéliser l'outil et les différentes interfaces (formulaire, base de données, rapport)
7. Mettre en service l'outil ;
8. Améliorer l'outil en fonction des besoins et retours d'expériences des utilisateurs ;
9. Rédiger une documentation mentionnant les responsabilités de chacun et présentant l'utilisation des différentes interfaces créées.

3.3 Créer des indicateurs et des tableaux de bord

À partir de la base de données structurée, il est par la suite possible de créer des indicateurs de performance. Ces indicateurs vont permettre de faire un suivi, motiver le personnel, fixer des objectifs à atteindre tout en permettant de comprendre les causes de mauvaise performance. Les tableaux de bord sont des interfaces permettant de rassembler les indicateurs pertinents en une seule page et d'avoir une vue en temps réel de l'information sur des enjeux clés du processus. L'agrégation de données permet de prendre de meilleures décisions plus rapidement. Le développement d'indicateurs et de tableaux de bord s'appuie sur des besoins réels de visualisation et de synthèse des informations à différents niveaux de l'organisation. La démarche suivie pour créer des indicateurs et des tableaux de bord a été de :

1. Comprendre les besoins des utilisateurs ;
2. Comprendre les données, les tables et les relations existantes (dans le cas d'une base de données relationnelle) dans la base de données étudiée ;
3. Créer des indicateurs qui répondent aux besoins de l'étape 1 et annoter les types de données manquantes nécessaires pour répondre aux besoins évoqués ;
 - a. En cas de données manquantes, étudier les différentes possibilités pour collecter ces données sinon passer à l'étape 4 ;
 - b. Intégrer ces données dans une ou plusieurs tables de la base de données ;
 - c. Créer les relations dans la base de données entre les tables ;
4. Créer des tableaux de bord à partir des indicateurs créés à l'étape 3 (création d'une interface visuelle).
5. Valider les tableaux de bord auprès des utilisateurs

Les résultats de chacune de ces étapes sont présentés dans le chapitre suivant.

4 CAS D'ETUDE

4.1 Contexte industriel

L'outil développé pour le suivi des grains de blé a pour objectif de répondre à un besoin d'une entreprise de transformation de grain de blé, qui dans notre cas d'étude est La Milanaise. Cette PME québécoise se spécialise dans la production de farine biologique.

Pour le stockage de ses données, notamment pour la chaîne d'approvisionnement qui nécessite une collaboration entre différents intervenants s'occupant de l'entrepôt des grains ou du transport, La Milanaise utilise le logiciel Smartsheet. Smartsheet est une plateforme hébergée sur le nuage informatique offrant la possibilité aux entreprises de planifier, capturer, gérer, automatiser et générer des rapports sur les travaux en cours de réalisation.

Depuis les dernières années, La Milanaise connaît une forte croissance des ventes. Elle veut suivre de manière optimale les grains de blé sur sa chaîne d'approvisionnement pour être en mesure de gérer des flux plus importants et éventuellement améliorer son fonctionnement. Pour cela, une cartographie du processus d'approvisionnement des grains à l'usine a été réalisée.

4.2 Cartographie de l'approvisionnement

Pour débiter ou continuer notre cartographie, nous choisissons une activité spécifique dans le processus d'approvisionnement, par exemple une commande de grains de blé. Dans notre cas, pour les blés provenant du Québec, des ententes doivent être signées entre La Milanaise et l'agriculteur. De nouveaux agriculteurs peuvent contacter La Milanaise pour vendre leur blé ou La Milanaise peut contacter les agriculteurs présents dans son registre. Sous forme d'entrevue semi-dirigée, nous demandons au responsable acheteur :

- Par quels moyens se fait la prise de contact.
- Quelles informations sont collectées ainsi que les fichiers créés et utilisés pour sauvegarder ces informations.
- Quels utilisateur ou département ont besoin de l'information sauvegardée au sein de La Milanaise.
- Comment l'information est transmise.

Les réponses à ces questions aident à documenter l'activité représentée sur la cartographie (Figure 2).

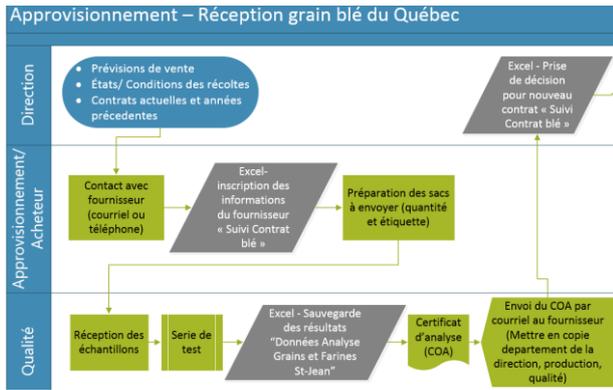


Figure 2: Construction de la cartographie de l'approvisionnement des grains de blé du Québec

Une fois la commande passée, on passe à l'activité suivante en interrogeant et observant ce que le responsable de l'approvisionnement doit réaliser. On continue ces étapes jusqu'à ce que la commande de grain de blé soit arrivée à l'usine de La Milanaise.

La cartographie de la chaîne d'approvisionnement résume l'ensemble des opérations suivies par les grains de blé de la récolte au champ de blé jusqu'à l'usine de transformation, spécifiquement pour La Milanaise. On retrouve sur cette cartographie les points de collectes de données, les points de contrôles et les différents intervenants dans la chaîne d'approvisionnement. Cette cartographie est nécessaire pour regrouper par la suite les données collectées dans des bases de données.

4.3 Création de bases de données et d'interfaces

En analysant la cartographie, on constate que les résultats des analyses des échantillons et les contrats étaient inscrits sur un fichier Excel, sauvegardé sur un serveur de la compagnie. On souhaite créer une base de données pour centraliser, unifier et partager l'information aux utilisateurs. 5 informations (Nom fournisseur, Nom contact, Courriel, Numéro cellulaire, Adresse postale) étaient redondantes et pouvaient être considérées comme des objets statiques faisant partie d'élément organisationnel. Une première base de données regroupe les informations des agriculteurs. Une deuxième base de données regroupe les résultats d'analyses des échantillons de grains de blé provenant de chaque agriculteur. La base de données a été configurée sur Smartsheet. La plateforme n'étant pas une base de données relationnelle, un script python a permis de faire ces relations fictives (Figure 3) permettant d'avoir une mise à jour rapide des listes déroulantes.

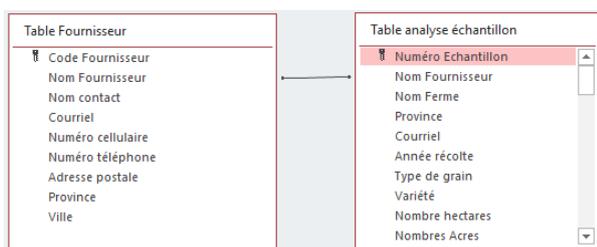


Figure 3: Relation fictive entre la table fournisseur et la table analyse échantillon

Les résultats d'analyses entrés et sauvegardés dans la base de données ont permis de semi-automatiser la production, la sauvegarde et l'envoi de certificats d'analyse.

Une base de données a été construite au niveau d'un centre de grain (Figure 4), en s'appuyant sur les modèles précédents utilisés. Deux feuilles Excel étaient utilisées pour les transactions. Chaque feuille comprenait 15 colonnes. La base de données (Figure 4) a permis de regrouper l'ensemble des ces données sous 24 entités et de créer une relation avec la table analyse échantillon pour connaître la qualité de blé manipulé au centre de grain. 6 nouvelles entités ont donc été rajoutées en créant une relation unique à partir du numéro d'échantillon. En listant les utilisateurs à partir de la cartographie et en échangeant à travers des réunions impliquant les départements interne et intervenant externes, nous identifions 14 utilisateurs. Les réunions permettent de définir les besoins de chacun ainsi que leurs responsabilités. Les responsabilités définissent les droits d'accès de chaque utilisateur à la base de données. Des formulaires sont créés pour permettre l'ajout de nouvelles transactions.

La Figure 4 montre les lignes de transaction de grain de blé entrant (définis par une couleur verte) et sortant (couleur rouge) d'un centre de grain de blé. Des « Cut-off » peuvent intervenir pour remettre à niveau le Silo vide, dû à des mouvements de grains « non nettoyés » en tonne métrique. Finalement les retours d'expériences ont permis d'améliorer l'outil, s'assurer que l'ensemble des besoins importants des utilisateurs soit comblé et que le suivi des grains de blé soit possible.

Reference number	Projected IN/OUT date	Shipping/ Delivery date	Scale lot #	IN or OUT	Delivery/ Shipping Weight (MT)	Silo number at NuVision	Silo Transferred to at NuVision	Inventory	Transport mode	Sample No
00010		31/10/19	25871	IN	43.92	Silo No 1		0.000		
00011	08/11/19	14/11/19	25967	IN	42.47	Silo No 1		0.000	Container	Échantillon xx-1
00012	08/11/19	14/11/19	25955	IN	44.32	Silo No 1		0.000	Container	Échantillon xx-1
00013	11/11/19	14/11/19	25856	IN	44.45	Silo No 1		0.000	Container	Échantillon xx-1
00014	11/11/19	14/11/19	25960	IN	43.86	Silo No 1		0.000	Container	Échantillon xx-1
00015		14/11/19	25968	OUT	20	Silo No 1		Done	Container	Échantillon xx-1
00016	12/11/19	15/11/19	25974	IN	44.37			0.000	Rail	Échantillon xx-2
00017	12/11/19	15/11/19	25977	IN	43.87			0.000	Rail	Échantillon xx-2
00018		15/11/19	N/A	OUT	88.24			Done	Rail	Échantillon xx-2
00019		15/11/19	25980	OUT	27.29	Silo No 1		Done	Container	Échantillon xx-1
00020		15/11/19	25983	OUT	26.18	Silo No 1		Done	Container	Échantillon xx-1
00021		18/11/19	25988	OUT	27.32	Silo No 1		Done	Container	Échantillon xx-1
00022		19/11/19	26001	OUT	26.32	Silo No 1		Done	Container	Échantillon xx-1
00023		26/11/19	26067	OUT	1.99	Warehouse		Done	Container	
00024		26/11/19	26068	OUT	25.19	Silo No 2		Done	Container	Échantillon xx-3
00025		27/11/19	26076	OUT	24.93	Silo No 2		Done	Container	Échantillon xx-3
00026		28/11/19	26078	OUT	10.58	Warehouse		Done	Container	
00027		28/11/19	26077	OUT	12.54	Silo No 2		Done	Container	Échantillon xx-3
		01/12/19		Cut-off	0.74	Silo No 1		Done		
		01/12/19		Cut-off	-0.15	Silo No 2		Done		

Figure 4: Mouvements au sein d'un centre de grain

4.4 Indicateurs et tableaux de bord

La cartographie a permis d'identifier les points de collectes de données ainsi que les étapes clés de transportations du blé de la récolte jusqu'à l'usine de transformation. Des bases de données ont ainsi pu être construites pour regrouper certaines informations collectées le long de la chaîne d'approvisionnement. À partir des bases de données, il est maintenant possible de développer des

indicateurs. La première étape énumérée dans la méthodologie consiste à comprendre les besoins spécifiques d'utilisateurs pour développer des indicateurs utiles. Un besoin de suivre les inventaires et les types de blé répertoriés, par numéro de lot d'échantillon, était souhaité par la direction, pour connaître la qualité des grains de blé en stock ou en mouvement. Les centres de grains n'indiquent pas la qualité de blé qu'il envoie à La Milanaise ou qu'il entrepose.

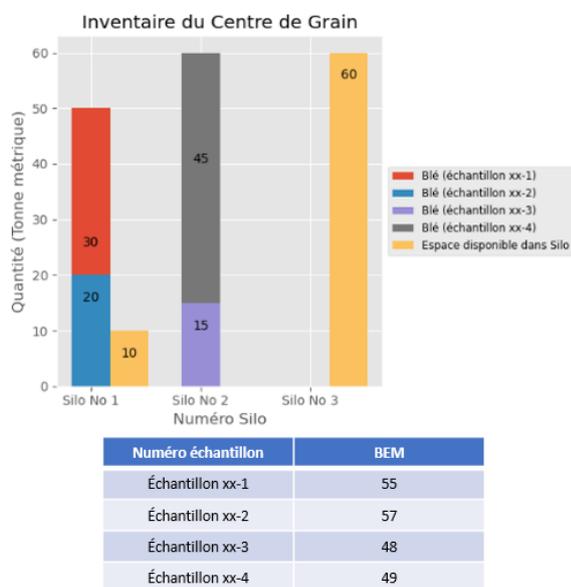


Figure 5: Exemple d'indicateurs visuels pour le suivi des inventaires d'un centre de grain

Des indicateurs ont donc été créés de manière à connaître les quantités de grains de blé restant et l'espace disponible dans chacun des silos. L'ensemble des informations nécessaires à la création des indicateurs se retrouve dans la base de données du centre de grain. Ces indicateurs sont construits par de simples calculs à partir des informations collectées dans la base de données.

Pour connaître les types et quantités de blés présents, un script python a dû être développé. Ce script calcule l'inventaire toutes les 30 minutes à partir des transactions inscrites dans la base de données, dans la colonne « Inventory » de la base de données, par le concept « Dernier entré – Premier sorti » adapté à l'écoulement des grains de blé dans les silos. Ce script modifie les quantités restantes de chaque lot de blé.

À partir des données enregistrées dans la base de données ainsi que des indicateurs créés, un tableau de bord a pu être construit spécifiquement pour un centre de grain (Figure 5). Ce tableau de bord permet de synthétiser l'information et partager celle-ci aux personnes concernées. Le tableau de bord du centre de grain met à disposition : des formulaires pour entrer de nouvelles transactions ; la base de données regroupant l'ensemble de transactions ; des indicateurs visuels sur l'inventaire des silos réservés à La Milanaise ; un tableau précisant le type de blé, sa quantité ainsi que sa qualité restant dans les silos. Finalement la synthèse de l'information de

l'inventaire des grains de blé en temps réel permet de prendre des décisions plus rapides et donc une meilleure réactivité dans la chaîne d'approvisionnement.

5 CONCLUSION

Un outil pour le suivi des grains de blé au niveau de la chaîne d'approvisionnement a été développé, basé sur une méthode en 3 étapes : (1) la cartographie du processus d'approvisionnement, (2) la création de bases de données et d'interfaces et enfin (3) la création d'indicateurs et de tableaux de bord. La méthodologie a pu être appliquée sur un cas d'étude avec une PME spécialisée dans la production de la farine biologique.

Les résultats obtenus ont permis d'avoir un meilleur suivi des grains de blé au niveau d'un centre de grain de blé et d'offrir une meilleure réactivité des différents intervenants sur la chaîne d'approvisionnement. Le tableau de bord précise à l'utilisateur du centre de grain le numéro de référence du blé qu'il envoie à l'usine. Le numéro de référence permet de suivre très simplement les types et qualités de blé en mouvement. Le suivi des types et qualité de blé est important pour la planification de la production, du réapprovisionnement des silos et l'achat de nouvelles matières premières. Le rendement et la qualité des produits finis obtenus suite au processus de transformation des grains de blé sont directement impactés par la qualité des matières premières.

L'outil développé démontre la faisabilité et l'intérêt de suivre, partager les informations captées le long de la chaîne d'approvisionnement dans le secteur de la transformation des grains. Il devra cependant être étendu à d'autres centres de grain et entrepôts pour inclure l'ensemble des intervenants de la chaîne d'approvisionnement et prendre en compte les différents lieux de provenance des grains de blé jusqu'à l'usine de transformation. Le résultat final permettra d'avoir une vue globale des inventaires et une meilleure planification pour le réapprovisionnement des stocks.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier notre partenaire industriel, La Milanaise, d'avoir participé au développement de cet outil ainsi que le MAPAQ (projet IA119053) pour leur soutien financier.

REFERENCES

- [1] Aitken, R., Watkins, L., Williams, J., & Kean, A. (2020). The positive role of labelling on consumers' perceived behavioural control and intention to purchase organic food. *Journal of Cleaner Production*, 255
- [2] Bakerpedia. (2019). GlutoPeak.
- [3] Campbell, G. (2007). Chapter 7 Roller Milling of Wheat. In *Particle Breakage* (Vol. 12, pp. 383-419).
- [4] Commission canadienne des grains. (2019). Classes de blé canadien.

- [5] Commission canadienne des grains. (2019). Guide officiel du classement des grains, Blé: Classes et variétés.
- [6] Commission canadienne des grains. (2019). Inspection officielle du grain.
- [7] Commission canadienne des grains. (2019). Modifications au Règlement sur les grains du Canada (Indice de chute (IC) et désoxynivalénol (DON) comme facteurs officiels de classement des grains).
- [8] Loi sur les grains du Canada - Partie 2 - Classement et inspection des grains, (2020).
- [9] Loi sur les grains du Canada - Partie 5 - Installations, négociants en grains et manutention du grain, (2020).
- [10] Loi sur les grains du Canada - Partie 6 - Transport du grain, (2020).
- [11] Harley R. Myler. (1998). In C. U. Press (Ed.), *Fundamentals of Engineering Programming with C and Fortran* (pp. 32–36).
- [12] HEC Montréal. (2013). Modélisation et diagnostic des processus (actuel).
- [13] Hemmerling, S., Hamm, U., & Spiller, A. (2015). Consumption behaviour regarding organic food from a marketing perspective—a literature review. *Organic Agriculture*, 277–313
- [14] Li Vigni, M., & Cocchi, M. (2013). Near infrared spectroscopy and multivariate analysis to evaluate wheat flour doughs leavening and bread properties. *Analytica Chimica Acta*, 764, 17-23
- [15] Ménard, G. (1992). *Le Blé: éléments fondamentaux et transformation* (P. U. Laval Ed.).
- [16] Wilkinson, J. M., Miller, H. M., McCracken, K. J., Knox, A., McNab, J., & Rose, S. P. (2003). Effect of specific weight on the metabolizable energy content of four cultivars of wheat grain in ewes. *Animal Feed Science and Technology*, 105, 215-224