

Développement d'une solution opérationnelle 4.0 pour le transport minier souterrain

par

Ludovick ST-AMANT DYOTTE

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE LA MAÎTRISE
AVEC MÉMOIRE EN GESTION DE PROJETS D'INGÉNIERIE
M. Sc. A.

MONTRÉAL, LE 27 OCTOBRE 2022

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

© Tous droits réservés, Ludovick St-Amant Dyotte, 2022

©Tous droits réservés

Cette licence signifie qu'il est interdit de reproduire, d'enregistrer ou de diffuser en tout ou en partie, le présent document. Le lecteur qui désire imprimer ou conserver sur un autre media une partie importante de ce document, doit obligatoirement en demander l'autorisation à l'auteur.

PRÉSENTATION DU JURY

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Michel Rioux, directeur de mémoire
Département de génie des systèmes à l'École de technologie supérieure

M. Mickaël Gardoni, président du jury
Département de génie des systèmes à l'École de technologie supérieure

M. Amin Chaabane, membre du jury
Département de génie des systèmes à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 28 SEPTEMBRE 2022

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Je voudrais dans un premier temps remercier, mon directeur de recherche M. Michel Rioux, pour son temps et ses précieux conseils qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie la Société minière Agnico Eagle pour leur disponibilité afin de faire évoluer les initiatives de l'Industrie 4.0.

L'avancement de la recherche en automatisation minière a été rendu possible grâce au soutien financier du groupe MISA et du programme Mitacs Accélération.

Je tiens également à remercier ma famille qui m'a soutenu et encouragé tout au long de mon parcours scolaire.



ÉCOLE DE
TECHNOLOGIE
SUPÉRIEURE
Université du Québec



misa

Mitacs



AGNICO EAGLE

Développement d'une solution opérationnelle 4.0 pour le transport minier souterrain

Ludovick ST-AMANT DYOTTE

RÉSUMÉ

Contexte : Le manque de visibilité et de suivi des opérations de transport souterrain entraîne de nombreux problèmes de coordination et prive les entreprises minières de meilleurs gains financiers. Depuis quelques années, l'arrivée des nouvelles technologies permet de contrer le manque de visibilité présent dans les mines souterraines. L'obtention et l'association d'une grande quantité de données collectées par différents systèmes doivent être analysées afin de permettre l'aide à la décision. Le plus grand problème lorsqu'il est question d'implanter de nouvelles technologies dans les mines est de ne pas savoir comment transformer les informations (données recueillies) en solutions exploitables.

Objectifs : Le document propose la création d'outils d'aide à la décision en permettant d'augmenter la visibilité et le suivi du travail réalisé dans les mines souterraines. De plus, dans ce projet, il sera question d'implanter des projets 4.0 au domaine minier souterrain.

Méthodologie : Pour faciliter la réalisation d'un projet technologique dans le domaine minier, une étude des besoins de l'entreprise a été effectuée en réalisant des rencontres avec différents départements. Ensuite, différents projets d'indicateurs de performances ont été réalisés avec les départements ayant le plus d'intérêts.

Résultats : Ce document permet de créer et de visualiser des indicateurs de performances, tels que l'efficacité de la flotte ainsi que le temps de cycle, à l'aide d'un système permettant de centraliser l'information. De plus, il y a la présentation d'un système d'alerte par courriel automatisé pour le suivi des niveaux de liquides et de températures des équipements.

Originalité : Ce document présente une méthodologie permettant la création d'outils d'aide à la décision pouvant être reproduite par différents sites miniers souterrains.

Mots-clés : Efficacité globale de l'équipement, Temps de cycle, Automatisation, Industrie 4.0, Mine souterraine.

Development of an Operational Solution 4.0 for Underground Mining Transportation

Ludovick ST-AMANT DYOTTE

ABSTRACT

Context: The lack of visibility and monitoring of underground transportation operations leads to numerous coordination problems and leaves mining companies without higher financial gains. In recent years, the arrival of new technologies has made it possible to counter the lack of visibility present in underground mines. The acquisition and integration of a large amount of data collected by different systems must be analyzed in order to provide decision support. The biggest problem when it comes to implementing new technologies in mines is not knowing how to transform the information (data collected) into workable solutions.

Objectives: The present document proposes the creation of decision support tools to increase the visibility and monitoring of work performed in underground mines. In addition, this project will allow the implementation of 4.0 projects in the underground mining field.

Methodology: To achieve a technological project in the mining field, a study of the company's needs was carried out by conducting meetings in different departments. Then, various projects of performance indicators were carried out with the most interested departments.

Results: This document allows the creation and visualization of performance indicators, such as overall equipment effectiveness (OEE) and cycle time, using a system that centralizes information. In addition, there is the introduction of an automated email alert system for monitoring liquid levels and equipment temperatures.

Originality: This document presents a methodology for creating reproducible decision support tools for different underground mine sites.

Keywords: Overall equipment effectiveness, OEE, Machine monitoring Cycle time, Automation, Industry 4.0, Underground mining.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION...	1
 CHAPITRE 1 REVUE DE LA LITTÉRATURE	 7
1.1 Objectif de la revue de littérature.....	7
1.2 Rappel de la problématique et des objectifs	7
1.3 Définitions de concepts et termes	8
1.3.1 Industrie 4.0	9
1.3.2 Maintenance préventive	9
1.3.3 Indicateurs clés de performance (KPI)	9
1.3.4 Efficacité globale de l'équipement	9
1.3.5 Temps de cycle	12
1.3.6 Cycle de transport souterrain	14
1.3.7 Maturité numérique.....	15
1.4 Méthodes d'amélioration du transport	16
1.4.1 Systèmes de gestion de flotte.....	17
1.4.2 Localisation.....	18
1.4.3 Transmission et communication	19
1.5 Type de camions	20
1.6 Problématiques et défis du transport souterrain.....	21
1.7 Solutions	22
1.8 Industrie 4.0	22
1.8.1 Avantages pour les mines	23
1.8.2 Échec de l'Industrie 4.0	23
 CHAPITRE 2 BESOINS DE L'ENTREPRISE	 25
2.1 Objectifs de la recherche des besoins	25
2.2 Généralités des mines	25
2.2.1 Localisation.....	25
2.2.2 Historique de la Société minière et des deux projets miniers	26
2.2.3 Topographie et Climat	26
2.2.4 Informations géologiques.....	27
2.2.5 Exploitation minière.....	28
2.2.6 Technologies internet.....	30
2.3 Besoins de l'entreprise.....	31

CHAPITRE 3	CRÉATION DU SYSTÈME	35
3.1	Méthodologie de la création du système.....	35
3.1.1	Outils.....	36
3.1.2	Équipements des mines.....	39
3.1.3	Fondement mathématique.....	39
3.1.3.1	Efficacité globale de la flotte	40
3.1.3.2	Temps de cycle	42
3.2	Informations du système	42
3.2.1	Données primaires	43
3.2.2	Efficacité globale	45
3.2.2.1	Temps de calendrier	45
3.2.2.2	Temps non planifiés	45
3.2.2.3	Temps d'arrêt pour maintenance	47
3.2.2.4	Temps d'opération actif	49
3.2.2.5	Qualité de chargement	49
3.2.3	Temps de cycle et le nombre de chargements	51
3.2.4	Gestion et suivi des équipements.....	51
3.2.4.1	Durées et distances.....	52
3.2.4.2	Températures.....	52
3.2.4.3	Niveaux des liquides	53
3.2.4.4	Informations des pneus	53
3.3	Modélisation du système.....	53
3.3.1	Indicateurs de performance	53
3.3.1.1	Efficacité globale	54
3.3.1.2	Temps de cycle	57
3.3.2	Gestion et suivi des équipements.....	59
3.3.2.1	Durée et distances	60
3.3.2.2	Températures.....	63
3.3.2.3	Niveaux des liquides	64
3.3.2.4	Informations des pneus	65
3.3.2.5	Qualité des données	66
3.4	Résultats du système	67
3.4.1	Indices de performances	67
3.4.1.1	Efficacité globale	67
3.4.1.2	Temps de cycle	71
3.4.2	Gestion et suivi des équipements.....	74
3.4.2.1	Durées et distances.....	74
3.4.2.2	Température	76
3.4.2.3	Niveaux des liquides	79
3.4.2.4	Données des pneus	82
3.4.2.5	Éléments en temps réel	83
3.4.2.6	Qualité des données	86

CHAPITRE 4	PLAN D'AMÉLIORATION	89
4.1	Analyse de l'entreprise	89
4.1.1	Identification des opportunités.....	89
4.2	Choix des opportunités	90
4.3	Proposition d'un plan d'amélioration	91
4.4	Mise en application	93
4.5	Résultats du plan d'amélioration	97
4.6	Discussion	98
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....		101
ANNEXE I CHARTE DE PROJET ET MATRICE RACI.....		105
ANNEXE II SPÉCIFICATIONS DE L'ÉQUIPEMENT MOBILE.....		105
ANNEXE III VISUALISATION DES NIVEAUX DE LA MINE.....		113
ANNEXE IV CLASSIFICATION DES DURÉES		115
BIBLIOGRAPHIE.....		115

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1	Variables du calcul de l'efficacité globale de l'équipement 11
Tableau 1.2	Comparaison des logiciels de gestion de flotte minière..... 17
Tableau 2.1	Recherche des besoins de l'entreprise 32
Tableau 2.2	Catégorisation des besoins de l'entreprise 33
Tableau 3.1	Liste des équipements mobiles connectés pour le projet 39
Tableau 3.2	Données importées dans PI AF 44
Tableau 3.3	Étude des balances 50
Tableau 3.4	Étude de la qualité de chargement d'un camion (%) 51
Tableau 3.5	Températures élevées pour les sites LaRonde et LaRonde Zone 5..... 63
Tableau 4.1	Opportunités d'amélioration de la performance 90
Tableau 4.2	Type d'alertes selon l'évènement 92
Tableau 4.3	Règles du système d'alertes compilées 93
Tableau 4.4	Réponses aux besoins..... 98

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 0.1	Développement du mémoire de recherche 5
Figure 1.1	Classification des temps de production miniers souterrains..... 10
Figure 1.2	Schéma du temps de cycle d'un camion de transport minier souterrain 13
Figure 1.3	Cinq niveaux de maturité numérique de l'institut national des mines 16
Figure 1.4	Schéma d'un système de localisation d'équipement 19
Figure 1.5	Quatre phases permettant de mener à terme un projet industriel 4.0 24
Figure 1.6	Feuille de route de l'industrie 4.0 24
Figure 2.1	Carte géologique du site minier Meliadine 27
Figure 2.2	Carte géologique des sites miniers LaRonde et LaRonde Zone 5 28
Figure 2.3	Vue longitudinale de la mine Meliadine 29
Figure 2.4	Vue longitudinale des mines LaRonde et LZ5 30
Figure 3.1	Étapes de la création du système 35
Figure 3.2	Fonctions du système PI..... 37
Figure 3.3	Processus d'évacuation des gaz de la mine Meliadine 46
Figure 3.4	Borne de localisation à l'intérieur du garage à la surface 47
Figure 3.5	Borne de localisation à l'intérieur du garage souterrain (Niveau 300) 48
Figure 3.6	Borne de localisation à l'extérieur du garage à la surface..... 48
Figure 3.7	Analyse de la disponibilité d'un camion 54
Figure 3.8	Analyse de l'utilisation d'un camion..... 55
Figure 3.9	Analyse de la qualité de chargement d'un camion 56

Figure 3.10	Analyse de l'efficacité globale d'un camion	57
Figure 3.11	Analyse du temps d'opération	58
Figure 3.12	Analyse du temps de cycle	59
Figure 3.13	Analyse du temps de maintenance	60
Figure 3.14	Analyse du temps d'opération actif.....	61
Figure 3.15	Analyse du temps productif au cours des dernières 24 heures	62
Figure 3.16	Analyse du temps d'arrêt.....	63
Figure 3.17	Analyse de la durée en haute température	64
Figure 3.18	Analyse du compteur de bas niveau pour l'huile du moteur	65
Figure 3.19	Analyse de basse pression des pneus.....	65
Figure 3.20	Analyse de haute température des pneus.....	66
Figure 3.21	Analyse de la connectivité des équipements	67
Figure 3.22	Tableau de bord du OEE pour le mois de septembre 2020	68
Figure 3.23	Tableau de bord du OEE pour le mois d'octobre 2020	69
Figure 3.24	Tableau de bord du OEE pour le mois de novembre 2020.....	70
Figure 3.25	Tableau de bord pour les temps de cycle de la mine Meliadine.....	71
Figure 3.26	Tableau de bord pour les temps de cycle de LaRonde	72
Figure 3.27	Tableau de bord pour les temps de cycle de LaRonde Zone 5	73
Figure 3.28	Tableau de bord pour les données des durées et distances de Meliadine	75
Figure 3.29	Tableau de bord pour les données de durées et distances de LaRonde et LaRonde Zone 5.....	76
Figure 3.30	Tableau de bord pour les données de hautes températures de la mine Meliadine	77

Figure 3.31	Tableau de bord pour les données de hautes températures des sites miniers LaRonde et LaRonde Zone 5	78
Figure 3.32	Tableau de bord pour les données de bas niveau des liquides de la mine Meliadine	80
Figure 3.33	Tableau de bord pour les données de bas niveau des liquides pour les mines LaRonde et LaRonde Zone 5.....	81
Figure 3.34	Données de haute température pour les pneus	82
Figure 3.35	Données de basse pression pour les pneus	83
Figure 3.36	Tableau de bord pour les données du moteur.....	84
Figure 3.37	Tableau de bord pour les données de la transmission	85
Figure 3.38	Tableau de bord pour les données de la pression des pneus en temps réel ...	86
Figure 3.39 ...	Tableau de bord pour le suivi de la connectivité des équipements de Meliadine	87
Figure 3.40	Tableau de bord pour le suivi de la connectivité des équipements de LaRonde et LaRonde Zone 5	88
Figure 4.1	Opportunités d'analyse pour l'usure prématurée des équipements	91
Figure 4.2	Analyse de violation des freins.....	94
Figure 4.3	Design de l'envoi de courriel automatisé	95
Figure 4.4	Exemple de courriel automatisé pour le niveau de l'huile du moteur	95
Figure 4.5	Intervalle de temps pour l'envoi de courriel.....	96
Figure 4.6	Contrainte de temps pour les alertes compilées	96
Figure 4.7	Compteurs de violation des freins	97

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

A	<i>Availability</i>
Ag	Argent
AVG	<i>Average</i>
BI	<i>Business Intelligence</i>
Co	Cobalt
ÉTS	École de technologie supérieure
FMS	<i>Fleet Management System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IHM	Interface Homme-Machine
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LZ5	LaRonde Zone 5
MP	Maintenance Préventive
N	Nombre
Ni	Nickel
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OT	<i>Operation Technology</i>
PPM	Parties par million
Q	Qualité
QR	Question de Recherche
Qty	Quantité
U	Utilisation

INTRODUCTION

Mise en contexte

Depuis de nombreuses années, l'Industrie minière canadienne fait face à de nombreux défis. Parmi ceux-ci, les plus importants sont : l'intensité du capital dans l'exploitation, la rareté de la main-d'œuvre et la rareté de l'eau douce à l'échelle mondiale. L'arrivée de l'Industrie 4.0 vient répondre aux problématiques actuelles des mines. En effet, les nouvelles technologies permettent d'améliorer les performances opérationnelles et financières des mines, motive la nouvelle main-d'œuvre ainsi que de permettre un plus grand contrôle sur l'impact environnemental en contrôlant le minerai et l'optimisation de l'usine de traitement (mines, 2019).

Afin d'augmenter la rentabilité de la mine, il est important de s'interroger sur le transport qui représente l'activité la plus coûteuse du cycle minier. En effet, le transport souterrain nécessite d'importants équipements dont leurs utilisations peuvent être limitées. Jusqu'à présent, le principal problème du transport souterrain est le manque de visibilité. Une bonne répartition des camions aux différentes galeries est importante pour maintenir une bonne productivité. Les nouvelles technologies permettent de contrer le manque de visibilité en obtenant des données de localisation en temps réel pour ensuite améliorer la prise de décisions. Une grande quantité de données collectée par différents systèmes doivent être analysées afin de permettre l'aide à la décision. Le tout est comparé à des indicateurs de performances (KPI). Les données recueillies en temps réel pourront être comparées afin d'améliorer la productivité tout en réduisant les coûts d'exploitation.

Définition du problème et limites

Le plus grand problème lorsqu'il est question d'implanter de nouvelles technologies dans les mines est de ne pas savoir comment transformer les informations (données recueillies) en solutions exploitables.

Le manque de visibilité et de suivi des opérations de transport souterrain entraîne de nombreux problèmes de coordination ayant de grandes répercussions financières pour l'entreprise. Les principaux problèmes sont :

- Un temps de cycle souterrain inconnu;
- Le manque de contrôle sur les unités durant les quarts de travail;
- Un manque de gestion numérique au niveau de la maintenance;
- Un système de surveillance indépendant entre les mines d'une même entreprise.

L'arrivée des nouvelles technologies dans le domaine minier permet de nombreux bénéfices. Par contre, le chemin pour se rendre à une mine intelligente semble être inconnu. Les compagnies minières tardent à s'initier dans les projets technologiques à cause des raisons suivantes :

- Rapport coût-bénéfice peu clair;
- Le manque de technologie disponible;
- La culture de la conservation;
- Le manque de personnel qualifié (Korne, 2017).

Des limites ont été déterminées afin de pouvoir réaliser un projet d'envergure dans le délai prévu. Les limites du projet sont les suivantes :

- Le projet sera réalisé pour le cycle des camions de transports souterrain. (Pas les cycles de forage/sautage);
- La durée d'observations des données s'étend sur une période limitée;
- Le projet sera réalisé dans un environnement souterrain;

- Les solutions proposées dépendent des logiciels que l'entreprise utilise;
- Les données recueillies seront limitées à trois sites miniers (Meliadine, LaRonde et LaRonde Zone 5);
- Les camions présents dans l'étude seront ceux qui auront une transmission de données constante. (Limitation sur le OEE globale);
- Le calcul de l'efficacité (OEE) sera réalisé seulement pour la mine Meliadine. Limitation des ressources et de l'information disponible.

Questions de recherche

Les principales questions qui seront répondues au cours de la recherche sont les suivantes :

- Quelles sont les informations requises pour améliorer la visualisation de la performance du transport minier souterrain?
- Comment rendre les informations du transport minier souterrain disponibles?
- À partir des informations disponibles, quelles sont les déductions et les améliorations possibles?

Objectif de la recherche

L'objectif principal de la recherche est de rendre disponibles les informations du transport minier souterrain afin de permettre de quantifier le travail effectué sous terre par les camions de transport. Autrement dit, permettre à la compagnie de visualiser le travail effectué sous terre.

Les objectifs spécifiques de recherche sont les suivants :

- Création d'un système permettant de centraliser les informations du transport souterrain;
- Création d'indicateurs de performances. (Efficacité des équipements et temps de cycle);
- Rendre disponibles les informations du transport souterrain;
- Amorcer des pistes d'amélioration suite à l'accès à l'information.

Contribution de la recherche

La principale contribution du mémoire est le développement d'un modèle permettant de quantifier la performance des camions de transports souterrains. Cela permettra d'aider la planification et l'amélioration du transport souterrain. Dans le but de favoriser le transfert d'informations dans la compagnie, le modèle pourra être utilisé dans plusieurs mines souterraines de la Société Agnico Eagle à condition d'ajuster certains paramètres. Une autre contribution importante consiste à la formulation des pistes permettant l'amélioration du rendement du transport minier souterrain et les plans d'action afin de parvenir à un résultat satisfaisant qui pourront être utilisées dans d'autres projets miniers. Des avantages supplémentaires peuvent également être tirés de l'apprentissage des problèmes communs rencontrés dans un environnement minier.

Organisation du mémoire

Le premier chapitre présente la revue de la littérature. Elle donne un aperçu des méthodologies et approches courantes utilisées dans les études d'efficacité du transport et de temps de cycle. De plus, le contexte de l'application de la simulation dans l'Industrie est présenté.

Le deuxième chapitre présente l'état de la situation actuelle. La première partie du chapitre présente une description des généralités des mines à l'étude. La deuxième partie présente les besoins actuels des sites miniers.

Le troisième chapitre présente la création du système d'accès à l'information. La première partie présente la méthodologie. La deuxième partie présente les informations du système. La troisième partie explique la modélisation des éléments. La quatrième partie présente les résultats du projet.

Le quatrième chapitre présente les améliorations possibles au projet suite à l'accès à l'information. Tous d'abord, différentes opportunités seront identifiées. Par la suite, il y aura la mise en application des opportunités d'amélioration proposée par les parties prenantes du projet.

Une charte de projet et la matrice RACI sont présentées à l'annexe I du document. La figure suivante présente la partie de développement du mémoire de recherche :

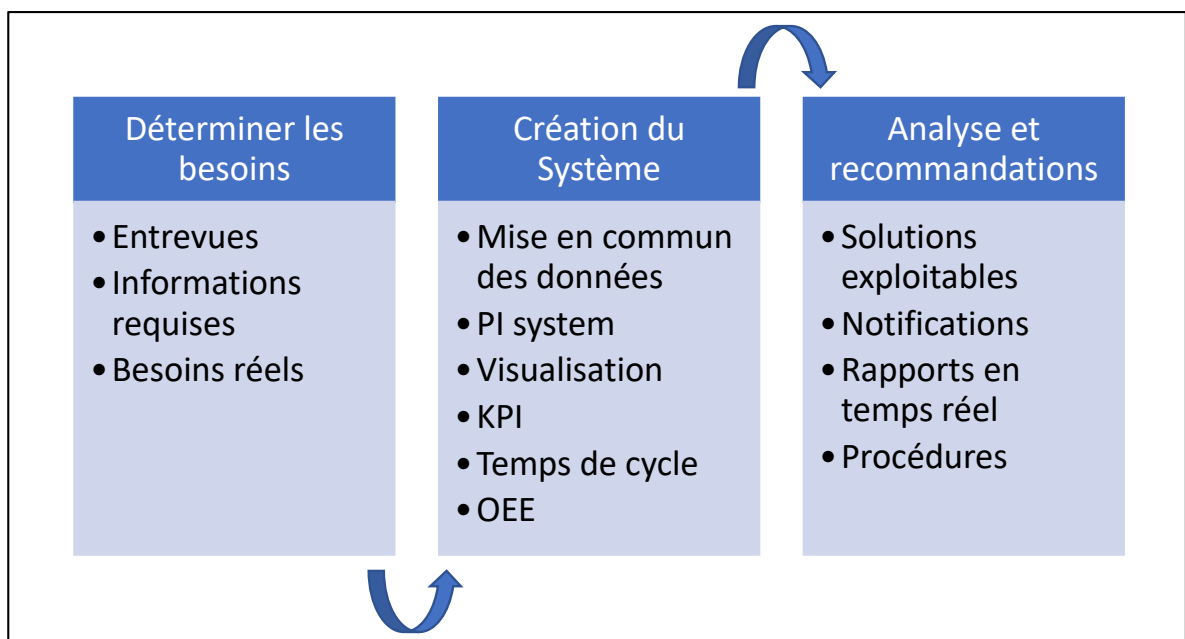


Figure 0.1 Développement du mémoire de recherche

CHAPITRE 1

CHAPITRE 1 REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1 Objectif de la revue de littérature

Le chapitre suivant permet de faire le point sur les connaissances liées au sujet de recherche. Les informations suivantes permettent de mieux comprendre, à l'aide de concepts théoriques et d'idées préexistantes, le projet de recherche.

Suite à la reformulation de la problématique ainsi que des objectifs, il y aura la définition de plusieurs termes et concepts en lien avec le sujet. Ensuite, une présentation des différentes méthodes d'amélioration du transport permettra d'introduire les technologies disponibles pour les mines souterraines. De plus, il y aura une comparaison des différents camions disponibles dans l'Industrie. Par la suite, les problématiques et défis du transport souterrain seront exposés. Finalement, des pistes de solution à la problématique ainsi qu'une introduction à l'Industrie 4.0 seront détaillées.

1.2 Rappel de la problématique et des objectifs

Contrairement aux mines à ciel ouvert, les mines souterraines ont un manque de visibilité en ce qui concerne la gestion des flottes de camion. Les avancements technologiques permettent de rendre disponibles des informations qui étaient inconnues dans le passé. Par contre, à cause des équipements, de l'état des routes souterraines et des moyens de communication difficiles on se rend compte que l'obtention de données ne mène pas directement à des solutions exploitables.

L'objectif principal de la recherche est de rendre l'information disponible à l'aide de systèmes d'acquisition de données. Par la suite, l'entreprise pourra déterminer les étapes du transport

qui occasionne des délais évitables. La recherche comprend les quatre objectifs spécifiques suivants :

- Création d'un système permettant de centraliser les informations du transport souterrain;
- Création d'indicateurs de performances;
- Rendre disponibles les informations du transport souterrain;
- Analyser les avantages et améliorations possibles suite à l'accès à l'information.

Le but du projet de visualisation est de rendre disponibles des outils pour les superviseurs afin de suivre l'état de la flotte d'équipement pour qu'ils puissent proposer des modifications aux opérations actuelles en vue d'en optimiser le rendement. Présentement, les opérateurs sont ceux qui informent les superviseurs sur ce qu'ils ont réalisé pendant le quart de travail. Les superviseurs doivent alors s'en tenir à ce que les opérateurs leur disent. Il est alors difficile d'avoir une visualisation directe sur ce qui se passe au courant de la journée. Dans la plupart des cas, le suivi est effectué rapidement à la fin du quart de travail. Alors, de nombreuses informations ou problématiques peuvent être oubliées. De plus, lorsqu'une recommandation est proposée par le superviseur à l'opérateur, il est possible d'observer une mauvaise compréhension de la situation. Avec les outils de visualisations, le superviseur pourrait avoir un état de la situation de ce qui se passe sous terre. Or, le superviseur proposera des modifications qui permettront d'optimiser le travail des opérateurs tout en ayant un point de vue fidèle sur des données à l'aide des tableaux de bord ou des alertes qu'il reçoit. Autrement dit, le projet de visualisation permettrait au superviseur d'avoir un meilleur suivi de la réalité terrain.

1.3 Définitions de concepts et termes

Dans la section suivante, différents concepts et termes seront définis afin de familiariser le lecteur. Les définitions proviennent de sources qui sont adaptées au projet de recherche.

1.3.1 Industrie 4.0

Le terme Industrie 4.0 est utilisé depuis 2011 pour décrire l'intégration généralisée des technologies de l'information et de la communication dans la fabrication industrielle (Günther Schuh & Jürgen Gausemeier, 2018).

1.3.2 Maintenance préventive

Implique la détection des problèmes potentiels et leurs corrections afin d'éviter qu'une panne d'équipement se produise.

1.3.3 Indicateurs clés de performance (KPI)

Les KPI sont des mesures quantifiables que la direction des entreprises utilise pour surveiller et comparer la performance d'une opération. Autrement dit, les KPI sont des points de référence mesurables permettant d'atteindre des objectifs (O'Neill, 2007).

1.3.4 Efficacité globale de l'équipement

La répartition du temps annuel pour un équipement permet de calculer son efficacité globale (OEE). Celle-ci permet de savoir quel est le temps annuel qu'une machine exécute des opérations efficaces. La classification des durées pour la production souterraine peut être exprimée selon l'image suivante.

Level	Standard Production Time (AFNOR)					
0	Calendar Time (CT)					
1	Production Time					Non-Production Time (NPT) Time lost in blasting and extraction of gas
2	Available Time (AT)				Down Time (DT)	
3	Utilization Time (UT)		Operating Standby (OS)	Scheduled Down (SD)	Unscheduled Down (UD)	
4	Active Operation Time					
5	Efficient Operating Time	Inefficient Operating Time				
			Operating Delay (OD)			

Figure 1.1 Classification des temps de production miniers souterrains
Tirée de Newtrax (2020)

Les différentes catégories de temps sont les suivantes (Lukacs, 2020) :

- Calendar Time (CT) : Le temps total disponible;
- Non-Production Time (NPT) : Temps lorsqu'il n'y a pas de production, par exemple le dynamitage;
- Down Time (DT) : Temps lorsque l'équipement est nécessaire, mais n'est pas en état de remplir sa fonction prévue;
- Available Time (AT) : Le temps que l'équipement est nécessaire et est en état de remplir sa fonction prévue;
- Operation Standby (OS) : Durée totale pendant laquelle l'équipement est mécaniquement capable de fonctionner, mais ne fonctionne pas en raison d'événements incontrôlables et/ou de durée inconnue, qu'il y ait ou non un opérateur (Operations and Maintenance working teams, 2014);
- Utilization Time (UT) : L'équipement est disponible et est sous le contrôle d'une personne ou d'un système;
- Operating Delay (OD) : Les retards pendant un quart de travail qui sont contrôlable et/ou de durée connue, qu'ils soient programmés par exemple, les repas ou non programmés par exemple, l'obstruction de la route (Operations and Maintenance working teams, 2014);

- Active Operation Time (AOT) : L'équipement remplit la fonction pour laquelle il a été conçu;
- Efficient Operating Time (EOT) : L'équipement remplit la fonction pour laquelle il a été conçu et exerce des activités qui contribuent directement à la production;
- Inefficient Operating Time (IOT) : Les travaux inévitables qui ne contribuent pas directement à la production, mais qui sont nécessaires pour permettre la poursuite de l'exploitation.

L'efficacité globale de l'équipement (OEE) est déterminée en multipliant la disponibilité de l'équipement avec son utilisation ainsi que l'efficacité du transport en pourcentage (Campbell & Jardine, 2001) et (Newtrax, 2019). La formule pour l'efficacité globale de l'équipement est la suivante :

$$OEE = A \times U \times Q$$

Une étude réalisée en 2016 présente les principaux facteurs contribuant à la mauvaise performance de l'équipement minier correspondant aux trois éléments pris en compte dans le calcul de l'efficacité globale de l'équipement. Le tableau suivant présente les principaux facteurs de l'étude de performance.

Tableau 1.1 Variables du calcul de l'efficacité globale de l'équipement
Adapté de Fourie (2016, p. 277)

Disponibilité (A)	Utilisation (U)	Efficacité (Q)
Dommages dus aux accidents	Retards dans les explosions	Fragmentation, sols, eau
Fiabilité des machines	Entretien ménager	Choix de l'outil (adapté au travail)
Pneus	Interruptions de sécurité	Taille de l'équipement
Planification de la maintenance	Déplacement de matériel	Planification à court terme
Installations	Changement d'équipe	Compétence de l'opérateur

1.3.5 Temps de cycle

Le temps de cycle d'un système camion-pelle pour l'exploitation minière à ciel ouvert a bien été présenté dans la recherche de Ercelebi et Bascetin en 2009. Contrairement aux anciens modèles comprenant les retards prévisibles et les temps imprévisibles, le temps de cycle suivant représente correctement la situation minière actuelle :

La durée moyenne du cycle = temps de chargement + temps de déversement + temps d'attente à la pelle + temps d'attente à la décharge + temps de transport en charge + temps de transport à vide (Ercelebi & Bascetin, 2009).

Le modèle proposé dans une étude réalisée à l'aide de logiciel propose un temps de cycle qui est adapté à la réalité des mines. Par contre pour une exploitation souterraine, le temps de manœuvre est ajouté à cause de la limite de vision et de flexibilité des camions souterrains. Alors, ce temps doit être pris en considération dans le temps de cycle du transport. Le temps de cycle pour le transport souterrain est celui qui est présenté à la figure suivante.

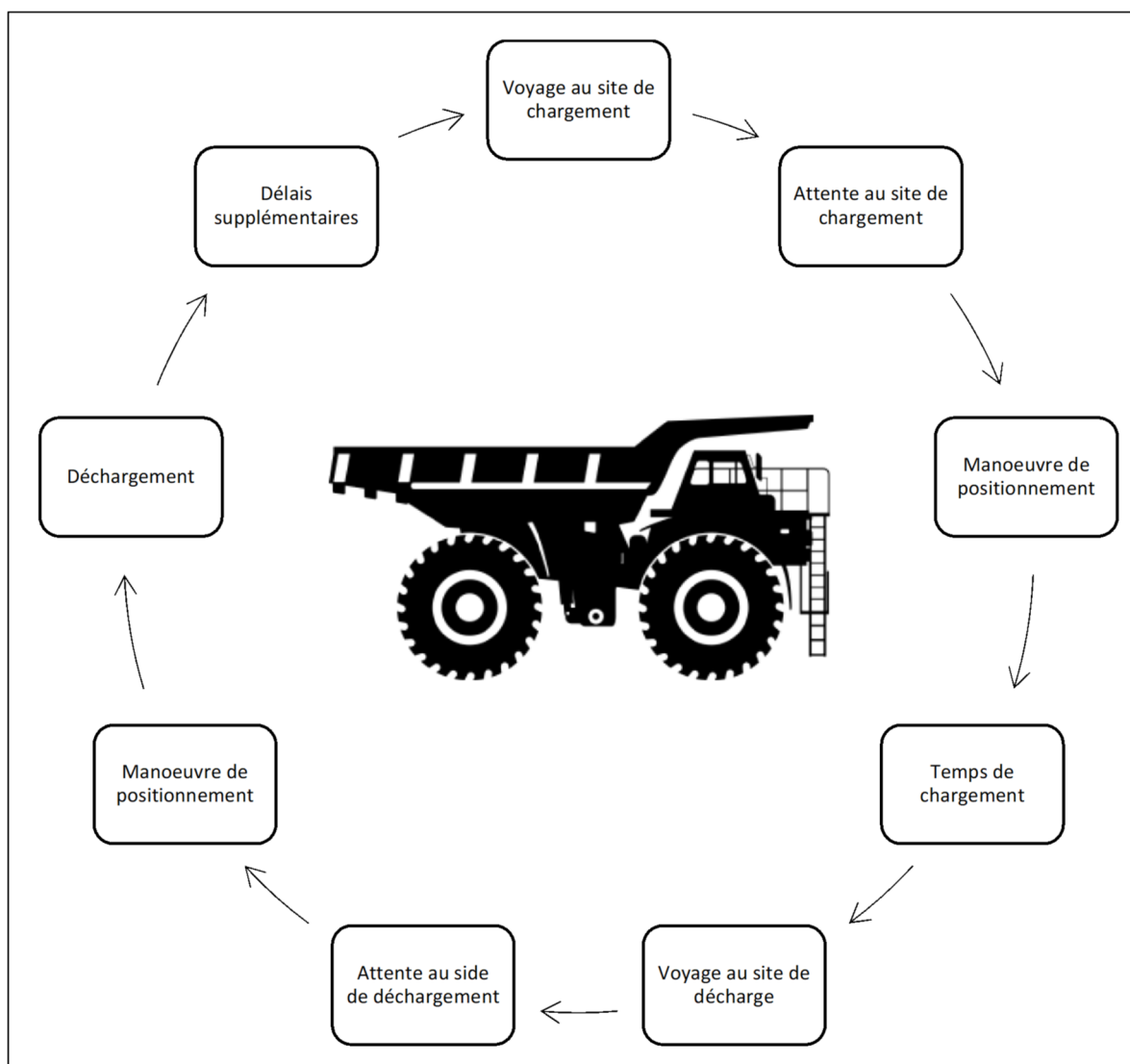


Figure 1.2 Schéma du temps de cycle d'un camion de transport minier souterrain

Le temps de cycle régulier est composé d'éléments productifs et non productifs. Dans les éléments productifs, il est possible d'énumérer les durées suivantes : voyage au site de chargement, manœuvre de positionnement au site de chargement, le temps de chargement, le voyage au site de déchargement, la manœuvre de positionnement au site de déchargement et le déchargement. Les activités considérées comme étant non productives sont les suivantes : attente en ligne au site de chargement, attente en ligne au site de déchargement et différents délais supplémentaires (Coronado & Pablo, 2014).

1.3.6 Cycle de transport souterrain

Plusieurs méthodes de transport souterrain sont disponibles pour les mines. Les différentes catégories sont: le transport par camion, les puits, le convoyeur et un transport par rails (Bloss, Harvey, Grant, & Routley, 2011). Lors de ce projet, le transport par camion est celui qui est utilisé pour la mine Meliadine et LaRonde Zone 5. Pour ce qui est de la mine LaRonde, un puits est utilisé afin d'acheminer le minerai à l'usine de traitement.

Le transport par camions est souvent utilisé dans les mines souterraines de petite et moyenne taille à cause de son aspect économique. Le transport par camion convient aux mines qui ont des opérations souterraines allant jusqu'à quatre-cents mètres de profondeur et ayant une capacité de production annuelle de moins qu'un million de tonnes (Pratt, 2005). La construction d'un puits est très coûteuse à cause de son coût de construction et n'est pas une solution économiquement rentable pour une mine qui n'a pas une longue durée de vie. Il est important lors de la planification du développement de la mine de prendre en compte les dimensions et caractéristiques du camion pour en faciliter son utilisation. De plus, les conduits de ventilation, les tuyaux de services et le dégagement des parois sont des aspects importants. En effet, un mauvais dimensionnement affectera grandement les performances du transport minier en réduisant la vue et les manipulations de l'opérateur (Bloss, Harvey, Grant, & Routley, 2011). Le transport par camion a de nombreux désavantages, il demande une maintenance importante, fait beaucoup de bruit, dégage de la chaleur et des gaz toxiques. De plus, une des plus grandes problématiques est la circulation dans la rampe d'accès. De nombreux véhicules se rencontrent et doivent céder le chemin. Or, plus la mine se développe plus la flotte de camion dans la rampe devient un problème et affecte la productivité (Wilson, Willis, & Plessis, 2004).

1.3.7 Maturité numérique

Le modèle de maturité numérique est une référence pour l'évaluation de la transition d'une entreprise vers le numérique. La maturité numérique est souvent représentée sur cinq niveaux du traditionnel au niveau autonome. Le niveau traditionnel est caractérisé par des processus manuels réalisés à l'aide de programme sur ordinateur tels que Word et Excel. Le deuxième niveau est appelé: discipliné. Les processus sont soutenus par de nombreux logiciels et systèmes, qui ne sont pas intégrés. Le niveau intégré est traduit par des processus soutenus par un logiciel intégré ou des solutions numériques interconnectées permettant d'analyser les données. Le quatrième niveau est nommé prédictif. Il y a utilisation des données dans la prise de décision puisqu'il est possible de prédire à l'aide du numérique. Le dernier niveau, autonome, est lorsque le système réalise des autodiagnostic des problèmes et lorsqu'il y a adaptation à l'environnement. Au dernier niveau, il y a utilisation d'outils robotisés, d'application mobile intégrée et de technologies de traçabilité. La figure suivante représente les cinq niveaux de maturité numérique proposée par l'Institut national des mines.

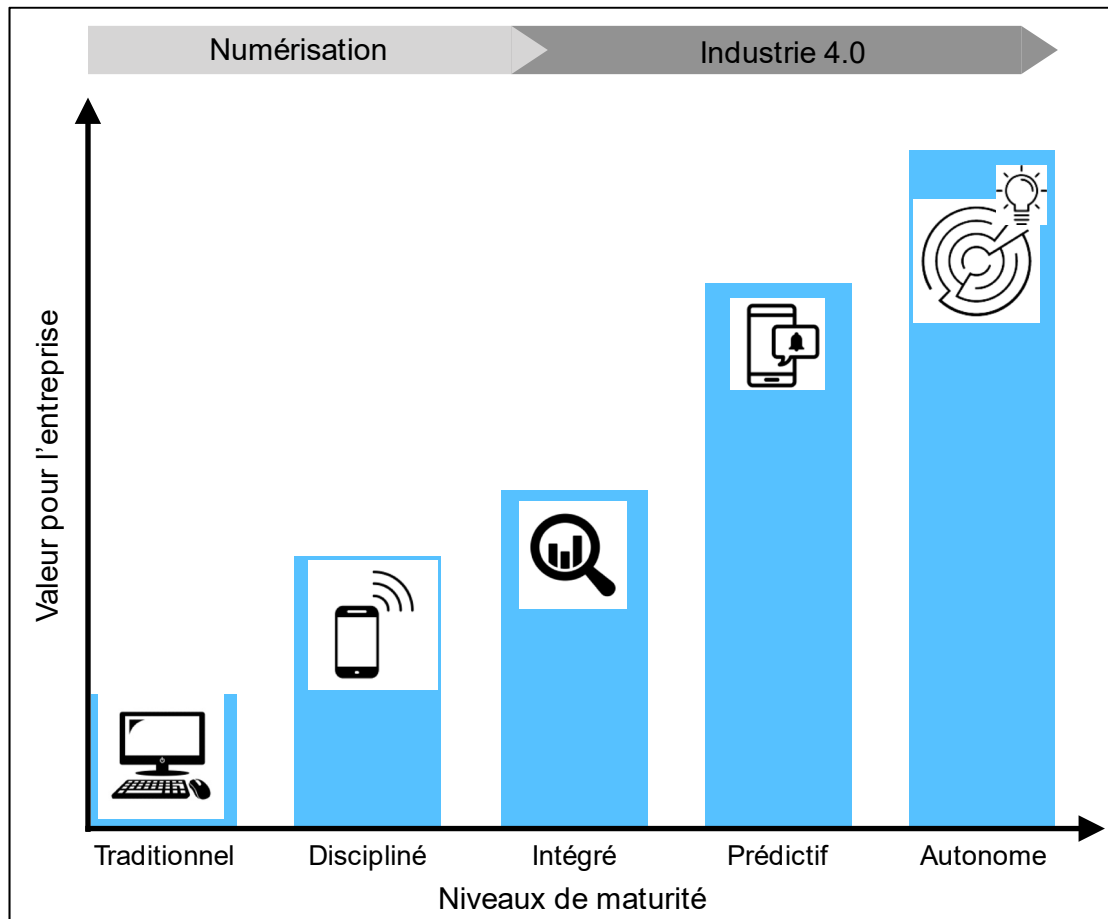


Figure 1.3 Cinq niveaux de maturité numérique de l'Institut national des mines
Adapté de Mines (2019, p. 18)

1.4 Méthodes d'amélioration du transport

Les entreprises minières ont recours à différents moyens afin d'augmenter la productivité des opérations. Afin d'augmenter la visualisation des travaux effectués sous terre, il faut avoir accès à des données permettant de quantifier le travail réalisé. Les minières doivent avoir recours à de nombreuses technologies afin de faciliter la transmission d'informations en temps réel dans le milieu souterrain. La section suivante présente les technologies qui permettent de rendre les mines souterraines plus performantes.

1.4.1 Systèmes de gestion de flotte

Les minières utilisent des logiciels afin de faciliter la gestion de leur flotte de camion. Le système de gestion de la flotte a pour objectif d'optimiser la production et l'efficacité des mines sur la base de données en temps réel. Le tableau suivant présente les logiciels les plus utilisés en gestion de flotte minière.

Tableau 1.2 Comparaison des logiciels de gestion de flotte minière
Tirée de Moradi Afrapoli & Askari-Nasab (2019, p. 45)

Système de gestion de flotte	Compagnie	Principales caractéristiques
DISPATCH	Modular Mining	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration du transport de marchandises; • Gestion des qualifications; • Gestion du service des carburants; • Gestion des équipements auxiliaires; • Supervision à distance; • Analyse de la charge utile; • Contrôle des mélanges de minerai; • Rapports en temps réel sur le web.
Jmineops	Laica Geosystems	<ul style="list-style-type: none"> • Plate-forme logicielle universelle; • Capacité à exploiter toute norme industrielle basée sur la propriété intellectuelle réseau sans fil; • Bases de données SQL et serveur de bureau identiques à bord qui se répliquent en temps réel; • Architecture de base de données distribuée; • Relais de données instantané; • Contrôle de conformité en temps réel; • Logique de cycle automatisé.
Wencomine	Wenco Mining Systems	<ul style="list-style-type: none"> • Vues en temps réel de l'emplacement et de l'activité de tous les équipements de la mine; • Attributions envoyées aux exploitants en fonction des paramètres actuels de la mine; • Routes et détours mis à jour au fur et à mesure du passage du matériel sur le site; • Les opérateurs sont tenus au courant des détails du travail à l'écran; • Suivi de l'état de toutes les pelles, camions, foreuses, boteurs et autres équipements; • Suivi des événements en cours grâce à des alertes personnalisables en temps réel; • Observer les performances des machines avec des données provenant directement des systèmes OEM; • Renforcer la communication entre les opérateurs et les dispatchers grâce à la messagerie à l'écran; • Maintenir l'intégrité des données grâce au magasin de bord et transmettre; • Suivre les tendances des ICP à l'aide de données historiques et en temps réel; • Connectez-vous via le Wi-Fi 3G ou 802.11 pour le transfert de données; • Fonctionner dans un environnement à architecture ouverte basé sur Windows.

Tableau 1.2 Comparaison des logiciels de gestion de flotte minière (Suite)

Système de gestion de flotte	Compagnie	Principales caractéristiques
CAT MINESTAR FLEET	Caterpillar	<ul style="list-style-type: none"> Améliorer la gestion de tous les types d'exploitation des équipements, sur un ou plusieurs sites miniers. Il vous permet également d'obtenir facilement des vues et des analyses plus détaillées, depuis les rapports sur des groupes de biens sélectionnables jusqu'aux machines individuelles; Grâce à la capacité d'exécuter des scénarios qui permettent de déterminer l'impact des changements opérationnels avant de les mettre en œuvre, Fleet facilite le fonctionnement de vos opérations en toute sécurité et au meilleur de leurs performances, avec un contrôle en temps réel; Il peut également fonctionner avec des données provenant de tous les types de biens et d'équipements, y compris les camions tout-terrain, les chargeuses sur roues, les niveleuses, les boteurs sur roues, les pelles, les véhicules légers et les équipements d'autres fabricants, ce qui vous permet de réduire les coûts par tonne, d'améliorer la productivité et de stimuler la rentabilité globale du site.
Pitram	Micromine	<ul style="list-style-type: none"> Convient aux opérations souterraines impliquant des pratiques minières automatisées; Les fonctionnalités intuitives et sophistiquées de la solution la rendent également idéale pour les mines à ciel ouvert; Fournir une vue d'ensemble de la situation actuelle des mines; Accroître le contrôle des clients sur leurs opérations; Son contrôle accru permet aux sites d'augmenter leur production; Réduire les coûts; Améliorer la sécurité et les capacités de renseignement commercial.
Dynamine	TATA	<ul style="list-style-type: none"> Minimiser la durée du cycle d'exploitation des mines à ciel ouvert et améliorer la productivité des mines; Gestion efficace des files d'attente et suivi des actifs mobiles; Visualisation efficace des limites opérationnelles à l'intérieur d'une mine; Capacité d'intégration avec les relevés miniers, la planification minière et les applications d'entreprise; Capacité à être configuré avec des plates-formes matérielles et logicielles standard ouvertes telles que Microsoft Windows ou Linux; Surveillance des performances des pelles à benne traînante en ce qui concerne l'angle de rotation et la surcharge afin de maximiser l'efficacité de l'exploitation.
SimMine		<ul style="list-style-type: none"> Optimiser la sélection des équipements et autres ressources; Découvrir à temps les goulots d'étranglement et analyser les options; Analyses de chargement et de transport (SimMine, 2020).

1.5 Localisation

Le système de gestion de flotte est basé sur le suivi de la position. Le système est basé sur le signal de positionnement global (GPS) ou bien un système de radio (GPRS). Lorsque le système de localisation détermine la position, la vitesse et la trajectoire d'un véhicule, les informations sont transmises à une application logicielle. La transmission des données est effectuée à l'aide de signaux satellites et de réémetteurs terrestres (Gu, Lu, Li, & Wan, 2008). La figure suivante représente un système de localisation d'équipement.

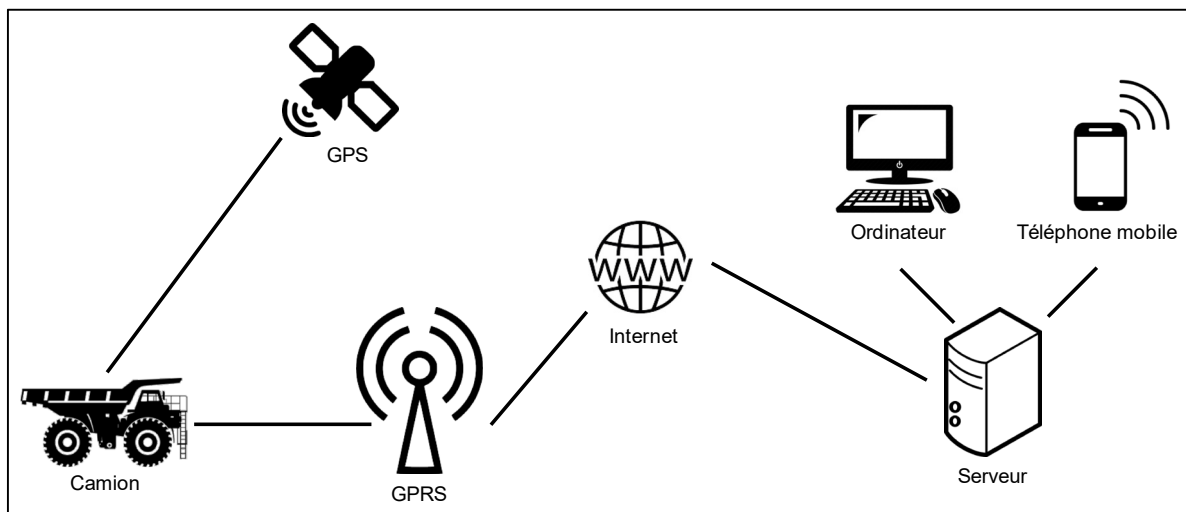


Figure 1.4 Schéma d'un système de localisation d'équipement

1.5.1 Transmission et communication

Avec le progrès technologique et la demande d'amélioration en temps réel, les mines souterraines ont avantage à opter pour un seul réseau permettant la transmission de voix et de données. Pour suivre les équipements mobiles en temps réel, un réseau sans fil doit être utilisé. Par contre, contrairement à la surface, un réseau sans fil a des limites pour l'utilisation souterraine. Plus précisément, les ondes radio ne peuvent pas se propager dans toutes les directions (Song, Rinne, & van Wageningen, 2013). Dans la section suivante, les principaux types de systèmes de transmission sont présentés.

Le système de protocole de voix sur Internet (VOIP) permet les communications vocales et multimédias sur un réseau IP. Le système permet des communications sans fil et utilise le réseau informatique existant (s'intègre aux solutions traditionnelles) pour connecter les téléphones. Par contre, le système est complexe et nécessite un réseau Ethernet (Poe) (GMG, 2019).

Le système de radio numérique permet un échange d'information bidirectionnelle. Il est souvent jumelé au système Leaky feeder qui nécessite des amplificateurs de signal tous les 350 à 500 mètres. Bien qu'il permet de transférer des données, le débit n'est pas élevé, sa latence est élevée et une licence peut être exigée dans certains endroits (GMG, 2019).

Le système de réseau sans fil (Wi-Fi) est souvent utilisé pour les services de localisation et de communications mobiles de voix et de données. Le réseau sans fil assure la mobilité des utilisateurs et est une extension de l'équipement de réseau informatique. Par contre, la couverture est limitée dans les installations souterraines (GMG, 2019).

La technologie par réseau cellulaire (LTE) permet une communication sans fil à haut débit. Elle offre une meilleure propagation du signal par rapport aux Wi-Fi dans les installations souterraines. Par contre, une licence est demandée pour son utilisation (GMG, 2019).

1.6 Type de camions

Dans les mines souterraines, la chargeuse de transport (LHD) et le camion à benne articulée sont les équipements utilisés pour le chargement et le transport. Contrairement à un camion à benne régulière, le camion à benne articulée souterrain permet une grande maniabilité en environnement étroit comme il est le cas dans une mine souterraine. Les figures à l'annexe II représentent la flexibilité du camion à benne articulée. Lorsque la mine n'a pas de puits, l'utilisation du camion à benne articulée permet de transporter le minerai sur une plus longue distance. De nos jours, plusieurs types de machinerie sont présents sur le marché : conventionnelle, semi-automatique et automatique. Lors de l'opération d'une machinerie conventionnelle, l'opérateur fait tout le travail. Autrement dit, il pense, planifie et contrôle le véhicule pendant toute la durée du cycle. Avec un camion semi-automatique, l'opérateur montre à la machine la tâche à accomplir, puis la machine résout la tâche de manière optimale jusqu'à ce que l'opérateur lui montre la tâche suivante. Le camion automatique n'implique aucun opérateur dans le travail directement, une fois que l'affectation du travail est définie,

c'est l'opérateur qui manipule au besoin plusieurs machines à distance depuis un bureau situé à l'intérieur de la mine (Frank, Skogh, Filla, Froberg, & Alaküla, 2012). Avec le camion automatisé, l'environnement est plus sécuritaire et l'opérateur doit surveiller le véhicule et intervenir à certains moments du cycle de chargement (Gustafson, Schunnesson, Galar, & Kumar, 2013).

Les avantages de l'automatisation de la machinerie souterraine sont : une plus grande fiabilité, une plus longue durée de vie ainsi qu'une réduction des coûts de maintenance et d'exploitation. En effet, une mine Australienne déclare avoir réduit de 15 % les coûts de maintenance et plusieurs mines ont déclaré avoir sauvé jusqu'à cinq heures de travail par jour en utilisant des camions automatisés (Paraszcak, 2014).

1.7 Problématiques et défis du transport souterrain

Les angles morts des camions de transports souterrains à cause de leur seau rendent la conduite difficile, ce qui peut occasionner des délais supplémentaires lorsque les opérateurs ne sont pas habitués ou bien simplement pour des raisons de sécurités (Dragt, Camisani-Calzolari, & Craig, 2005).

La circulation dans les rampes d'accès aux mines est aussi une problématique. La rampe est à voie unique ce qui la rend souvent congestionnée, inefficace et même dangereuse lorsque deux camions se rencontrent. Il est alors important d'avoir une bonne coordination des machines sur les rampes afin d'éviter les délais et des accidents. Des baies d'attentes, un système de feux de circulation et des modèles qui permettent aux camions chargés d'avoir la priorité de passage ont été reconnus comme étant de bonnes solutions (Haviland & Marshall, 2015).

Les routes souterraines sont souvent négligées lors de la maintenance. Si les routes ne sont pas bien entretenues, il y a de grandes conséquences sur le transport. En effet, des crevasses peuvent facilement user prématurément les pneus ou même être la cause de crevaison

fréquente. Cela a pour répercussions d'augmenter les délais et de réduire la productivité du transport (Thompson & Malekzehtab, 2018).

1.8 Solutions

Selon un projet d'automatisation des véhicules souterrains réalisé à la mine Casa Berardi de l'entreprise Hecla Québec, l'utilisation de camion autonome permet d'augmenter le nombre d'heures d'opération par jour. Une grande perte de temps est réalisée lors des changements de quarts de travail. Contrairement aux camions manuels, les machines autonomes peuvent continuer à travailler durant les changements de quarts de travail et même voyager à plus grande vitesse. Aussi, les usages moins excessifs réduisent la consommation de carburant et le besoin de maintenance (mines, 2019).

L'efficacité globale de la flotte peut être améliorée en identifiant les camions ayant des problèmes de productivité. Habituellement, il est plus avantageux de se débarrasser des camions qui sont souvent hors d'usage pour un nouveau camion. De plus, l'augmentation de la disponibilité des équipements peut être améliorée en diminuant le temps d'arrêt en effectuant des maintenances planifiées. Aussi, réduire l'immobilisation des camions lors des changements de quarts de travail. Ensuite, l'identification des problèmes de précision de charge en optimisant le chargement sans surcharger le camion permet de réduire les coûts de maintenance (MPPIglobal, 2020).

1.9 Industrie 4.0

La section suivante présente le thème de l'Industrie 4.0 et les principaux liens avec le projet réalisé. Tout d'abord, il y aura une présentation des avantages du 4.0 pour les mines. Ensuite, la place de l'Industrie 4.0 et ses échecs.

1.9.1 Avantages pour les mines

L'arrivée de l'Industrie 4.0 dans les minières permet de surmonter de nombreux obstacles que l'Industrie n'était pas en mesure de trouver des solutions. En effet, de nombreux auteurs expliquent que les minières ont avantage à prendre le virage vers les nouvelles technologies. Tout d'abord, l'Industrie minière intelligente améliore l'efficacité des équipements miniers, permet de réduire le coût d'exploitation ainsi que l'amélioration de la capacité concurrentielle, réduit le nombre d'opérations sur le terrain ainsi que le risque de catastrophes, aide à produire de manière plus propre et améliore le développement durable des mines (Li & Zhan, 2018).

1.9.2 Échec de l'Industrie 4.0

De nombreuses entreprises se questionnent sur la place d'une grande transformation technologique dans leur entreprise. De nombreuses études ont été réalisées afin de comprendre pourquoi les entreprises tardent à prendre le virage 4.0. Parmi les principales raisons d'une réticence à intégrer la technologie 4.0, il est possible d'énumérer les suivantes :

- Coûts d'investissement élevés (Ministère de l'économie, 2017);
- Manque de clarté du rapport coût-bénéfice de l'Industrie 4.0 (Korne, 2017);
- Préoccupations concernant la capacité de changement organisationnel et la sécurité informatique (Pessl, 2017);
- Manque de personnel compétent (Ministère de l'économie, 2017).

Afin d'améliorer la réussite des projets 4.0, la chambre de commerce au Luxembourg a publié un document présentant quatre phases permettant de mener à terme un projet Industriel 4.0 dans une entreprise. Les différentes phases sont présentées à la figure suivante :

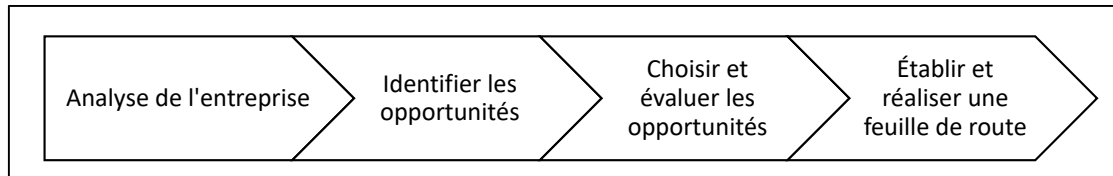


Figure 1.5 Quatre phases permettant de mener à terme un projet Industriel 4.0
Tirée de Korne (2017, p. 3)

Face aux problématiques d'acceptation de l'Industrie 4.0, un autre auteur présente une méthodologie permettant d'introduire plus facilement les nouvelles technologies. La figure suivante exprime l'idée d'une analyse basée des stratégies qui sont présentes dans une entreprise afin de créer une feuille de route 4.0.

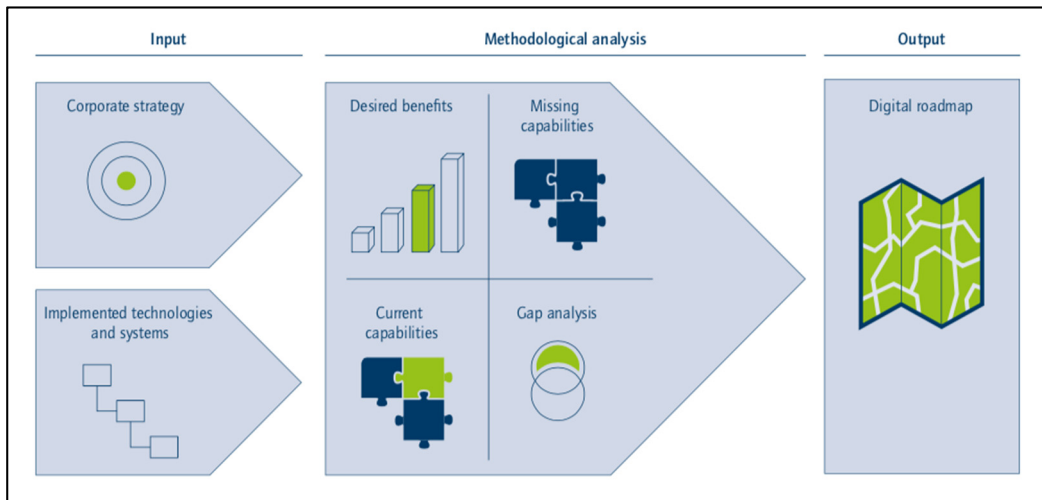


Figure 1.6 Feuille de route de l'Industrie 4.0
Tirée de Günther Schuh & Jürgen Gausemeier (2018, p. 14)

CHAPITRE 2

CHAPITRE 2 BESOINS DE L'ENTREPRISE

2.1 Objectifs de la recherche des besoins

Dans le chapitre suivant, une description des mines à l'étude sera présentée afin de faciliter la mise en contexte du projet. De plus, il sera possible de comparer les similarités et différences entre les mines pouvant expliquer une variation de la performance. Dans les pages suivantes, la localisation des mines, l'historique de la Société minière, les sites miniers, la topographie ainsi que le climat, les informations géologiques des mines, le type d'exploitation minière et les technologies internet seront présentées. Dans la seconde partie du chapitre, les besoins de l'entreprise recueillie suite aux rencontres seront présentés.

2.2 Généralités des mines

Le projet a été effectué pour les mines Meliadine et LaRonde. En plus de la mine LaRonde, le gisement LaRonde Zone 5 fait partie du projet.

2.2.1 Localisation

La mine Meliadine est située dans la région de Kivalliq au Nunavut, dans le nord du Canada. Plus précisément, Meliadine se situe à environ 25 kilomètres au nord de Rankin Inlet et à 290 kilomètres au sud-ouest de la mine Meadowbank (Agnico Eagle, 2021). Le site minier est sur des terres appartenant aux Inuits situés près de la côte ouest de la baie d'Hudson ayant pour coordonnées géographiques : 63°1' 30" N, 92°12' 30" W (Julie Larouche, 2015).

La mine LaRonde Zone 5 est située sur la propriété de Bousquet dans la région de l'Abitibi, au nord-ouest du Québec. La Zone 5 de LaRonde se trouve sur le long de la route Transcanadienne entre Rouyn-Noranda et Val-d'Or à 2,5 kilomètres à l'ouest du puits Penna

situé sur la propriété de la mine LaRonde. Le site a pour coordonnées géographiques : 78°15" W, 48°15"N (Gosselin, 2005).

2.2.2 Historique de la Société minière et des deux projets miniers

Agnico Eagle est une Société d'exploitation aurifère canadienne dont le siège social se situe dans la ville de Toronto en Ontario. Depuis 1957, l'entreprise exploite des gisements dans de nombreux pays dont le Canada, la Finlande et au Mexique. L'entreprise explore aussi des terres dans d'autres pays comme les États-Unis et la Suède. En 1957, le nom Agnico Mines Limited est créé en s'inspirant des symboles chimiques de l'argent (Ag), du nickel (Ni) et du cobalt (Co). En 1972, il y a fusion entre les minières Agnico Mines Limited et Eagle Gold Mines Limited pour créer la Société connue aujourd'hui sous le nom de Agnico Eagle Mines Limited. L'entreprise embauche présentement plus de neuf-mille employés et a huit mines en opération (Agnico Eagle, 2021).

La production commerciale de la mine Meliadine a commencé le 14 mai 2019. Jusqu'à présent, le gisement a une durée de vie de 14 ans. Pour ce qui est du site LZ5 qui a été anciennement exploité à ciel ouvert par une autre entreprise, la production commerciale a commencé le 1^{er} juin 2018. Jusqu'à présent, la durée de vie de la mine s'étend sur neuf années (Agnico Eagle, 2021).

2.2.3 Topographie et Climat

Le site de Meliadine présente un relief topographique relativement plat et environ 28 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le sol est humide ou mouillé tout au long de l'été. La température moyenne est supérieure à 0 °C pour les mois de juin à septembre et inférieure à 0°C entre octobre et mai. La température annuelle moyenne est d'environ -10 °C. La glace se forme vers la fin d'octobre et la fonte des glaces commence en juin. De plus, la région est connue pour ses vents violents (Julie Larouche, 2015).

Le site Zone 5 de LaRonde présente un faible relief topographique. La mine se situe dans une forêt de type boréal (Gosselin, 2005). En été, la température est d'environ 18 °C et il y a beaucoup d'humidité (Pigeon, 2018).

2.2.4 Informations géologiques

Le site minier de Meliadine repose sur des roches sédimentaires et volcaniques provenant de la ceinture de roches vertes de Rankin Inlet. Sept gisements d'or ont été découverts sur le site minier. Six des sept gisements se trouvent à l'intérieur d'une distance de cinq kilomètres. De nombreux gisements seront exploitables à ciel ouvert. Les réserves d'or sont actuellement estimées à 4 067 000 onces. Une carte présentant les principales informations géologiques du site Meliadine est présentée à l'image suivante.

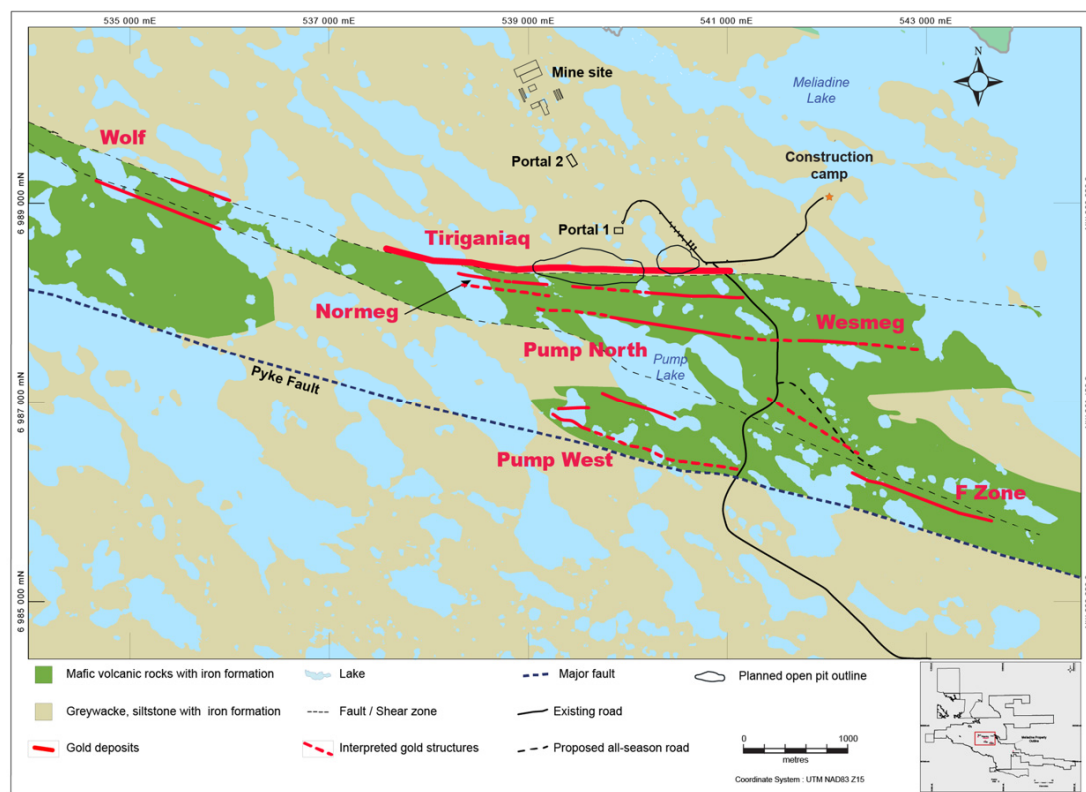


Figure 2.1 Carte géologique du site minier Meliadine
Tirée de Agnico Eagle (2021)

Le site minier la Zone 5 de LaRonde se situe au sud de la ceinture volcanique archéenne de l'Abitibi, plus précisément dans les limites de la formation Bousquet. La Zone 5 est composée d'un gisement ayant une masse estimée à plus de 26 millions de tonnes s'étendant sur neuf-cents mètres. Le gisement est sous forme de veinules qui varient de quatre à trente mètres d'épaisseur. Les réserves d'or sont estimées à 686 000 onces. Une carte présentant les principales informations géologiques de la Zone 5 est présentée à l'image suivante.

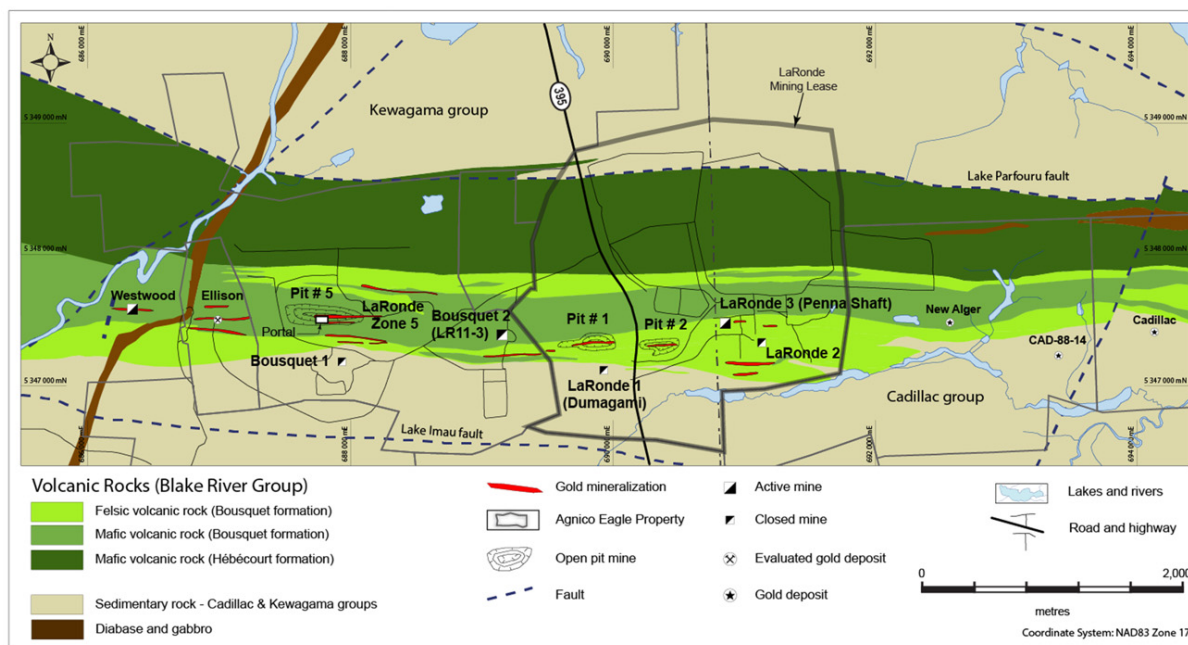


Figure 2.2 Carte géologique des sites miniers LaRonde et LaRonde Zone 5
Tirée de Agnico Eagle (2021)

2.2.5 Exploitation minière

Le gisement de la mine Meliadine est exploité en souterrain par méthode d'abattage par long trou et à ciel ouvert. Les chantiers primaires seront remblayés en pâte cimentée et les chantiers secondaires en remblai sec. La capacité du projet minier est de 3 750 tonnes par jour. La profondeur du gisement est actuellement de huit-cents mètres. La figure suivante présente le

gisement de la mine Meliadine ainsi que le développement des rampes et des galeries principales.

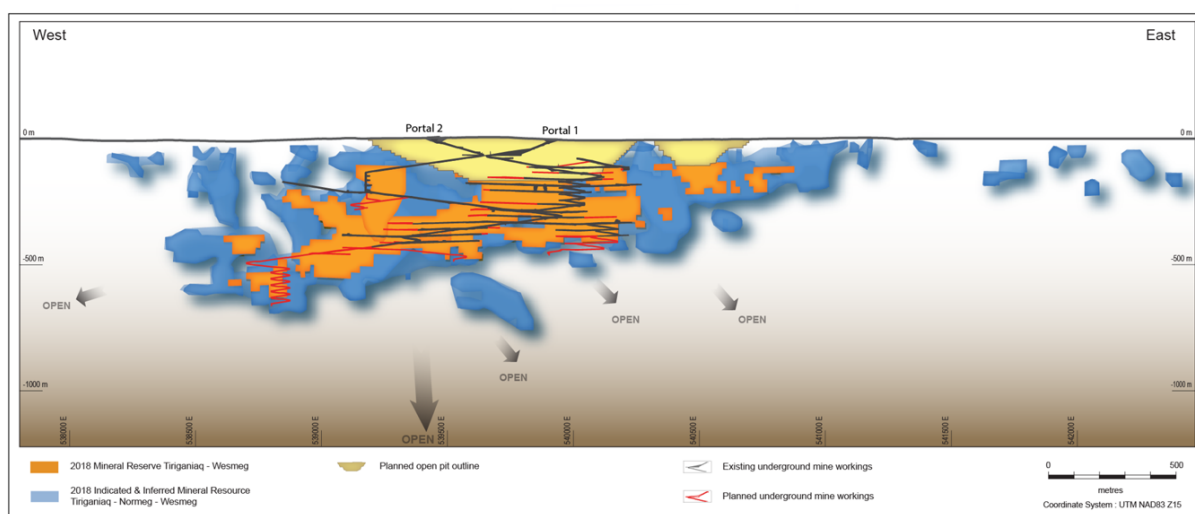


Figure 2.3 Vue longitudinale de la mine Meliadine
Tirée de Agnico Eagle (2021)

Le gisement de LaRonde Zone 5 est exploité en souterrain par méthode d'abattage longitudinal avec remblai en pâte et l'abattage transversal par chambre vide avec remblai en pâte ou non consolidé. L'usine de traitement utilisé est celle de la mine LaRonde. La production visée pour ce projet minier est de 1 975 tonnes par jour. La profondeur du gisement est actuellement de sept-cents mètres. De plus, il est possible de voir à la figure ci-dessous que la mine LaRonde utilise un puits. La figure suivante présente le gisement de LaRonde ainsi que le développement des rampes et des galeries principales.

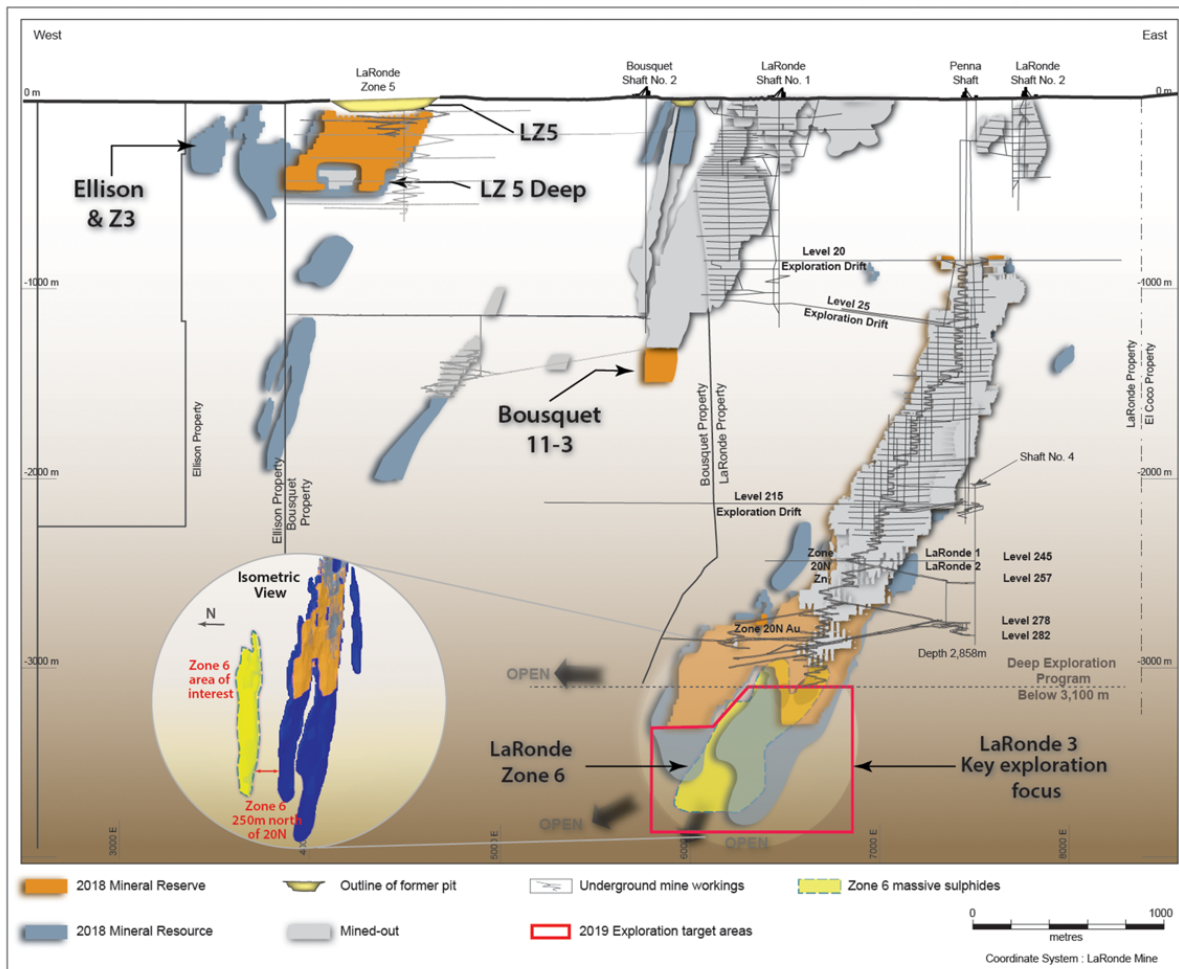


Figure 2.4 Vue longitudinale des mines LaRonde et LZ5
Tirée de Agnico Eagle (2021)

2.2.6 Technologies internet

Les deux sites miniers utilisent des technologies de transmission de données différentes pour leurs réseaux souterrains. Pour la mine Meliadine, le transfert de données de fait sous un réseau câblé DOCSIS tandis que la mine LaRonde utilise un réseau LTE. Au site minier Meliadine, les serveurs à la surface sont connectés à des câbles de fibre optique qui passent par les deux rampes pour se rendre jusqu'au niveau 300. Des réseaux DOCSIS à partir du niveau 300 relient chaque niveau. Les niveaux sont connectés avec des modems et des bornes WiFi à environ

tous les trois-cents mètres. Au site LaRonde, la technologie LTE est utilisée. Des bornes LTE sont installées à des distances de vingt-cinq et cinquante mètres.

2.3 Besoins de l'entreprise

Au début du projet, les besoins de l'entreprise quant à la création du système ont été recueillis à l'aide d'entrevue avec le personnel des différents départements. Autrement dit, les principaux utilisateurs du système d'informations ont été rencontrés et questionnés sur les sujets afin de connaître leurs besoins et attentes envers le projet. Des personnes travaillant dans les départements de maintenance et de planification ont été rencontrées. Les informations recueillies ont été classées selon les catégories suivantes :

- Désavantages de ne pas avoir accès aux données;
- Les spécifications du système souhaité;
- Avantages du système souhaité.

Pour ce qui est des avantages désirés, l'équipe de planification de Meliadine souhaite avoir un état de santé des camions. Cette information pourrait être pertinente lorsqu'il est question d'envoyer un camion pour réaliser une tâche à un endroit éloigné dans la mine souterraine. Il serait alors pertinent d'envoyer un camion en bon état mécanique afin de diminuer les chances de bris dans une galerie éloignée. Autrement dit, il serait important d'avoir une vue globale de l'état des camions afin de comparer les heures de fonctionnement, les distances parcourues et les principales maintenances à venir. L'équipe de maintenance de la mine LaRonde souhaite avoir accès à un système permettant de réduire les usages abusifs de l'équipement afin de prolonger la durée de vie des composantes.

Le tableau suivant présente les différentes données recueillies suite aux entrevues réalisées avec les différents départements des mines à l'étude.

Tableau 2.1 Recherche des besoins de l'entreprise

Identification	Mine / Emplacement	Corporatif	Meliadine		LaRonde et LZ5	
	Département	Technologie opérationnelle	Maintenance	Ingénierie	Maintenance	Ingénierie / Opération
	Poste	Spécialiste des données	Spécialiste de la fiabilité		Spécialiste de la maintenance	Surintendant
État Actuel	Désavantages actuels	Difficulté à savoir ce qui se passe sous terre (répartition du temps)	Systèmes indépendants	Manque de visualisation et de quantification du travail souterrain	Plusieurs systèmes qui ne sont pas reliés	Beaucoup de données manuelles
		Incertitude de la prédiction	Manque de prédiction	Beaucoup de données manuelles	Alertes récurrentes	Données parfois moins précises
État Futur	Spécifications système	Temps de cycle des camions de transport	Données en temps réel	Distance parcourue et durée d'utilisation des équipements	Déterminer les usages abusifs de l'équipement	Calcul du OEE
		OEE de la flotte de camions	Durées des composantes	OEE de la flotte de camions	Températures des équipements	Niveau des liquides
		Localisation	Disponibilité de la flotte	Données en temps réel	Niveau de liquide	Données de transmission
		Rapport automatisé	Basé sur des pourcentages	Suivre la position de déchargement des camions	Distances parcourues	Durée d'utilisation et température de l'équipement
				Nombre de voyages par quarts de travail		
	Avantages souhaités	Rendre l'information disponible	État mécanique des camions	Minimiser les pertes de temps	Sauver du temps et de l'argent	Quantifier le travail souterrain
		Quantifier le travail souterrain	Prédiction	Quantifier le travail souterrain	Réduire la maintenance non nécessaire	Calcul plus précis
		Indicateur de performance (KPI)	Sensibiliser les opérateurs	Alertes en temps réel	Suivre l'usure des équipements	Savoir où et quand le temps est perdu pour un équipement
		Pouvoir visualiser l'information sur différents appareils (ordinateur, tablette et téléphone)	Plusieurs systèmes à un seul endroit	Avoir accès à l'information en temps réel	Alertes personnalisées différentes du manufacturier	Alertes et notifications en temps réel
		Permettre l'optimisation par les planificateurs de la mine	Facile d'accès	Savoir où et quand le temps est perdu pour un équipement	Prévision des entretiens	
		Uniformité entre les différentes mines	Aide à la prise de décision	Aide à la prise de décision (savoir où mettre le temps pour optimiser)		

Le tableau ci-dessous présente les différentes fonctions disponibles du système que la mine utilise. La compagnie a décidé d'opter pour un logiciel de la compagnie OSIsoft plutôt qu'un système de gestion de flotte. Les fonctions du système PI permettent de combler les besoins actuels de l'entreprise pour ce projet.

Tableau 2.2 Catégorisation des besoins de l'entreprise

Catégorie de la fonction	Fonctions possible avec le système PI	Besoins de l'entreprise		
		Technologie opérationnelle	Planification	Maintenance
Système de gestion de flotte	Géolocalisation des équipements en temps réel	x	x	
	Suivi du temps de fonctionnement des équipements	x	x	x
	Intégration des données relatives à la santé des machines		x	x
Intelligence d'affaires	Métriques de production (tonnes déplacées)	x	x	
	Tableau de bord des activités réelles des équipes (suivi en temps réel)	x	x	
	Avancement réel par rapport au plan	x	x	x
	Lieu de travail et statut	x	x	
	Délais et équipement en panne	x	x	x
	Utilisation des équipements	x	x	x
	Journal historique	x	x	x
Application mobile	Rapports d'avancement	x	x	
	Interface du superviseur		x	
	Alarmes			x

CHAPITRE 3

CHAPITRE 3

CRÉATION DU SYSTÈME

3.1 Méthodologie de la création du système

Afin de créer le système souhaité, différentes étapes sont nécessaires. Tout d'abord, il faut s'assurer que les données permettant de nous donner l'information souhaitée sont accessibles. Ensuite, il faut analyser les données d'entrées afin de les transformer en informations exploitables à l'aide de formules. Finalement, le tableau de bord présente les informations exploitables. La figure suivante présente les différentes étapes de la création du système.

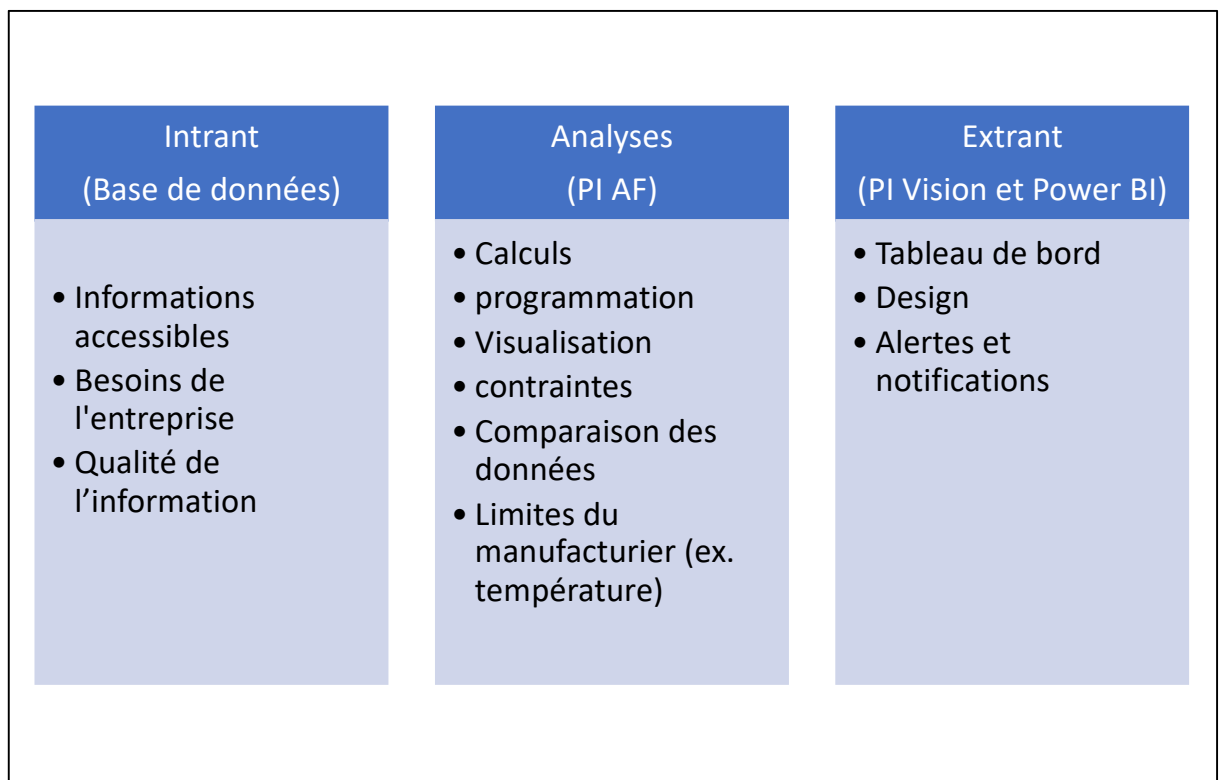


Figure 3.1 Étapes de la création du système

3.1.1 Outils

La section suivante présente les différents outils utilisés pour ce projet. Les logiciels utilisés lors de ce projet sont ceux dont l'entreprise partenaire a les licences. Le principal logiciel utilisé par l'entreprise afin de prendre le virage de l'Industrie 4.0 est le PI System de la compagnie OSIsoft. La compagnie a opté pour ce système puisqu'il permet l'intégration de différentes interfaces déjà utilisées dans différents départements sous un seul système. Le système PI, permet la gestion des données et des événements en temps réel. Le système est divisé en trois grandes catégories : la connexion, le serveur et les outils. Le PI System connexion permet de mettre en commun des données provenant de plus de 225 interfaces différentes en temps réel. Pour les compagnies souhaitant créer des indices de performance, il est important de pouvoir mettre en commun des données de différentes interfaces. Le PI Server permet de stocker, classer, calculer, gérer, comparer, créer des notifications et produire des analyses avec des valeurs brutes en temps réel. Le PI System outils permet l'aide à la décision. Autrement dit, il facilite la visualisation et l'analyse des données. Il est possible d'avoir accès à des données uniformes sur des applications via une tablette ou un téléphone. Aussi, la création de tableaux de bord et l'importation vers Excel sont des fonctionnalités possibles. Pour l'outil de visualisation des analyses, l'entreprise utilise PI Vision pour ce projet (OSIsoft, 2020). La figure suivante présente les trois catégories du système PI.

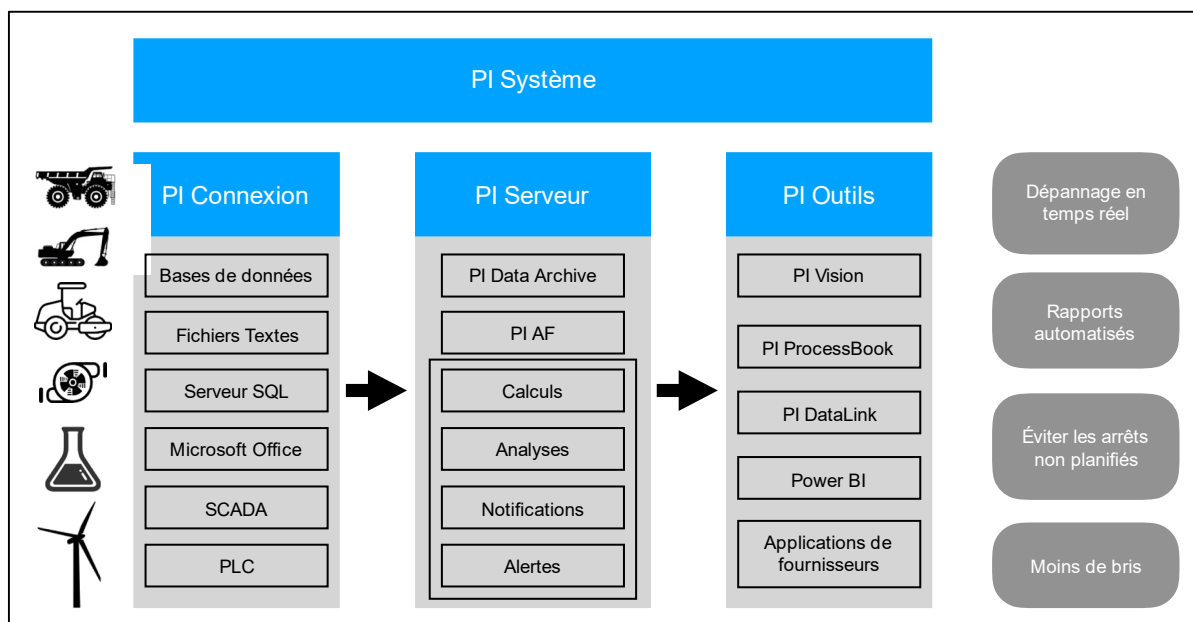


Figure 3.2 Fonctions du système PI

En plus de ce système, les mines à l'étude utilisent les logiciels suivants : Wonderware, Optimine, Automine, Imagine, Centric et JDE.

Wonderware est un logiciel de visualisation proposant une interface homme-machine (IHM). L'interface montre aux opérateurs des informations sur la machine et permet à l'opérateur de prendre des décisions pour accroître la productivité. Wonderware fonctionne sur plusieurs appareils (tablette et téléphone). De plus, le logiciel permet un accès à l'indicateur de performance clé (KPI). Présentement, les mines à l'étude utilisent ce système pour les pompes (Avena, 2020). Il est possible d'avoir accès aux données de Wonderware et de les utiliser avec l'interface PI pour analyser les données.

Le programme Optimine est actuellement sur les machines Sandvik et permet d'avoir accès à des données relatives sur l'état des machines. Par contre, les valeurs sont sous forme de données brutes sans analyse puisque la minière n'a pas la licence complète.

Automine est utilisé pour la flotte de camion Sandvik automatisée. C'est un produit pour les équipements mobiles autonomes et télécommandés. Il permet aux opérateurs de contrôler et de surveiller simultanément plusieurs opérations de machines souterraines et de surface (Sandvik, 2020).

Le programme Imagine de la compagnie Meglab est utilisé pour la géolocalisation des travailleurs et des équipements en temps réel. De plus, Imagine permet de suivre les données de ventilation en temps réel. Cela permet d'obtenir sous forme de données si des équipements sont en fonction ou pas. Pour la mine Meliadine, la détection de l'emplacement se fait par des bornes radio Anchor. Lors de ce projet, ce logiciel aide à visualiser l'emplacement des équipements pour le calcul du temps de cycle. Par exemple, pour savoir à quel niveau travaillent les différents camions de transport (Meglab, 2020). Il est possible de voir les camions et les travailleurs présents au niveau 300 de la mine Meliadine à l'annexe III. Aussi, les bornes de positionnement Anchor aux différents endroits sont présentes sur le plan d'Imagine.

Le programme Centric est utilisé pour collecter des données de production (tonnage, distance de forage et distance de développement). Dans la plupart des cas, ce sont des données entrées manuellement.

Le logiciel Pi SQL Commander Lite permet dans le cadre du projet d'effectuer de la programmation afin de créer les données de sortie pour une visualisation dans Power BI.

Les logiciels Pi Vision de OSIsoft et Power BI de Microsoft permettent la visualisation des données. Ces logiciels permettent de faire des tableaux de bord pour représenter les analyses et données de PI System. Ces logiciels seront utilisés afin de représenter les informations des équipements.

3.1.2 Équipements des mines

Les équipements roulants utilisés lors de ce projet sont des camions de transport souterrain de 51 tonnes de la compagnie Sandvik. Une fiche technique des camions est présentée à l'annexe II. Lors de l'étude, la mine Meliadine possédait cinq camions Sandvik connectés, la mine LaRonde en possédait 5 et LaRonde Zone 5 en possédait trois. L'identification des camions connectés qui ont été utilisés pour le projet est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 3.1 Liste des équipements mobiles connectés pour le projet

Sites	Numéro du camion	Modèle	Date de mise en service
Meliadine	65HTR13	TH551i	dimanche 22 juillet 2018
	65HTR14	TH551i	vendredi 24 août 2018
	65HTR16	TH551i	mercredi 26 septembre 2018
	65HTR17	TH551i	mercredi 26 septembre 2018
	65HTR23	TH551i	mercredi 31 juillet 2019
LaRonde	CA5111	TH551	jeudi 24 novembre 2016
	CA5113	TH551	dimanche 9 juillet 2017
	CA5114	TH551	jeudi 10 août 2017
	CA5115	TH551	jeudi 12 juillet 2018
	CA5116	TH551	mardi 24 juillet 2018
LaRonde Zone 5	CA5117	TH551i	mardi 26 juin 2018
	CA5118	TH551i	mercredi 15 août 2018
	CA5119	TH551i	dimanche 23 juin 2019

De plus, un tableau de suivi de la connexion des équipements miniers a été réalisé afin de permettre le maintien du système à long terme.

3.1.3 Fondement mathématique

La section suivante présente les principales équations utilisées lors de la réalisation du projet.

3.1.3.1 Efficacité globale de la flotte

La disponibilité de l'équipement est déterminée par la formule suivante (Lanke, Hoseinie, & Ghodrati, 2016) :

$$\text{Disponibilité (A)} = \frac{\text{Temps disponible}}{\text{Temps prévu}} = \frac{\text{Temps de calendrier} - \text{Temps sans production} - \text{Temps d'arrêt pour maintenance}}{\text{Temps de calendrier} - \text{Temps sans production}}$$

Le temps disponible est le temps lorsque l'équipement est nécessaire et est en état de remplir sa fonction prévue. Le temps prévu est lorsque l'équipement est nécessaire pour répondre aux objectifs du plan d'affaires et est affecté à une opération, un projet ou un travail.

Le temps de calendrier est le temps total disponible. Les temps d'arrêt pour maintenance représentent la durée totale pendant laquelle l'équipement est incapable de fonctionner pour des raisons mécaniques. Les temps non planifiés sont lorsque l'équipement n'est pas programmé ou affecté dans le système parce qu'il n'est pas nécessaire en raison d'événements extérieurs. Le temps d'arrêt pour maintenance comprend les temps d'arrêt planifié et non planifié, c'est lorsque l'équipement est nécessaire, mais n'est pas en état de remplir la fonction prévue.

L'utilisation de l'équipement est représentée par la formule suivante (Paraszcza, 2005) :

$$\text{Utilisation (U)} = \frac{\text{Temps d'opération actif}}{\text{Temps disponible}} = \frac{\text{Temps de calendrier} - \text{Temps sans production} - \text{Temps d'arrêt pour maintenance} - \text{Temps d'attente} - \text{Délais d'opération}}{\text{Temps de calendrier} - \text{Temps sans production} - \text{Temps d'arrêt pour maintenance}}$$

Le temps de travail est lorsque l'équipement fonctionne comme prévu, remplit sa fonction et mène des activités qui contribuent et ne contribuent pas directement à la production.

Les heures d'attente sont lorsque l'équipement est disponible, mais ne fonctionne pas. Il y a les heures d'attentes opérationnelle et externe. Les temps d'attente opérationnels sont lorsque l'équipement est disponible, mais ne fonctionne pas, et il n'a pas d'intention immédiate de fonctionner en raison d'une décision de gestion ou de raisons relevant du contrôle de gestion. Le temps d'attente externe est lorsque l'équipement est disponible, nécessaire et engagé dans un projet ou un site, mais il ne peut être exploité pour des raisons qui échappent à l'influence immédiate du contrôle de la gestion opérationnelle. Les délais d'opération sont lorsque l'équipement fonctionne, mais est temporairement arrêté ou ne peut pas effectuer des travaux en raison de retards à cause de l'opération ou des conditions physiques et environnementales immédiates.

L'efficacité de l'équipement est calculée à l'aide de la formule suivante (Newtrax, 2020) :

$$\text{Efficacité (Q)} = \frac{\text{Tonnage transporté}}{\text{Capacité maximale}}$$

L'efficacité de l'équipement peut aussi être nommée qualité de transport de l'équipement. L'efficacité est le pourcentage de remplissage du camion. Autrement dit, pour avoir une qualité de transport de 100 % un camion ayant une capacité de transport de 51 tonnes doit transporter 51 tonnes de minerai lorsqu'il remonte à la surface.

La formule pour calculer l'efficacité globale de l'équipement est la suivante (Campbell & Jardine, 2001) et (Newtrax, 2019) :

$$OEE (\%) = A \times U \times Q$$

3.1.3.2 Temps de cycle

Pour déterminer le temps de cycle total du transport par camion, les formules proposées dans une étude de temps de cycle ont été utilisées (Coronado & Pablo, 2014) :

$$\text{Temps de cycle} = \text{Temps productif} + \text{Temps non productif}$$

Temps productif

$$\begin{aligned} &= \text{Temps de positionnement vide et pleins} + \text{Temps de chargement} \\ &+ \text{Temps de trajet pleins} + \text{Temps de déchargement} \\ &+ \text{Temps de trajet vide} \end{aligned}$$

Temps non productif

$$= \text{Attente au chargement} + \text{Attente au déchargement} + \text{Délais}$$

Afin de déterminer le temps de cycle des activités de transport, la durée lorsque le moteur du camion est actif a été divisée par le nombre de voyages effectués. La formule suivante exprime le calcul dans le Système Pi afin d'obtenir le temps de cycle des camions :

Temps de cycle (dernier 24 heures)

$$= \frac{\text{Durée de fonctionnement de la machine dans les dernières 24 heures}}{\text{Nombre de chargement dans les dernières 24 heures}}$$

3.2 Informations du système

La section suivante présente les données utilisées dans le projet. Aussi, la manière dont les différents paramètres ont été créés sera expliquée en détail afin de permettre de reproduire la situation.

3.2.1 Données primaires

Présentement, les équipements de transport utilisé lors de ce projet enregistrent plusieurs informations dans différents systèmes. Lors de la création d'un système permettant de centraliser et d'uniformiser les données, il est important d'importer des valeurs provenant de systèmes d'acquisition précis et d'importer les informations nécessaires dans le produit final. Autrement dit, les données recueillies doivent pouvoir mener à la réalisation du système répondant aux besoins des utilisateurs. La liste du Tableau 3.2 présente les données en continu qui ont été importées dans PI AF. Les différentes données provenant de différents systèmes ont été mises sous un seul système et puis classées dans différentes catégories pour faciliter la compréhension.

Tableau 3.2 Données importées dans PI AF

Provenance des données	Catégories	Description
Optimine	Alarmes	Alarmes tableau de bord de l'équipement
		Evènements
		Notifications
	Informations sur le voyage	Température ambiante
		Statut d'utilisation à l'arrêt (Idle)
		Temps d'inactivité
		Distance parcourue
		Heures de fonctionnement de l'équipement
		Vitesse de l'équipement
		Nombre de changement
		Résultat de la pesée
		Utilisation
		Opérationnel
	Hydraulique	Température de l'huile hydraulique
	Direction	Pression de boîte et de la direction
	Carburant	DPF Pression
		DPF Température
		Consommation de carburant (L/h)
		Pourcentage du niveau de carburant
		Position de la pédale d'accélérateur
	Moteur	Demande d'accélération
		Pression d'admission du moteur
		Température du collecteur d'admission du moteur
		Charge moteur
		Pression de l'huile du moteur
		Température de l'huile du moteur
		Pression de la pompe de refroidissement du moteur
		Température du liquide de refroidissement du moteur
		Niveau réservoir du catalyseur
		Vitesse du moteur (RPM)
		Moteur en marche
		Heures de fonctionnement du moteur
		Couple moteur
	Boîte de vitesses	Vitesse actuelle
		Vitesse sélectionnée
		Mode boîte de transmission automatique
		Total de sélection de la 1ère vitesse
		Total de sélection de la 2ème vitesse
		Total de sélection de la 3ème vitesse
		Total de sélection de la 4ème vitesse
		Total de sélection de la 5ème vitesse
		Total de sélection de neutre
		Heures de transmission
		Pression de l'huile de transmission
		Température de l'huile de transmission
		Retardateur de transmission en fonction
		Contrôle du retardateur de la transmission
		Température de sortie de l'huile de transmission
		Température de l'huile de la boîte de réception
	Freins	Pression du circuit des freins
		Température de l'huile hydraulique des freins
		Pression de freinage de l'essieu avant
		Pression de freinage de l'essieu arrière
	Pneus	Pression de pneu avant gauche
		Pression de pneu arrière gauche
		Pression de pneu avant droit
		Pression de pneu arrière droit
Interne	Informations sur l'équipement	Modèle
		Numéro de série
		Description
		Prix de l'équipement
		Date d'acquisition
Ambra et Imagine	Emplacement	Date d'entrée en service
		Niveau
		Secteur
Centric	Temps sans production	Temps d'évacuation des gaz

3.2.2 Efficacité globale

Afin de permettre le calcul des paramètres des équations du OEE, différentes manipulations ont dû être effectuées afin de transformer les données primaires présentées au Tableau 3.2 en valeurs exploitables. Dans la section suivante, la manière dont les différents paramètres ont été créés sera expliquée en détail afin de permettre la reproduction de la situation.

3.2.2.1 Temps de calendrier

Le temps de calendrier varie selon la période de l'évaluation de l'efficacité de l'équipement. Par exemple sur une année, il y aura 8760 heures tandis que lorsque le calcul est réalisé sur une durée d'une semaine, il y aura 168 heures.

3.2.2.2 Temps non planifiés

Pour ce qui est du temps non planifié, les temps d'évacuation des gaz suite aux dynamitages ont été pris en compte. Le temps non planifié regroupe les moments lorsque les machines ne peuvent pas opérer. Autrement dit, c'est un temps où il n'y avait pas de production planifiée.

Suite aux discussions avec l'équipe d'ingénierie de la mine Meliadine, il a été possible de déterminer une manière d'obtenir le temps d'évacuation des gaz après chaque dynamitage. Tout d'abord, il est important de comprendre le processus de clairance des gaz de la mine. La figure suivante présente le processus d'évacuation des gaz de la mine Meliadine:

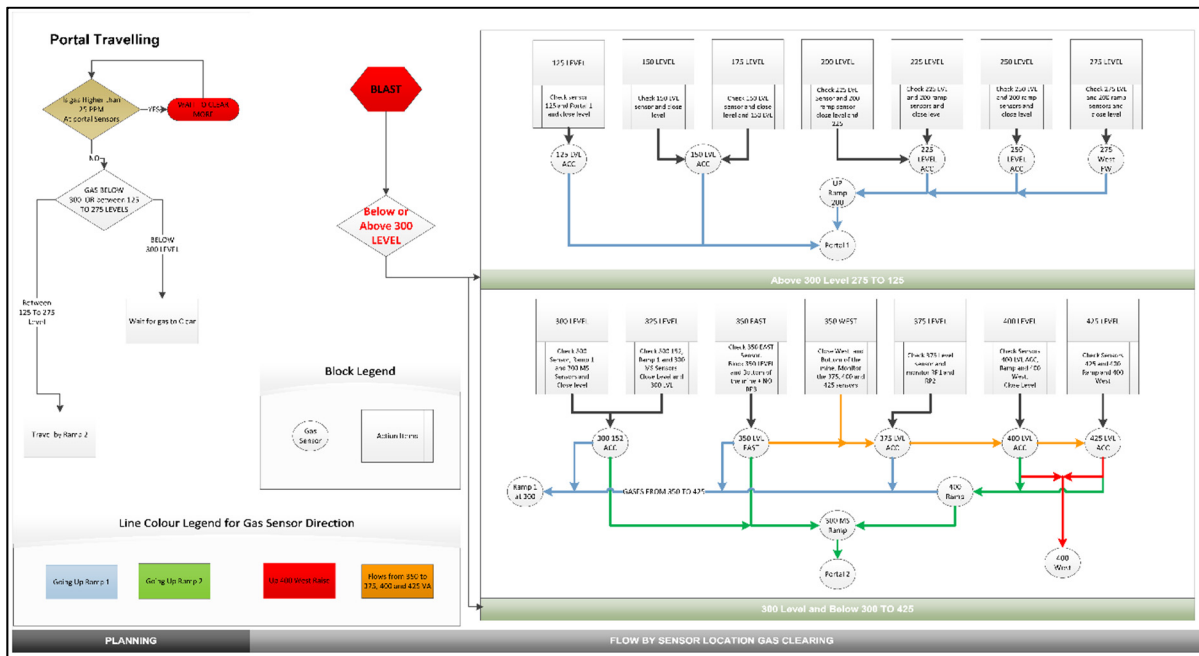


Figure 3.3 Processus d'évacuation des gaz de la mine Meliadine

Suite à l'évacuation des travailleurs de la mine, le dynamitage est effectué. Des capteurs détectent le niveau de monoxyde de carbone et de dioxyde d'azote. Lorsque les niveaux sont en dessous de 25 ppm pour le monoxyde de carbone et de 3 ppm pour le dioxyde d'azote, le personnel responsable de la vérification de gaz doit aller sur place pour s'assurer que les lieux sont libérés de tout gaz. À la fin de la procédure de vérification humaine, les travailleurs peuvent retourner dans la mine souterraine et les travaux peuvent reprendre sur le terrain.

Bien qu'il serait intéressant de déterminer le temps d'évacuation du gaz entre le dynamitage et les zones clairées par les capteurs, dans le projet suivant nous allons prendre en compte le temps de vérification humaine puisque cela fait partie d'une procédure de sécurité de la mine. Alors, dans le cadre de ce projet le temps d'évacuation des gaz sera calculé à partir du dynamitage jusqu'à la fin des procédures de vérification. Les données de temps sont entrées dans Centric par les vérificateurs de gaz après l'opération. Les valeurs présentes dans le calcul du OEE seront prises directement de Centric.

3.2.2.3 Temps d'arrêt pour maintenance

Le temps d'arrêt pour maintenance a été déterminé à l'aide de la localisation du camion fourni par les bornes Anchor. Les équipements en maintenance peuvent se trouver à différents endroits. Il y a un garage souterrain et un autre à la surface. De plus, il y a des stationnements longs et courts termes pour les camions en attente de pièces. Les images suivantes illustrent les différents emplacements des bornes de localisation Anchor permettant la détection des équipements en maintenance.



Figure 3.4 Borne de localisation à l'intérieur du garage à la surface

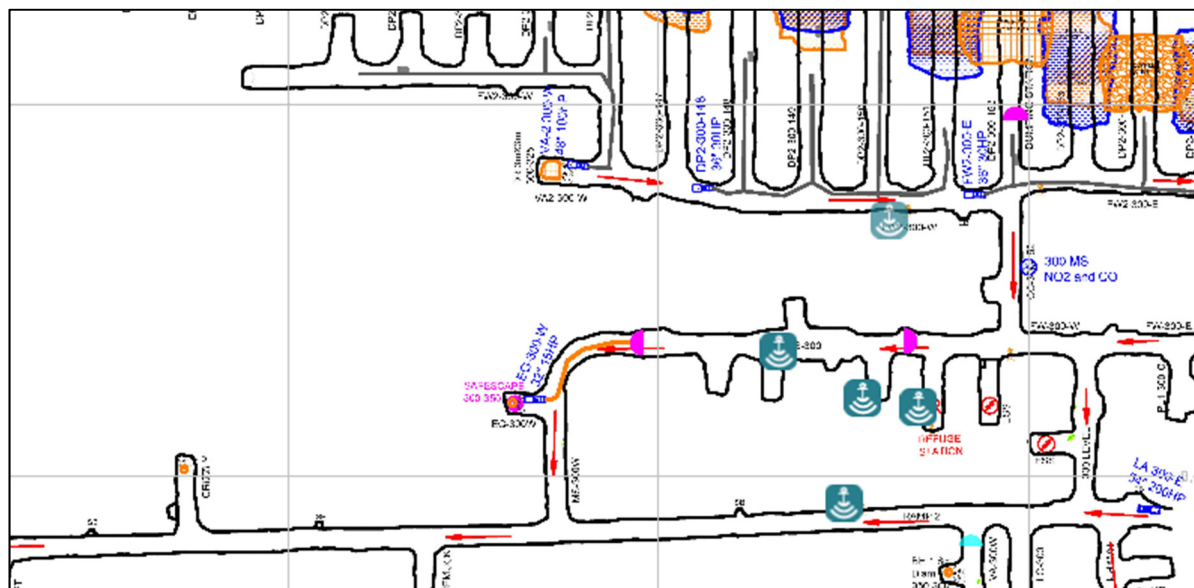


Figure 3.5 Borne de localisation à l'intérieur du garage souterrain (Niveau 300)

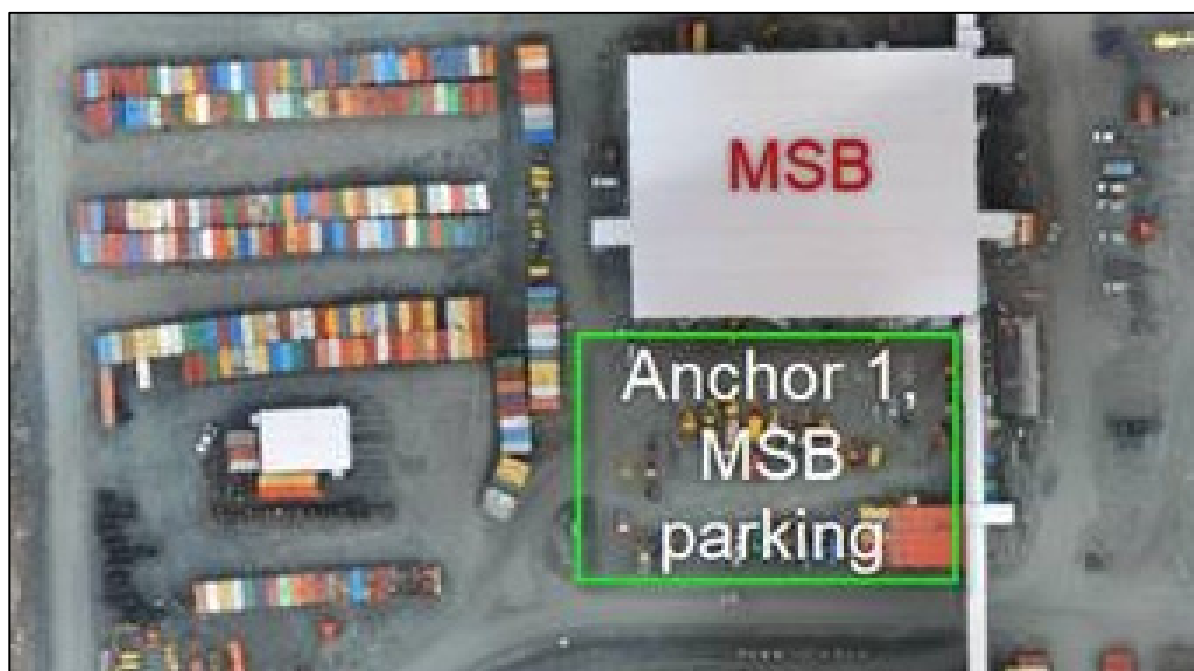


Figure 3.6 Borne de localisation à l'extérieur du garage à la surface

Il est important de préciser qu'au commencement du projet, une borne était présente dans les garages. Suite aux rencontres avec le département de la maintenance, une demande pour installer un détecteur de positionnement dans le stationnement à l'extérieur du garage a été réalisée. La nouvelle borne permet maintenant de détecter les camions stationnés pour le court et long terme en dehors du garage en attente des pièces. Cela a eu pour effet d'augmenter les durées de maintenance et la précision du calcul afin d'obtenir une valeur plus représentative de la réalité.

3.2.2.4 Temps d'opération actif

Dans l'étude réalisée, le temps d'opération actif représente les moments lorsque le camion est en mouvement. Autrement dit, lorsque le camion est en opération et n'est pas à l'arrêt. La valeur a été obtenue à l'aide de l'attribut nommé utilisation. Lorsque l'utilisation est égale à deux, la durée est comptabilisée.

3.2.2.5 Qualité de chargement

Au début du projet, l'efficacité de l'équipement devait être mesurée à l'aide des balances présentes dans les véhicules de transport. Par contre, lors de mes rencontres avec le personnel de la maintenance, j'ai appris que présentement les balances ne sont pas fiables puisqu'elles présentent un problème de mise à niveau. Autrement dit, la remise à zéro de la balance n'était pas toujours exacte avant le chargement et après le déchargement des camions. De plus, certains camions ont révélé avoir une balance plus fiable que d'autre. Alors, afin de représenter la situation sans avoir de mauvaises données il a été nécessaire de revoir l'approche pour calculer le tonnage transporté au cours du projet. L'équipe de la mine Meliadine a mis à ma disposition une étude sur les balances afin de combler le manque de précision dans le calcul du OEE. L'étude a été effectuée en fin d'année 2020 par Alexandre Banville. Lors de l'étude une balance pour camion a été louée afin de comparer la pesanteur entre la balance louée et celle présente sur le camion. Le document fait mention que les balances présentes sur les

camions ne donnent pas la bonne valeur. En effet, sur plus de 232 pesées, il a été possible de trouver une différence d'environ 14 % entre la balance louée et la balance sur le camion. Le tableau suivant présente les tests de balance réalisés lors de l'étude.

Tableau 3.3 Étude des balances
Tirée de Banville (2020)

Unit #	AVG Payload	AVG Onboard Scale	Sample Qty	% Difference
65HTR12	41.45	28.00	2	48.04
65HTR13	44.56	38.82	27	14.78
65HTR14	43.48	35.50	18	22.47
65HTR15	41.71	31.06	19	34.28
65HTR17	39.90	30.51	21	30.76
65HTR21	42.21	42.45	8	-0.55
65HTR22	44.80	40.39	48	10.92
65HTR23	43.15	38.37	34	12.45
65HTR24	41.97	40.66	23	3.20
65HTR25	44.75	40.28	32	11.10
Grand Total	43.33	37.85	232	14.47

Suite à la prise de connaissance du document, il était plus pertinent de prendre la moyenne des valeurs provenant de la balance louée afin d'avoir un OEE représentatif de la réalité. Pour le calcul de l'efficacité, il a été nécessaire de prendre des valeurs manuelles plutôt que celles dynamiques en prenant en compte que les camions ont une capacité maximale de 51 tonnes. En utilisant la formule pour calculer l'efficacité, nous obtenons les valeurs présentées dans le tableau suivant.

Tableau 3.4 Étude de la qualité de chargement d'un camion (%)

Numéro de camion	Valeur à la pesée (Tonne)	Efficacité (%)
65HTR12	41,45	81,27
65HTR13	44,56	87,37
65HTR14	43,48	85,25
65HTR15	41,71	81,78
65HTR16	43,33	84,96
65HTR17	39,9	78,24
65HTR21	42,21	82,76
65HTR22	44,8	87,84
65HTR23	43,15	84,61
65HTR24	41,97	82,29
65HTR25	44,75	87,75

Pour ce qui est du camion 65HTR16, puisqu'il n'était pas présent dans l'analyse de la balance, la valeur moyenne a été utilisée (43,33 Tonnes).

3.2.3 Temps de cycle et le nombre de chargements

Les analyses du nombre de chargements effectué au cours d'une certaine période ont été effectuées à l'aide des données de Sandvik (Optimine). Les données du temps de fonctionnement de l'équipement et le nombre de chargements effectué seront prises en compte dans cette partie de projet.

3.2.4 Gestion et suivi des équipements

Les informations de gestion et suivi des équipements ont été déterminées à l'aide des besoins et des données accessibles présents lors de la réalisation du projet. Dans la section suivante, différents indices de l'état des machines participant dans le projet seront présentés sous

différentes catégories. Tout d'abord, les informations de performances étant en lien avec les durées et des distances parcourues. Par la suite, les informations de suivi basé sur les températures seront détaillées. Aussi, les éléments qui font partie de la catégorie des niveaux de liquides seront présentés. Finalement, les informations sur l'état des pneus des équipements seront expliquées.

3.2.4.1 Durées et distances

Les analyses de durées ont été effectuées pour les sites miniers LaRonde, LaRonde Zone 5 et Meliadine. Différentes durées et distances qui jusqu'à présent étaient inconnues des utilisateurs ont été demandées lors de la recherche des besoins. Celles-ci permettront de quantifier le temps passé pour différentes activités du cycle minier.

- Le temps de maintenance (Imagine);
- Les temps d'opération actif (Optimine);
- Les temps passés à l'arrêt (Optimine);
- La distance parcourue (Optimine).

3.2.4.2 Températures

L'analyse de haute température a été effectuée pour les trois sites miniers. La durée dont la machine a été au-dessus d'une certaine température au cours d'une période de temps. Il a été possible de détecter et de compiler les données de dépassement de température suivantes (choisie par la mine) à l'aide des données provenant directement de Sandvik (Optimine) :

- Huile à freins;
- Liquide de refroidissement moteur;
- Huile du moteur;
- Huile hydraulique;
- Huile à transmission.

3.2.4.3 Niveaux des liquides

L'analyse de niveaux des liquides a été réalisée pour les sites LaRonde, LaRonde Zone 5 et Meliadine. Le nombre de fois qu'une machine est tombé en alerte de bas liquide au cours d'une certaine période de temps. Il a été possible de détecter et de compiler les données des niveaux de bas liquides suivantes à l'aide des alertes provenant directement de Sandvik (Optimine) :

- Huile à freins;
- Huile à moteur;
- Liquide de refroidissement moteur.

3.2.4.4 Informations des pneus

Les données provenant des alertes de pneus permettent de savoir lorsqu'il y a une basse pression ou une haute température de pneus. Lorsqu'il y a basse pression ou haute température, cela vient affecter la durée de vie des pneus en augmentant l'usure de celui-ci. Il a été possible de détecter les alertes suivantes :

- Pression des pneus;
- Température des pneus.

3.3 Modélisation du système

La section suivante présente la manière dont les calculs ont été effectués, structurés et analysés dans le Système Pi afin de permettre la visualisation des données.

3.3.1 Indicateurs de performance

Dans le cadre du projet, les indicateurs de performance comprennent l'efficacité ainsi que le temps de cycle du camion de transport.

3.3.1.1 Efficacité globale

Afin de déterminer l'efficacité de chacun des camions de transport, différentes formules reliées à des éléments ont été créées dans Système PI. Les images suivantes présentent les formules et les éléments utilisés afin d'obtenir l'efficacité d'un camion de transport. La figure suivante présente le traitement des informations utilisées pour déterminer la valeur de la disponibilité en pourcentage d'un camion à l'aide du Système PI.

The screenshot shows the 'Formula Configuration' dialog box with the following details:

- Parameters:**
 - A=Duration in Maintenance Prev 24Hours
 - B=Gas Evacuation Duration Prev 24Hours
- Equations:**

$$(((672-B-A)/(672-B))*100)$$
- Result:**
 - UOM: <None>
 - Minimum: []
 - Maximum: []
 - ☐ Stepped
- Buttons:** Evaluate, OK, Cancel

Figure 3.7 Analyse de la disponibilité d'un camion

Il est important d'observer que le calcul a été réalisé sur une base de 672 heures, ce qui correspond à quatre semaines.

La figure suivante présente le traitement des informations utilisé pour déterminer la valeur de l'utilisation en pourcentage d'un camion à l'aide du Système PI.

Formula Configuration

Parameters

- A=Duration in Maintenance Prev 24Hours
- B=Gas Evacuation Duration Prev 24Hours
- C=Production Time Prev 24Hours

☐ Default Values Allowed

Equations

$$\frac{C}{672-B-A} \times 100$$

Result

UOM: <None> Minimum: Maximum: ☐ Stepped

Figure 3.8 Analyse de l'utilisation d'un camion

De la même manière que l'analyse de la disponibilité, le calcul de l'utilisation a été réalisé sur une base de 672 heures, ce qui correspond à quatre semaines.

La figure suivante présente le traitement des informations utilisé pour déterminer la valeur de la qualité de chargement en pourcentage d'un camion à l'aide du Système PI.

Formula Configuration

Parameters

A=AVG Payload

☐ Default Values Allowed

Equations

$(A/51) \times 100$

Result

UOM: <None> Minimum: Maximum: ☐ Stepped

Evaluate

OK Cancel

Figure 3.9 Analyse de la qualité de chargement d'un camion

Le calcul de la qualité de chargement prend en compte un chargement total possible de 51 tonnes.

La figure suivante présente le traitement des informations utilisé pour déterminer le calcul final de l'efficacité globale en pourcentage d'un camion à l'aide du Système PI.

Formula Configuration

Parameters

- A=Availability %
- B=Utilization %
- C=Quality %

☐ Default Values Allowed

Equations

$$((A/100)*(B/100)*(C/100))*100$$

Result

UOM: <None> Minimum: Maximum: ☐ Stepped

Figure 3.10 Analyse de l'efficacité globale d'un camion

Une définition en profondeur des différents paramètres (temps d'opération actif, temps de maintenance et le temps d'évacuation des gaz) sont présenté à la section suivante du document.

3.3.1.2 Temps de cycle

Le temps de cycle des camions a été déterminé à l'aide des données de roulement du moteur de la machine de Sandvik. Lorsque le moteur de l'équipement est en activité, le camion est soit en mouvement ou en attente. La création d'un élément permettant de calculer la durée d'activation du moteur a permis de déterminer le temps d'opération de la machine pour une certaine période. Par la suite, à l'aide de l'élément nombre de chargement obtenu par Sandvik, il est possible de déterminer le nombre de voyages effectué par le camion pour une certaine

période. Le temps d’opération pour une période précise a été obtenu dans PI AF à l’aide de l’analyse présentée à la figure suivante.

PI Point Data Reference

Data server: %Server%

Tag name: Sandvik. %@.. \\. \MINE%. %Element%. Machine Running Hours

Tag Creation

Attribute:

Unit of Measure

Source Units: <Default> (h)

Value retrieval methods

By Time: Time Range

Relative time: -1d

By Time Range: Range

Calculation basis: Time Weighted

Min percent good: 20

Preview

Example instance: [Select example instance](#)

Configuration:

Value:

☒ Read only

OK Cancel

Figure 3.11 Analyse du temps d’opération

L’application de la formule présentée à la figure suivante a permis de déterminer le temps de cycle des camions.

Formula Configuration

Parameters

A=Running_Hours_Prev_24Hours
 B=Number_of_Boxes_Prev_24Hours

☐ Default Values Allowed

Equations

A/B

Result

UOM: h Minimum: Maximum: ☐ Stepped

Evaluate

OK Cancel

Figure 3.12 Analyse du temps de cycle

Il est pertinent de noter que le temps de cycle inclut les temps productifs et les temps non productifs. Les données disponibles dans le cadre du projet ne permettent pas de séparer le temps productif du temps non productif. Alors, la valeur présentée inclut les délais ainsi que les temps d'attentes aux sites de chargement et de déchargement.

3.3.2 Gestion et suivi des équipements

Dans la section suivante, l'analyse des différents indices de l'état des machines participant dans le projet sera expliquée sous différentes catégories. Tout d'abord, les informations de performances étant en lien avec les durées et des distances parcourues. Par la suite, les informations de suivi basé sur les températures seront détaillées. Aussi, les éléments qui font

partie de la catégorie des niveaux de liquides seront présentés. Finalement, les informations sur l'état des pneus des équipements seront expliquées.

3.3.2.1 Durée et distances

Tout d'abord, le temps passé au garage a été déterminé à l'aide de la position de l'équipement. Lorsque le système imagine détecte l'équipement dans les garages ou le stationnement extérieur, les durées sont compilées pour ensuite déterminer le temps de maintenance. Le temps de maintenance a été obtenu dans le Système PI à l'aide de l'analyse de positionnement présenté à la figure suivante.

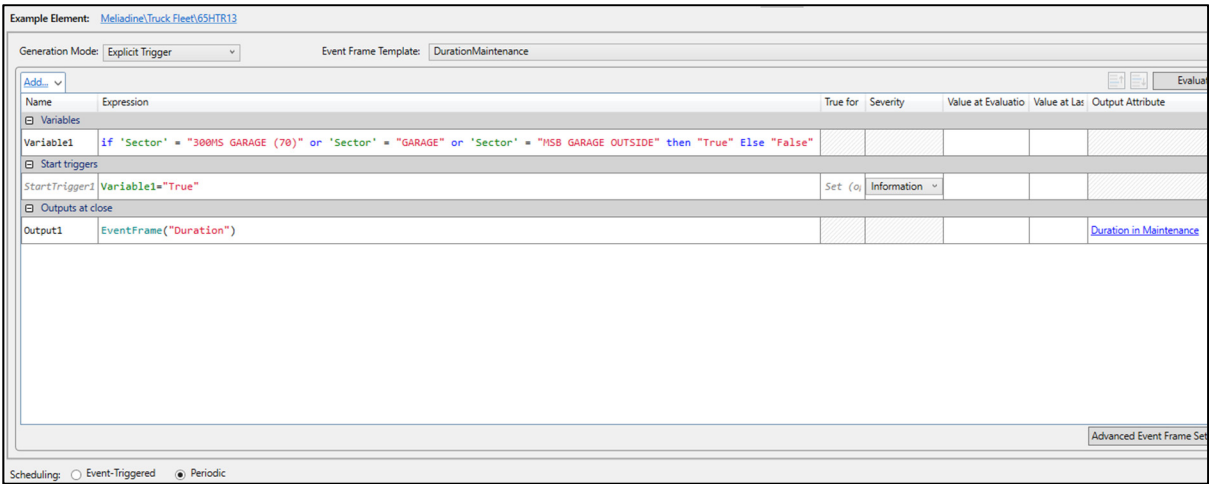


Figure 3.13 Analyse du temps de maintenance

Ensuite, le temps d'opération actif a été déterminé à l'aide des données provenant de Sandvik (Optimine). Le temps d'opération actif a été obtenu dans PI AF à l'aide de l'analyse présentée à la figure suivante.

Example Element: [Meladine\Trucks\65HTR13](#)

Generation Mode: Explicit Trigger Event Frame Template: HT_DurationWorking

[Add](#) ▾

Name	Expression	True for	Severity	Value at Evaluation	Value at Last Trigger	Output Attribute
Start triggers						
StartTrigger1	'Utilization'>2	Set (optional)	Information ▾			
Outputs at close						
Output1	EventFrame("Duration")					Production Time

Scheduling: ☒ Event-Triggered ☐ Periodic

Figure 3.14 Analyse du temps d'opération actif

Lorsque l'utilisation est égale au chiffre deux, l'équipement est en mouvement. Alors il est possible de déterminer le temps dont la machine a été en mouvement qui représente le temps productif de l'équipement.

Par la suite, le temps productif du camion a été mis sur une durée de 24 heures à l'aide de la formulation présentée à la figure suivante.

PI Point Data Reference

Data server: caq9pi02

Tag name: FMS. %\Element%. %Element%.Production Time

☐ Tag Creation

Attribute:

Unit of Measure

Source Units: s

Value retrieval methods

By Time: Time Range

Relative time: -1d

By Time Range: Total

Calculation basis: Event Weighted

Min percent good: 20

Preview

Example instance: [Select example instance](#)

Configuration:

Value:

☒ Read only

OK Cancel

Figure 3.15 Analyse du temps productif au cours des dernières 24 heures

Aussi, la durée passée à l'arrêt est définie comme étant la durée dont le moteur de la machine est en fonction, mais que la machine n'est pas en mouvement. Ceci peut être analysé en égalisant le temps d'inactivité au chiffre un dans l'analyse présentée à la figure suivante.

Example Element: [Meladinet.Trucks65HTR13](#)

Generation Mode: Explicit Trigger Event Frame Template: HT_DurationIdle

[Add](#) ▾

Name	Expression	True for	Severity	Value at Evaluation	Value at Last Trigg	Output Attribute
Start triggers						
StartTrigger1	'Idle' = 1	Set (optional)	Information			
Outputs at close						
Output1	EventFrame("Duration")					Duration in Idle

Scheduling: ☒ Event-Triggered ☐ Periodic

Figure 3.16 Analyse du temps d'arrêt

Finalement pour la distance parcourue, la valeur a été obtenue directement de Sandvik (Optimine). La valeur obtenue a ensuite été évaluée sous forme d'intervalle dans le logiciel PI Vision.

3.3.2.2 Températures

Pour ce qui est des durées de haute température de l'huile à freins, liquide de refroidissement moteur, l'huile du moteur, l'huile hydraulique et l'huile à transmission, les données ont été obtenues directement de Sandvik (Optimine). Les valeurs maximales pour les températures ont été choisies par l'équipe de la mine LaRonde et LaRonde Zone 5. Puisque l'environnement d'opération est différent pour les deux sites miniers, les valeurs maximales sont différentes. Le tableau suivant représente les températures maximales utilisées dans le cadre du projet.

Tableau 3.5 Températures élevées pour les sites LaRonde et LaRonde Zone 5

Éléments	Températures maximales selon le site minier (°C)	
	LaRonde	LZ5
Huile freins	70	60
Refroidissement moteur	105	105
Huile moteur	115	115
Huile hydraulique	70	60
Huile transmission	110	110

Les durées à haute température ont été analysées dans PI AF à l’aide de la formule présentée à l’image suivante.

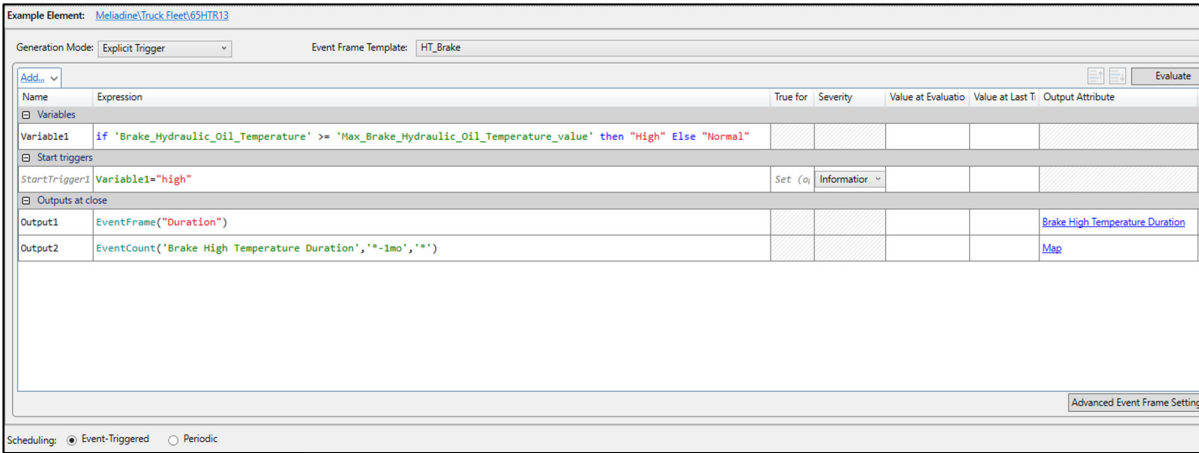


Figure 3.17 Analyse de la durée en haute température

La formulation présentée à l’image précédente représente l’analyse de durée pour la température d’huile à freins. Pour les autres indices, la procédure demeure la même de celle présentée ci-dessus.

3.3.2.3 Niveaux des liquides

Les analyses de comptage de bas niveau des liquides ont été réalisées selon la méthodologie présentée à l’image suivante.

3.3.2.4 Informations des pneus

Example Element: MeladineTrucks65HTR14

Generation Mode: Explicit Trigger Event Frame Template: HT_Tire

Name	Expression	True for	Severity	Value at Evaluation	Value at Last Trigger
<input type="checkbox"/> Start triggers					
StartTrigger1	'Notice'='Pression très basse pneu AVG' Or 'Notice'='Pression très basse pneu AVD' Or 'Notice'='Pression très basse pneu ARG' Or 'Notice'='Pression très basse pneu ARD' Or 'Notice'='Fuite pneu AR G détectée' Or 'Notice'='Fuite pneu AV G détectée' Or 'Notice'='Fuite pneu AV D détectée' Or 'Notice'='Pression basse pneu ARG' Or 'Notice'='Pression basse pneu AVD' Or 'Notice'='Pression basse pneu AVG' Or 'Notice'='Left front tyre pressure low' Or 'Notice'='Right front tyre pressure low' Or 'Notice'='Left rear tyre pressure very low' Or 'Notice'='Right rear tyre pressure very low' Or 'Notice'='Left front tyre pressure very low' Or 'Notice'='Right front tyre pressure very low' Or 'Notice'='Left front tyre leak detected' Or 'Notice'='Right front tyre leak detected' Or 'Notice'='Left rear tyre pressure very low' Or 'Notice'='Right rear tyre pressure very low' Or 'Notice'='Left rear tyre leak detected' Or 'Notice'='Right rear tyre leak detected'	Set (optional)	Information		

Scheduling: ☒ Event-Triggered ☐ Periodic

Trigger on: Any Input

Figure 3.19 Analyse de basse pression des pneus

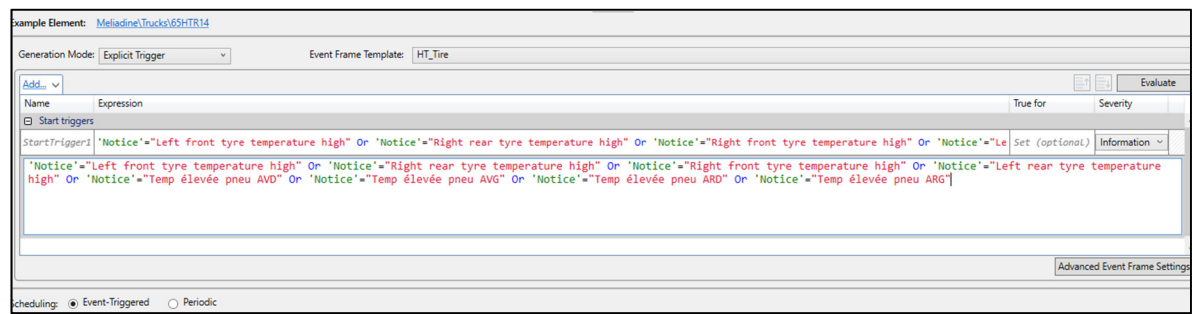


Figure 3.20 Analyse de haute température des pneus

Les différents codes pour les notices des équipements ont été pris à l’aide de l’outil PI SQL Commander Lite.

3.3.2.5 Qualité des données

Pour permettre la visualisation des données, des tableaux de bord ont été créés pour permettre de suivre la connexion des équipements miniers pour les sites Meliadine, LaRonde et LaRonde Zone 5. Le suivi des délais de connexion permet de maintenir le système et d’alerter lorsqu’une machine n’a pas été connectée à l’internet depuis un certain moment. Aussi cela permet d’obtenir des données plus précises à court terme. Autrement dit, si une machine ne s’est pas connectée depuis plus d’une semaine, cela influencera la valeur du OEE et le calcul ne sera pas représentatif de la réalité si nous souhaitons faire le calcul du OEE pour les 7 derniers jours. La figure suivante présente les formules utilisées dans le Système PI qui ont permis la création de l’analyse de suivi de la connectivité des équipements.

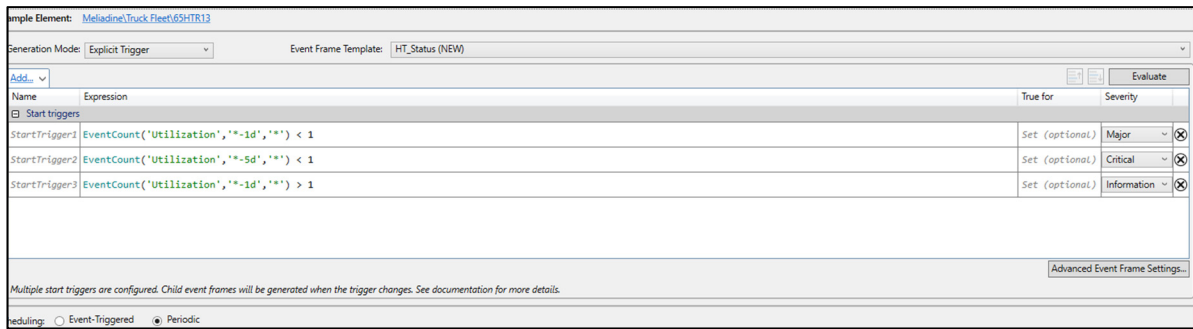


Figure 3.21 Analyse de la connectivité des équipements

3.4 Résultats du système

La partie suivante présente les résultats du système sous la forme de tableaux de bord afin de permettre la visualisation de l'information.

3.4.1 Indices de performances

Dans le cadre du projet, les indices de performance comprennent l'efficacité ainsi que le temps de cycle du camion de transport.

3.4.1.1 Efficacité globale

La section suivante présente le résultat du système qui permet la visualisation des données de l'efficacité des camions pour les utilisateurs du site minier Meliadine. Les tableaux de bord représentent une durée de 28 jours qui s'étale sur plusieurs mois.

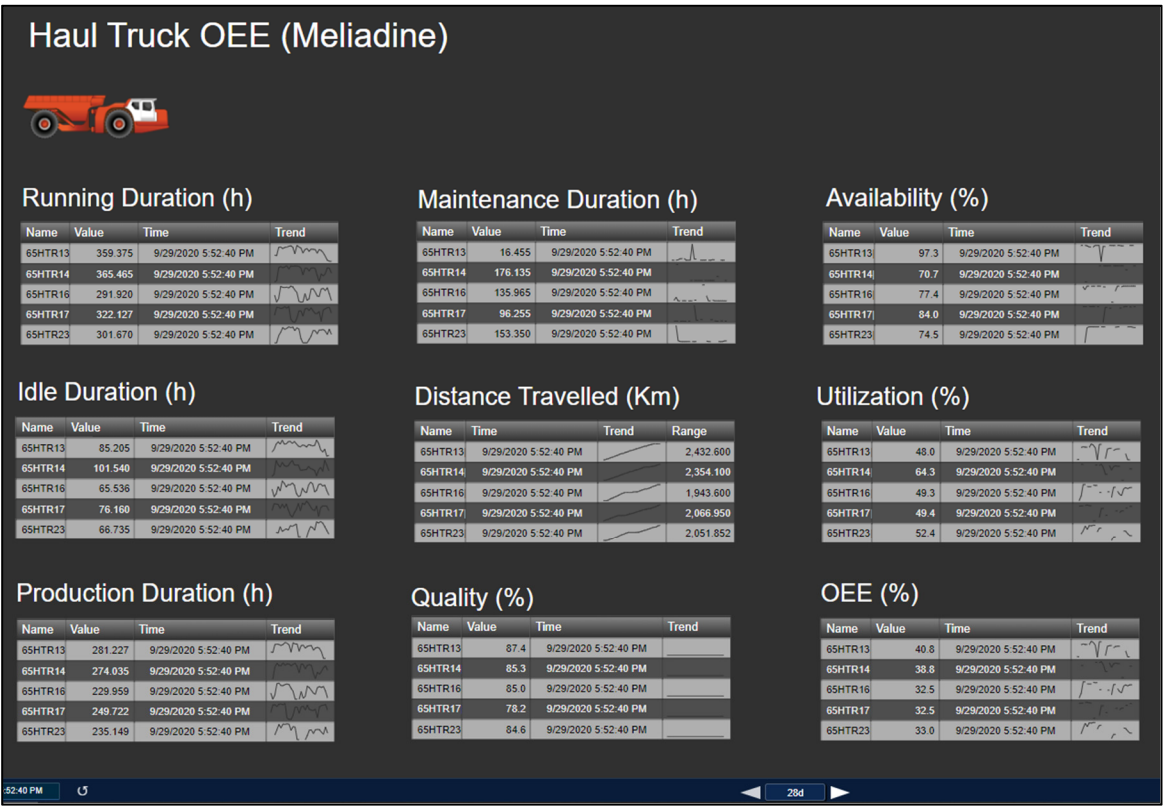


Figure 3.22 Tableau de bord du OEE pour le mois de septembre 2020

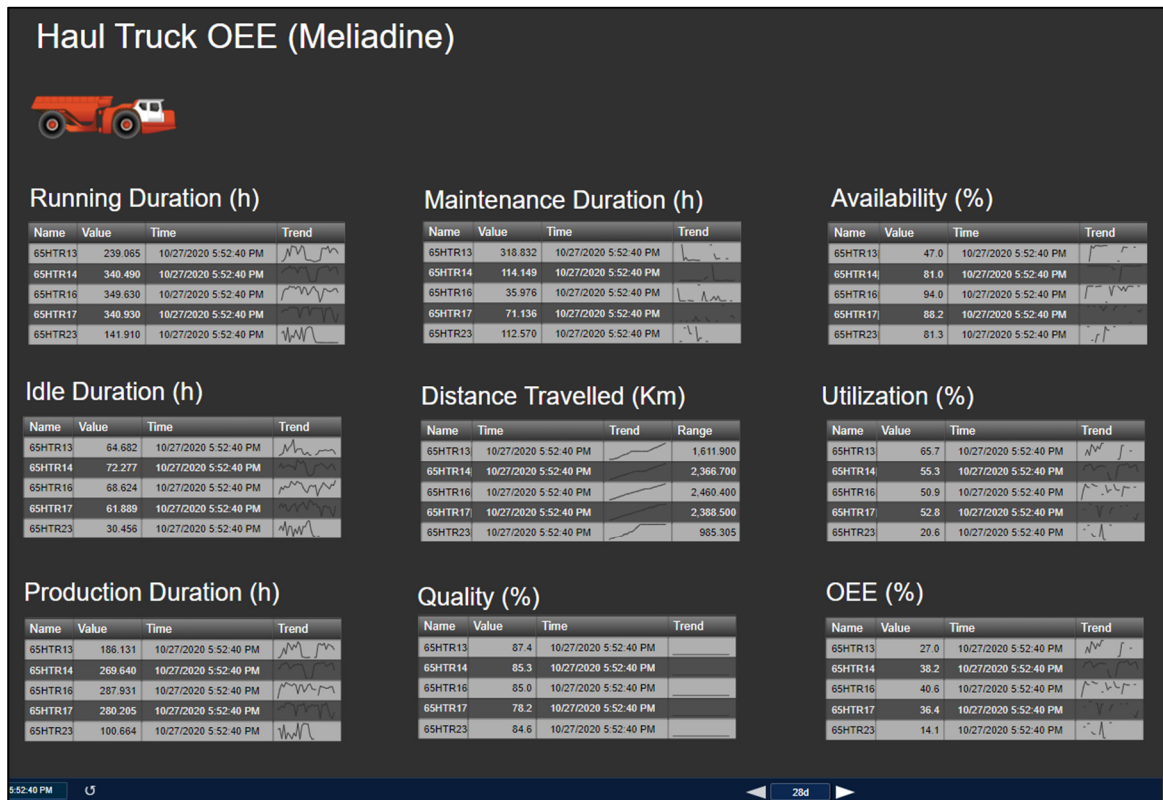


Figure 3.23 Tableau de bord du OEE pour le mois d'octobre 2020

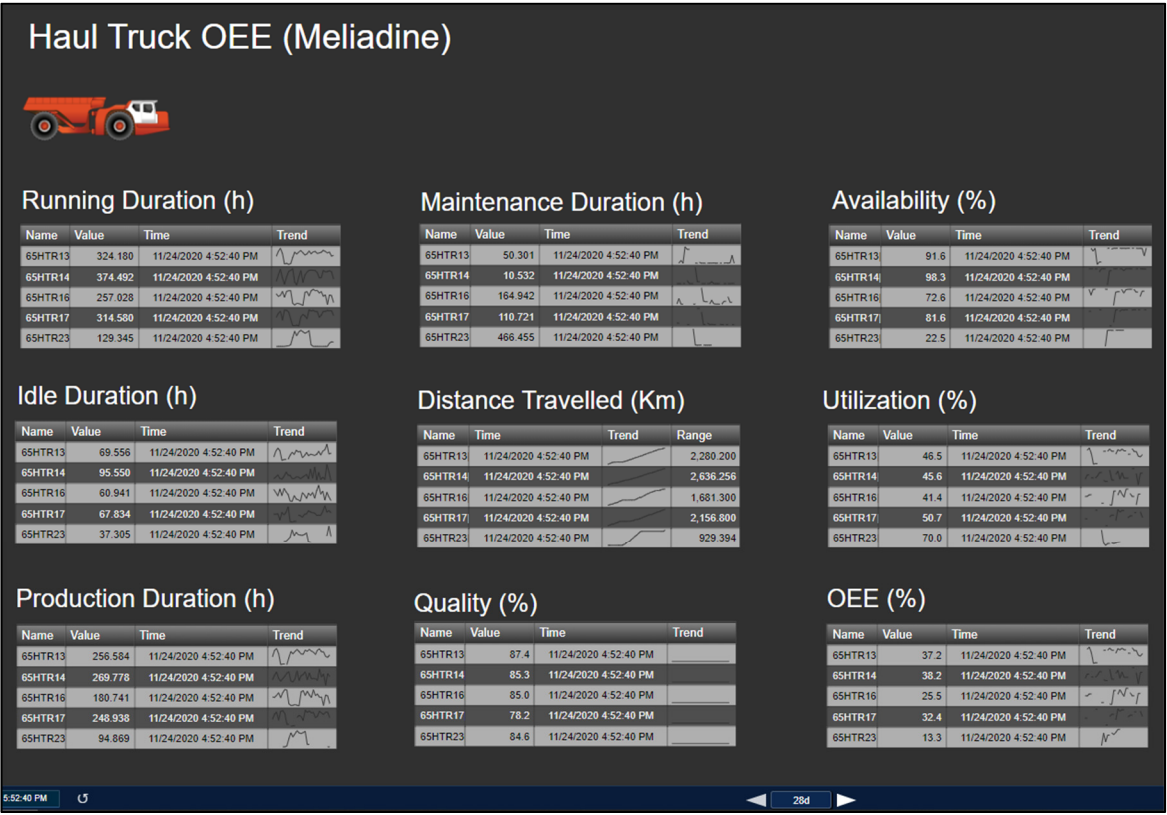


Figure 3.24 Tableau de bord du OEE pour le mois de novembre 2020

3.4.1.2 Temps de cycle

La section suivante présente le résultat du système qui permet la visualisation des données du temps de cycle des camions pour les utilisateurs de la mine Meliadine. Les tableaux de bord représentent des données sur un échantillon de 31 jours.

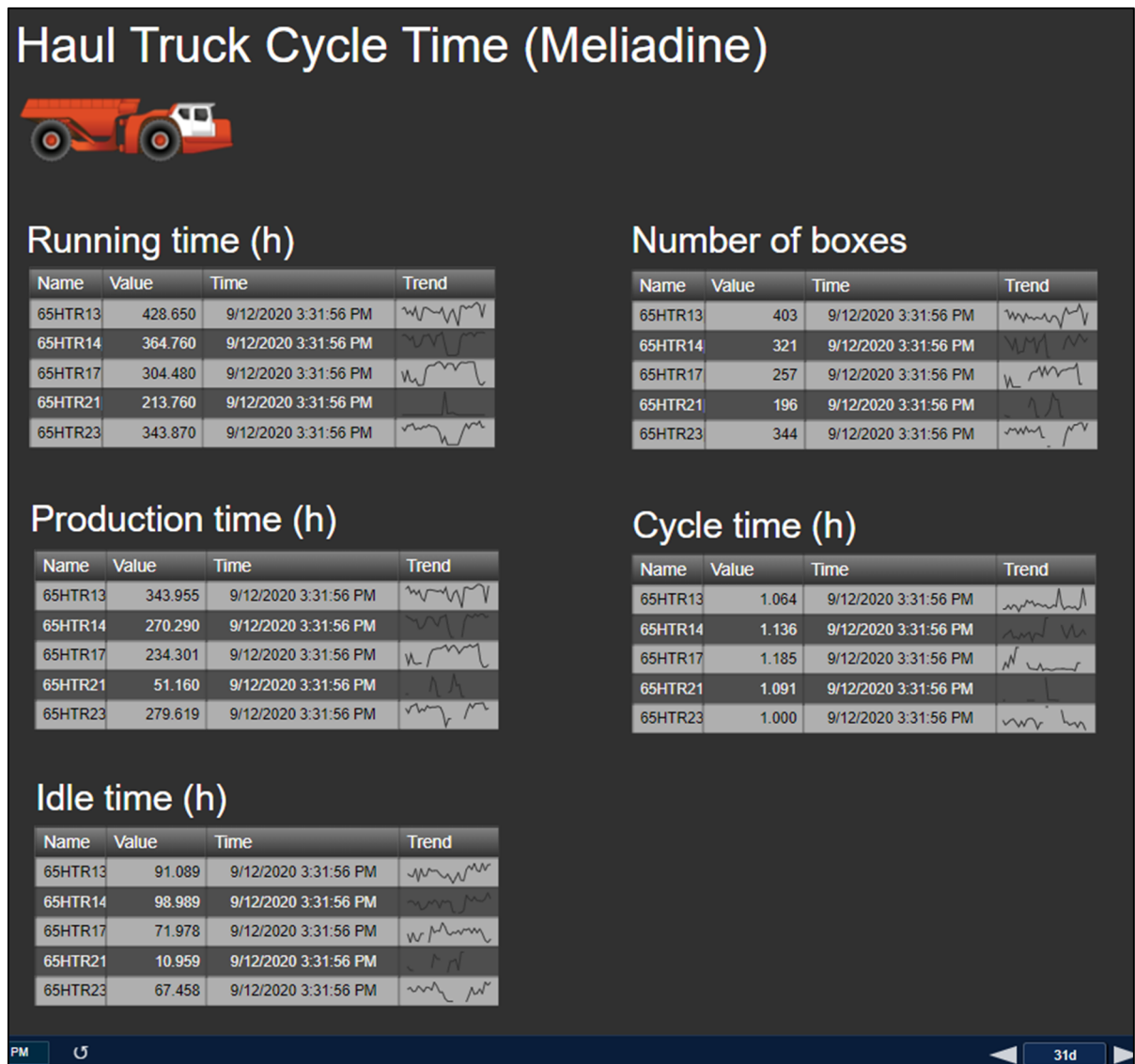


Figure 3.25 Tableau de bord pour les temps de cycle de la mine Meliadine

Les temps de cycle pour les camions des sites miniers LaRonde et LaRonde Zone 5 sont représentés aux figures suivantes.

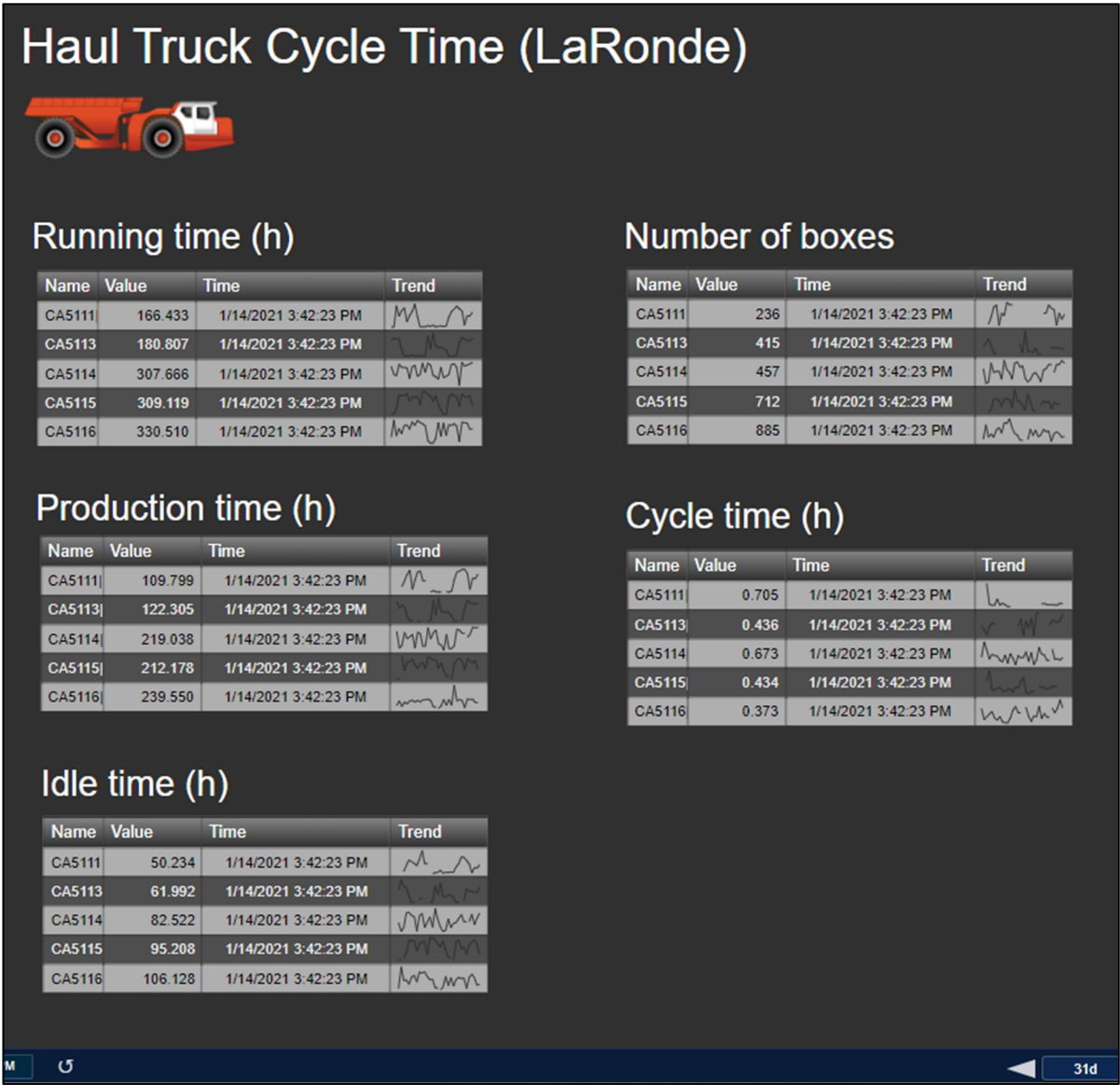


Figure 3.26 Tableau de bord pour les temps de cycle de LaRonde

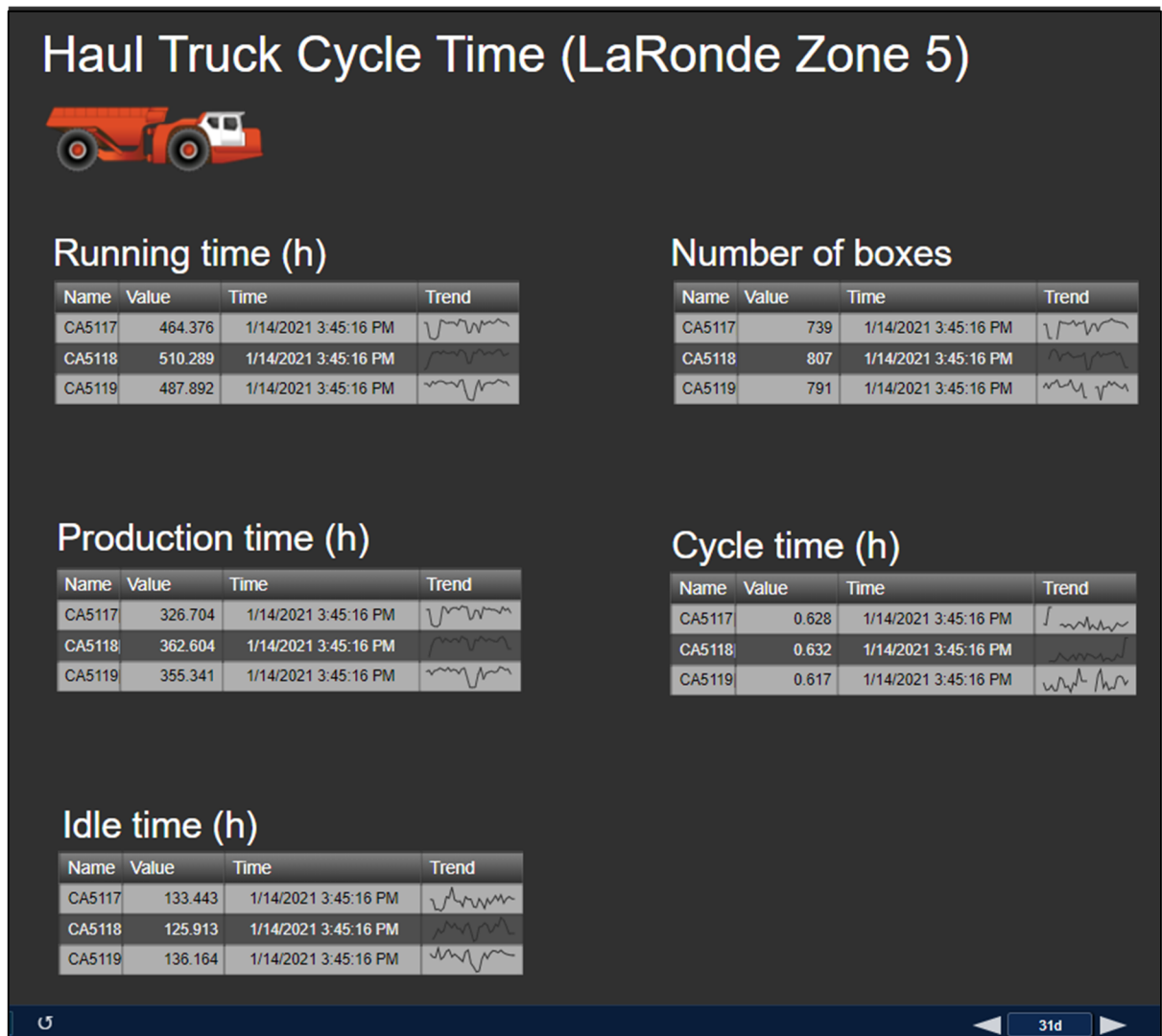


Figure 3.27 Tableau de bord pour les temps de cycle de LaRonde Zone 5

Dans les tableaux présentés ci-haut, dans la partie gauche du tableau de bord, il est possible de voir les données de temps (durée lorsque le moteur est en roulement, durée lorsque le camion est en mouvement et la durée lorsque le moteur est ouvert, mais le camion n'est pas en mouvement) pour chacun des camions de transports. À la droite du tableau de bord, les informations sur le nombre de chargements effectués et le temps de cycle de chacun des camions sont présentées. Le tout est évalué sur une période d'un mois (31 jours).

Il est possible d'observer que les temps de cycle des sites minier LaRonde et Laronde Zone 5 sont plus courts que ceux de la mine Meliadine. En effet, la mine Meliadine est présentement plus profonde que le site minier LaRonde Zone 5. L'exploitation à Meliadine se réalise présentement entre trois-cents et cinq-cents mètres sous terre tandis qu'à la mine LaRonde Zone 5 l'exploitation est entre deux-cents et quatre-cents mètres. Cela explique la différence entre les durées de temps de cycle dans les différentes mines. Pour ce qui est de LaRonde, l'exploitation se rend à plus de trois kilomètres sous terre. Par contre, contrairement aux deux autres sites miniers, la mine utilise un puits minier afin de monter les matériaux à la surface, ce qui diminue grandement le temps de déplacement des camions.

3.4.2 Gestion et suivi des équipements

3.4.2.1 Durées et distances

Les indices de performance pour les durées et les distances ont été représentés dans un tableau de bord afin de permettre la visualisation des données. Le tableau de bord comprenant les indices de performance des durées et des distances pour la mine Meliadine est présenté à la figure suivante. De plus, les données ont été présentées pour une période s'écoulant sur une durée d'un mois (31 jours).

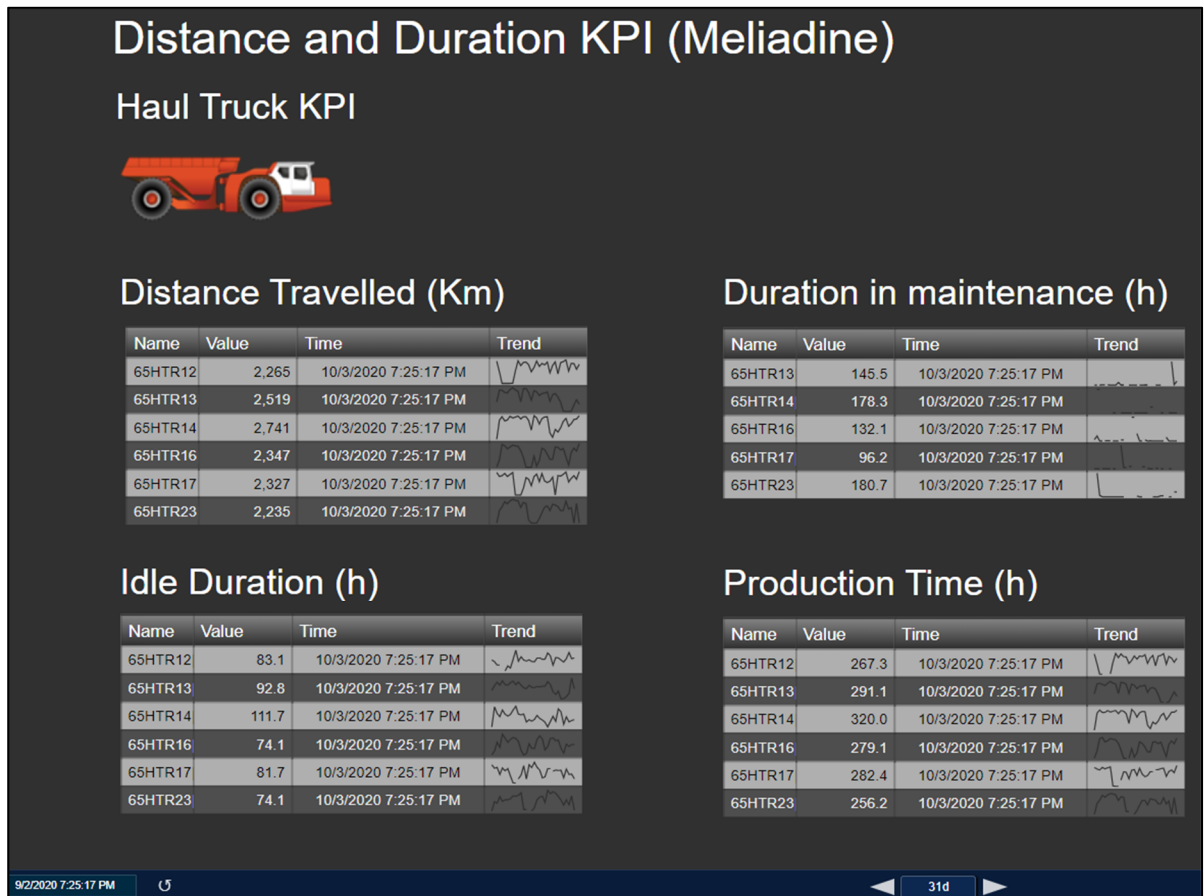
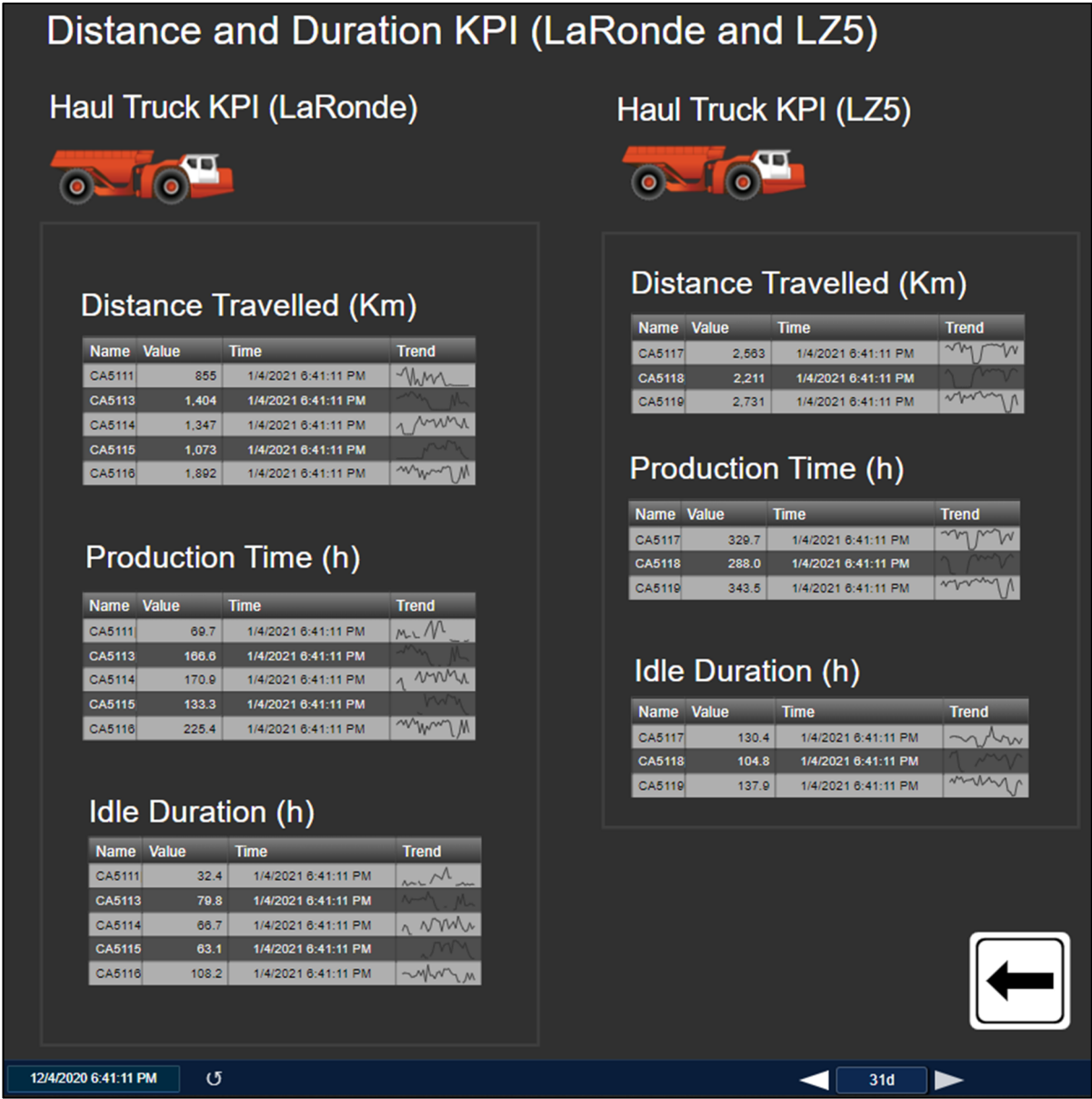


Figure 3.28 Tableau de bord pour les données des durées et distances de Meliadine

Le tableau de bord comprenant les indices de performances pour les durées et les distances des sites miniers LaRonde et LaRonde Zone 5 est présenté à la figure suivante. La distance parcourue, le temps de production et le temps passé à l'arrêt sont présentés. De plus, les données ont été présentées pour une période de 31 jours.



performance du dépassement de température normale pour la mine Meliadine est présenté à la figure suivante. Les données ont été présentées pour une période de trois mois.

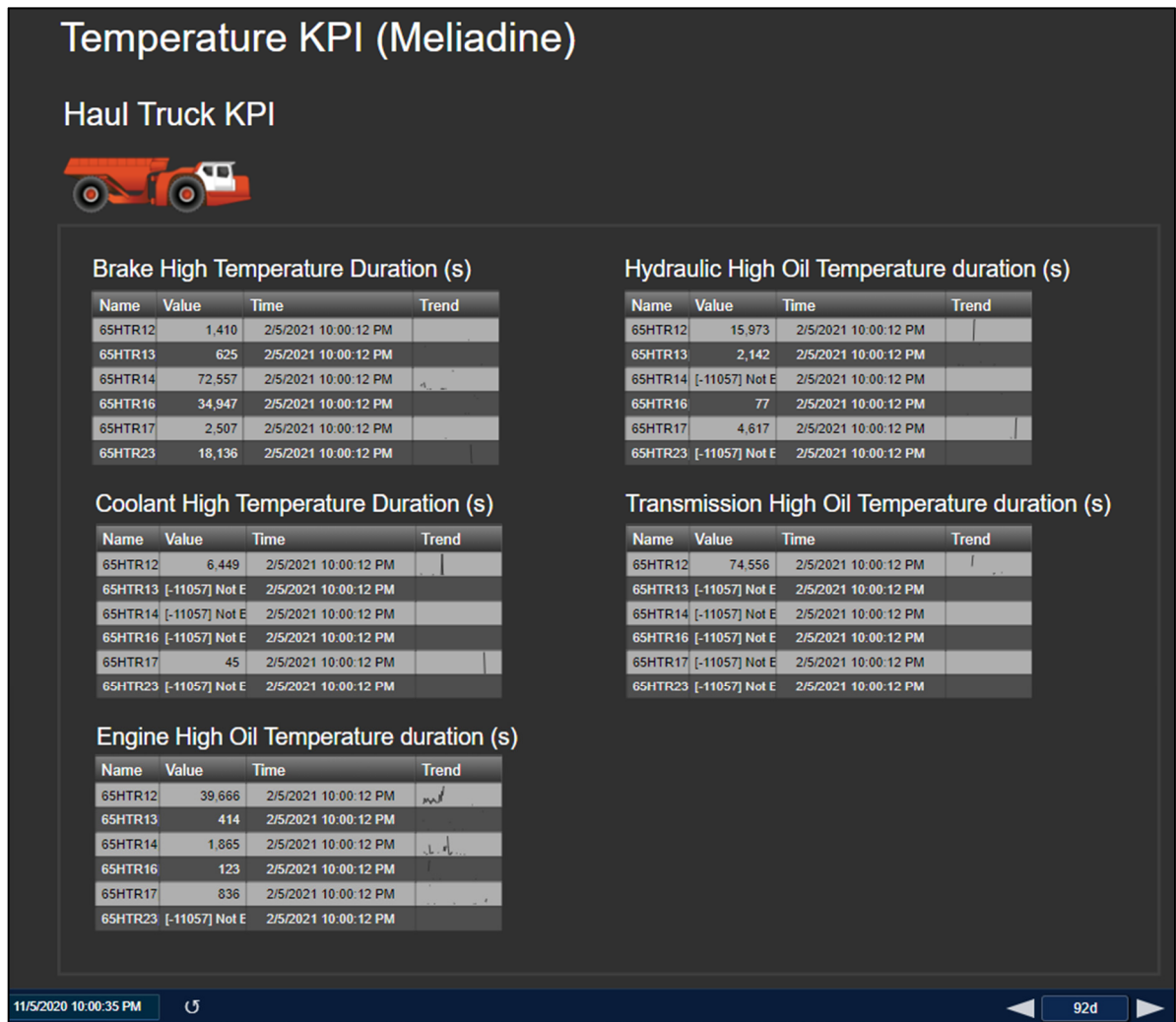


Figure 3.30 Tableau de bord pour les données de hautes températures de la mine Meliadine

Dans la partie gauche du tableau de bord, il est possible de retrouver les informations de la durée de dépassement de température pour l'huile des freins, le liquide de refroidissement et l'huile du moteur en seconde pour une durée de trois mois. Tandis que, dans la partie de droite du tableau de bord nous retrouvons les informations de la durée de dépassement de température pour l'huile hydraulique et l'huile de transmission en seconde pour une durée de trois mois.

Le tableau de bord comprenant les indices de performances des hautes températures pour les sites miniers LaRonde et LaRonde Zone 5 est présenté à la figure suivante. Les données ont été présentées pour une période d’une durée de trois mois.



Figure 3.31 Tableau de bord pour les données de hautes températures des sites miniers LaRonde et LaRonde Zone 5

Dans la partie gauche du tableau de bord, il est possible de retrouver les informations sur durée de dépassement de température pour les camions de transports du site minier LaRonde et dans la partie de droite nous retrouvons les durées de dépassement de température pour les camions de transports du site minier LaRonde Zone 5. Lorsqu'il n'y a pas de données affichées, cela signifie que la durée de dépassement de la température normale est égale à zéro. Autrement dit, il n'y a pas de dépassement de température.

3.4.2.3 Niveaux des liquides

Les compilations des notifications pour les niveaux de bas liquides ont été notées dans un tableau de bord afin de faciliter la visualisation des données. Le tableau de bord comprenant les indices de détection de bas liquides pour la mine Meliadine est présenté à la figure suivante. Les données sont présentées pour une période de trois mois.



Figure 3.32 Tableau de bord pour les données de bas niveau des liquides de la mine Meliadine

À la figure ci-dessus, les informations pour la détection de bas niveau des liquides d’huile à freins, de l’huile à moteur et de liquide de refroidissement sont présentées pour les camions de transports.

Les compilations des notifications pour les niveaux de bas liquides ont été notées dans un tableau de bord afin de permettre la visualisation des données. Le tableau de bord comprenant

les indices de détection de bas liquides pour les mines LaRonde et la Zone 5 de LaRonde est présenté à la figure suivante.

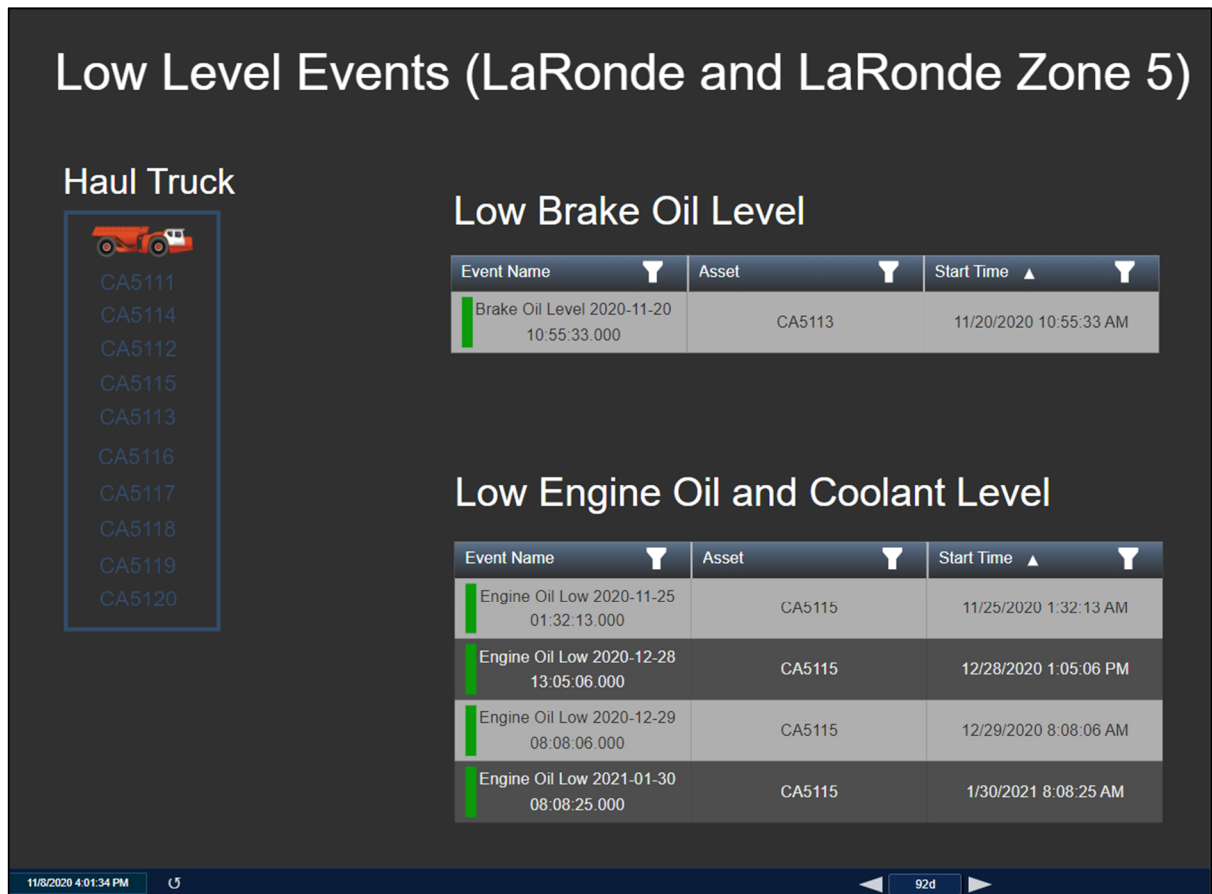


Figure 3.33 Tableau de bord pour les données de bas niveau des liquides pour les mines LaRonde et LaRonde Zone 5

À la figure ci-dessus, les informations pour la détection de bas niveau des liquides d'huile à freins, de l'huile à moteur et de liquide de refroidissement sont présentées pour les camions de transports.

3.4.2.4 Données des pneus

À la section suivante, des exemples d'alertes pour les températures et pressions de pneus sont présentés. Cet exercice a été réalisé pour une période précise à l'aide du logiciel Pi SQL Commander Lite. À la figure suivante, les données pour l'élément *Notice* permettent de visualiser les hausses de température pour un camion à la mine Meliadine.

```

SELECT eh.Name Element, a.Name Attribute, ar.TimeStamp, ar.Value
FROM Master.Element.ElementHierarchy eh
INNER JOIN Master.Element.Attribute a ON a.ElementID = eh.ElementID
INNER JOIN Master.Element.Archive ar ON ar.AttributeID = a.ID
INNER JOIN Master.Element.AttributeCategory ac ON ac.AttributeID = a.ID
WHERE ac.Attribute = 'Notice'
And eh.Path = '\Meliadine\Trucks\'
AND ar.TimeStamp BETWEEN '2020-10-11' AND '2020-11-15'

```

	Element	Attribute	TimeStamp	Value
1	65HTR17	Notice	2020-10-11 10:45:46.000	Load Pin Right FS2 does not send PDO message (signal value is missing)
2	65HTR17	Notice	2020-10-11 23:48:41.000	Load Pin Left FS1 sensor is missing from the bus
3	65HTR17	Notice	2020-10-11 23:48:42.000	Inclinometer is missing from the bus
4	65HTR17	Notice	2020-10-12 13:12:22.000	Load Pin Right FS2 does not send PDO message (signal value is missing)
5	65HTR17	Notice	2020-10-12 13:12:22.000	Inclinometer missing
6	65HTR17	Notice	2020-10-12 13:12:22.000	Load Pin Left FS1 does not send a PDO message (signal value is missing)
7	65HTR17	Notice	2020-10-12 13:12:35.000	Inclinometer is missing from the bus
8	65HTR17	Notice	2020-10-12 13:12:35.000	Load Pin Left FS1 sensor is missing from the bus
9	65HTR17	Notice	2020-10-12 13:12:35.000	Load Pin Right FS2 is missing from the bus
10	65HTR17	Notice	2020-10-14 07:49:48.000	Inclinometer missing
11	65HTR17	Notice	2020-10-14 07:49:48.000	Load Pin Left FS1 does not send a PDO message (signal value is missing)
12	65HTR17	Notice	2020-10-14 07:49:48.000	Load Pin Right FS2 does not send PDO message (signal value is missing)
13	65HTR17	Notice	2020-10-14 23:18:30.000	Load Pin Right FS2 does not send PDO message (signal value is missing)
14	65HTR17	Notice	2020-10-14 23:18:30.000	Load Pin Left FS1 does not send a PDO message (signal value is missing)
15	65HTR17	Notice	2020-10-14 23:18:30.000	Inclinometer missing
16	65HTR17	Notice	2020-10-15 17:33:26.000	Delayed engine shutdown aborted - Door open
17	65HTR17	Notice	2020-11-07 21:21:56.000	Left front tyre temperature high
18	65HTR17	Notice	2020-11-07 21:24:30.000	Right rear tyre temperature high
19	65HTR17	Notice	2020-11-07 21:24:58.000	Right front tyre temperature high
20	65HTR17	Notice	2020-11-07 22:02:03.000	Left rear tyre temperature high
21	65HTR17	Notice	2020-11-10 14:21:12.000	Right front tyre temperature high
22	65HTR17	Notice	2020-11-10 14:23:20.000	Right rear tyre temperature high
23	65HTR17	Notice	2020-11-10 14:23:38.000	Left front tyre temperature high
24	65HTR17	Notice	2020-11-10 14:24:33.000	Left rear tyre temperature high
25	65HTR17	Notice	2020-11-14 18:56:05.000	Right front tyre temperature high
26	65HTR23	Notice	2020-10-12 22:47:29.000	Cabin door switch error, both contacts close
27	65HTR23	Notice	2020-10-12 23:31:48.000	Force sensor 2 out of range
28	65HTR23	Notice	2020-10-12 23:31:48.000	Load pin right FS2 raw value over range
29	65HTR23	Notice	2020-10-12 23:32:20.000	Mismatch between box down and front weighing sensors
30	65HTR23	Notice	2020-10-14 10:26:25.000	Delayed engine shutdown aborted - Door open
31	65HTR23	Notice	2020-10-14 10:47:07.000	Cabin door switch error, both contacts close
32	65HTR23	Notice	2020-10-18 09:47:16.000	Short circuit in brake lights/blinker right (XF2.9)
33	65HTR14	Notice	2020-10-14 18:34:41.000	Mismatch between box down and front weighing sensors

Figure 3.34 Données de haute température pour les pneus

Dans la figure suivante, les données pour l'élément *Notice* permettent de visualiser les baisses de pression des pneus pour un camion à la mine LaRonde.

```

SELECT eh.Name Element, a.Name Attribute, ar.TimeStamp, ar.Value
FROM Master.Element.ElementHierarchy eh
INNER JOIN Master.Element.Attribute a ON a.ElementID = eh.ElementID
INNER JOIN Master.Element.Archive ar ON ar.AttributeID = a.ID
INNER JOIN Master.Element.AttributeCategory ac ON ac.AttributeID = a.ID
WHERE ac.Attribute = 'Notice'
And eh.Path = '\\Laronde\Trucks\'
AND ar.TimeStamp BETWEEN '2020-10-11' AND '2020-11-15'

```

	Element	Attribute	TimeStamp	Value
1	CA5115	Notice	2020-10-11 06:44:11.000	Err contacteur porte cab, 2 contacts fermés
2	CA5115	Notice	2020-10-12 13:27:01.000	Tension alim basse
3	CA5115	Notice	2020-10-12 13:43:12.000	Connex Bus à transmission manquante
4	CA5115	Notice	2020-10-13 14:11:25.000	Pression très basse pneu ARD
5	CA5115	Notice	2020-10-13 14:12:02.000	Pression très basse pneu AVD
6	CA5115	Notice	2020-10-15 08:43:02.000	Pression très basse pneu ARD
7	CA5115	Notice	2020-10-18 20:18:00.000	Abandon arrêt temporisé moteur - Porte ouverte
8	CA5115	Notice	2020-10-18 20:29:18.000	Err contacteur porte cab, 2 contacts fermés
9	CA5115	Notice	2020-10-20 00:06:28.000	Load Cell Front FS3 sensor is missing from the bus. If the sensor is new, it may require programming.
10	CA5115	Notice	2020-10-21 02:09:03.000	Err contacteur porte cab, 2 contacts fermés
11	CA5115	Notice	2020-10-22 11:48:14.000	Mvaise prcision pesage
12	CA5115	Notice	2020-10-24 15:55:39.000	Abandon arrêt temporisé moteur - Porte ouverte
13	CA5115	Notice	2020-10-26 14:42:56.000	Bouton commande prioritaire d'arrêt moteur actionné
14	CA5115	Notice	2020-10-27 06:12:44.000	Load Pin Right FS2 does not send PDO message (signal value is missing). If the sensor is new, it may require programming.
15	CA5115	Notice	2020-10-27 06:12:49.000	The Inclinometer is missing from the bus
16	CA5115	Notice	2020-10-27 09:51:39.000	Tsion alim élevée
17	CA5115	Notice	2020-10-29 11:20:40.000	Left rear tyre pressure low
18	CA5115	Notice	2020-10-29 11:41:18.000	Left rear tyre pressure low
19	CA5115	Notice	2020-10-29 11:41:21.000	Left rear tyre pressure low
20	CA5115	Notice	2020-10-29 12:21:41.000	Left rear tyre pressure low
21	CA5115	Notice	2020-10-31 20:37:32.000	Load pin right FS2 raw value over range
22	CA5115	Notice	2020-11-01 07:42:22.000	Load pin right FS2 raw value over range
23	CA5115	Notice	2020-11-03 10:55:50.000	Urea tank empty
24	CA5115	Notice	2020-11-03 10:55:52.000	Bus connection to transmission missing
25	CA5115	Notice	2020-11-04 11:45:21.000	Load Pin Left FS1 does not send a PDO message (signal value is missing). If the sensor is new, it may require programming.
26	CA5115	Notice	2020-11-04 11:45:25.000	The Inclinometer is missing from the bus
27	CA5115	Notice	2020-11-04 13:38:40.000	Cabin door switch error, both contacts close
28	CA5115	Notice	2020-11-06 01:55:17.000	Cabin door switch error, both contacts close
29	CA5115	Notice	2020-11-06 01:55:19.000	Cabin door switch error, both contacts close
30	CA5115	Notice	2020-11-06 01:57:01.000	Left rear tyre pressure low
31	CA5115	Notice	2020-11-06 07:13:00.000	Left rear tyre pressure low
32	CA5115	Notice	2020-11-06 09:13:25.000	No feedback from suspension control
33	CA5115	Notice	2020-11-06 11:52:15.000	No feedback from suspension control
34	CA5115	Notice	2020-11-06 12:00:30.000	No feedback from suspension control

Figure 3.35 Données de basse pression pour les pneus

3.4.2.5 Éléments en temps réel

Le principal but en créant des tableaux de bord qui donne l'information en temps réel des machines est d'augmenter l'accessibilité et la visibilité à l'information. Les tableaux suivants ont été créés à partir des données sur le Système Pi et par la suite la modélisation a été effectuée à l'aide de Pi Vision pour la présentation. Dans le tableau suivant, il est possible de voir les informations du moteur pour le camion 65HTR23.

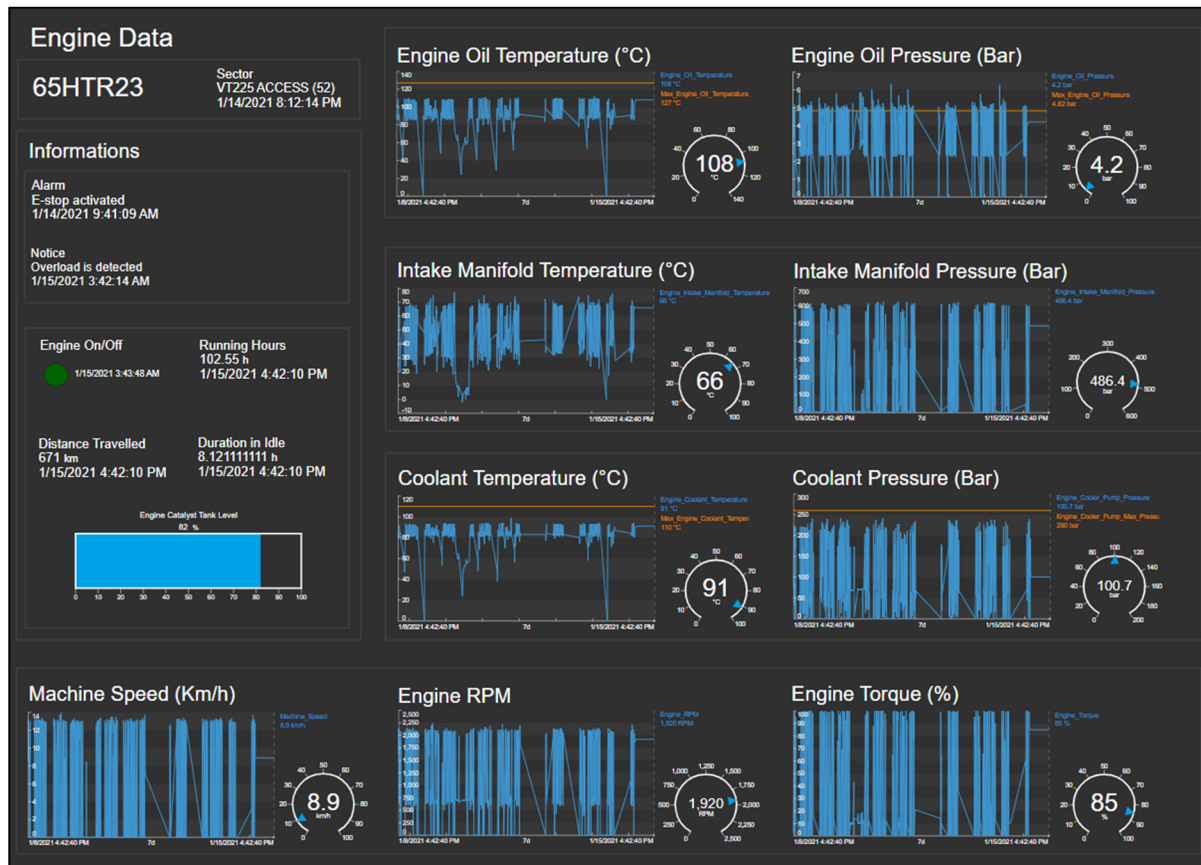


Figure 3.36 Tableau de bord pour les données du moteur

Tout d'abord, dans le coin gauche on retrouve les informations sur l'emplacement, les alarmes, les notifications, l'état (actif ou inactif), la distance parcourue, la durée de fonctionnement du moteur, la durée lorsque le moteur est actif et la machine n'est pas en mouvement ainsi que le niveau de liquide du catalyseur. De plus, à la droite, il est possible d'obtenir des informations à l'aide des graphiques de la température de l'huile moteur, la pression de l'huile moteur, la température du collecteur d'admission, la pression du collecteur d'admission, la température du liquide de refroidissement moteur et la pression du liquide de refroidissement moteur. Aussi, en bas du tableau de bord les informations sur la vitesse, les rotations par minutes du moteur et le couple moteur sont présentées. Par la suite, dans certains graphiques, il y a présence de la valeur maximum suggérée par le personnel de maintenance au site minier. Il est important de préciser que le tableau de bord présente des graphiques d'une durée de sept jours.

Par contre, l'utilisateur peut modifier la durée et même déplacer la ligne du temps dans le passé afin d'aller voir les valeurs antérieures.

Dans le tableau suivant, il est possible de visualiser les informations de la transmission du camion 65HTR23.

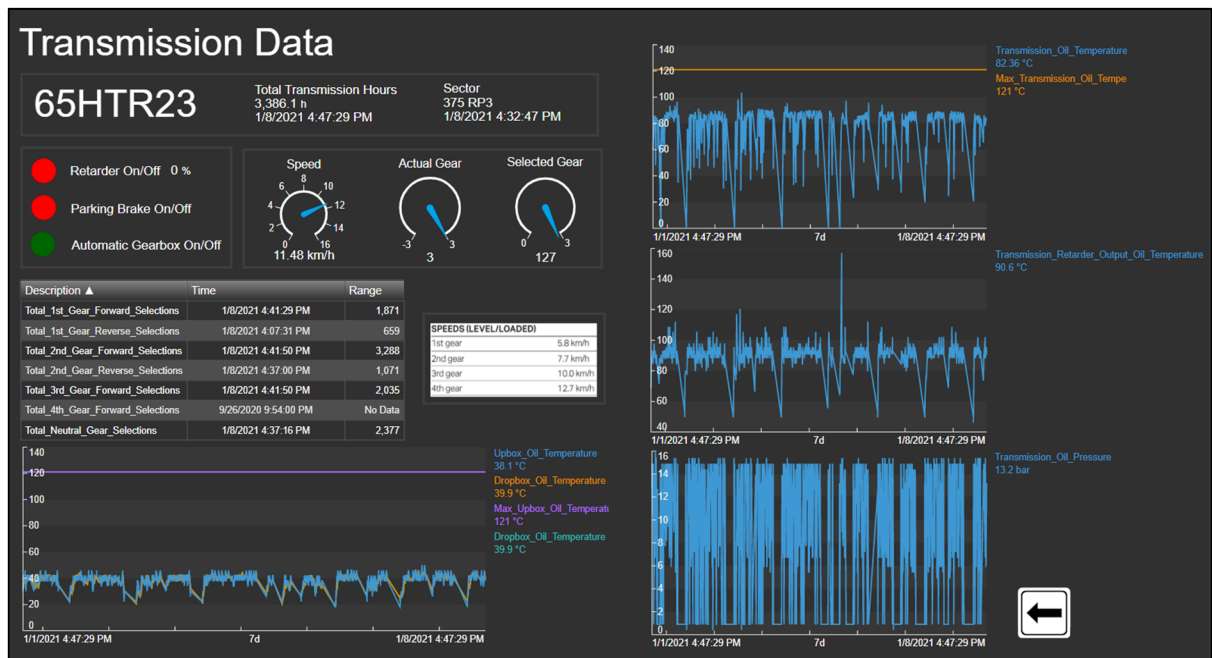


Figure 3.37 Tableau de bord pour les données de la transmission

Tout d'abord, dans le coin gauche du tableau de bord, il est possible d'obtenir les informations sur la localisation du camion, le nombre d'heures de la transmission, le pourcentage du retardateur, l'engagement du frein de stationnement, l'utilisation de la boîte automatique, la vitesse du camion, la vitesse de transmission actuelle et celle sélectionnée. Aussi, à droite, les informations sur la température de l'huile de la transmission, la température de l'huile du retardateur de transmission et la pression de l'huile de la transmission sont représentées. De plus, en bas du tableau de bord, il est possible de voir les informations sur le nombre de fois qu'une vitesse de transmission a été sélectionnée au cours d'une certaine période ainsi que des données de température de la *dropbox* et de la *upbox*.

Le tableau suivant donne accès aux informations de la pression des pneus du camion 65HTR23.

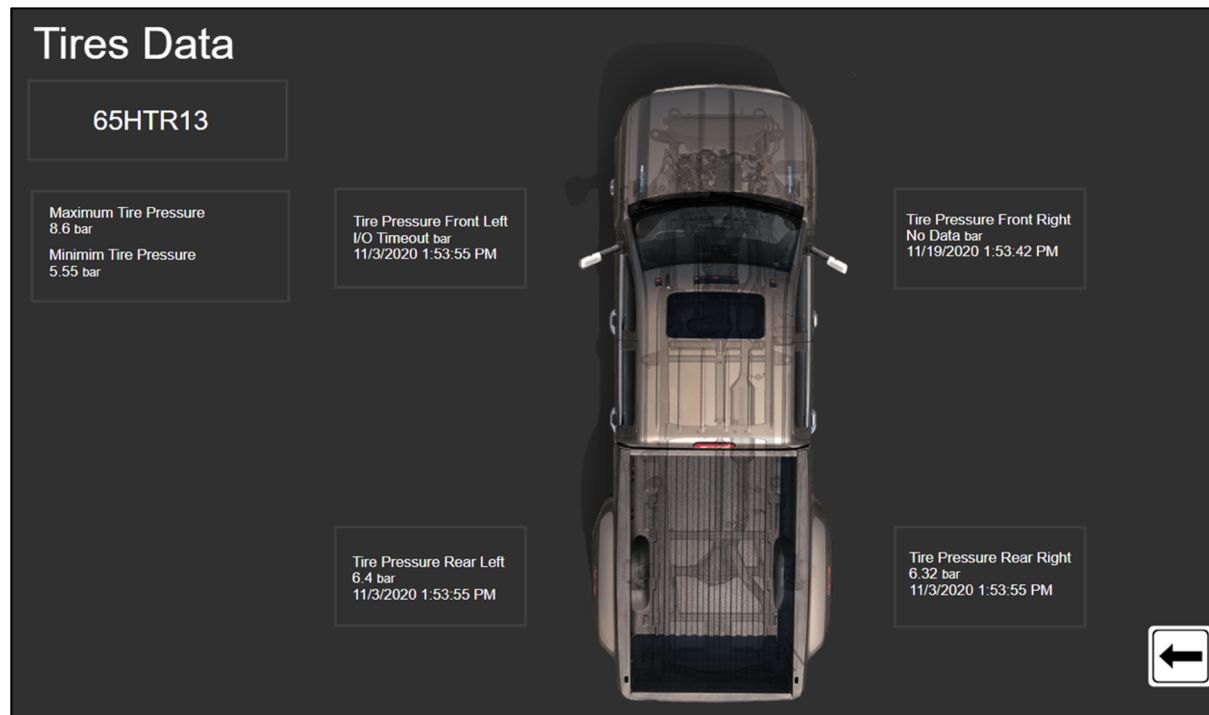


Figure 3.38 Tableau de bord pour les données de la pression des pneus en temps réel

3.4.2.6 Qualité des données

La section suivante présente les tableaux de bord qui ont été créés afin de vérifier la connectivité des équipements au réseau internet. Autrement dit, les informations suivantes permettent d'identifier les problèmes de connexion des équipements présents aux sites miniers. Ces tableaux permettent aux responsables de prendre des mesures afin de maintenir une connectivité stable pour avoir des données fréquentes. Le tableau de bord suivant, présente le suivi du statut de connectivité des équipements pour le site minier Meliadine.

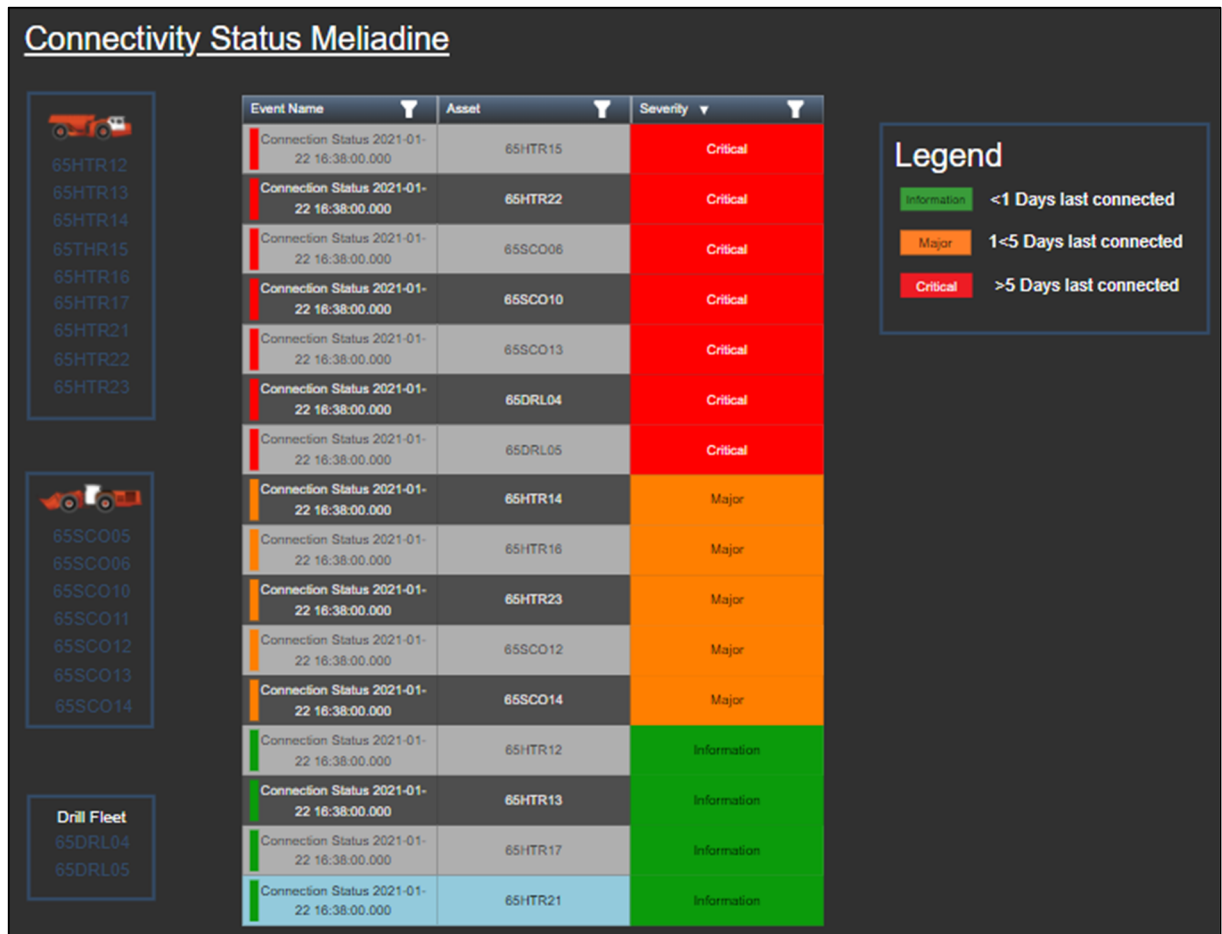


Figure 3.39 Tableau de bord pour le suivi de la connectivité des équipements de Meliadine

Tout d'abord, le côté gauche du tableau présente la liste des différents équipements. Au milieu du tableau, le statut de la connectivité des équipements est présenté du plus sévère au moins sévère. De plus, à la droite, il est possible de prendre connaissance de la légende du tableau. Lorsque la sévérité est en rouge, l'équipement ne s'est pas connecté au cours des cinq derniers jours. Lorsque la sévérité est en orange, l'équipement s'est connecté au cours des quatre derniers jours, mais pas dans les dernières 24 heures. Lorsque la sévérité est verte, cela nous informe qu'il y a eu échange de données dans les dernières 24 heures.

Dans le même ordre d'idée que le tableau présenté précédemment, celui-ci présente la connectivité des équipements pour les sites miniers LaRonde et LaRonde Zone 5.

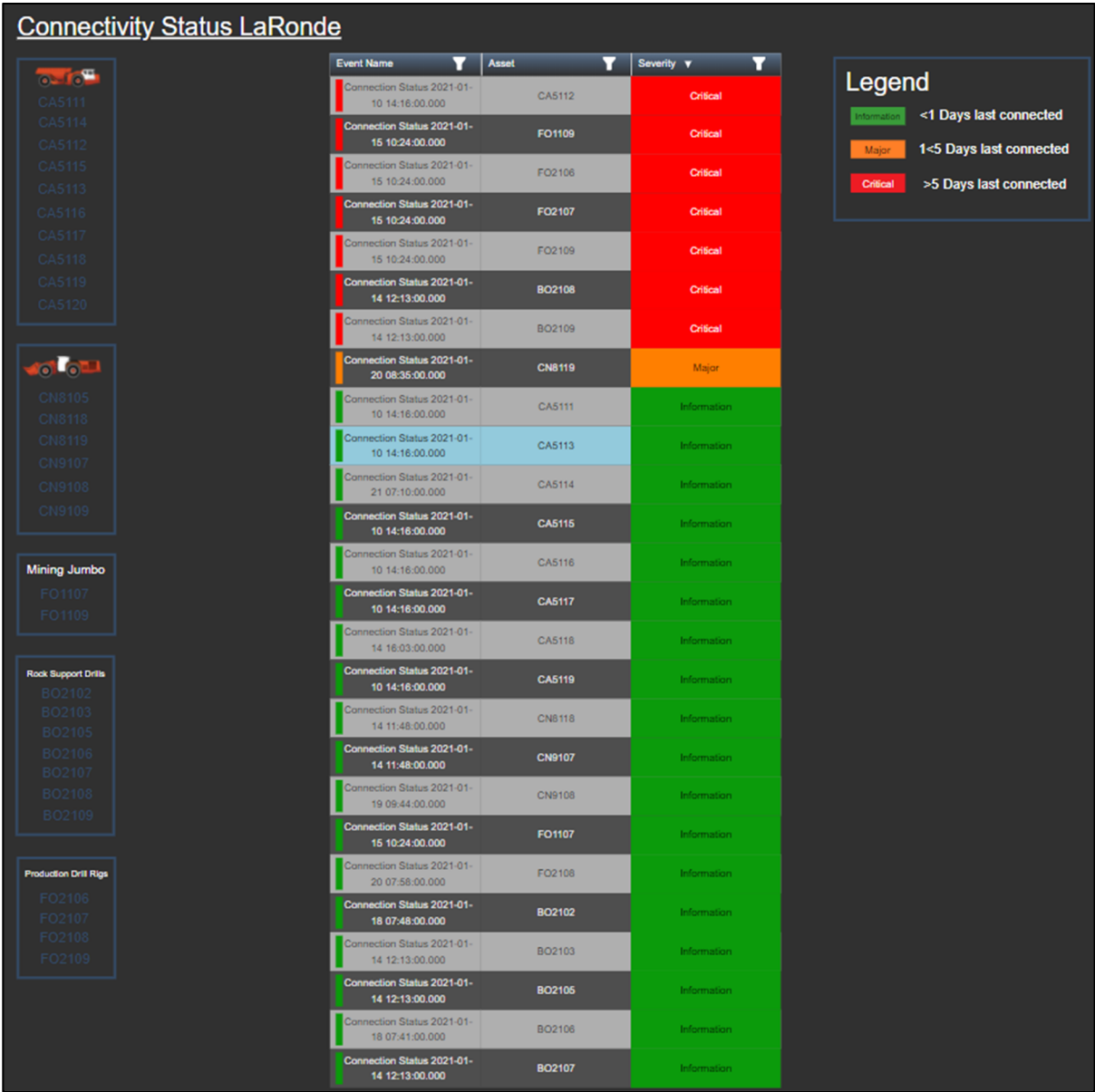


Figure 3.40 Tableau de bord pour le suivi de la connectivité des équipements de LaRonde et LaRonde Zone 5

CHAPITRE 4

CHAPITRE 4 PLAN D'AMÉLIORATION

Dans le chapitre suivant, il y aura présentation du plan d'amélioration pour le transport souterrain minier. Tout d'abord, l'analyse de l'entreprise sera présentée. Par la suite, il y aura l'identification des opportunités. Ensuite, il y aura présentation d'un plan d'amélioration suivi par sa mise en application. Aussi, les résultats du plan d'amélioration seront présentés. Finalement, le chapitre se terminera par la discussion du plan d'amélioration.

4.1 Analyse de l'entreprise

Au cours des différentes périodes de discussion avec les employés des sites miniers, plusieurs demandes ont permis la création d'un plan d'amélioration. La demande pour des alertes automatisées par courriel pouvant mener à la création de bons de travail automatique a été discutée à de nombreuses reprises. Les différentes caractéristiques et avantages recherchés par les usagers du système sont présentés dans le tableau 2.1 du chapitre 2.

4.1.1 Identification des opportunités

L'amélioration de la performance peut être réalisée de différentes manières. Si nous prenons comme point de référence le OEE de la flotte de camions de transport, il est possible d'en ressortir les éléments venant influencer une plus grande proportion du calcul. Le tableau suivant présente les différentes activités qui peuvent être prises en considération dans le projet d'amélioration afin d'avoir un plus grand effet sur le OEE.

Tableau 4.1 Opportunités d'amélioration de la performance

Paramètres OEE	Éléments	Activités
Disponibilité (A)	Domage aux équipements	Usure prématurée
Utilisation (U)	Temps de changement de quart de travail	Délais des rencontres
		Délais de dynamitage
Qualité / efficacité (Q)	Gestion du remplissage	Remplissage non optimal

Le tableau ci-dessus présente les différentes opportunités possibles dans l'entreprise afin d'augmenter le pourcentage du OEE pour la flotte de camions de transport. Les activités des différents éléments ont été énumérées lors des rencontres effectuées avec le personnel des sites minier.

4.2 Choix des opportunités

Lors du choix des opportunités, il est important de prendre en considération les outils mis à notre disposition. Dans le cadre de ce projet, le système PI est l'outil qui est mis à l'épreuve afin d'obtenir des résultats rapidement. Bien qu'il soit possible d'améliorer le OEE des camions de différentes manières, par exemple en réduisant le dommage aux équipements, le temps de changement entre les quarts de travail ou la gestion du remplissage, des méthodes efficaces et réalisables à distance ont été retenues. Différentes opportunités sont possibles avec le Système PI au niveau de l'analyse de l'usure prématurée des camions. Dans le cas d'un projet technologique, il est important lorsqu'il faut choisir des opportunités de garder en tête que les demandes doivent venir des usagers afin de faciliter l'utilisation du système à long terme. Autrement dit, s'il y a création d'un système d'amélioration, mais que personne ne l'utilise, il ne sera pas efficace à long terme. Alors, il est important de rechercher les besoins des usagers tout en permettant l'amélioration du OEE. Puisque les opportunités ont été demandées par les usagers ils risquent fortement d'être utilisés à leurs pleines capacités et donc à long terme d'augmenter le OEE de la flotte de camions. L'image suivante présente les différentes opportunités pour accroître la disponibilité des camions en effectuant un suivi de l'usure prématurée des camions.

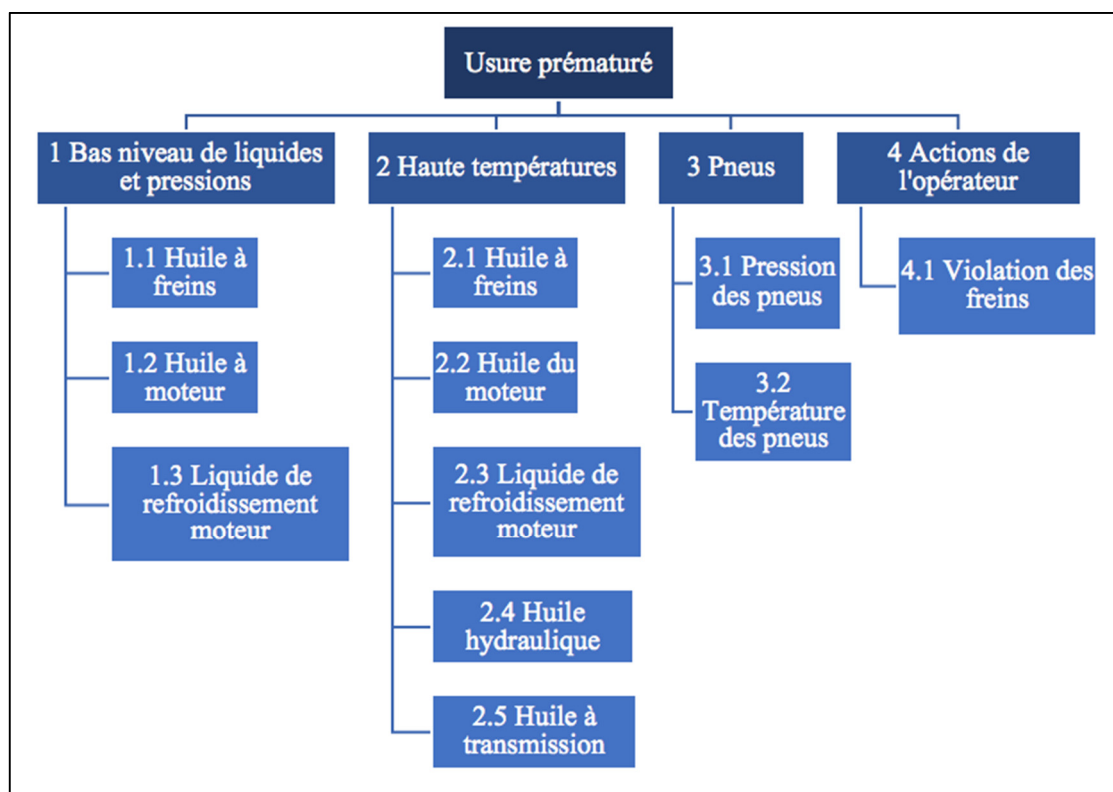


Figure 4.1 Opportunités d'analyse pour l'usure prématurée des équipements

4.3 Proposition d'un plan d'amélioration

Dans le troisième chapitre, des tableaux de bord ont été créés afin de comptabiliser les temps, distances et nombre d'évènements qui se produisent sur une certaine durée. Il est maintenant important de s'intéresser à l'implantation d'un système d'alerte par courriel afin d'avertir les responsables des évènements pouvant influencer le temps de maintenance, autrement dit les bris de machines. Le système d'alerte par courriel a été choisi puisqu'il est possible de le créer à l'aide du système PI et par la suite de faire référence à un tableau de bord dans PI Vision. En d'autres mots, lorsque l'utilisateur reçoit une alerte de bas niveau de liquide par courriel, il lui est possible de cliquer sur un lien qui ouvre une page internet présentant les graphiques des niveaux de liquides. Le système d'alerte par courriel est divisé selon deux catégories, les alertes instantanées et les alertes compilées. Les alertes instantanées sont envoyées lorsqu'un

événement se produit tandis que les alertes compilées sont celles qui sont envoyées suite à une certaine durée d'un événement dans un laps de temps. Par exemple, l'alerte instantanée est envoyée directement lorsque le niveau d'huile du moteur est bas afin de prévoir un bris de moteur qui pourrait engager une grande réparation et beaucoup de coûts. Dans un autre ordre d'idée, l'alerte compilée pourrait être représentée comme un dépassement d'une certaine température pendant plus de trois heures dans une période de 24 heures. Les alertes instantanées sont des événements qui arrivent rarement, mais qui sont très importants tandis que les alertes compilées sont des événements qui arrivent plus souvent, mais qui ont une incidence moins importante à court terme. Les différentes opportunités présentes dans le plan d'action sont classées par type d'alertes dans le tableau suivant.

Tableau 4.2 Type d'alertes selon l'évènement

Évènements	Type d'alerte	
	Instantanée	Compilée
1.1 Bas niveau huile à freins	X	
1.2 Bas niveau huile à moteur	X	
1.3 Bas niveau liquide de refroidissement moteur	X	
2.1 Haute température huile à freins		X
2.2 Haute température huile à moteur		X
2.3 Haute température liquide de refroidissement moteur		X
2.4 Haute température huile hydraulique		X
2.5 Haute température huile à transmission		X
3.1 Basse pression des pneus	X	
3.2 Haute température des pneus	X	
4.1 Violation des freins		X

Obtenir les informations de violation des freins est important puisque c'est ce qui fait augmenter la température de l'huile de frein et de l'huile de transmission. À long terme, cela peut provoquer une défaillance de l'équipement.

L'alerte de violation des freins apparait lorsque l'opérateur effectue les manœuvres suivantes dans un ordre précis :

- La pédale de frein est enfoncée;
- La pédale d'accélération est enfoncée;
- La vitesse de l'équipement est supérieure à cinq kilomètres par heure;
- Les trois conditions sont activées pendant cinq secondes.

4.4 Mise en application

La mise en application du programme d'amélioration de la disponibilité de la flotte de camion a été réalisée en deux phases. Tout d'abord, la phase 1 qui est composée des niveaux de liquides et des pressions de pneus a été mise en fonction au courant du mois de décembre 2020 aux trois sites miniers. Ensuite, la deuxième phase qui est composée des températures et de la violation des freins a été mise en fonction en février 2021. Le tableau suivant présente les différentes règles du système d'alertes compilées.

Tableau 4.3 Règles du système d'alertes compilées

Évènements	Durée (seconde) ou nombre d'évènements en 7 jours
2.1 Haute température huile à freins	18 000 secondes
2.2 Haute température huile à moteur	10 000 secondes
2.3 Haute température liquide de refroidissement moteur	5 000 secondes
2.4 Haute température huile hydraulique	5 000 secondes
2.5 Haute température huile à transmission	10 000 secondes
4.1 Violation des freins	200 évènements

Pour le calcul des violations de freinage, l'analyse suivante a dû être effectuée afin d'obtenir le nombre d'alertes pour un temps souhaité. La figure suivante présente l'analyse du nombre de violations des freins.

Example Element: Meladine\Trucks\65HTR13

Add a new variable

Name	Expression	Value at Evaluation	Value at Last Trigg	Output Attribute
AlarmCountBraking	<code>if BadVal('AlarmCount-Braking Violation') then 0 else if 'Event' = "braking violation" then 'AlarmCount-Braking Violation'+1 Else NoOutput()</code>	197	197	AlarmCount-Braking Violation

Evaluation Time: 2021-02-09 1:45:44 PM Last Trigger Time: 2021-01-25 4:40:20 AM Elapsed Evaluation Time: 10.6ms

Scheduling: ☒ Event-Triggered ☐ Periodic

Trigger on: Any Input

Advanced...

Figure 4.2 Analyse de violation des freins

Les courriels automatisés ont été envoyés aux personnes qui en avaient fait la demande lors de la recherche d’opportunités. Les objectifs des alertes sont qu’elles ne soient pas encombrantes, ne nécessite pas de maintenance et qu’elles soient utilisées à long terme afin de permettre l’amélioration. Les figures suivantes présentent les étapes de la création du système d’envois de courriels automatisés.

The screenshot shows an email design tool interface with tabs for Design, HTML Preview, and Plain Text Preview. The subject line is "Low Engine Oil Level detection occurring on Target.Name". The body text includes a yellow highlighted header "Low Engine Oil Level detection occurring on Target.Path.", a notification rule reference "Notification Rule:Message for Closed Notification", and a main message "This is a warning notification that Target.Name experienced a Low Engine Oil Level detection at Event Frame:Start Time". At the bottom, it lists server details: "Server: AF Server.Name", "Database: Database.Name", and "Send Time: Notification Rule:Send Time".

Figure 4.3 Design de l'envoi de courriel automatisé

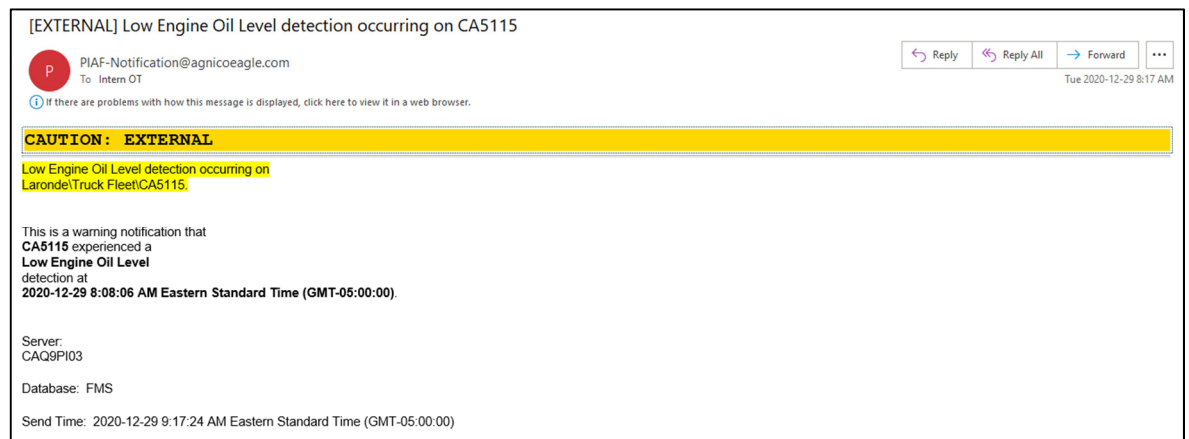


Figure 4.4 Exemple de courriel automatisé pour le niveau de l'huile du moteur

Pour les alarmes de pneus, il est important de contrer l'envoi de plusieurs courriels pour un même évènement. En effet, les alarmes de pneus peuvent se produire à répétition pour un court laps de temps, il est donc nécessaire d'ajouter une règle de non-répétition de l'alerte pour les

4 heures suivant un même évènement. La figure ci-dessous présente la création d’une option d’intervalle de temps entre les alertes par courriel pour un même évènement.

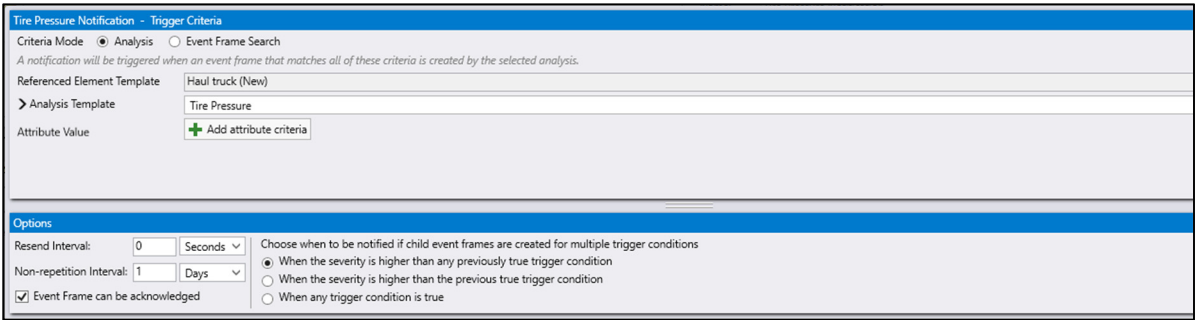


Figure 4.5 Intervalle de temps pour l’envoi de courriel

Afin de réduire l’envoi d’alertes des éléments récurrents, il est possible de fixer un envoi par courriel lorsqu’une activité dépasse une certaine durée au cours d’une semaine. Par exemple, à l’image suivante, lorsque la température de l’huile à freins dépasse sa valeur limite pendant plus de 3600 secondes au cours des dernières 24 heures, une alerte par courriel est envoyée au responsable. Dans un même ordre d’idée, si la température des freins ne dépasse pas le point de température élevée pendant plus de 1 heure dans les dernières 24 heures, aucune alerte par courriel ne sera envoyée. Par contre, la compilation se fera toujours dans le tableau de suivi des températures créé au chapitre 3. La figure suivante présente l’ajout de la contrainte de temps pour la création d’alertes par courriel dans le cas de la température de l’huile à freins.

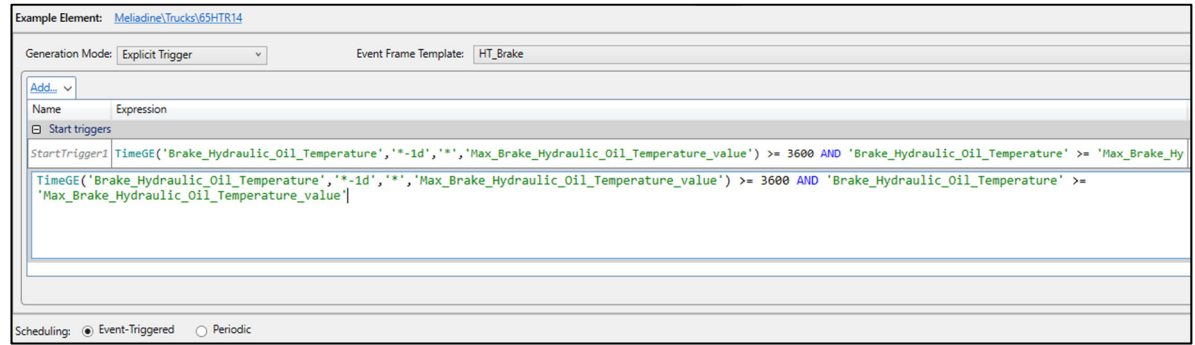


Figure 4.6 Contrainte de temps pour les alertes compilées

4.5 Résultats du plan d'amélioration

L'un des objectifs du plan d'amélioration était de suivre les mauvaises habitudes des opérateurs qui sont étroitement liées à l'usure prématurée et même aux bris d'équipements. Ceci a pour objectif de sensibiliser les opérateurs à la manière dont ils utilisent les camions en vue de réduire le temps de maintenance pour bris des équipements. Une réduction du temps de maintenance aura pour effet l'augmentation de la disponibilité des camions, ce qui contribuera à la réduction de perte de production et donc à l'augmentation du OEE. Ci-dessous, le tableau de bord présente les compteurs de violation des freins pour les différents sites miniers sur une période d'un mois.

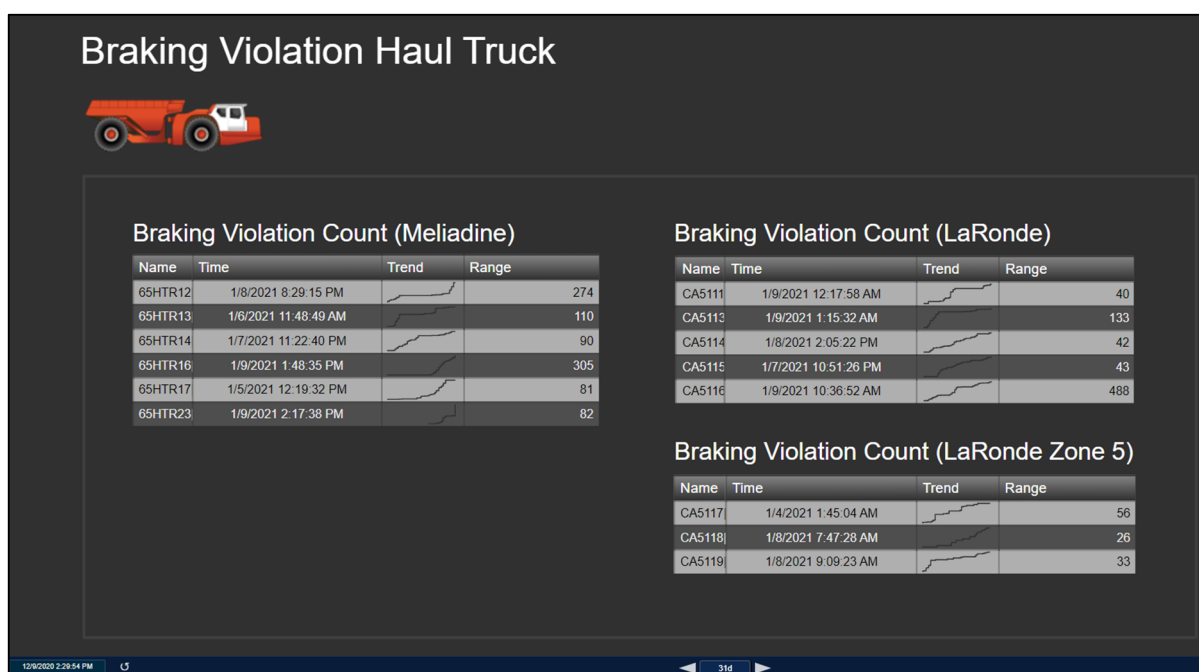


Figure 4.7 Compteurs de violation des freins

Lorsqu'on observe la figure si dessus, il est possible de voir qu'à la mine Meliadine, le nombre de violations est plus élevé pour les camions 65THR12 et 65HTR16. Pour ce qui est de la mine Laronde, le camion CA5116 sort du lot avec 488 violations de freins.

4.6 Discussion

Au cours de ce projet, plusieurs analyses, tableaux de bord et alertes ont été créés afin de combler le manque de visualisation ainsi que de permettre l'aide à la décision pour différents départements. Le tableau suivant présente ce qui a été réalisé pour répondre aux besoins des parties prenantes du projet.

Tableau 4.4 Réponses aux besoins

Spécifications du système en relation avec les besoins	Réalisations pour répondre aux besoins
Temps de cycle des camions de transport	Figure 3.25 Tableau de bord pour les temps de cycle de la mine Meliadine
	Figure 3.26 Tableau de bord pour les temps de cycle de LaRonde
	Figure 3.27 Tableau de bord pour les temps de cycle de LaRonde Zone 5
OEE de la flotte de camions	Figure 3.22 Tableau de bord du OEE pour le mois de septembre 2020
	Figure 3.23 Tableau de bord du OEE pour le mois d'octobre 2020
	Figure 3.24 Tableau de bord du OEE pour le mois de novembre 2020
Localisation	Figure 3.25 Tableau de bord pour les temps de cycle de la mine Meliadine
	Figure 3.26 Tableau de bord pour les temps de cycle de LaRonde
	Figure 3.27 Tableau de bord pour les temps de cycle de LaRonde Zone 5
Rapport automatisé	Figure 4.4 Exemple de courriel automatisé pour le niveau de l'huile du moteur
Données en temps réel	L'informations n'est pas présentement en temps réel
Durées des composantes	Figure 3.37 Tableau de bord pour les données de la transmission
Disponibilité de la flotte	L'informations n'est pas présentement en temps réel
Déterminer les usages abusifs de l'équipement	Figure 4.7 Compteurs de violation des freins
Niveau de liquide	Figure 3.32 Tableau de bord pour les données de bas niveaux des liquides de la mine Meliadine
	Figure 3.33 Tableau de bord pour les données de bas niveaux des liquides pour les mines LaRonde et LaRonde Zone 5
Distance parcourue et durée d'utilisation des équipements	Figure 3.28 Tableau de bord pour les données de durées et distances de Meliadine
	Figure 3.29 Tableau de bord pour les données de durées et distances de LaRonde et LaRonde Zone 5
Suivre la position de déchargement des camions	Manque de capteur de position
Nombre de voyages par quarts de travail	Figure 3.25 Tableau de bord pour les temps de cycle de la mine Meliadine
	Figure 3.26 Tableau de bord pour les temps de cycle de LaRonde
	Figure 3.27 Tableau de bord pour les temps de cycle de LaRonde Zone 5
Données de transmission	Figure 3.37 Tableau de bord pour les données de la transmission
Durée d'utilisation et température de l'équipement	Figure 3.30 Tableau de bord pour les données de hautes températures de la mine Meliadine
	Figure 3.31 Tableau de bord pour les données de hautes températures des sites miniers LaRonde et LaRonde Zone 5
	Figure 3.34 Données de haute température pour les pneus
	Figure 3.36 Tableau de bord pour les données du moteur
	Figure 3.37 Tableau de bord pour les données de la transmission

Les principaux problèmes de la recherche ont été répondus. En effet, le temps de cycle souterrain est maintenant connu pour les sites miniers Meliadine, LaRonde et LaRonde Zone 5. De plus, le temps d'attente (*idle time*) et la localisation des camions sur les différents niveaux de la mine permettent un certain contrôle sur les unités durant les quarts de travail. Le système d'envois par courriel permet d'aider à la gestion de la maintenance en effectuant le suivi des niveaux de liquides, des hautes températures et des informations sur les pneus. Aussi, l'utilisation du Système Pi permet le transfert de la méthodologie entre les mines d'une même

entreprise. Par exemple, dans l'étude réalisée le temps de cycle a été déterminé sous un même système pour différents sites miniers.

En réponse aux différentes questions de recherche et aux objectifs, les informations requises pour permettre la visualisation de la performance du transport minier souterrain dans le cadre du projet réalisé ont été déterminées à l'aide des paramètres des différents indicateurs de performance. Le premier indicateur de performance est l'efficacité du transport (OEE). Pour le calcul du OEE les informations suivantes ont été utilisées : temps de calendrier, temps d'évacuation des gaz, temps de maintenance, temps lorsque l'équipement est en mouvement, la pesanteur du chargement transporté et la capacité de chargement du camion. Le deuxième indice de performance est le temps de cycle de transport comprenant la durée de fonctionnement du moteur ainsi que le nombre de chargements effectué. Pour répondre à la deuxième question, le Système Pi et Pi Vision ont permis de rendre les informations du transport minier souterrain disponibles. La troisième question de recherche consiste à présenter les déductions et les améliorations possibles suite à l'accès à l'information. Dans le quatrième chapitre du document de recherche, des demandes supplémentaires incluant les alertes automatisées par courriel ainsi que le compteur de violation des freins sont des améliorations au système initial qui ont été proposées par les utilisateurs du système.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'objectif principal de la recherche était de rendre disponibles les informations du transport minier souterrain et de permettre de quantifier le travail effectué sous terre par les camions de transport. Les objectifs avaient pour but de venir en aide à plusieurs problématiques, dont l'obtention des informations sur la performance du transport, l'accès à un temps de cycle souterrain automatisé, de contrer le manque de contrôle sur les unités durant les quarts de travail, d'améliorer la gestion de la maintenance et l'obtention d'un système de surveillance pouvant être déployé dans les différents sites miniers de la compagnie.

Au cours de ce projet, afin d'améliorer la visualisation de la performance du transport minier souterrain une recherche des besoins actuels a été réalisée dans différents départements de la compagnie pour cibler les informations manquantes et utiles nécessaires pour le projet. Aussi, la recherche des principales formules et indices de performance du transport minier a été effectué parmi ouvrages littéraires. Ensuite, il y a eu la création d'un système intégrant des analyses et formules présentées dans la recherche littéraire à l'aide du programme Pi qui permet de centraliser les informations du transport souterrain provenant de différentes sources telles que Sandvik, Imagine et Wonderware. De nombreuses informations sur le transport souterrain qui était jusqu'à présent inconnu dont l'efficacité du transport, le temps de cycle, les durées et distances, les températures, les niveaux de liquides ainsi que les données des pneus ont été rendus disponible pour les parties prenantes sur Pi Vision sous la forme de tableau de bord. Ces informations qui étaient au paravent inconnu permettent de comparer les habitudes de transports et aide aux décisions réalisées par les superviseurs. Finalement, une analyse des améliorations possibles suite à l'accès à l'information a été réalisée à partir des suggestions proposées par les parties prenantes. Suite aux recommandations des usagers, plusieurs alertes automatisées par courriel ont été créées pour les hautes températures, des niveaux de liquides et la condition des pneus suivant des critères personnalisés pour améliorer la gestion de la maintenance.

Il est à noter que cette preuve de concept a été réalisée dans plusieurs mines de l'entreprise Agnico Eagle et pourrait être réalisé dans d'autres mines souterraines.

Les limites rencontrées lors du projet sont principalement d'ordre technologique. Premièrement, les données n'étaient pas disponibles en temps réel puisque le camion devait se connecter au réseau afin de transférer les informations. Alors, lorsque les équipements n'étaient pas connectés, le transfert d'information ne pouvait pas se faire. Dans certains cas, la machine ne se connectait pas pendant plus d'une semaine. De ce fait, les camions présents dans l'étude sont ceux qui ont une transmission de données constante. Cette limite n'a pas permis de déterminer le OEE global de la flotte de camion.

Deuxièmement, la mauvaise précision des balances qui sont installées sur les camions a rendu la variable de la qualité du transport non utilisable de manière automatisée. Autrement dit, au lieu de prendre des valeurs automatisées provenant de la balance du camion, les valeurs sont fixes et proviennent d'une étude de pesantier réalisée quelques mois avant le début du projet.

Troisièmement, le manque de participation et de disponibilité de certaines ressources a entraîné l'abandon d'une partie du projet. Certaines parties du projet tel que le OEE n'ont pas été effectuées pour tous les sites miniers. En effet, le OEE a été réalisé seulement pour la mine Meliadine à cause d'un manque de ressource disponible lors des requêtes d'informations. Une direction impliquée aurait permis une meilleure participation des utilisateurs.

Ces limitations ont mené à une restriction du niveau de détails lors du calcul de l'efficacité de l'équipement. L'utilisation d'un système de gestion de flotte permettrait d'avoir accès à plus d'informations et d'augmenter le niveau de détails des activités. Ceci permettrait lors d'un prochain projet d'augmenter les détails des activités réalisées dans le temps de cycle et de faire la différence entre les temps productif et non productif. Aussi, l'accès à plus d'informations permettrait de détailler les différents paramètres du calcul de l'efficacité du transport et d'augmenter la visualisation des pertes de temps.

Ci-dessous, nous discuterons des méthodes qui ont été expérimentées lors du projet et qui permettent de réussir un projet de mine intelligente. Pour mettre les chances de notre côté afin de mener à terme un projet d'innovation technologique minier il est important de bien maîtriser la gestion du changement. De nombreux aspects qui ont été expérimentés lors de cette étude ont permis de minimiser les risques qui auraient pu créer des conséquences négatives sur les activités de l'entreprise.

Tout d'abord, le soutien et l'implication de la haute direction sont importants puisqu'ils permettent une plus grande approbation et valorisation des différents départements. Le soutien et l'implication de la direction permettent d'avoir accès plus rapidement aux ressources nécessaires afin de mener à terme un projet d'innovation et facilitent la compréhension de la vision à long terme de l'entreprise.

De plus, pour commencer un projet technologique minier il est important de déceler les opportunités et de ne pas faire l'erreur de vouloir imposer le changement, mais plutôt d'adapter l'innovation technologique selon les besoins du client. Si l'idée ne vient pas de l'utilisateur, celui-ci ne verra pas l'intérêt du projet et ne l'utilisera pas à long terme ce qui mènera nécessairement à l'abandon du projet. Il est important de livrer à l'utilisateur ce dont il a besoin. Il est important de privilégier une approche participative de type *bottom-up* qui est basé sur l'écoute des besoins et des attentes de l'utilisateur. Cela permet de comprendre ce que le client veut et de livrer un système qui permettra à celui-ci d'optimiser ou d'avoir accès à l'information qu'il désire.

Aussi, pour s'assurer que le livrable va satisfaire l'utilisateur, il peut être judicieux de réaliser des projets pilotes. Les mini livrables permettent à l'utilisateur d'apporter des recommandations et de reconnaître sa participation au projet. Afin de bien gérer le changement, il est important de créer les conditions pour le changement et de solliciter une rétroaction régulière des utilisateurs pour effectuer les changements nécessaires avant la remise du projet.

ANNEXE I

CHARTRE DE PROJET ET MATRICE RACI

Le tableau suivant présente la charte du projet.

Tableau-A I-1 Charte de projet

Titre : Charte de projet
Nom du projet
Développement d'une solution opérationnelle 4.0 pour le transport minier souterrain.
Rédacteur et Commanditaire
<ul style="list-style-type: none"> • Ludovick St-Amant Dyotte, Étudiant à la maîtrise en gestion de projet d'ingénierie à l'École de technologie supérieure; • Le Groupe Misa, Une organisation œuvrant à stimuler l'innovation du secteur minier québécois; • Agnico Eagle, Société canadienne d'exploitation aurifère.
Présentation synthétique du projet
L'arrivée des nouvelles technologies permet de contrer le manque de visibilité présent dans les mines souterraines. L'obtention et l'association d'une grande quantité de données collectées par différents systèmes doivent être analysées afin de permettre l'aide à la décision. Le projet présente la création d'indicateurs de performances à l'aide d'un système permettant de centraliser l'information. Il y a la présentation d'un système d'alerte par courriel automatisé pour le suivi des niveaux de liquides et de températures des équipements. Les données provenant des machines seront mises à ma disposition sur le système PI afin que je puisse les transformer en indicateur de performances et les partager aux utilisateurs.
Exposé du besoin
<p>Le plus grand problème lorsqu'il est question d'implanter de nouvelles technologies dans les mines est de ne pas savoir comment transformer les informations (données recueillies) en solutions exploitables.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obtention des informations sur la performance du transport; • Accès à un temps de cycle souterrain automatisé; • Contrer le manque de contrôle sur les unités durant les quarts de travail; • Améliorer la gestion numérique au niveau de la maintenance; • Un système de surveillance pouvant être déployé dans les différents sites miniers de la compagnie.
Périmètre couvert par le projet
<ul style="list-style-type: none"> • Le projet sera réalisé pour le cycle des camions de transports souterrain. (Pas les cycles de forage/sautage); • La durée d'observations des données s'étend sur une période limitée; • Le projet sera réalisé dans un environnement souterrain; • Les solutions proposées dépendent des logiciels que l'entreprise utilise; • Les données recueillies seront limitées à trois sites miniers (Meliadine, LaRonde et LZ5); • Les camions présents dans l'étude seront ceux qui auront une transmission de données constante. (Limitation sur le OEE globale); • Le calcul de l'efficacité (OEE) sera réalisé seulement pour la mine Meliadine. Limitation des ressources et de l'information disponible.
Objectif du projet
<p>L'objectif principal de la recherche est de rendre disponibles les informations du transport minier souterrain afin de permettre de quantifier le travail effectué sous terre par les camions de transport.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Création d'un système permettant de centraliser les informations du transport souterrain; • Création d'indicateurs de performances. (Efficacité des équipements et temps de cycle); • Rendre disponibles les informations du transport souterrain; • Amorcer des pistes d'amélioration suite à l'accès à l'information.

Tableau-A I-1 Charte de projet (Suite)

Contraintes de réalisation du projet (Risques)	
<ul style="list-style-type: none"> • Manque de participation des parties prenantes (Culture de la conservation); • Délais d'exécution du projet. (Le personnel a 2 semaines de travail / 2 semaines de congé); • Manque de soutien de la haute direction; • Rapport temps-bénéfice peu clair pour les parties prenantes; • Problème d'ordre technologique (Connexion des camions de transport souterrain); • Ne pas avoir accès à toutes les informations nécessaires pour la création des KPI et OEE globale. 	
Critères de succès du projet	
<ul style="list-style-type: none"> • Pouvoir visualiser l'information provenant des camions de transports sous forme de tableaux; • Analyser les informations provenant des machines et créations de KPI; • Connectivité des camions de transport souterrain; • Livrer les avantages souhaités par les parties prenantes. 	
Jalons et livrables	
<ul style="list-style-type: none"> • Revue de la littérature <ul style="list-style-type: none"> - Aperçu des méthodologies; - Formules d'efficacité du transport minier; - Contexte du projet réalisé dans l'Industrie minière. • L'état de la situation actuelle (Déterminer les besoins) <ul style="list-style-type: none"> - Description des mines à l'étude; - Besoins actuels des sites miniers (Entrevues, visites en entreprise, besoins réels et informations requises afin de répondre aux besoins des parties prenantes.) • Création du système d'accès à l'information <ul style="list-style-type: none"> - Méthodologie; - Obtention de la part du responsable de la technologie opérationnelle (corporatif) des données des machines sur PI System; - Informations du système (Mise en commun des données de plusieurs systèmes); - Modélisation des éléments (PI system); - Résultats du projet (KPI, OEE, Temps de cycle). • Améliorations possibles au projet suite à l'accès à l'information <ul style="list-style-type: none"> - Identification des opportunités d'amélioration (Solutions exploitables); - Mise en application des améliorations proposées par les parties prenantes. 	
Estimation des gains	
<ul style="list-style-type: none"> • Rendre disponibles les informations du transport minier souterrain; • Quantifier la performance des camions de transport souterrains; • Aider la planification et l'amélioration du transport souterrain; • Création d'un système pouvant être déployé dans les différents sites miniers de la compagnie; • Formulation de pistes permettant l'amélioration du rendement du transport minier souterrain et les plans d'amélioration qui pourront être utilisés dans d'autres projets miniers. 	
Rapport d'autorité et parties prenantes	
<ul style="list-style-type: none"> • Responsable de la technologie opérationnelle au niveau corporation chez Agnico Eagle. Donne accès aux données requises provenant des machines dans le système PI et approbateur final du projet; • Spécialiste de la fiabilité des équipements de la mine Meliadine. Demande d'amélioration et propose les avantages souhaités du système; • L'équipe d'ingénierie de la mine Meliadine. Demande d'amélioration et propose les avantages souhaités du système; • Spécialiste de la maintenance de la mine LaRonde et LZ5. Demande d'amélioration et propose les avantages souhaités du système; • Surintendant de la mine LaRonde et LZ5. Demande d'amélioration et propose les avantages souhaités du système; 	

Le tableau suivant présente la matrice des rôles pour le déroulement des principaux travaux du projet de recherche.

Tableau-A I-2 Matrice des rôles RACI

Parties Prenantes	Employés corporatif	Employés de la mine	Groupe Misa	Directeur de recherche	Ludovick
Initiation (L'état de la situation actuelle)					
Déterminer les besoins	C	C	I		R
Description des mines à l'études	C	C			R
Besoins actuels des sites miniers	C	C	I	I	R
Revue de la littérature				I	R
Analyse des besoins internes	A-C	A-C			R
Création d'une charte de projet	C	C	A	A	R
Planification					
Sélection du projet	R-A-C	C	I	I	R-A
Recherche de l'outil qui répond aux besoins (Logiciels)	A-C	C			R
Méthodologie	A-C	C	I	I	R
Démarrez le projet	I	C	I	I	R
Réalisation (Création du système d'accès à l'information)					
Surveiller le projet	R		R	R	R
Obtention des données provenant des machines	R	C			A-I
Mise en commun des données de plusieurs systèmes	I				R-A
Modélisation des éléments	I				R-A
Résultats du projet (KPI, OEE, Temps de cycle)	A-C	A-C	I	I	R
Améliorations possibles au projet suite à l'accès à l'information					
Identification des opportunités d'amélioration (Solutions exploitables)	A-C	C	I	I	R
Mise en application des améliorations proposées	A-C	I	I	I	R
Finalisation du projet					
Conserver les gains	R-A	R	R		
Rapport du projet	A-C	I	A	A	R
Présentation du projet	I	I	A	A	R

ANNEXE II

SPÉCIFICATIONS DE L'ÉQUIPEMENT MOBILE

La figure suivante présente les dimensions en millimètres et la flexibilité du camion à benne articulé TH55i de 51 tonnes de la compagnie Sandvik.

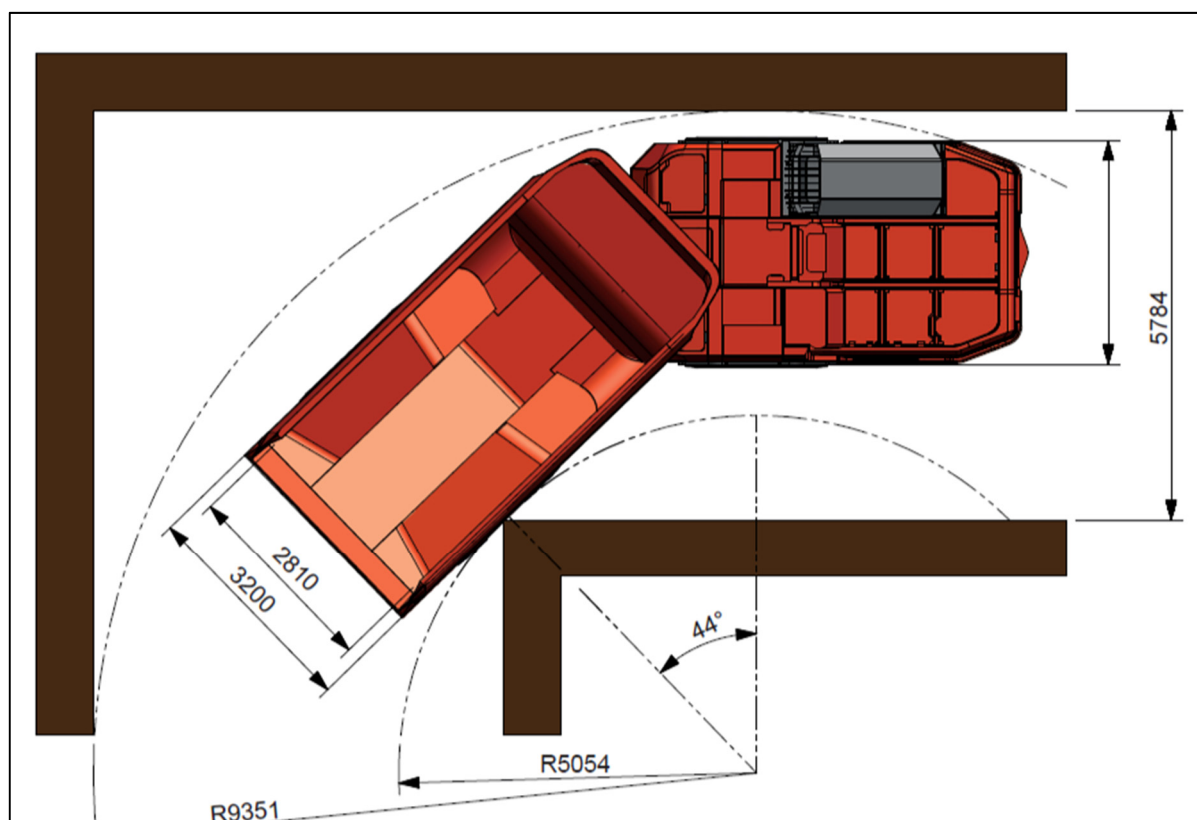


Figure-A II-1 Flexibilité du camion à benne articulé en milieu souterrain
Tirée de Sandvik (2015, p. 14)

Les figures suivantes présentent les dimensions en millimètres du camion à benne articulée TH55i de 51 tonnes de la compagnie Sandvik.

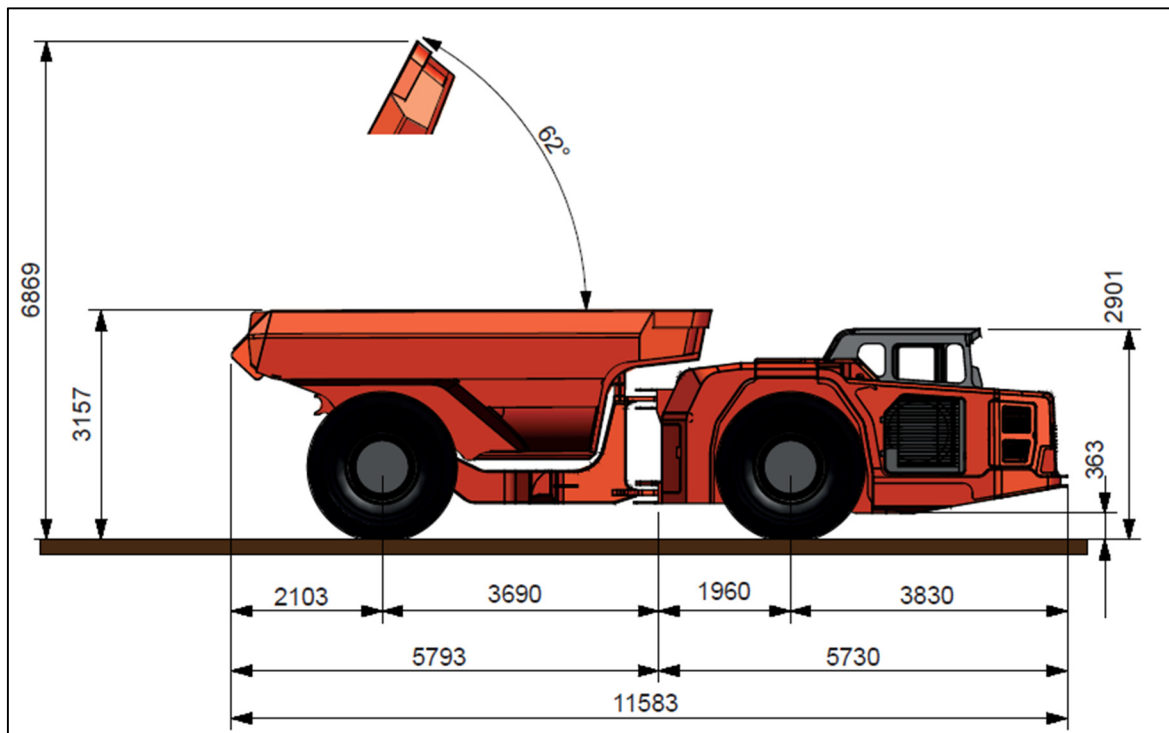


Figure-A II-2 Dimensions du camion à benne articulée TH551i vue de coté
Tirée de Sandvik (2015, p. 14)

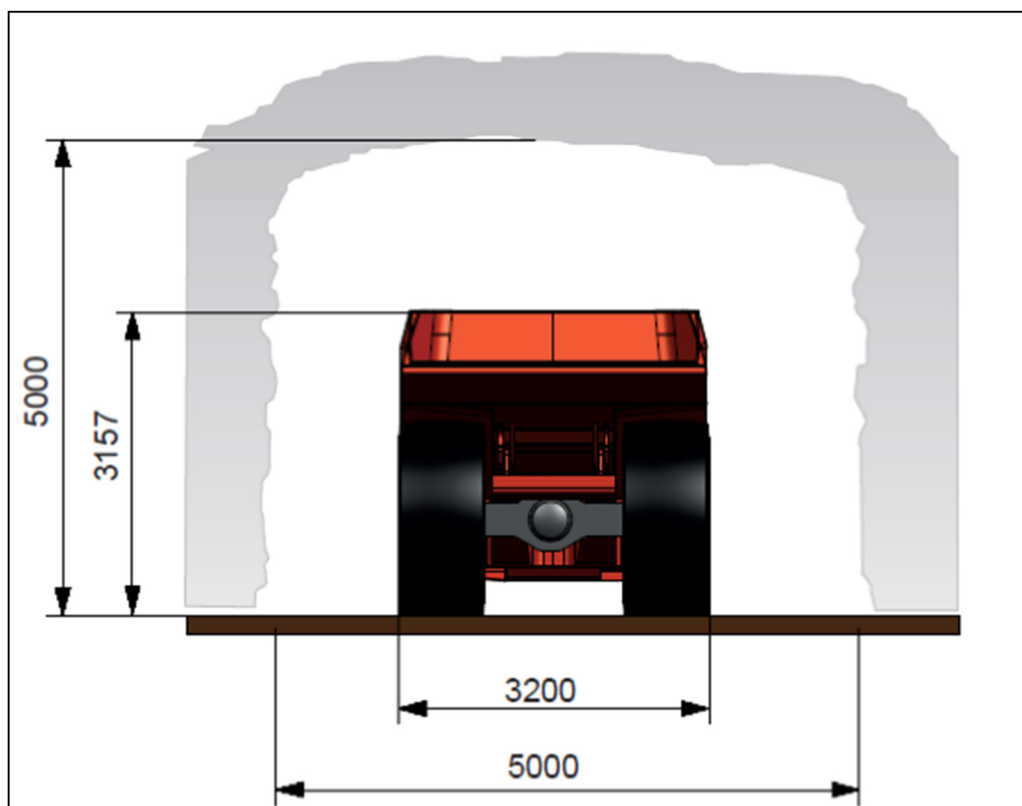


Figure-A II-3 Dimensions du camion à benne articulé TH551i vue arrière
Tirée de Sandvik (2015, p. 14)

La figure suivante présente les données techniques des camions de transport souterrain TH551i de 51 tonnes utilisées à la mine Meliadine.

SANDVIK TH551i

UNDERGROUND TRUCK

TECHNICAL SPECIFICATION

The Sandvik TH551i is a high productivity 51 tonne articulated underground dump truck for use in 5 x 5 meter haulage ways.

This next generation intelligent truck is a safer, efficient, high capacity and easy to maintain underground truck for optimized fleet management.


Sandvik TH551i truck features a wide range of intelligence integrated technology, such as Sandvik Intelligent Control system, My Sandvik Digital Services and Automation Readiness as standard, supplemented with Onboard Weighing System option for tracking the payload. With the latest addition of the AutoMine™ Trucking Onboard option, the Sandvik TH551i enables autonomous haulage for both transfer level and decline ramp application.

The Sandvik TH551i offers a reliable and safer solution that can significantly increase the efficiency and productivity of customers' operations while decreasing the cost per tonne, providing smart productivity for our customers.

Operator safety, health and comfort are enhanced by the mining focused, sound suppressed, ROPS and FOPS certified cabin.

The Sandvik TH551i is well suited for:

- level or ramp production haulage in large mines
- mine development projects in large mines
- 3 pass loading with the Sandvik LH517 loader



CAPACITIES	
Payload capacity	51 000 kg
Standard dump box	28.0 m³
Dump box range	24 - 30 m³

SPEEDS FORWARD & REVERSE (LEVEL/LOADED)	
1st gear	6.0 km/h
2nd gear	8.9 km/h
3rd gear	11.9 km/h
4th gear	17.5 km/h
5th gear	23.5 km/h
6th gear	34.5 km/h

DUMP BOX MOTION TIMES & MOVEMENTS	
Discharging time	14 sec
Dumping angle	62°

OPERATING WEIGHTS *	
Total operating weight	41 000 kg
Front axle	29 000 kg
Rear axle	12 000 kg

LOADED WEIGHTS *	
Total loaded weight	92 000 kg
Front axle	40 700 kg
Rear axle	51 300 kg

Figure-A II-4 Fiche de spécification technique du camion souterrain Sandvik TH551i
Tirée de Sandvik (2018)

ANNEXE III

VISUALISATION DES NIVEAUX DE LA MINE

La figure suivante présente les équipements et les travailleurs présents au niveau 300 de la mine souterraine Meliadine à l'aide du logiciel Imagine.

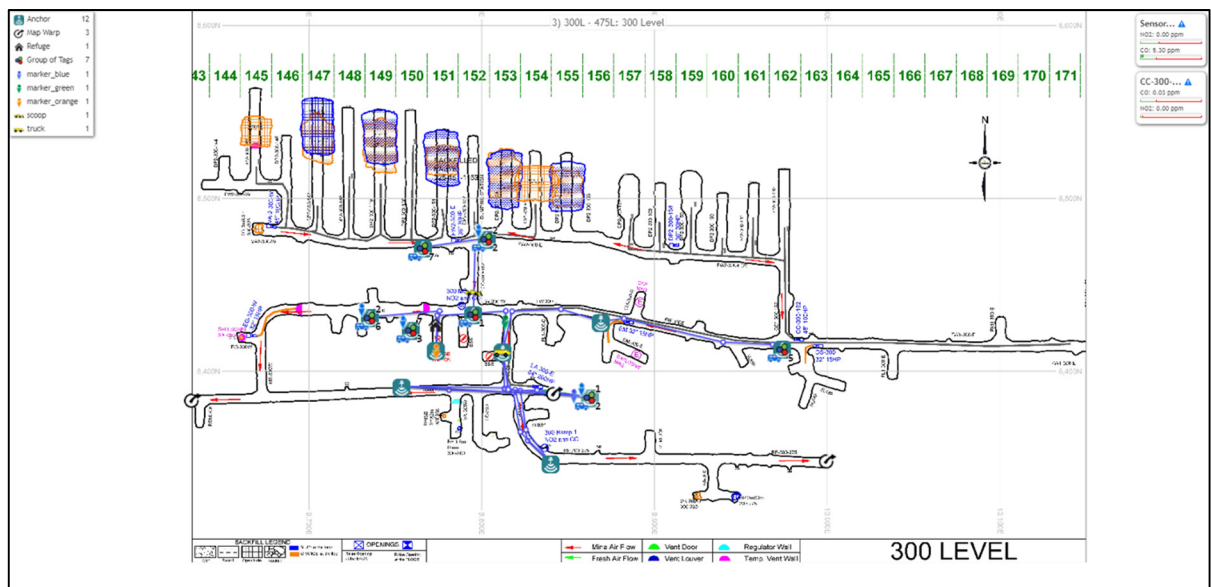


Figure-A III-1 Vue du niveau 300 de la mine Meliadine à l'aide du logiciel Imagine

ANNEXE IV

CLASSIFICATION DES DURÉES

Le tableau suivant présente les différentes activités selon la catégorie pour le calcul de temps (Operations and Maintenance working teams, 2014), (Adams & Bansah, 2016) et (Lukacs, 2020).

Tableau-A IV-1 Classification des durées

Temps sans production (NPT)	Temps d'arrêt pour maintenance (DT)	Temps d'attente (OS)	Délais d'opération (OD)	Temps d'opération actif (AOT)
Arrêt programmé	Réparation d'accident	Relations communautaires	Temps de changement de quarts	Voyage au site de chargement
Jour férié non travaillé	Maintenance électrique	Urgence	Dégivrement	Manceuvre de positionnement
Conflit de travail	Maintenance mécanique	Équipement non nécessaire	Mettre du carburant	Chargement
Pas de travail	Moteur	Géotechnique	Pause/repas	Voyage au site de déchargement
Force majeure	Hydraulique	Pas d'opérateur	Inspection	Déchargement
Interruption majeure de l'alimentation électrique d'un site	Structure	Pas assez de camions	Nettoyage de la route	Temps d'attente en ligne
Événement environnemental important	Inspection	Panne de courant	Pause personnelle	
Perte d'accès au site	Changement d'huile	Manque de scoop	Formation et rencontre	
Évacuation des gaz en raison de dynamitage	Maintenance régulière	Condition climatique extrême	Attendre à l'unité de chargement/déchargement	
	Pneus		Refroidissement des pneus	
	Attentes pour pièces		Attente pour une pelle	
	Reconstruction		Dynamitage	
			Obstruction de la route	

BIBLIOGRAPHIE

- Adams, K., & Bansah, K. (2016). *Review of Operational Delays in Shovel-Truck System of Surface Mining Operations*.
- Agnico Eagle. (2021). *Exploitation*. Consulté le septembre 15, 2021, Repéré à <https://www.agnicoeagle.com/French/exploitations/default.aspx>
- Avena. (2020). *AVEVA InTouch HMI*. Consulté le septembre 26, 2020, Repéré à <https://www.aveva.com/en/products/intouch-hmi/#features>
- Bloss, M., Harvey, P., Grant, D., & Routley, C. (2011). *Underground Ore Movement*. (Vol. SME Mining Engineering Handbook (Vol. 2)). Darling P.
- Campbell, J. D., & Jardine, A. K. S. (2001). *Maintenance excellence : optimizing equipment, life-cycle decisions*. New York: Marcel Dekker.
- Coronado, V., & Pablo, P. A. M. (2014). *Optimization of the haulage cycle model for Open Pit mining using a discrete-event simulator and a context-based Alert System*.
- Dragt, B. J., Camisani-Calzolari, F. R., & Craig, I. K. (2005). AN OVERVIEW OF THE AUTOMATION OF LOAD-HAUL-DUMP VEHICLES IN AN UNDERGROUND MINING ENVIRONMENT. *IFAC Proceedings Volumes*, 38(1), 37-48.
doi:<https://doi.org/10.3182/20050703-6-CZ-1902.01389>
- Ercelebi, S. G., & Bascetin, A. (2009). Optimization of shovel-truck system for surface mining. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 109, 433-439. Repéré à http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-62532009000700006&nrm=iso
- Fourie, H. (2016). Improvement in the overall efficiency of mining equipment: A case study. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 116, 275-281.
doi:10.17159/2411-9717/2016/v116n3a9
- Frank, B., Skogh, L., Filla, R., Froberg, A., & Alaküla, M. (2012). *On Increasing Fuel Efficiency by Operator Assistance Systems in a Wheel Loader*.
- GMG. (2019). UNDERGROUND MINE COMMUNICATIONS INFRASTRUCTURE GUIDELINES PART III: GENERAL GUIDELINES. Repéré à https://gmgroup.org/wp-content/uploads/2019/03/20180921_Underground-Mine-Communications-Infrastructure-III-GMG-UM-v01-r01.pdf

- Gosselin, G. (2005). LaRonde Mineral Resource & Mineral Reserve Estimate. Repéré à https://s21.q4cdn.com/374334112/files/doc_downloads/operations/laronde/March23-LaRonde-TechnicalReport2005_v001_17ba95.pdf
- Gu, Q.-h., Lu, C.-w., Li, F.-b., & Wan, C.-y. (2008). Monitoring dispatch information system of trucks and shovels in an open pit based on GIS/GPS/GPRS. *Journal of China University of Mining and Technology*, 18(2), 288-292. doi:[https://doi.org/10.1016/S1006-1266\(08\)60061-9](https://doi.org/10.1016/S1006-1266(08)60061-9)
- Günther Schuh, R. A., & Jürgen Gausemeier, M. t. H., Wolfgang Wahlster (Eds.). (2018). Acatech Industrie 4.0 Maturity Index Managing the Digital Transformation of Companies.
- Gustafson, A., Schunnesson, H., Galar, D., & Kumar, U. (2013). The influence of the operating environment on manual and automated load-haul-dump machines: A fault tree analysis. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 27(2), 75-87. doi:[10.1080/1755182X.2011.651371](https://doi.org/10.1080/1755182X.2011.651371)
- Haviland, D., & Marshall, J. (2015). Fundamental behaviours of production traffic in underground mine haulage ramps. *International Journal of Mining Science and Technology*, 25(1), 7-14. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2014.11.006>
- Julie Larouche, P. G. D. C., ing. Larry Connell, P.Eng. Dany Laflamme, ing. François Robichaud, ing. François Petrucci, ing. P.Eng. Alexandre Proulx, ing. (2015). Updated Technical Report on the Meliadine Gold Project, Nunavut, Canada.
- Korne, T. (2017). How to Start with Industry 4.0 in SMEs. *Chambre de Commerce, Luxembourg*. Repéré à https://digital4industry.lu/wp-content/uploads/2017/11/IPL_FEDIL_Presentation_20171124.pdf
- Lanke, A. A., Hoseinie, S. H., & Ghodrati, B. (2016). Mine production index (MPI)-extension of OEE for bottleneck detection in mining. *International Journal of Mining Science and Technology*, 26(5), 753-760. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2016.05.050>
- Li, J.-g., & Zhan, K. (2018). Intelligent Mining Technology for an Underground Metal Mine Based on Unmanned Equipment. *Engineering*, 4(3), 381-391. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05.013>
- Lukacs, Z. (2020). GMG Guideline_Time Classification Framework. Repéré à https://gmgroup.org/wp-content/uploads/2020/08/20200713_Time_Classification_Framework-GMG-DAU-v01-r01.pdf

- Meglab. (2020). *Imagine*. Consulté le octobre 14, 2020, Repéré à Meglab: <https://meglab.ca/en/imagine/>
- Mines, I. n. d. (2019). Portrait numérique de l'industrie minière au québec. Repéré à https://www.exploreslesmines.com/images/Portrait_version_finale.pdf
- Ministère de l'économie, d. l. s. e. d. l. i. (2017). Enquête auprès des entreprises manufacturières du Québec (Rapport d'analyse). Repéré à https://www.economie.gouv.qc.ca/fileadmin/contenu/publications/etudes_statistiques/secteur_manufacturier/enquete_industrie4_2019.pdf
- Moradi Afrapoli, A., & Askari-Nasab, H. (2019). Mining fleet management systems: a review of models and algorithms. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 33(1), 42-60. doi:10.1080/17480930.2017.1336607
- MPPIglobal. (2020). *OPTIMISATION DE LA FLOTTE MINIÈRE ET OEE*. Consulté le octobre 4, 2020, Repéré à Mppiglobal: <https://mppiglobal.com/fr/mining-fleet-optimisation-and-oe/>
- Newtrax. (2019). The OEE Guide for Underground Mining. Repéré à https://ntx.newtrax.com/guide_to_oe_ughrm/
- Newtrax. (2020). Improving Overall Equipment Effectiveness in Underground Mines with Newtrax. Repéré à <https://newtrax.com/blog/improving-overall-equipment-effectiveness-underground-mines-newtrax>
- O'Neill, M. (2007). *Measuring Workplace Performance*. (C. Press, Éditeur) Repéré à <https://doi.org/10.1201/9781420006131>
- Operations and Maintenance working teams, w. r. f. a. s. (2014). AEM - Guidance for Mobile Equipment.
- OSIsoft. (2020). *Capacités du PI System*. Consulté le septembre 26, 2020, repéré à OSIsoft: <https://www.osisoft.fr/pi-system/#tab2>
- Paraszcza, J. (2005). Understanding and assessment of mining equipment effectiveness. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology*, 114(3), A147-A151. doi:10.1179/037178405X53971
- Paraszcza, J. (2014). *Maximization of productivity of autonomous trackless loading and haulage equipment in underground metal mines - A challenging task*. Paper presented at the 2014 SME Annual Meeting and Exhibit: Leadership in Uncertain Times, SME 2014, February 23, 2014 - February 26, 2014, Salt Lake City, UT, United states.

- Pessl, E. (2017). Roadmap Industry 4.0 – Implementation Guideline for Enterprises. *International Journal of Science, Technology and Society*, 5(6). doi:10.11648/j.ijsts.20170506.14
- Pigeon, W. (2018). Système de climatisation à 3.1km de profondeur. Repéré à ftp://ftp.mern.gouv.qc.ca/Public/Dc/Conferences_Quebec-Mines-2018/20_11_2018_AM/9h25_Wilson_Pigeon.pdf
- Pratt, A. (2005). *Application of conveyors for underground haulage*. Australasian Institute of Mining and Metallurgy. Melbourne: Proceedings of the Ninth Underground Operators Conference.
- Sandvik. (2015). th551i-specification-sheet-english. Repéré à <https://www.rocktechnology.sandvik/globalassets/products/underground-loaders-and-trucks/pdf/th551i-specification-sheet-english.pdf>
- Sandvik. (2018, Avril 19). *Maintenance Manual-Volvo TAD 1662VE-TH551i*. Sandvik.
- Sandvik. (2020). *Automine equipment and teleoperation systems*. Consulté le octobre 30, 2020, repéré à Rock Technology Sandvik: <https://www.rocktechnology.sandvik/en/products/automation/automine-equipment-and-teleoperation-systems/>
- SimMine. (2020). SimMine Development Package – what it is and what can it do for you. Repéré à <https://simmine.com/wp-content/uploads/2019/08/SimMine-Development-package-what-is-it.pdf>
- Song, Z., Rinne, M., & van Wageningen, A. (2013). A review of real-time optimization in underground mining production. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 113, 889-897. Repéré à http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-62532013001200004&nrm=iso
- Thompson, R. J., & Malekzehtab, H. (2018). *Underground roadway design considerations for efficient autonomous hauling*. Paper presented at the Proceedings of the Fourth International Symposium on Block and Sublevel Caving, Vancouver. Repéré à https://papers.acg.uwa.edu.au/p/1815_23_Thompson/
- Wilson, R., Willis, R., & Plessis, A. (2004). *Considerations in the choice of primary access and transportation options in platinum mines*. The South African Institute of Mining and Metallurgy. Sun City: First International Platinum Conference ‘Platinum Adding Value’.