



Université Sultan Moulay Slimane
L'École Nationale des Sciences
Appliquées de Béni Mella



Filière : Transformation Digitale
Industrielle

Rapport de stage

Étude Observationnelle du Système OPM dans l'Industrie Minière

Réalisé par :

Imad ELADES

Au sein de :

L'OCP Mine Sidi Chennane

Encadrant industriel :

M. Hicham BEN OMAR

Année universitaire

2024 - 2025

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce stage d'observation au sein du groupe OCP, à la mine de Sidi Chennane.

Tout d'abord, je remercie l'Office Chérifien des Phosphates (OCP) pour m'avoir offert cette opportunité unique de découvrir le monde professionnel dans un cadre aussi prestigieux. Ce stage m'a permis de mieux comprendre les rouages de l'industrie minière et d'acquérir des compétences précieuses.

Mes sincères remerciements vont à mon parrain de stage et encadrant industriel, **Hicham BEN OMAR**, pour son suivi et son encadrement tout au long de cette expérience. Son rôle officiel a été essentiel pour structurer mon stage et m'orienter dans mes missions.

Un merci particulier à **Omar HAJJI**, qui a été pour moi un véritable encadrant au quotidien. Bien que non désigné officiellement, il m'a accompagné à chaque étape, m'aidant avec patience et générosité dans toutes les situations. Son soutien constant a fait de lui un guide indispensable.

Je suis également très reconnaissant envers **Abderrazak TIGUERTE**, ingénieur dans l'atelier, pour son aide précieuse et son amitié. Ses explications claires et son soutien technique m'ont permis de progresser, et sa gentillesse a rendu cette expérience encore plus agréable.

Enfin, je tiens à saluer l'équipe de **Hard Data**, la société en charge de la maintenance et du bon fonctionnement du système OPM. Ils m'ont consacré du temps, m'ont partagé leur expertise et m'ont intégré dans leurs interventions sur le terrain. Ces sorties m'ont offert une compréhension concrète des aspects techniques et ont été des moments d'apprentissage exceptionnels.

Ce rapport est le résultat d'un travail collectif, et je suis profondément reconnaissant envers tous ceux qui y ont contribué.

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	9
CHAPITRE I : Présentation de l'organisme d'accueil.....	11
1. Présentation générale du groupe OCP.....	12
1.1 Introduction.....	12
1.2 Histoire de l'OCP.....	14
1.3 Mission.....	15
1.4 Statut juridique de l'OCP.....	16
1.5 Fiche technique.....	16
1.6 Les sites miniers d'exploitation.....	17
CHAPITRE II : Présentation de la mine Sidi Chennane et service 335.....	18
1. Introduction.....	19
2. Présentation de la mine SC.....	19
3. Les étapes d'extraction du Phosphate.....	20
4. Présentation du service 335.....	23
4.1. Contexte et mission générale.....	23
4.2. Ateliers et missions clés.....	23
4.3. Processus transverse.....	24
4.4. Résultats attendus.....	24
CHAPITRE III : Etude du système OPM.....	25
1. Introduction au système OPM.....	26
□ Contexte historique.....	26
□ Objectifs principaux.....	26
□ Rôle dans les opérations minières.....	27
2. Composants matériels de l'armoire OPM.....	27
□ Introduction aux Composants Matériels.....	27
□ IPAN : Unité Centrale.....	28
□ Motorola MTM5400 : Transmission sans fil.....	28
□ ADAM 4017 : Conversion des signaux.....	29
□ MOXA 5450A : Communication des composants.....	30
□ OTR Schrader : Le contrôleur des éléments de TPMS.....	30
□ ALFATRONIX 24v/12v : Alimentation stable.....	31
□ Un disjoncteur.....	32
3. Capteurs du système OPM installés dans les engins.....	32
3.1 NB-04 (Navigation GPS).....	32

3.2 GEMAC (Capteur d'inclinaison)	33
3.3 LLS (Capteur de gazole)	34
3.4 CAN CROCODILE – adaptateur CAN sans contact	34
3.5 DM-03 (Compteur d'heures de marche)	37
3.6 Capteurs OTR SCHRADER (Pression et température des pneus)	38
3.7 Capteurs RFID (Transmission des données des capteurs OTR)	38
4. Configuration des Composants	39
4.1 Configuration du Contrôleur OPM pour les Capteurs TPMS	39
4.2 Configuration de l'IPAN	41
5. Processus d'Installation du Système OPM	42
a. Analyse des Besoins :	42
b. Installation des Équipements :	42
c. Configuration :	43
d. Tests :	43
6. Fonctionnalités clés de l'IPAN	46
6.1 Tableau de Bord	46
6.2 Écran de Connexion (Login)	47
6.3 Déclaration d'un arrêt	48
6.4 Page des violations	48
6.5 Page de supervision des états de capteurs	49
6.6 Page des informations TPMS	50
7. Le Fleet Monitoring System (FMS)	50
7.1 Introduction	50
7.2 Rôle Central du FMS dans l'OPM	51
7.3 Fonctionnalités Avancées du FMS	51
7.4 Bénéfices Opérationnels du Système FMS	56
CHAPITRE IV : Évaluation et amélioration de l'OPM	57
1. Analyse de la valeur ajoutée du système OPM	58
1.1 Pour le service 335	58
1.2 Pour l'OCP en général	59
2. Limites et problèmes rencontrés	59
2.1 Maintenance fréquente due aux conditions du terrain	60
2.2 Mauvais traitements ou manipulations par les conducteurs	60
2.3 Problèmes de connectivité	60
3. Propositions et recommandations	60
3.1 Développement de protections physiques pour les composants OPM	60
3.2 Remplacement du système TETRA par une solution 4G	61

3.3 Exploitation intelligente des données FMS via l'IA	61
Conclusion Générale	62

Liste des figures

FIGURE 1: LOGO D'OCP	12
FIGURE 2: ORGANIGRAMME DE LA DIRECTION GENERALE DE L'OCP	14
FIGURE 3: UNE BREVE HISTOIRE D'OCP	15
FIGURE 4: CARTE DES SITES MINIER D'EXPLOITATION	17
FIGURE 5: CARTE SIDI CHENNANE	20
FIGURE 6: OPERATION DE PREPARATION DE TERRAIN	20
FIGURE 7: OPERATION DE LA FORATION	21
FIGURE 8: OPERATION DU SAUTAGE.....	22
FIGURE 9: OPERATION DU DECAPAGE.....	22
FIGURE 10: LES CAMIONS DE TRANSPORT	23
FIGURE 11: EXEMPLE D'UNE ARMOIRE DU SYSTEME OPM DANS UN BULL	27
FIGURE 12: IPAN	28
FIGURE 13: MOTOROLA MTM5400 RADIO + ANTENNE	29
FIGURE 14: ADAM 4017	29
FIGURE 15: MOXA 5450A.....	30
FIGURE 16: LE CONTROLEUR OTR + DISPLAY.....	31
FIGURE 17: ALFATRONIX 24v/12v	31
FIGURE 18: UN DISJONCTEUR.....	32
FIGURE 19: L'EMPLACEMENT DE NB-04.....	33
FIGURE 20: CAPTEUR D'INCLINAISON DANS L'ARMOIRE	33
FIGURE 21: CAPTEUR LLS.....	34
FIGURE 22: CAN CROCODILE.....	35
FIGURE 23: ECM DANS UNE PELLE HYDRAULIQUE	35
FIGURE 24: INSTALLATION DE CAN CROCODILE	36
FIGURE 25: CAPTEUR TPMS.....	38
FIGURE 26: CAPTEUR RFID	39
FIGURE 27: INTERFACE DE CONFIGURATION OTR.....	40
FIGURE 28: LES PAGES DE CONFIGURATION OTR	40
FIGURE 29: INTERFACE DE CONFIGURATION DE IPAN	42
FIGURE 30: SCHEMA D'INSTALLATION DANS LE CAMION KOMATSU 730.....	44
FIGURE 31: SCHEMA D'INSTALLATION DANS LES BULLS CATERPILLAR D11	45
FIGURE 32: TABLEAU DE BORD DE L'IPAN	47
FIGURE 33: PAGE D'AUTHENTIFICATION DE CONDUCTEUR	47
FIGURE 34: PAGES DE DECLARATION DES ARRETS.....	48
FIGURE 35: PAGE DES VIOLATIONS.....	49
FIGURE 36: PAGE DE SUPERVISION DES ETATS DE CAPTEURS	49
FIGURE 37: PAGE TPMS D'UN CAMION DE TRANSPORT	50
FIGURE 38: FLUX DE DONNEES DU SYSTEME OPM.....	51
FIGURE 39: LES TABLEAUX DE BORD	52
FIGURE 40: CARTE INTERACTIVE	52
FIGURE 41: LISTE DES RAPPORTS DISPONIBLES	53
FIGURE 42: SCREENSHOT 1 DES RAPPORTS.....	54
FIGURE 43: SCREENSHOT 2 DES RAPPORTS	54
FIGURE 44: SYSTEME DE NOTIFICATION	55
FIGURE 45: LISTE DES CATALOGUES.....	55

Liste des tableaux

TABEAU 1: FICHE TECHNIQUE DE L'OCP	16
--	----

Tableau des abréviations

Abréviation	Signification
OCP	Office Chérifien des Phosphates
OPM	OCP Process Manufacturing
PDR	Pièces de Rechange
GMAO	Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur
CAT	Caterpillar (marque d'engins lourds)
OTR	Off-The-Road (véhicules tout-terrain)
FMS	Fleet Monitoring System
IPAN	Intelligent Panel (panneau intelligent embarqué)
DMO	Direct Mode Operation (mode direct de communication – TETRA)
MOXA	Marque de convertisseurs série/Ethernet industriels
ECM	Engine Control Module (module de commande moteur)
LLS	Liquid Level Sensor (capteur de niveau de carburant)
RPM	Revolutions Per Minute (tours par minute)
DTC	Diagnostic Trouble Code (code de panne diagnostic)
ABS	Anti-lock Braking System (système antiblocage des freins)
RFID	Radio Frequency Identification
TPMS	Tire Pressure Monitoring System (système de surveillance de pression des pneus)
GPS	Global Positioning System

Abréviation	Signification
CAN	Controller Area Network (réseau de communication embarqué)
J1939	Protocole de communication standard sur bus CAN
NB-04	Module GPS de navigation embarqué
ADAM	Acquisition Data and Monitoring (module de conversion de signaux – série Advantech)
MTM5400	Modèle de radio professionnelle Motorola (utilisé dans les réseaux TETRA)
TETRA	Terrestrial Trunked Radio (réseau radio professionnel sécurisé)

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Dans le cadre du cursus en **Transformation Digitale Industrielle** à l'École Nationale des Sciences Appliquées de Beni Mellal, j'ai eu l'opportunité d'effectuer un stage d'observation au sein de l'**OCP – Mine de Sidi Chennane**, l'un des pôles majeurs de l'industrie minière au Maroc. Ce stage a constitué une expérience précieuse d'immersion dans un environnement industriel de haute technologie, au cœur des activités d'extraction et de valorisation du phosphate, ressource stratégique pour l'économie nationale.

L'objectif principal de ce stage était d'observer et de comprendre les mécanismes organisationnels et technologiques de la gestion des engins miniers, en mettant particulièrement l'accent sur le **système OPM (OCP Process Manufacturing)**. Ce système joue un rôle central dans la supervision en temps réel des équipements, la collecte de données critiques et l'optimisation de la maintenance préventive.

À travers une approche basée sur l'analyse de terrain, ce rapport vise à restituer les connaissances acquises, tant sur le plan technique que sur le plan opérationnel, en valorisant notamment les apports du système OPM dans l'amélioration des performances industrielles. Le document s'articule autour de la présentation de l'organisme d'accueil, l'étude détaillée de la mine Sidi Chennane et de son service 335, et l'analyse approfondie du système OPM ainsi que des recommandations pour son amélioration.

CHAPITRE I : Présentation de l'organisme d'accueil

1. Présentation générale du groupe OCP

1.1 Introduction



Figure 1: Logo d'OCP

Le groupe OCP, acronyme de l'Office Chérifien des Phosphates, est un acteur majeur dans l'industrie minière et chimique, spécialisé dans l'extraction, la transformation et la commercialisation des phosphates et de leurs dérivés. Fondé en 1920, le groupe OCP a évolué pour devenir l'un des leaders mondiaux dans le domaine des phosphates.

Le groupe OCP est basé au Maroc, pays qui détient d'importantes réserves de phosphates, et possède une présence internationale grâce à ses filiales et partenariats stratégiques dans de nombreux pays à travers le monde. Il s'engage dans toute la chaîne de valeur des phosphates, allant de l'extraction minière à la production d'engrais, d'acide phosphorique, de phosphates alimentaires et industriels, ainsi que d'autres produits dérivés.

L'activité principale du groupe OCP est centrée sur l'exploitation minière des phosphates, notamment dans les régions du bassin sédimentaire marocain. Il dispose de vastes réserves de phosphates de haute qualité et utilise des technologies de pointe pour l'extraction et la valorisation de ces ressources naturelles.

En plus de son engagement dans l'extraction minière, le groupe OCP met également l'accent sur la recherche et le développement, visant à améliorer continuellement ses procédés de

production, à développer de nouvelles applications pour les phosphates et à promouvoir des pratiques durables et respectueuses de l'environnement.

En tant qu'acteur mondial, le groupe OCP est fortement engagé dans la responsabilité sociale et environnementale, mettant en œuvre des initiatives visant à promouvoir le développement socio-économique des communautés locales, à assurer la sécurité et le bien-être de ses employés, ainsi qu'à préserver l'environnement dans lequel il opère.

La vision du groupe OCP est de devenir le leader mondial de l'industrie des phosphates, en offrant des produits de haute qualité et en contribuant au développement durable des pays où il opère. À travers l'innovation, l'efficacité opérationnelle et la collaboration avec ses partenaires, le groupe OCP aspire à répondre aux besoins mondiaux croissants en matière de sécurité alimentaire et de solutions agricoles durables.

Ce groupe est géré par plusieurs directions coiffées par une direction générale dont le siège social à Casablanca.

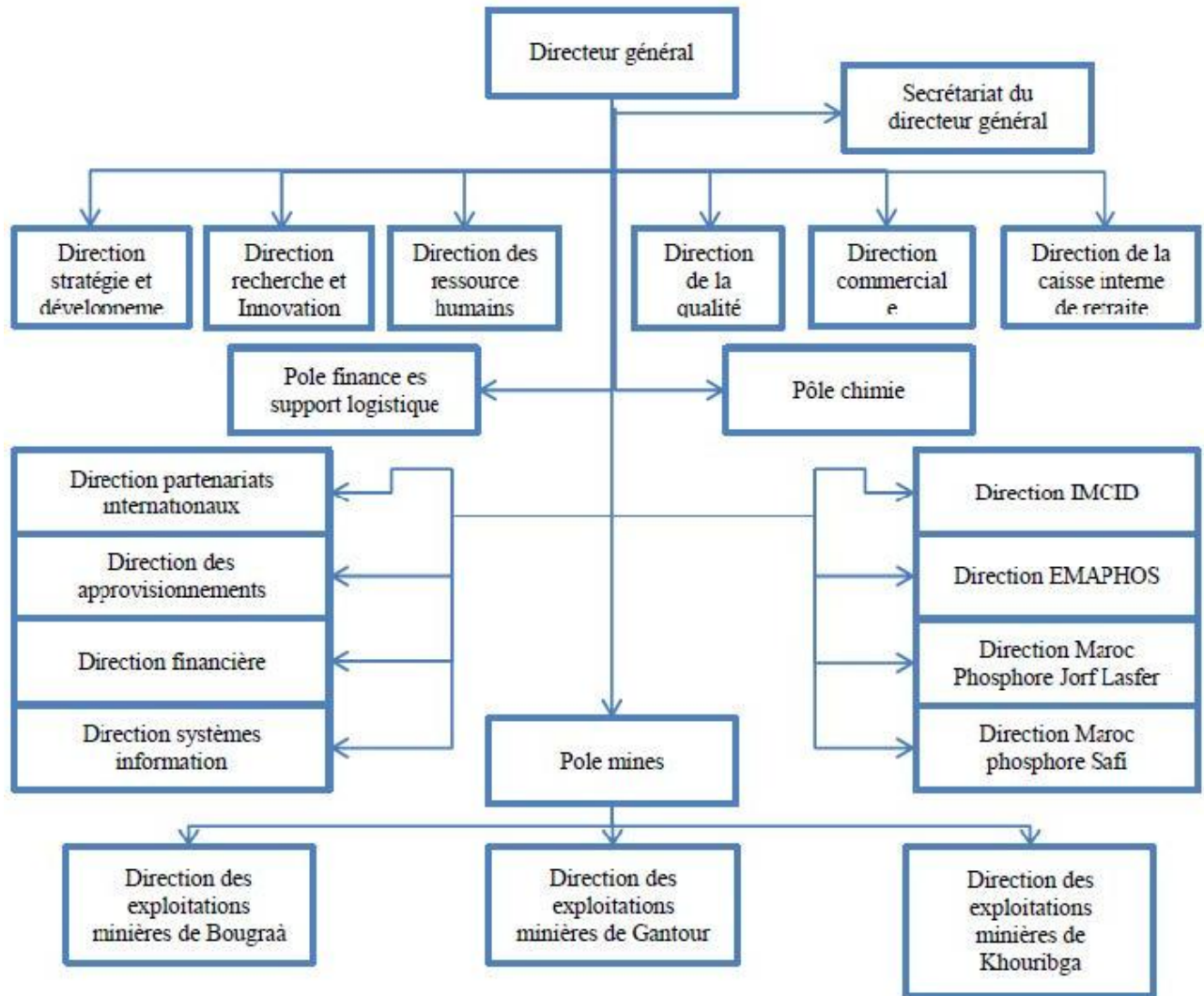


Figure 2: Organigramme de la direction générale de l'OCP

1.2 Histoire de l'OCP

Créé en 1920 sous le nom d'Office Chérifien des Phosphates, OCP a débuté ses activités par l'exploitation de sa première mine à Khouribga. Depuis, le Groupe n'a cessé de se développer pour devenir un acteur mondial présent sur les cinq continents. Il intervient aujourd'hui sur l'ensemble de la chaîne de valeur des phosphates, allant de l'extraction minière à la transformation industrielle, tout en s'engageant également dans des initiatives d'éducation et de développement communautaire.

La production a commencé en mars 1921 à Khouribga, suivie des premières exportations via le port de Casablanca la même année. Par la suite, deux autres mines ont été ouvertes : à

Yousseoufia en 1931 et à Benguerir en 1976. Dans une logique de diversification, OCP a investi dans la transformation des phosphates avec la mise en place d'unités chimiques à Safi en 1965, puis à Jorf Lasfar en 1984.

En 2008, l'Office est devenu OCP Group S.A., une société anonyme détenue par l'État marocain et le Groupe Banque Populaire. Cette transformation marque une nouvelle étape dans l'histoire du Groupe, qui continue de renforcer ses liens avec les communautés locales, de s'engager activement pour la réduction de son impact environnemental et de nouer des partenariats stratégiques avec des entreprises innovantes, tant au niveau national qu'international.

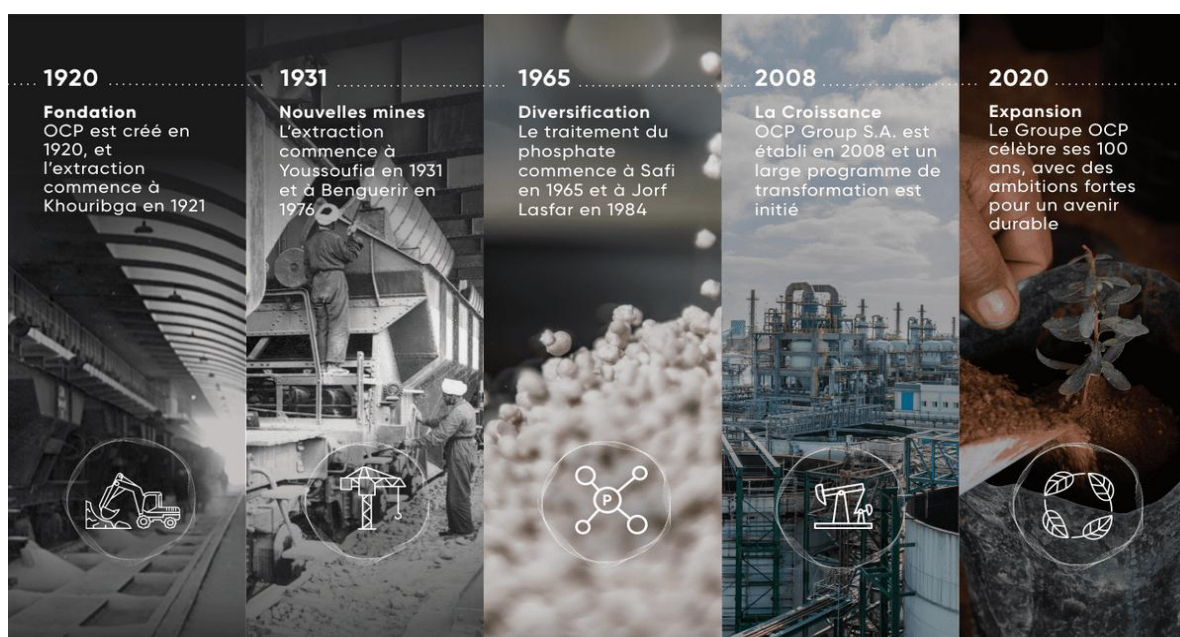


Figure 3: Une brève Histoire d'OCP

1.3 Mission

La mission principale de l'OCP s'articule autour de deux axes essentiels :

- L'extraction de phosphate brut, son traitement en produits commercialisables, puis sa mise sur le marché.
- La valorisation d'une partie de cette production dans des unités chimiques, en la transformant en acide phosphorique ou en engrais.

1.4 Statut juridique de l'OCP

L'OCP a été institué en tant qu'établissement public à caractère industriel et commercial. Il bénéficie d'une organisation spécifique lui conférant une grande souplesse et une dynamique de gestion similaire à celle des entreprises privées. Sa création a été formalisée par Dahir, et il est administré par un conseil composé de plusieurs ministres, présidé par le Chef du Gouvernement.

L'OCP est la première entreprise nationale et l'une des grandes entreprises internationales.

Il occupe une place très importante parmi les pays producteurs du phosphate.

1.5 Fiche technique

Raison sociale	Office Chérifien des Phosphates OCP
Numéro du registre de commerce	Casablanca 40.327
Date de création	Dahir du 07/08/1920
Mise en place de la structure d'un groupe	Juillet 1975
Siège social	Angle Route d'El Jadida et BD de la Grande Ceinture, B.P 5196 Casa Maarif, Casablanca Tél. : 02-23-(00-01-20)-25
Directeur Général	M. Mostafa TERRAB
Produits commercialisés	Phosphate, Acide Phosphorique, et Engrais.
Activités	<p>L'OCP occupe une place de leader que ce soit à l'échelle nationale qu'internationale. Il joue un rôle primordial sur le plan économique et social par la source des revenus qu'il présente et par le nombre d'agents qu'il emploie.</p> <p>Il faut marquer que le Groupe OCP et ses filiales bénéficient de trois principaux privilèges qui sont comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Principal exportateur mondial de phosphates • Principal exportateur mondial de l'acide phosphorique • Principal exportateur de phosphates sous toutes formes. <p>L'OCP contribue aussi pour une large part dans le chiffre d'affaire de plusieurs établissements publics par le biais des achats de divers services et prestations tel que :</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'Office National des Chemins de Fer - L'Office National de l'Electricité

Tableau 1: fiche technique de l'OCP

1.6 Les sites miniers d'exploitation

Les sites miniers où l'Office Chérifien des Phosphates extrait principalement du phosphate incluent :

- **Khouribga**, qui représente 70 % de la production totale et abrite les plus grandes réserves de phosphate au Maroc.
- **Benguérir**, un site à ciel ouvert important, également connu pour ses activités de recherche et développement.
- **Youssoufia**, un autre site clé dans le bassin de Gantour, historiquement opérationnel depuis 1931.
- **Boucraâ**, situé dans le Sahara marocain, contribuant à environ 8 % de la production.

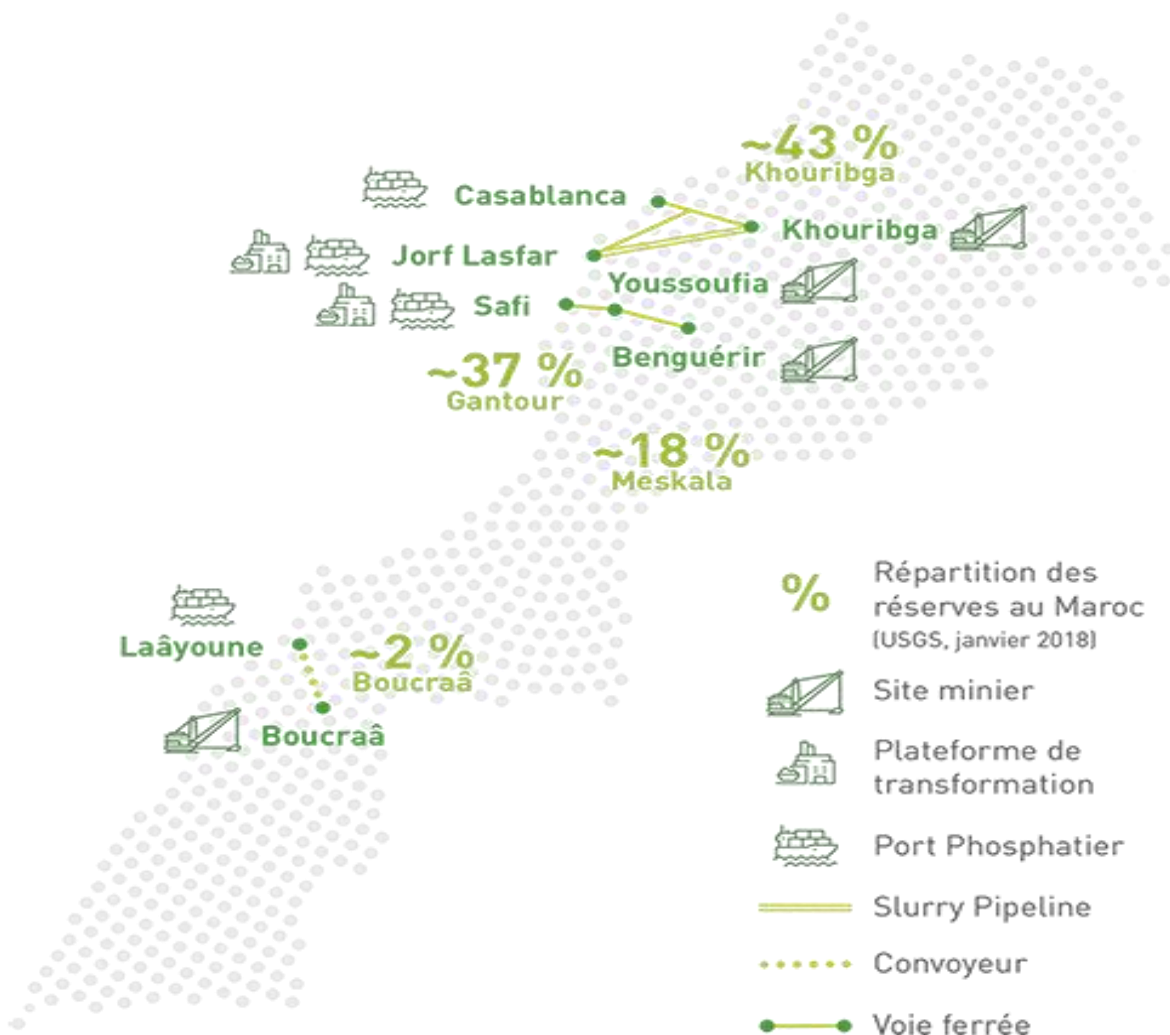


Figure 4: Carte des sites miniers d'exploitation

CHAPITRE II : Présentation de la mine Sidi Chennane et service 335

1. Introduction

La zone de Khouribga est située à 120 Km au sud - Est de Casablanca. Elle constitue la plus importante zone de production de phosphate du Groupe OCP (plus de $\frac{2}{3}$ de la production du groupe proviennent de Khouribga). Elle fait partie du gisement des OUELD ABDOUN. C'est le plus ancien et notamment le plus vaste des gisements exploités au Maroc.

Le gisement de phosphate est du type sédimentaire, présentant plusieurs couches phosphatées alternant avec des niveaux de marnes et de calcaires. Les réserves en phosphates sont estimées à plus de 35 milliards de m^3 .

Les gisements actuellement en exploitation sont SIDI DAOUI, MERAH EL AHRACH et SIDI CHENNANE.

2. Présentation de la mine SC

Le secteur SIDI CHENNANE est une nouvelle mine dont l'activité a démarré en 1994, c'est un secteur minier en pleine expansion, avec une production d'environ 6 Mt de phosphates en moyenne par an, et une réserve de 331 Mt.

Les ateliers décentralisés de SIDI CHENNANE :

- **Atelier bulls et camions** : service 335
- **Atelier électrique** : service 336
- **Atelier machines** : service 337

Le parc matériel du site SIDI CHENNANE :

- **La trémie** : Sidi CHENNANE.
- **Les machines électriques** : 4 draglines, 1 pelle en bute et 1 sondeuse.
- **Les Machines Diesel** : 6 pelles hydrauliques, 4 sondeuses, 1 chargeuse.
- **Les engins** : 20 camions, 24 bulls et environ 30 engins divers.

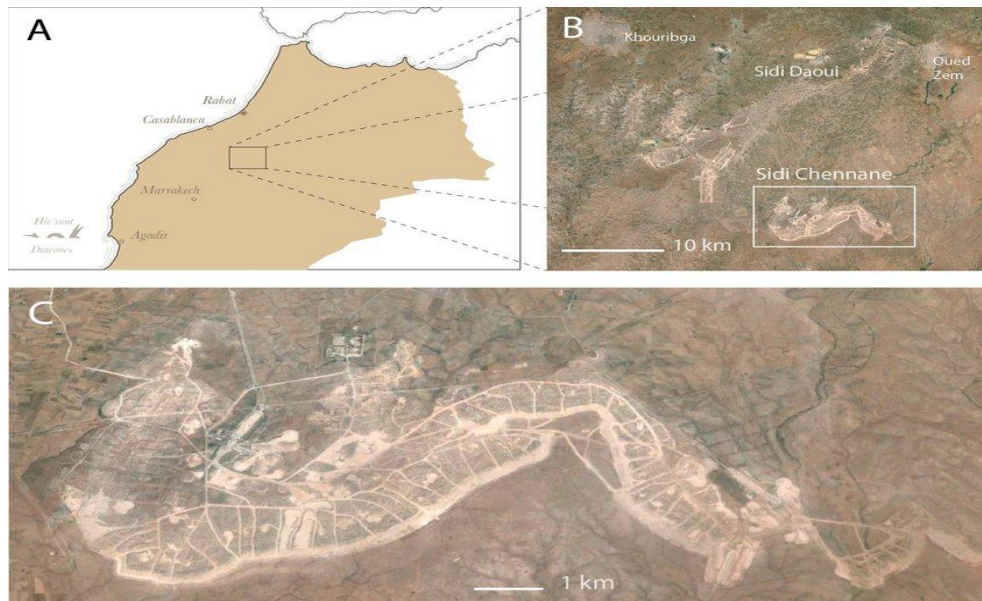


Figure 5: carte SIDI CHENNANE

3. Les étapes d'extraction du Phosphate

La méthode d'extraction du phosphate à ciel ouvert comporte une série d'opérations : la Préparation du terrain, la foration, le sautage, le décapage, le dé-fruitage et le transport du phosphate. Ces opérations sont décrites comme suit :

➤ Préparation de terrain :

Assurée par l'engin Bulldozer, cette étape consiste à éliminer toute impureté indésirable y compris les arbres les roches dures etc. La figure 2 illustre l'opération de préparation de terrain.



Figure 6: Opération de préparation de terrain

➤ Foration :

Elle consiste à créer dans le sol des trous de 7-12 m (figure 3) selon le niveau phosphaté, la distance entre chaque deux fosses est de 3 m et nous faisons ce processus par des engins de type Sondeuse TEREX. Ces trous créés serviront des loges pour les charges explosives.



Figure 7: Opération de la Foration

P : La profondeur du trou, elle est comprise entre 7 et 12m.

D : La distance entre les trous, environs 3m.

➤ Sautage :

Il s'agit de mettre de l'explosif dans les trous créés par foration et procéder au tir comme illustré dans la figure ci-dessous, pour fragmenter le terrain mort suivant une granulométrie spécifique. L'explosif utilisé dans les mines à ciel ouvert de K HOURIBGA est l'Amonix constitué de nitrate d'Ammonium 94% et de fuel 6%. Le choix de tel explosif est justifié par le fait qu'il est :

- Sécuritaire : insensible aux chocs
- Economique : 4DH/Kg
- Facile à mettre en œuvre



Figure 8: Opération du Sautage

➤ **Décapage :**

Cette opération consiste à enlever les « morts terrains » (stériles) qui recouvrent le premier niveau phosphaté exploitable à l'aide des Bulls ou Dragline.



Figure 9: Opération du Décapage

➤ **De-fruitage :**

C'est la récupération et le chargement du phosphate brut. Les couches minces sont aménagées par les bulles puis chargées par des chargeuses, tandis que les couches épaisses sont chargées par les draglines.

➤ **Transport :**

C'est l'acheminement du phosphate brut jusqu'aux trémies de réception des installations d'épierreage-criblage. Il est assuré par des camions de grande capacité.



Figure 10: les camions de transport

4. Présentation du service 335

4.1. Contexte et mission générale

Le site de **Sidi Chennane**, situé au cœur du bassin phosphatier marocain, est équipé d'une flotte d'engins lourds (camions d'extraction, chargeuses, bulldozers, niveleuses...) dont la disponibilité permanente est essentielle au bon déroulement des opérations. Le **service 335** a pour vocation de réaliser, directement sur les chantiers, :

- **La maintenance préventive** : contrôles périodiques, lubrifications et vidanges programmées...
- **La réparation corrective** : diagnostic des pannes et remise en état immédiate,
- **La planification et le suivi** : gestion des interventions et des stocks de pièces via la GMAO, en prévision du futur déploiement du système de surveillance OPM.

Sa mission principale est d'assurer une **disponibilité continue (24 h/24)** des équipements, de limiter les arrêts non planifiés et de garantir un niveau de sécurité optimal pour les opérateurs.

4.2. Ateliers et missions clés

- **Section Bulls** : suivi et dépannage des bulldozers et niveleuses.
- **Section Pneumatique** : inspection, gonflage et remplacement des pneus.
- **Station-service** : vidanges, filtres, lubrification et entretiens programmés...

- **Section Camions** : gestion du parc camions, maintenance préventive et corrective, calendrier des révisions.

4.3. Processus transverse

- **Expression du besoin** : recueil des demandes de pièces (PDR) et intégration immédiate en GMAO.
- **Planification** : priorisation selon l'urgence et la disponibilité sur chantier.
- **Suivi qualité** : traçabilité des opérations et indicateurs de performance.

4.4. Résultats attendus

- **Continuité de production** : diminution des arrêts non planifiés.
- **Efficacité des interventions** : meilleure anticipation des opérations.
- **Sécurité accrue** : fiabilité des engins et protections renforcées.
- **Traçabilité** : historique complet des maintenances via GMAO (et bientôt OPM).

Le chapitre suivant détaillera le déploiement du système OPM pour la surveillance en temps réel des engins.

CHAPITRE III : Etude du système OPM

Ce chapitre vise à introduire le système OPM, expliquer ses composants matériels, son installation et son fonctionnement technique, afin de poser les bases pour analyser son impact sur la maintenance dans le chapitre suivant.

1. Introduction au système OPM

Le système **OPM (OCP Process Manufacturing)** est une solution technologique avancée développée pour surveiller et optimiser l'utilisation des engins miniers au sein de l'OCP. Il s'agit d'un outil de gestion qui centralise les données opérationnelles d'équipements tels que les camions, les pelles hydrauliques et les bulldozers... dans le but d'améliorer leur performance, leur disponibilité et leur maintenance préventive.

Ce « cerveau » numérique permet ainsi de maintenir une surveillance globale, d'anticiper la maintenance, de réduire les arrêts imprévus et d'optimiser la performance opérationnelle de la carrière de Sidi Chennane. Dans les sections qui suivent, nous détaillerons tour à tour les composants physiques de l'OPM, la configuration des capteurs, le processus d'installation, les fonctionnalités de l'IPAN et les services offerts par le FMS.

Contexte historique

L'OPM a d'abord été déployé à LMRAH en 2014 par une société russe externe, avant d'être étendu à la mine de Sidi Chennane en 2016. Ce déploiement marque une avancée majeure dans la modernisation des opérations minières, s'inscrivant dans la continuité des premiers projets de surveillance et ouvrant la voie à une gestion performante et prédictive des équipements.

Objectifs principaux

L'objectif fondamental de l'OPM est de centraliser les données liées aux engins pour en optimiser la gestion. Parmi ses fonctionnalités clés, on retrouve :

- Le suivi des **heures de marche** pour planifier les opérations de maintenance.
- La surveillance de l'**état des composants** (moteurs, pneus, etc.) afin de prévenir les pannes.
- La **localisation en temps réel** pour une allocation efficace des ressources.
- Le suivi de la consommation.

Grâce à ces données consolidées, l'OPM permet une prise de décision rapide et éclairée, favorisant une gestion proactive des équipements.

Rôle dans les opérations minières

Dans le cadre des mines de l'OCP, où les engins fonctionnent dans des environnements exigeants (poussière, vibrations, terrains accidentés...), l'OPM joue un rôle essentiel. Il assure une surveillance continue et en temps réel, augmentant ainsi la productivité tout en réduisant les arrêts imprévus grâce à une maintenance anticipée. Cet outil constitue un levier stratégique pour optimiser la disponibilité des équipements et réduire les coûts opérationnels.

2. Composants matériels de l'armoire OPM

Introduction aux Composants Matériels

Le système OPM repose sur une architecture matérielle robuste et intégrée, conçue pour fonctionner dans les environnements exigeants des mines. Ces composants matériels permettent la collecte, le traitement et la transmission des données des engins miniers vers le centre de contrôle. Les principaux éléments incluent des unités de traitement, des modules de communication, des convertisseurs de signaux et des dispositifs d'alimentation. Chaque composant joue un rôle spécifique pour garantir une surveillance efficace et en temps réel des équipements.

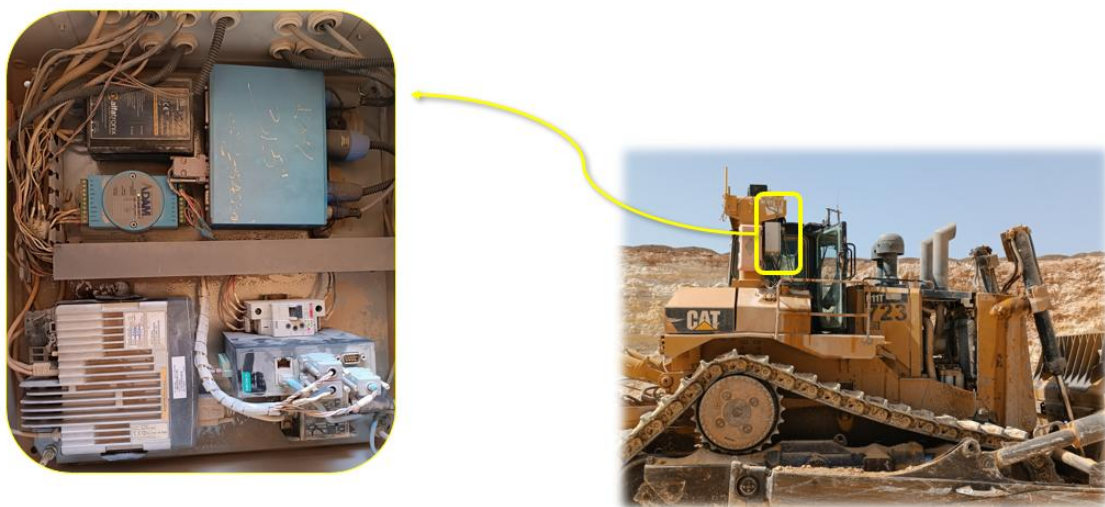


Figure 11: Exemple d'une armoire du système OPM dans un bull

IPAN : Unité Centrale

- Description** : L'IPAN, comme fourni, est le cœur du système OPM, fonctionnant sous Windows7, dédié au traitement et à l'affichage des données collectées par les capteurs sur les engins miniers. Il reçoit les données brutes, les traite pour les rendre exploitables, et les présente via une interface utilisateur claire, avec un stockage temporaire avant envoi au système central (FMS). Il est systématiquement placé dans la cabine de contrôle pour rester à proximité du conducteur.



Figure 12: IPAN

- Rôle** : Il centralise l'analyse et la visualisation des données.
- Importance** : Grâce à ses logiciels spécifiques, l'IPAN permet une analyse rapide et une visualisation des données, facilitant la prise de décision par les opérateurs sur le terrain.

Motorola MTM5400 : Transmission sans fil

- Description** : Le Motorola MTM5400 est un radio mobile TETRA, conçu pour des communications professionnelles dans des environnements exigeants. Il offre une couverture étendue grâce à une sensibilité de récepteur de premier plan et une puissance de transmission de 10W. Il supporte des applications de données comme les

messages texte, le transfert de fichiers et le suivi de localisation, avec des fonctionnalités avancées comme le répéteur DMO et la passerelle.



Figure 13: Motorola MTM5400 radio + antenne

- **Rôle :** Il établit une liaison fiable entre les engins et le centre de contrôle via le protocole Tetra, assurant une transmission sécurisée et en temps réel.
- **Importance :** Sa portée opérationnelle leader dans l'industrie est cruciale pour maintenir la communication dans des zones étendues ou difficiles d'accès, améliorant la sécurité et l'efficacité de transmission.

ADAM 4017 : Conversion des signaux

- **Description :** L'ADAM-4017, fabriqué par AdvanTech, est un module d'entrée analogique de la série ADAM-4000, avec 8 canaux pour mesurer des signaux de tension ou de courant. Il utilise une interface RS-485 et supporte le protocole Modbus, ce qui le rend compatible avec de nombreux systèmes de contrôle industriels. Il est conçu pour des environnements variés, avec une résolution de 16 bits pour une précision élevée.



Figure 14: ADAM 4017

- **Rôle :** Il convertit les signaux analogiques provenant de capteurs en données numériques, permettant leur intégration dans des systèmes de contrôle ou des ordinateurs pour une analyse en temps réel. Cela est essentiel pour la surveillance des processus industriels, comme les heures de marche dans les engins miniers.
- **Importance :** Sa précision et sa capacité à gérer plusieurs entrées en font un élément clé pour la fiabilité des données collectées.

MOXA 5450A : Communication des composants

- **Description Détaillée :** Ce dispositif connecte des périphériques série RS-232/422/485 à un réseau Ethernet, avec des fonctionnalités comme une protection contre les surtensions et une compatibilité avec des protocoles industriels. Ils sont conçus pour des environnements industriels, avec des options de température étendue pour des applications exigeantes.



Figure 15: MOXA 5450A

- **Rôle :** Il gère les communications Ethernet et série, assurant une circulation fluide des données entre l'IPAN, les capteurs et les modules de transmission.
- **Importance :** En tant que pont de communication, le MOXA garantit l'intégrité et la rapidité des échanges, essentielles pour une surveillance en temps réel.

OTR Schrader : Le contrôleur des éléments de TPMS

- **Description Détaillée :** OTR Schrader fait référence aux systèmes TPMS (Tire Pressure Monitoring System) pour véhicules tout-terrain (Off-The-Road), fournis par Schrader, un leader dans les solutions de capteurs pour pneus. Ces systèmes sont conçus pour des véhicules lourds comme les camions miniers, surveillant la pression et la température des pneus en temps réel.



Figure 16: Le contrôleur OTR + Display

- **Rôle :** Le contrôleur TPMS alerte les opérateurs en cas d'anomalies, prévenant les défaillances des pneus et optimisant leur durée de vie, crucial pour des opérations où les pneus sont soumis à des charges lourdes et des conditions extrêmes.
- **Importance :** Dans les mines et la construction, maintenir la pression des pneus correcte est vital pour la sécurité et la réduction des coûts, améliorant l'efficacité opérationnelle.

ALFATRONIX 24v/12v : Alimentation stable

- **Description Détaillée :** Les convertisseurs ALFATRONIX 24V à 12V sont des dispositifs DC-DC conçus pour fournir une tension stable de 12V à partir d'un système 24V, couramment utilisé dans les véhicules lourds et les installations industrielles. Ils offrent une efficacité élevée (jusqu'à 93%), avec des protections contre les surcharges, surchauffes et transitoires.



Figure 17: ALFATRONIX 24v/12v

- **Rôle :** Ils alimentent des équipements conçus pour 12V, comme des systèmes de communication ou des capteurs, à partir de systèmes électriques de 24V, évitant les incompatibilités de tension.

- **Importance** : Ils préviennent les dysfonctionnements dus à des tensions inadaptées, assurant la fiabilité des équipements dans des environnements exigeants des engins miniers.

Un disjoncteur

Sert à activer ou désactiver le système, tout en assurant une fonction de protection contre les surtensions ou les courts-circuits.



Figure 18: Un disjoncteur

3. Capteurs du système OPM installés dans les engins

Le système OPM repose sur une série de capteurs installés sur les engins miniers pour collecter des données essentielles à la surveillance en temps réel, à la maintenance préventive et à l'optimisation des opérations. Ces capteurs, intégrés aux engins tels que les camions, les chargeuses, les pelles hydrauliques, etc. permettent de superviser des paramètres critiques comme la localisation, l'état des pneus ou la consommation de carburant. Cette section présente chaque capteur, en détaillant sa description, le type et la nature des données qu'il mesure, ainsi que son importance dans le contexte des opérations minières de l'OCP.

3.1 NB-04 (Navigation GPS)

- **Description** : Le NB-04 est un module de navigation GPS robuste conçu pour fournir des données de localisation précises, même dans des environnements exigeants comme les mines. Il est connecté à une antenne spécifique pour capter les signaux satellites.

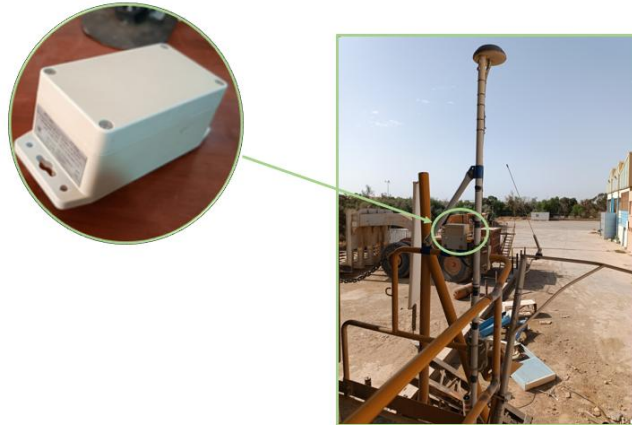


Figure 19: l'emplacement de NB-04

- **Type et nature des données** : Il mesure la position géographique (latitude, longitude, altitude), la vitesse et la direction de l'engin. Les données sont transmises via des protocoles standards comme NMEA, souvent en temps réel.
- **Importance** : Le système de suivi GPS permet de localiser les engins en temps réel sur le site minier, d'optimiser leurs itinéraires afin de réduire la consommation de carburant, de repérer les arrêts prolongés, et de renforcer la sécurité en assurant un suivi précis de leurs déplacements et de leurs missions.

3.2 GEMAC (Capteur d'inclinaison)

- **Description** : Les capteurs GEMAC, spécialisés dans la mesure d'inclinaison, sont installés pour surveiller l'angle des engins par rapport à l'horizontale, particulièrement utile sur des terrains irréguliers.

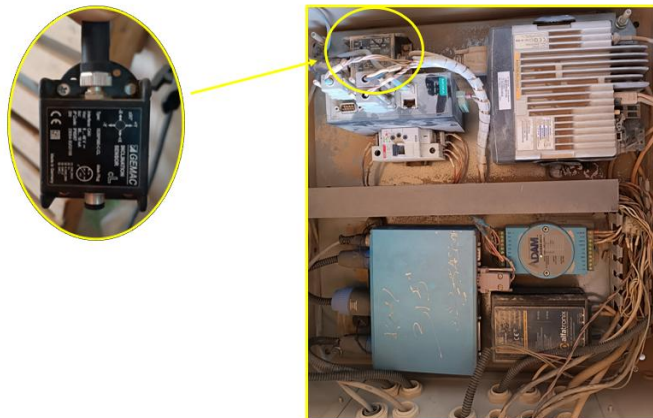


Figure 20: Capteur d'inclinaison dans l'armoire

- **Type et nature des données** : Ils fournissent des mesures d'angle en degrés ou en pourcentage de pente, avec une précision élevée (souvent $\pm 0,1^\circ$).
- **Importance** : La surveillance de l'inclinaison prévient les risques de basculement des engins, garantissant la sécurité des opérateurs et la stabilité des équipements dans des conditions de terrain difficiles.

3.3 LLS (Capteur de gazole)

- **Description** : Le capteur LLS (Liquid Level Sensor) mesure le niveau de carburant dans les réservoirs des engins. Il est souvent installé près du réservoir pour une détection précise.
- **Type et nature des données** : Il génère un signal analogique ou numérique proportionnel au volume de gazole, exprimé en litres ou en pourcentage.



Figure 21: Capteur LLS

- **Importance** : Ce capteur permet de suivre la consommation de carburant, de planifier les ravitaillements et d'éviter les pannes dues à un réservoir vide, optimisant ainsi la continuité des opérations.

3.4 CAN CROCODILE – adaptateur CAN sans contact

Le **CAN Crocodile** est un lecteur de bus CAN conçu pour se fixer sur le faisceau de câbles CAN d'un engin sans couper les fils. Grâce à un capteur inductif, il capte les données brutes du bus CAN (« écoute » en mode passif) par des champs électromagnétiques non invasifs. Cet adaptateur assure ainsi une lecture sûre des informations du réseau CAN (notamment protégé par la garantie constructeur). En pratique, il se pose simplement autour des fils CAN-H/CAN-

L, se verrouille puis transmet les données captées vers un enregistreur ou un boîtier télématique (IPAN dans notre cas) pour enregistrement et analyse.



Figure 22: CAN CROCODILE

- **Rôle du module de commande moteur (ECM)**

Le **module de commande moteur (ECM)**, ou Engine Control Module, est le « cerveau » électronique du moteur thermique. C'est un calculateur embarqué qui régule en continu le fonctionnement du moteur. Il reçoit les données de multiples capteurs (vitesse du moteur, position de la pédale, température moteur, pression d'huile, etc.), puis ajuste en temps réel les paramètres essentiels (injection de carburant, allumage, système antipollution...) pour optimiser la performance et l'efficacité du moteur. L'ECM supervise aussi la santé du moteur, il analyse en continu les données des capteurs et, lorsqu'il détecte une anomalie, il génère un code d'erreur spécifique (DTC : Diagnostic Trouble Codes) pour faciliter le diagnostic et la réparation.

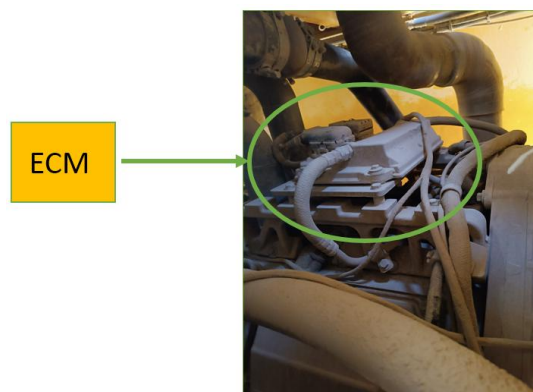


Figure 23: ECM dans une pelle hydraulique

Le CAN Crocodile se connecte au bus CAN sur lequel l'ECM et les autres calculateurs échangent leurs messages. Ainsi, l'adaptateur peut « sniffer » les informations que l'ECM

publie sur le bus CAN (via le protocole J1939) sans interagir électriquement avec le réseau, et sans modifier les messages d'origine.

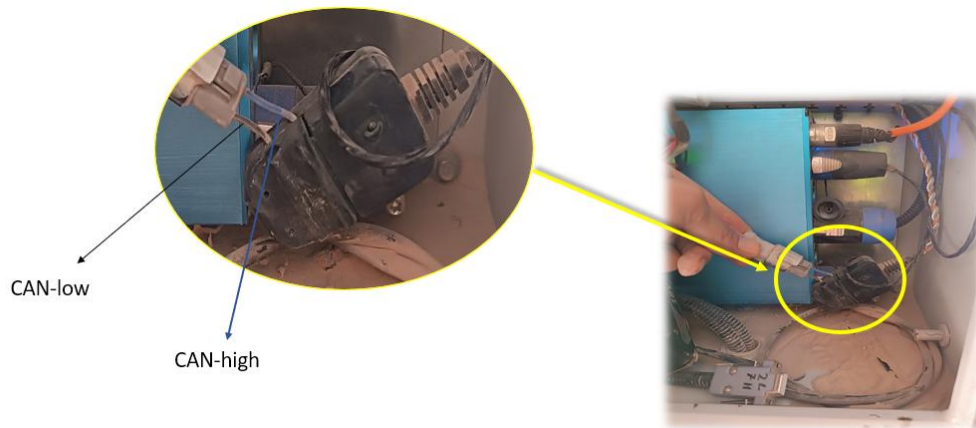


Figure 24: installation de CAN crocodile

- **Données collectées (Protocol J1939)**

Par le protocole **SAE J1939** sur le bus CAN, de très nombreux paramètres moteur et véhicule sont disponibles. Le CAN Crocodile capte typiquement les informations suivantes :

- **Régime moteur (RPM) et vitesse du véhicule** – Indiquées en temps réel par l'ECM ou d'autres calculateurs sur le bus.
- **Température et pression du moteur** – Par exemple la température du liquide de refroidissement et la pression d'huile mesurées par des capteurs connectés au moteur. Ces valeurs sont envoyées sur le bus CAN et relevées sans contact.
- **Niveau et consommation de carburant** – Le volume de carburant consommé et le niveau de carburant peuvent aussi être lus (selon équipements disponibles).
- **Codes d'erreur du moteur (DTC)** – Les codes défaut que l'ECM enregistre en cas de panne sont lus sur le bus CAN.
- **Autres paramètres de bord** – Par exemple heures de fonctionnement moteur, position des freins, capteurs ABS, et bien d'autres signaux disponibles sur le CAN J1939.

Ainsi, le CAN Crocodile récupère toutes les trames J1939 utiles au suivi du moteur. Le bus CAN véhicule renferme “des données telles que la température et la pression d'huile, le niveau de liquide de refroidissement, le régime du moteur, les codes défaut (DTC), la

vitesse...”. L’adaptateur transmet ensuite ces données vers l’unité télématique ou le logiciel d’analyse pour traitement (IPAN → FMS).

- **Importance (Maintenance préventive et prédictive)**

Les données moteur récoltées permettent de mettre en place des stratégies de maintenance avancées. En particulier :

- **Diagnostic en temps réel** : L’ECM analyse en continu les capteurs moteur et détecte toute anomalie avant qu’elle ne provoque une panne majeure. Par exemple, si un capteur signale une surchauffe ou une chute de pression d’huile, le système inscrit un code d’erreur et prévient l’utilisateur. Ces alertes précoces facilitent l’identification de la pièce défectueuse et la réparation avant qu’une casse ne survienne.
- **Planification de la maintenance** : Les informations téléchargeables (heures moteur, cycles de fonctionnement, conso carburant, émissions...) sont transmises à un système de suivi à distance (FMS). Ce système exploite ces données pour « planifier la maintenance, contrôler la consommation de carburant et surveiller le temps de fonctionnement des moteurs ».
- **Réduction des temps d’arrêt** : En combinant la surveillance continue et l’alerte précoce des codes défaut, le CAN Crocodile contribue à éviter les pannes surprises. L’ECM, via ces données, “permet d’anticiper les pannes et d’optimiser l’exploitation des véhicules”. En pratique, cela signifie que les opérations de maintenance peuvent être planifiées hors production, minimisant les arrêts machine.

En somme, le CAN Crocodile facilite la collecte de données critiques fournies par l’ECM et les capteurs du moteur. Ces informations – régime, températures, pressions, niveaux, codes défaut... – sont essentielles pour un diagnostic en temps réel et pour mettre en place une maintenance prédictive efficace. D’après le fabricant, cela réduit les coûts d’entretien et augmente la disponibilité des équipements industriels et véhicules lourds.

3.5 DM-03 (Compteur d’heures de marche)

- **Description** : Le DM-03 est un compteur d’heures de marche qui enregistre le temps de fonctionnement des engins, généralement intégré à l’armoire OPM ou à proximité du moteur.

- **Type et nature des données** Il mesure le temps cumulé d'utilisation en heures, avec une précision à la minute, et peut être configuré pour des intervalles spécifiques. Dès le démarrage de l'engin, il envoie un signal analogique indiquant le début du fonctionnement. Ce signal est ensuite converti en signal numérique par le module ADAM, permettant ainsi de lancer le calcul du temps de marche avec précision.
- **Importance** : Les heures de marche servent à planifier les maintenances périodiques (vidanges, inspections), basées sur l'usage réel plutôt que sur un calendrier fixe, améliorant l'efficacité opérationnelle.

3.6 Capteurs OTR SCHRADER (Pression et température des pneus)

- **Description** : Les capteurs OTR de Schrader sont des dispositifs TPMS conçus pour surveiller les pneus des engins lourds dans des conditions extrêmes.



Figure 25: Capteur TPMS

- **Type et nature des données** : Ils mesurent la pression (en bar) et la température (en °C) des pneus en temps réel, transmises au contrôleur OTR.
- **Importance** : Une pression et une température optimales des pneus sont essentielles pour garantir la sécurité, améliorer la performance des engins et prolonger la durée de vie des pneumatiques. Elles permettent de réduire les risques d'éclatement ainsi que les coûts de remplacement. En effet, le prix d'un seul pneu peut être extrêmement élevé, allant de 300 000 à 700 000 dirhams selon le type et la taille, ce qui représente un enjeu économique majeur pour l'exploitation minière.

3.7 Capteurs RFID (Transmission des données des capteurs OTR)

- **Description** : Les capteurs RFID (Radio Frequency Identification) assurent la transmission sans fil des données des capteurs OTR vers le contrôleur central, via une antenne TPMS.



Figure 26: Capteur RFID

- **Type et nature des données** : Ils envoient les mesures de pression et de température des pneus par signaux radiofréquences (souvent à 433 MHz ou 315 MHz).
- **Importance** : La technologie RFID garantit une communication fiable et sans câblage complexe, facilitant l'intégration des données dans le système OPM, même dans des environnements mobiles.

4. Configuration des Composants

Dans le système OPM, certains composants nécessitent une configuration spécifique pour garantir une intégration fluide et une surveillance précise des engins. Les deux principaux éléments configurables sont le **contrôleur OPM** (pour les capteurs TPMS) et l'**IPAN** (unité centrale de traitement et d'affichage).

4.1 Configuration du Contrôleur OPM pour les Capteurs TPMS

Le contrôleur OPM est responsable de la gestion des capteurs TPMS, qui surveillent la pression et la température des pneus des engins miniers. Chaque capteur TPMS est installé sur un pneu spécifique, et il est crucial de définir correctement leur emplacement pour garantir que les données affichées correspondent au bon pneu.

- **Processus de Configuration** :
 - ✓ Accéder au menu de configuration du contrôleur OTR via son interface dédiée.

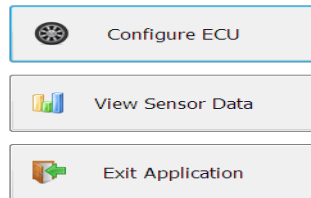


Figure 27: interface de configuration OTR

- ✓ Sélectionner l'emplacement du pneu à configurer (ex. : avant gauche, arrière droit, etc.).
- ✓ Remplir les champs de configuration, notamment :
 - Le type de pneu (modèle ou catégorie),
 - Le numéro de série du capteur TPMS installé,
 - Les seuils tolérables de pression (valeurs minimale et maximale en bar),
 - Les plages de température admissibles (maximum).
 - Répéter la configuration pour l'ensemble des pneus du véhicule.
- ✓ Activer la communication entre les capteurs TPMS et le contrôleur OTR.
- ✓ Enregistrer la configuration, puis quitter le menu.

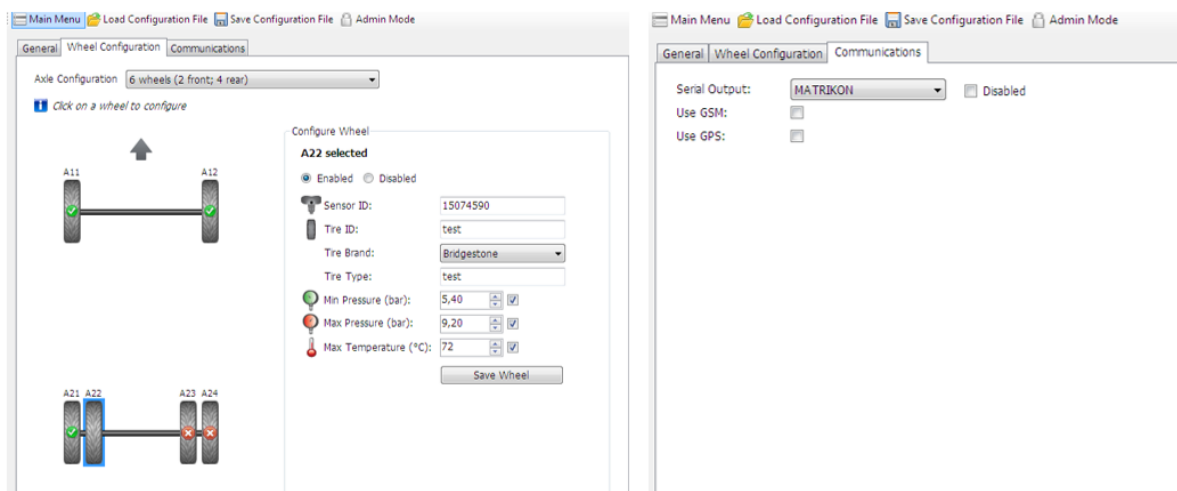


Figure 28: les pages de configuration OTR

- **Importance** : Une configuration précise permet d'identifier rapidement quel pneu présente une anomalie (par exemple, une pression basse ou une température élevée), facilitant ainsi les interventions de maintenance et renforçant la sécurité. Sans cette étape, les alertes pourraient être mal interprétées, retardant les actions correctives.

4.2 Configuration de l'IPAN

L'IPAN, en tant qu'unité centrale du système OPM, doit être configurée pour communiquer efficacement avec les capteurs, traiter les données et les transmettre au FMS. Cette configuration garantit la transmission des données et que l'opérateur dispose des informations nécessaires en temps réel.

- **Processus de Configuration** :
 - **Paramètres Réseau** : Configurer les paramètres de communication pour établir une connexion sécurisée avec le FMS via le module radio Motorola MTM5400.
 - **Intégration des Capteurs** : Paramétrer le module ADAM 4017 pour interpréter correctement les signaux des capteurs (GPS, inclinaison, niveau de carburant, etc.).
 - **Personnalisation de l'Interface** : Ajuster le tableau de bord de l'IPAN pour afficher les données prioritaires, telles que la vitesse, l'état des pneus et le niveau de carburant.
 - **Gestion des Données** : Définir la fréquence d'enregistrement et de transmission des données vers le FMS.
- **Importance** : Une configuration correcte de l'IPAN assure que toutes les données sont collectées, traitées et affichées de manière cohérente, permettant à l'opérateur de prendre des décisions éclairées. Elle garantit également que les données sont transmises de manière fiable au FMS pour une gestion centralisée.

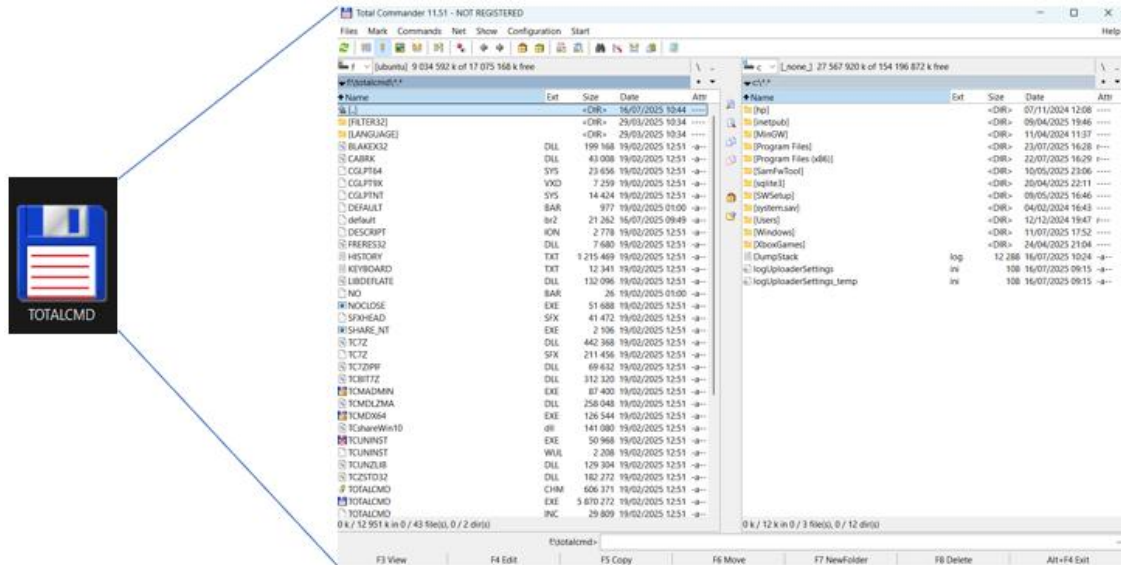


Figure 29: Interface de configuration de IPAN

5. Processus d'Installation du Système OPM

L'installation du système OPM sur les engins miniers est une étape clé pour garantir son bon fonctionnement. Ce processus se déroule en plusieurs phases structurées, assurant une intégration fluide avec les équipements existants.

a. Analyse des Besoins :

- Identification des types d'engins à équiper (par exemple, camions Komatsu , chargeuses Caterpillar 980, etc.).
- Évaluation des processus actuels de gestion des équipements.
- Définition des indicateurs de performance clés (KPI), tels que l'utilisation, la localisation et l'état des engins.

b. Installation des Équipements :

- Installation physique des composants OPM, incluant l'IPAN, le contrôleur OTR, le module GPS NB-04, les capteurs (LLS, DM-03, CAN Crocodile), les antennes (Tetra et TPMS), et le MOXA pour la communication.
- Positionnement stratégique des capteurs sur l'engin (par exemple, capteur LLS dans le réservoir, capteurs TPMS sur les pneus).

c. Configuration :

- Configuration des paramètres de gestion des équipements, incluant la configuration du contrôleur OPM pour les capteurs TPMS et de l'IPAN pour l'intégration des capteurs.
- Personnalisation des seuils d'alerte (par exemple, pour la pression des pneus ou le niveau de carburant).

d. Tests :

- Vérification de l'intégration du système avec les équipements existants.
- Tests de communication entre les capteurs, l'IPAN et le FMS pour garantir un flux de données fluide.
- Validation du bon fonctionnement des alertes et des affichages sur le tableau de bord de l'IPAN.

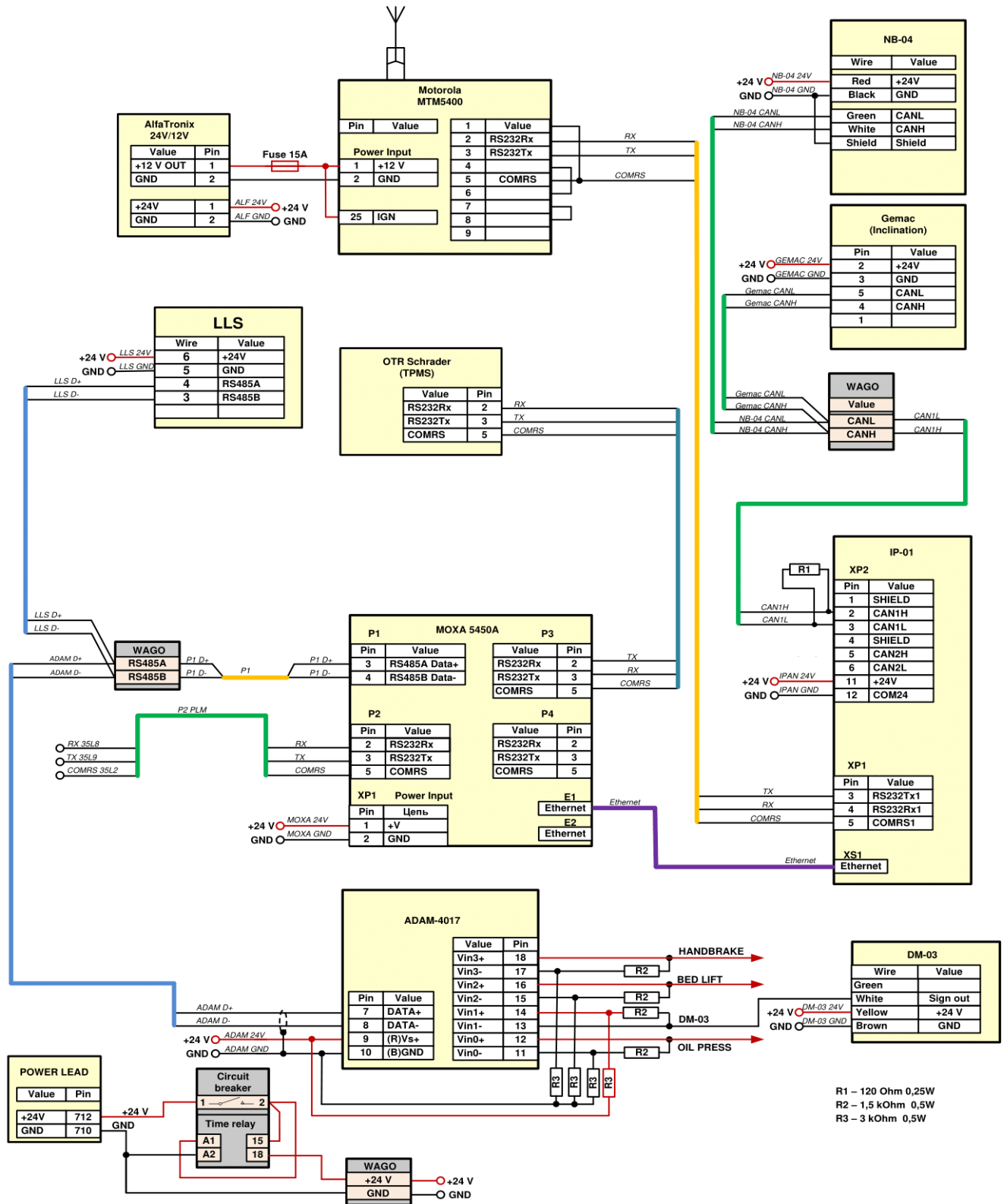


Figure 30: schéma d'installation dans le camion Komatsu 730

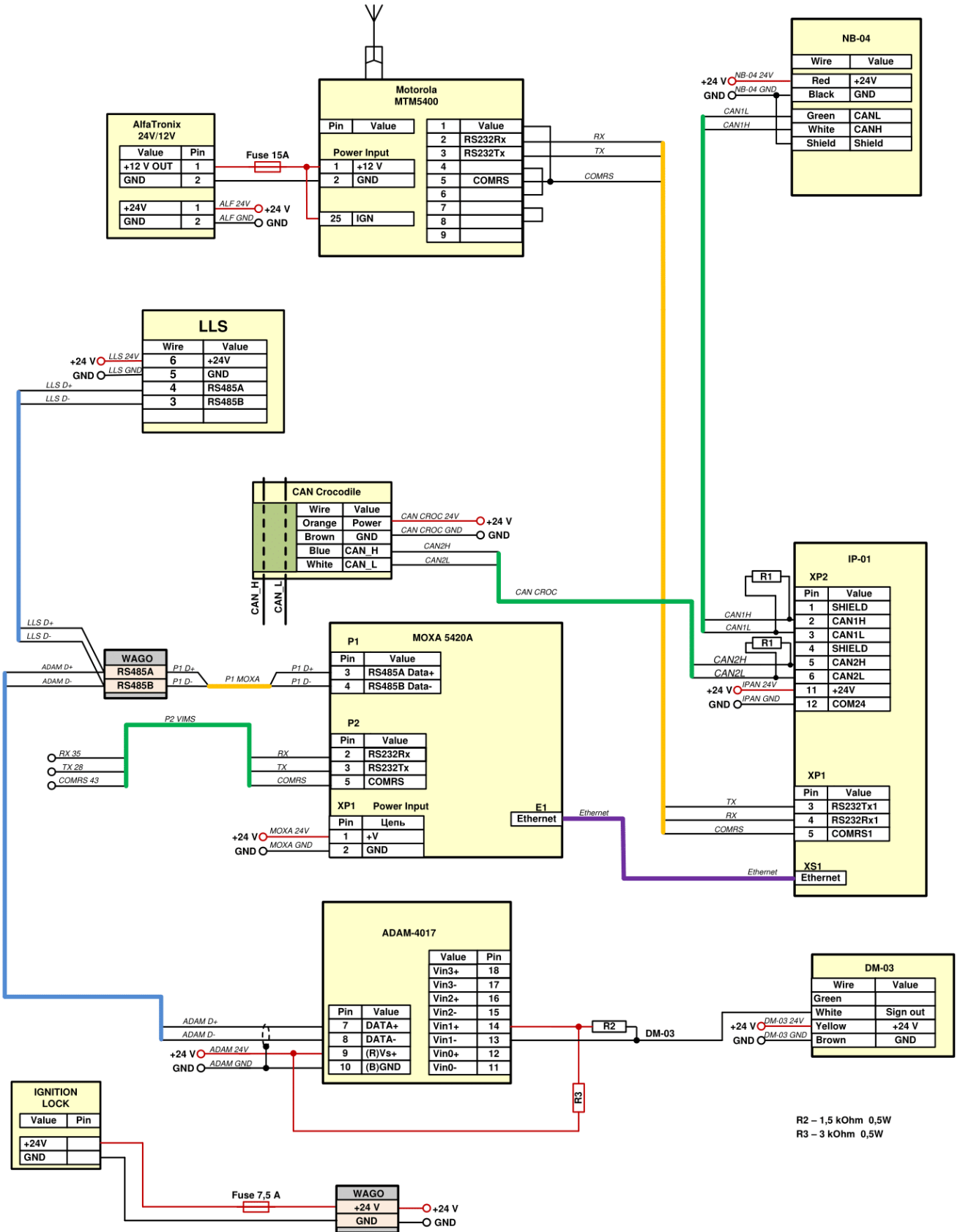


Figure 31: schéma d'installation dans les bulls Caterpillar D11

6. Fonctionnalités clés de l'IPAN

L'IPAN constitue l'interface principale pour les opérateurs, leur offrant un accès direct aux données en temps réel ainsi qu'aux différents services de gestion de l'engin. Grâce à son tableau de bord intuitif, l'IPAN permet de surveiller et d'optimiser les opérations sur le terrain.

En plus de ses fonctions pour l'opérateur, l'IPAN est également un outil essentiel pour les agents de maintenance. Il leur permet d'accéder sur place, directement depuis l'engin, à de nombreuses informations techniques :

- Suivi des messages d'erreur émis par les différents systèmes,
- Identification rapide des anomalies,
- Accès aux données nécessaires pour diagnostiquer et résoudre les problèmes sans avoir besoin de retirer l'engin du site.

Voici l'ensemble des fonctionnalités de l'IPAN :

6.1 Tableau de Bord

Le tableau de bord de l'IPAN est conçu pour afficher les informations critiques de manière claire et accessible. Les principales sections incluent :



Figure 32: Tableau de Bord de l'IPAN

6.2 Écran de Connexion (Login)

Afin de garantir la sécurité, la traçabilité et une gestion rigoureuse des opérations, l'IPAN est équipé d'un écran d'authentification sécurisé. Seuls les conducteurs d'engins autorisés peuvent s'y connecter, à l'aide de leur identifiant personnel, pour accéder au tableau de bord et aux données sensibles de l'engin. Ce système permet non seulement de contrôler l'accès, mais aussi de suivre précisément les postes occupés par chaque conducteur, d'analyser leur performance individuelle et d'assurer un historique complet des activités pour chaque session de conduite.

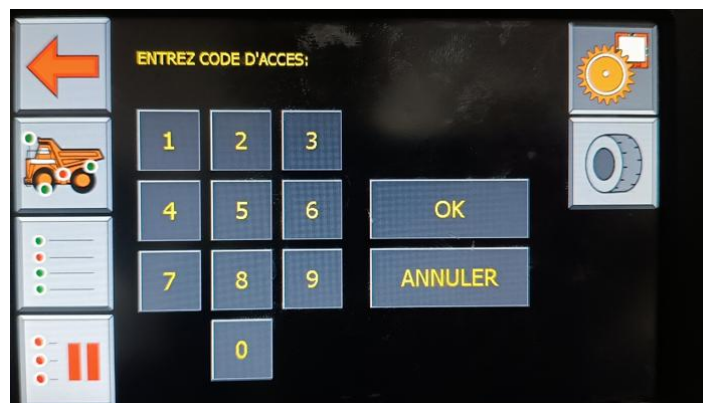


Figure 33: page d'authentification de conducteur

6.3 Déclaration d'un arrêt

Fonction « Stop Report » pour signaler manuellement un arrêt de l'engin ; enregistrée avec la date/heure et le motif éventuel.

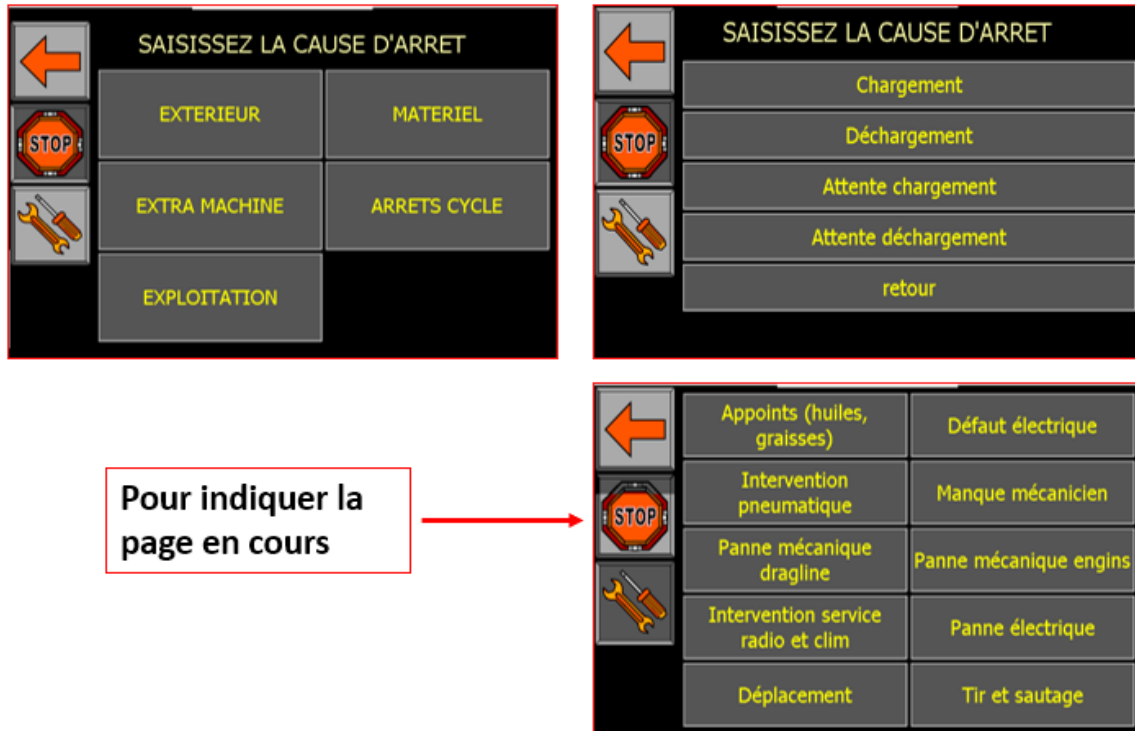


Figure 34: Pages de déclaration des arrêts

6.4 Page des violations

La page des violations permet d'afficher l'ensemble des anomalies ou infractions enregistrées sur l'engin, telles que les dépassements de seuils, les arrêts non autorisés ou tout autre comportement anormal détecté par le système.

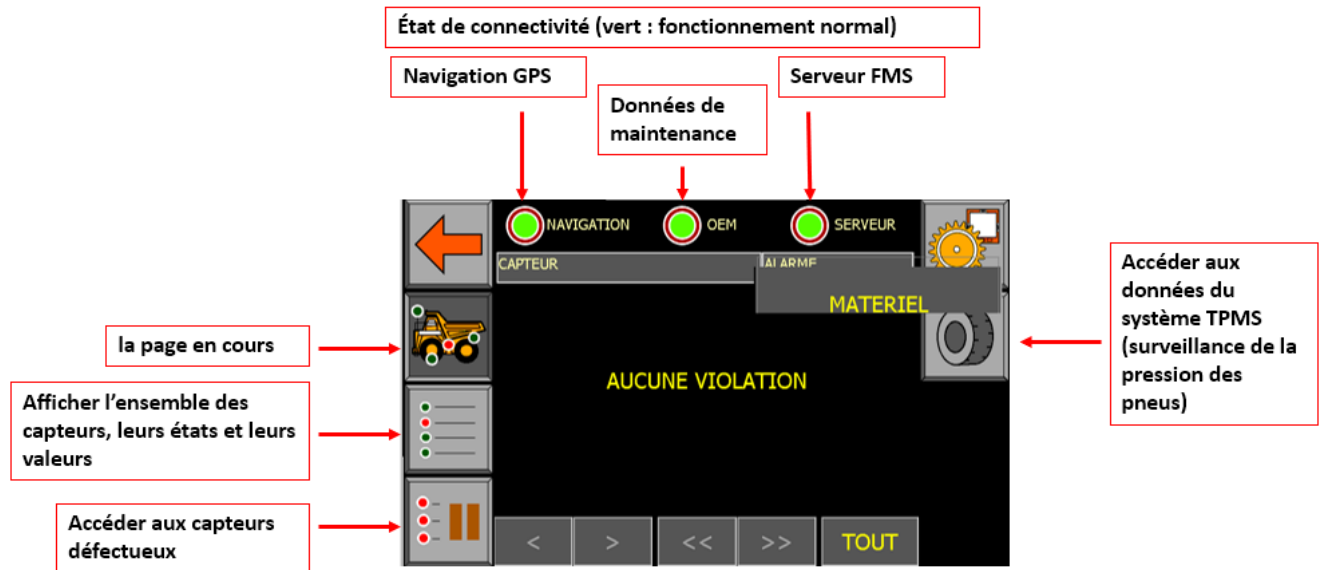


Figure 35: Page des violations

6.5 Page de supervision des états de capteurs

Cette page permet de surveiller en temps réel l'état de l'ensemble des capteurs installés sur l'engin, en affichant leurs valeurs, leur statut de fonctionnement et les éventuelles anomalies détectées.



Figure 36: Page de supervision des états de capteurs

6.6 Page des informations TPMS

Cette page permet de suivre en temps réel la pression et la température des pneus, et de détecter rapidement tout dysfonctionnement ou risque lié aux pneus.

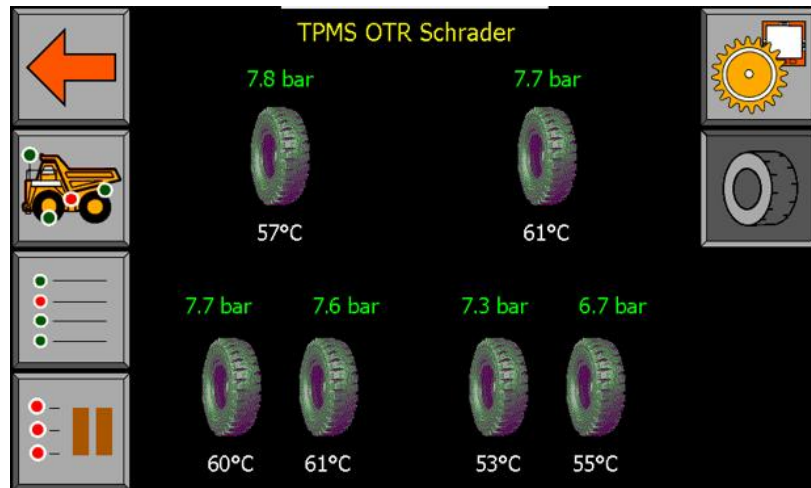


Figure 37: Page TPMS d'un camion de transport

7. Le Fleet Monitoring System (FMS)

7.1 Introduction

Le Fleet Monitoring System (FMS) constitue le pilier central du système OPM déployé au sein du site minier de Sidi Chennane, exploité par l'OCP. En tant que plateforme de supervision intégrée, le FMS assure la collecte, le traitement et l'analyse des données brutes transmises par les capteurs ainsi que par les interfaces IPAN embarquées sur les engins miniers. Ces données sont converties en informations décisionnelles essentielles, permettant de renforcer la maintenance préventive, d'améliorer la performance opérationnelle et de faciliter une gestion optimisée de la flotte. Cette présentation met en lumière le rôle stratégique du FMS, ses principales fonctionnalités et son apport concret dans le pilotage des opérations minières.

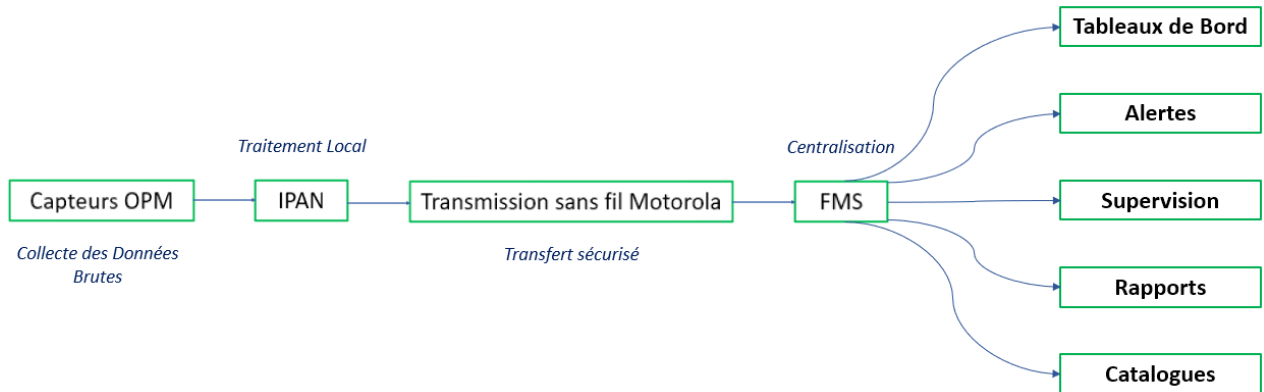


Figure 38: Flux de Données du Système OPM

7.2 Rôle Central du FMS dans l'OPM

Le FMS agit comme le "cerveau" du système OPM, orchestrant la centralisation des données en temps réel provenant des capteurs embarqués (localisation, carburant, pression des pneus, etc.) et des IPAN. Grâce à des algorithmes sophistiqués, il convertit ces données brutes en indicateurs clairs, permettant aux gestionnaires de superviser la flotte, d'anticiper les besoins en maintenance et de prendre des décisions stratégiques. Cette capacité à transformer l'information brute en valeur ajoutée fait du FMS un pilier essentiel des opérations minières modernes.

7.3 Fonctionnalités Avancées du FMS

Le FMS se distingue par une gamme de fonctionnalités avancées, adaptées aux exigences complexes de la gestion d'une flotte minière :

a. Surveillance et Supervision Globale en Temps Réel

- **Description** : Offre une vue d'ensemble complète sur tous les facteurs des engins (vitesse, état opérationnel, niveau de carburant, etc.) avec des mises à jour continues.



- [illegible]

52

c. Génération de Rapports Personnalisés

- **Description** : Permet la création de rapports détaillés sur une multitude de facteurs, incluant :

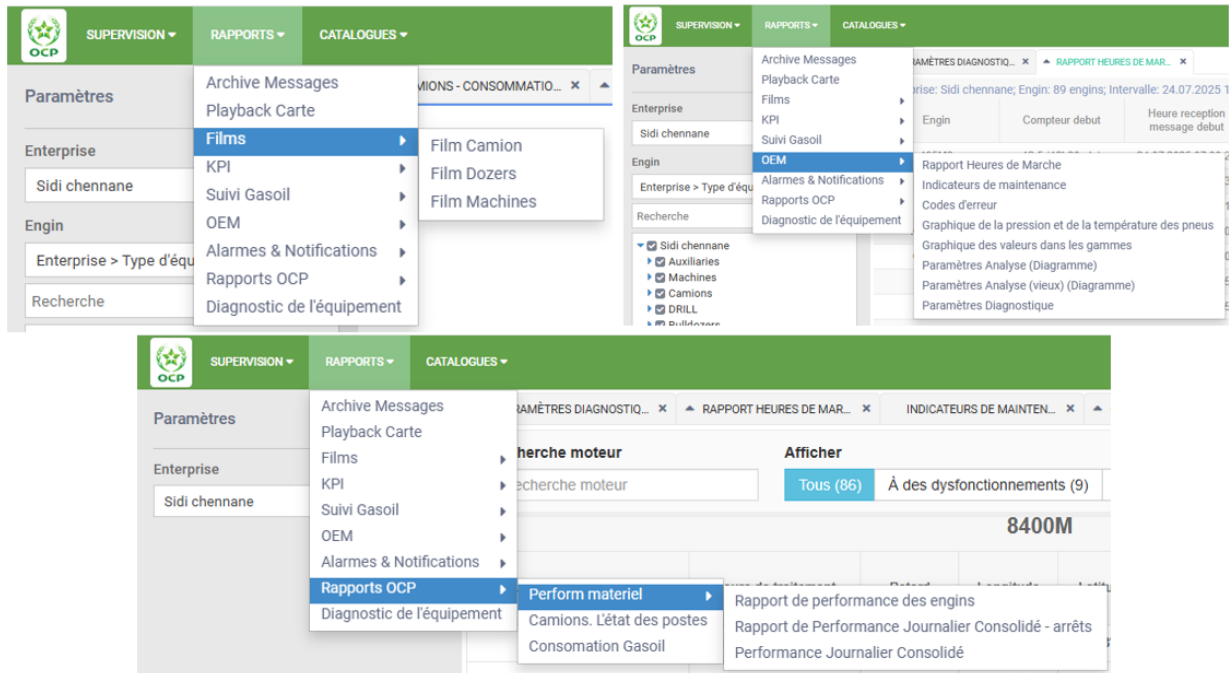


Figure 41: Liste des rapports disponibles

- Archive des messages
- Films (trajectoires et activités)
- Indicateurs de performance clés (KPI)
- Suivi du gazoil
- Données OEM (Original Equipment Manufacturer)
- Alarmes et notifications
- Performance du matériel
- États des postes
- Consommation
- Diagnostic de l'équipement



Figure 42: Screenshot 1 des rapports



Figure 43: Screenshot 2 des rapports

- **Formats** : Tableaux exportables vers Excel ou diagrammes visuels interactifs.
- **Avantage** : Offre une flexibilité totale pour répondre aux besoins spécifiques des gestionnaires.

d. Système d'Alerte et Notifications

- **Description** : Génère des alertes instantanées pour des événements critiques (pannes, violations de seuils) avec des notifications personnalisées.
- **Avantage** : Renforce la sécurité et réduit les temps d'intervention.



Figure 44: Système de notification

e. Catalogues Intégrés

- **Description** : Inclut des bases de données structurées telles que :
 - Parc matériel
 - Codes d'arrêt
 - Ravitaillement
 - Défauts OEM
 - Supervision sûreté

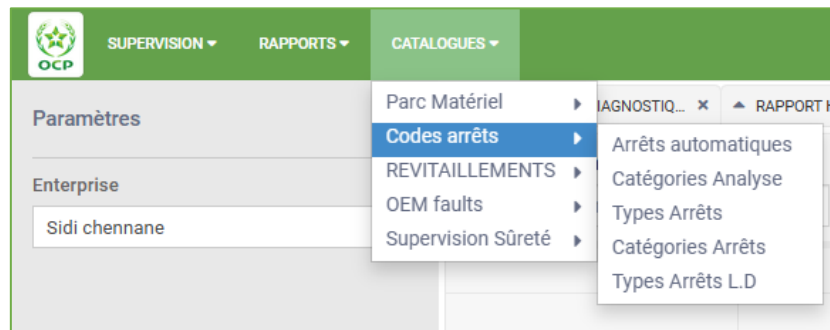


Figure 45: Liste des catalogues

- **Avantage** : Simplifie la gestion des actifs et assure une traçabilité complète.

7.4 Bénéfices Opérationnels du Système FMS

Le FMS constitue un levier essentiel pour l'optimisation des opérations minières au sein de l'OCP. Il offre une série d'avantages concrets qui contribuent directement à la performance, à la fiabilité et à la sécurité des engins et des processus :

- **Amélioration de l'efficacité opérationnelle** : Grâce à la collecte continue de données terrain et à la génération de rapports personnalisés, le FMS permet de suivre en temps réel l'état de chaque engin. Cela favorise une meilleure allocation des ressources, une réduction des pertes de productivité et une planification plus efficace des opérations.
- **Maintenance proactive et réduction des temps d'arrêt** : Le système identifie les anomalies dès leur apparition à travers des diagnostics avancés et des alertes précoces. Cette capacité permet d'intervenir avant que des pannes majeures ne surviennent, prolongeant la durée de vie des équipements et limitant les arrêts imprévus.
- **Appui à la prise de décision stratégique** : En transformant les données brutes issues des capteurs en indicateurs clairs et pertinents, le FMS fournit aux responsables des éléments concrets pour orienter leurs décisions, qu'il s'agisse de maintenance, d'investissements ou de planification logistique.
- **Renforcement de la sécurité sur le terrain** : En surveillant des paramètres critiques comme la pression des pneus, le niveau de carburant ou les alertes de freinage, le FMS contribue à prévenir les accidents et à assurer la sécurité des opérateurs.
- **Traçabilité complète et conformité renforcée** : L'archivage systématique des données d'utilisation, des événements et des opérations de maintenance facilite les audits internes et externes. Il permet également de répondre aux exigences réglementaires en matière de sécurité et de durabilité.

CHAPITRE IV : Évaluation et amélioration de l'OPM

- **Continuité de la production** : En minimisant les arrêts imprévus, l'OPM garantit une exploitation continue des engins, essentielle pour maintenir les cadences de production élevées exigées par l'OCP.
- **Optimisation des opérations** : Les données en temps réel sur l'état des engins permettent une meilleure allocation des ressources de maintenance, évitant les interventions inutiles et concentrant les efforts là où ils sont nécessaires.
- **Gestion efficace de la flotte** : Grâce au FMS, le service 335 dispose d'une vue d'ensemble sur l'état de la flotte, facilitant la planification des révisions, le suivi des stocks de pièces et l'évaluation des performances des opérateurs.

1.2 Pour l'OCP en général

Au niveau global, l'OPM génère des gains substantiels pour l'OCP :

- **Rentabilité accrue** : La réduction des temps d'arrêt et l'optimisation des cycles de maintenance se traduisent par des économies directes sur les coûts d'exploitation. Moins de pannes signifie également moins de réparations coûteuses et une meilleure productivité.
- **Performance opérationnelle** : L'OPM permet une surveillance fine des indicateurs de performance, facilitant l'identification des goulots d'étranglement et l'amélioration continue des processus.
- **Efficacité globale** : En centralisant les données et en automatisant les analyses, l'OPM libère du temps pour les équipes techniques, qui peuvent se concentrer sur des tâches à plus forte valeur ajoutée.

Ainsi, l'OPM se positionne comme un levier de compétitivité pour l'OCP, alignant innovation technologique et excellence opérationnelle.

2. Limites et problèmes rencontrés

Même s'il offre de nombreux avantages, le système OPM présente tout de même quelques limites et défis opérationnels :

2.1 Maintenance fréquente due aux conditions du terrain

Les conditions extrêmes des mines (poussière, vibrations, chocs, etc.) entraînent une usure rapide des composants OPM, notamment les capteurs et les modules de communication. Cela nécessite des interventions de maintenance régulières, parfois complexes en raison de l'accès difficile aux engins sur le terrain.

2.2 Mauvais traitements ou manipulations par les conducteurs

Certains conducteurs, par manque de formation ou de sensibilisation, peuvent manipuler incorrectement les interfaces OPM (comme l'IPAN), entraînant des erreurs de configuration ou des dysfonctionnements. Ces incidents, bien que mineurs, peuvent fausser les données et compromettre la fiabilité du système.

2.3 Problèmes de connectivité

Le système repose sur le réseau radio TETRA pour la transmission des données, mais ce dernier souffre de lenteurs et d'instabilités dans certaines zones de la mine. Ces interruptions nuisent à la réactivité du système et peuvent retarder la détection des anomalies critiques.

Ces limites, bien que contraignantes, peuvent être atténuées par des mesures correctives ciblées.

3. Propositions et recommandations

Pour surmonter les défis actuels et maximiser l'efficacité du système OPM, les recommandations suivantes sont proposées :

3.1 Développement de protections physiques pour les composants OPM

Installer des caches robustes pour les capteurs exposés afin de les protéger contre les chocs et la poussière.

Utiliser des boîtiers antivibratoires et antipoussière pour les modules sensibles (comme l'IPAN ou le MOXA), prolongeant ainsi leur durée de vie et réduisant les pannes.

3.2 Remplacement du système TETRA par une solution 4G

Migrer vers une infrastructure 4G, déjà testée avec succès sur un engin (Débourseur), pour garantir une communication plus rapide et stable. Cette technologie offre une meilleure couverture et réduit les latences, améliorant ainsi la réactivité du système.

3.3 Exploitation intelligente des données FMS via l'IA

L'intégration de l'intelligence artificielle au traitement des données collectées par le FMS permet de passer d'une simple analyse descriptive à une véritable maintenance prédictive et prescriptive. Concrètement, on peut envisager plusieurs axes de développement :

Détection proactive

L'IA surveille les données en temps réel et émet des alertes dès le premier signe d'anomalie, pour intervenir avant que le problème ne s'aggrave.

Évaluation de l'état des composants

En comparant les relevés actuels à l'historique, l'IA estime la « santé » de chaque pièce (usure, fatigue) et anticipe sa durée de vie restante.

Organisation des interventions

Les alertes et prévisions sont automatiquement transformées en planning de maintenance, ce qui évite les imprévus et optimise l'emploi du temps des équipes.

Personnalisation des seuils

Selon le type d'engin et son usage (intense, modéré, occasionnel), l'IA ajuste les limites d'alerte et la fréquence des contrôles pour chaque machine.

Apprentissage continu

Après chaque intervention, les données de retour (réglages, réparations, durées) sont réintégrées dans le système pour améliorer progressivement la précision des prédictions.

En combinant ces approches, L'IA anticipe les pannes, optimise les maintenances et s'adapte à chaque équipement, améliorant la disponibilité, réduisant les coûts et rassurant les équipes.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Ce stage d'observation au sein de la mine de **Sidi Chennane (OCP)** a représenté une véritable immersion dans l'univers exigeant de l'industrie minière, où rigueur, innovation et performance sont les maîtres-mots. À travers l'étude du **système OPM**, j'ai pu appréhender concrètement les enjeux liés à la **maintenance prédictive**, à la **gestion intelligente des données** et à la **digitalisation des processus industriels**.

L'analyse détaillée du fonctionnement du système OPM, de ses capteurs embarqués jusqu'à son interface de supervision FMS, a révélé l'impact réel de cette technologie sur la **disponibilité des engins**, la **réduction des arrêts non planifiés**, ainsi que sur la **sécurité des opérations**. Cependant, cette solution innovante n'est pas exempte de limites techniques et humaines, qui nécessitent des améliorations continues, notamment en termes de connectivité, de protection des équipements et d'intégration de l'intelligence artificielle.

En conclusion, ce stage m'a permis de renforcer mes compétences techniques et d'élargir ma vision sur les **enjeux de la transformation digitale appliquée à l'industrie**. Il a aussi consolidé mon ambition de contribuer à l'optimisation des systèmes industriels à travers des approches intelligentes, durables et orientées performance.