



**HAL**  
open science

# Les réseaux de neurones et systèmes de transport et wagons intelligents (STI)

Hayat Saïd, Yassine Saddiki

► **To cite this version:**

Hayat Saïd, Yassine Saddiki. Les réseaux de neurones et systèmes de transport et wagons intelligents (STI). revue scientifique internationale management et ingénierie des systèmes, 2022, MIS : Management et Ingénierie des Systèmes, 20 p. hal-04511038

**HAL Id: hal-04511038**

**<https://univ-eiffel.hal.science/hal-04511038>**

Submitted on 19 Mar 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Public Domain Mark 4.0 International License

# Les réseaux de neurones et systèmes de transport et wagons intelligents (STI)

HAYAT Saïd et SADDIKI Yassine  
Université de Lille, Université Gustave Eiffel  
20, rue Elisée Reclus, BP 70413, 59666 Villeneuve d'Ascq

[hayat.said@univ-eiffel.fr](mailto:hayat.said@univ-eiffel.fr) ; [saddiki.yassine@univ-eiffel.fr](mailto:saddiki.yassine@univ-eiffel.fr)

## Résumé

Le transport par rail a toujours accompagné fidèlement le secteur industriel. Cette relation est renforcée par le progrès des techniques de fabrications dans le but de gagner davantage de temps et transporter toujours plus de bien et de personnes. Dans cette communication nous présentons de nouvelles approches utilisées dans le domaine des systèmes de transport intelligents par deux grandes familles de diagnostic, l'une est basée sur le concept du wagon intelligent. En effet, l'ajout de fonctions au wagon de ferroutage permettrait de contribuer plus activement à la sûreté de fonctionnement du ferroutage et la prévention des risques ferroviaires. Ensuite, l'autre approche abordée dans ce papier est l'analyse fonctionnelle qui consiste à décomposer et déterminer l'ensemble des fonctions supplémentaires contribuant à la sûreté de fonctionnement de wagon dans toutes ses phases de fonctionnement. Après avoir défini l'ensemble de ces fonctions, il s'agit ensuite de pouvoir déterminer les architectures optimales sous forme de modèle hiérarchique offrant un meilleur compromis entre la sécurité et la sûreté de fonctionnement des systèmes de transports Ferroviaires. Enfin, Afin d'assurer un fonctionnement en toutes circonstances et pouvoir compter sur un retour d'informations fiable quant à l'état des futurs feux de signalisation ferroviaires à leds, un dispositif de détection de défaillance optique a été mis au point. Partant d'un prototype de feu à leds, l'objectif est de sélectionner, expérimenter et mettre en place différentes solutions pour la conception d'un système fiable, économique et insensible aux perturbations.

**Mots clés** : wagon intelligent, Le transport par rail, ferroutage, chemins de fer, feux de signalisation

## **I - Introduction**

Le transport ferroviaire constitue actuellement l'un des moyens les plus importants et les plus performants du transport terrestre de passagers et de marchandises. Son développement a atteint un niveau tel qu'il le place en sérieux concurrent au transport par avion. Cette évolution s'est produite sur plus d'un siècle, elle est traduite par une augmentation régulière des vitesses, des charges et du trafic que les voies de chemins de fer doivent supporter. Ces croissances continues, enregistrées dans les chemins de fer, sont accompagnées d'un progrès parallèle dans les technologies de conception et de fabrication intégrant les technologies du numérique et de l'information technique.

L'objectif de cette communication est d'étudier la conception et la réalisation d'un Système Intelligent, Sûr et complètement connecté dotant les Wagens et les Rames. Le travail proposé ici est composé de trois étapes. La première étape concerne la méthodologie de conception de systèmes d'automatisation sûrs de fonctionnement basée sur un modèle fonctionnel permettant de représenter toutes les possibilités d'agencements et sur un modèle comportemental utilisant les scénarios. La deuxième étape est de l'appliquer dans le domaine du ferroutage afin de déterminer les possibilités de réalisation de quelques fonctions d'un wagon intelligent. La troisième étape illustre la méthodologie sur deux fonctions du wagon intelligent pour le ferroutage. Notre approche d'évaluation est comparée à la méthode d'évaluation plus classique basée sur les arbres de défaillances. Cette comparaison permet de mettre clairement en évidence les apports de notre méthode. Il inclut notamment la détermination des fonctions supplémentaires de sécurité du wagon intelligent. Cependant, d'autres points se posent également. Nous cherchons tout d'abord à définir un formalisme de modélisation fonctionnelle et comportementale, support de la méthodologie et les multiples possibilités de conception doivent pouvoir être représentées.

Dans cet article, nous allons traiter les systèmes de transport intelligents, au premier temps, on va établir l'étude de réseau de neurone et son fonctionnement, En suite , afin de concevoir un système d'automatisation et d'un sûreté de fonctionnement pour le wagon intelligent, il est d'abord nécessaire de déterminer l'ensemble des fonctions contribuant à la sûreté de son fonctionnement et les arbres fonctionnels qui permettent de structurer ces fonctions obtenues sous forme de modèle hiérarchique .

## II - Les réseaux de neurones

### II.1 -Le perceptron

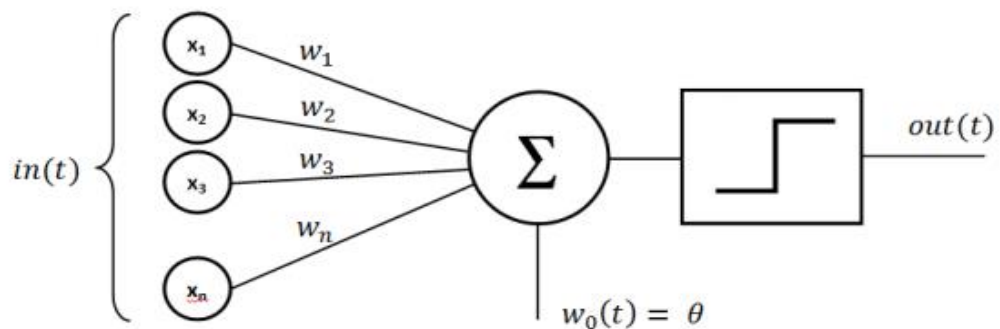
Perceptron Le perceptron est un algorithme d'apprentissage automatique supervisé de classification binaire. Il s'agit du type de réseau de neurones artificiels le plus simple. Les perceptrons, aussi communément appelés neurones artificiels, ont été créés par Frank Rosenblatt en 1958. [4]



FIGURE 1: MARK 1, LE PREMIER PERCEPTRON DU MONDE

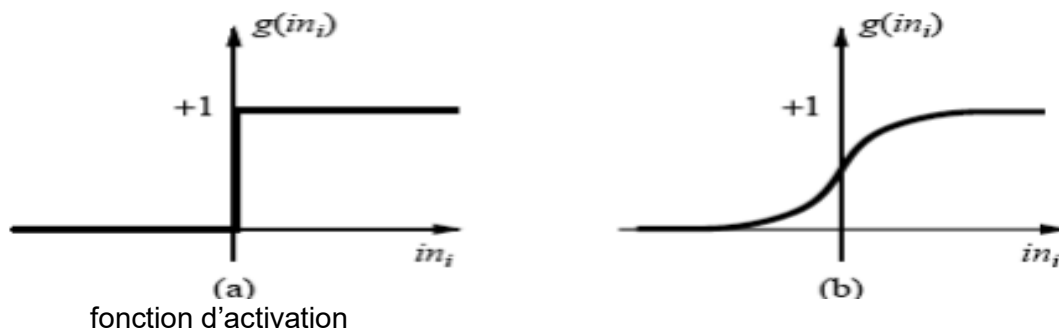
### II.2 - La structure d'un perceptron

FIGURE 2 :REPRÉSENTATION GRAPHIQUE D'UN PERCEPTRON



- Les entrées ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ )
  - Les poids ( $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ )
  - Une fonction de somme ( $\Sigma$ )
    - Un biais ( $w_0$ )
  - Une fonction d'activation
  - Une sortie
- Les entrées sont les données que l'on fournit au perceptron afin qu'il calcule un résultat. Ces données doivent être des mesures en lien avec le cas étudié. Étant donné que les données utilisées peuvent varier, on peut avoir certains problèmes de confiance avec les résultats obtenus.
  - Les poids sont des valeurs que l'on donne à chaque connexion entre les entrées et la fonction de somme, et ils sont modifiés à chaque itération d'apprentissage

- La fonction de somme pondérée va faire la somme de la multiplication de chaque entrée par son poids correspondant et va ajouter le biais, qui est une valeur constante. Avant de pouvoir utiliser le résultat, la somme est passée dans une



**FIGURE 3 : GRAPHIQUES DE FONCTIONS D'ACTIVATION**

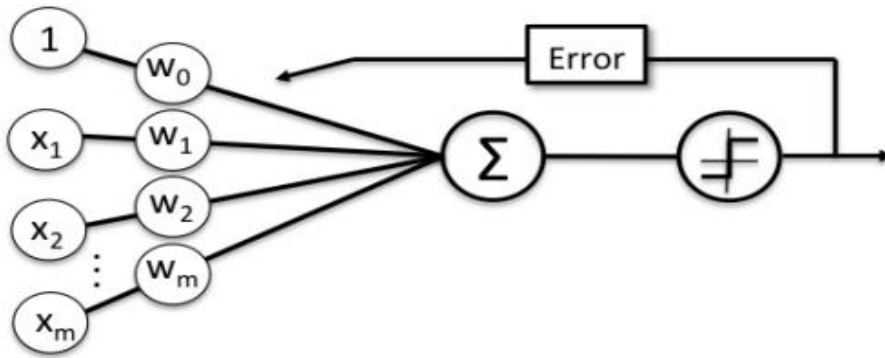
Il existe deux fonctions souvent utilisées :

- ✓ **Fonction d'activation à seuil** : La fonction d'activation à seuil (à gauche) est une fonction qui pour  $x < 0$  alors  $y = 0$ . Pour  $x \geq 0$ , alors  $y = 1$ . Nous pouvons l'utiliser pour des cas où il est nécessaire d'avoir une réponse binaire : oui ou non
- ✓ **Fonction sigmoïde** : La fonction d'activation sigmoïde (à droite) pour une valeur  $x$  quelconque,  $y$  reste entre 0 et 1. Ce cas est très utile lorsque nous avons besoin d'avoir un résultat continu

Après la fonction d'activation, nous pouvons consulter le résultat donné par le perceptron. Le problème est que celui-ci n'est pas encore entraîné et il est donc nécessaire de trouver un moyen de lui indiquer comment s'adapter afin de donner la bonne réponse attendue.

### II.3 - Phase d'apprentissage

La phase d'apprentissage peut être faite de plusieurs façon. Ici sera seulement explicité le mode d'apprentissage supervisé. Cette technique consiste à envoyer des données au perceptron et à analyser le résultat. Par exemple, si on obtient la valeur 0.3 mais que la valeur attendue était de 1, alors l'algorithme d'apprentissage du perceptron détecte qu'il a fait une erreur de  $1 - 0.3 = 0.7$ . Cette valeur peut être vue comme une fonction de coût et le perceptron doit s'adapter afin de réduire le coût au minimum possible. Pour cela, nous utilisons un algorithme appelé rétro propagation qui a pour but de changer les poids de chaque connexion

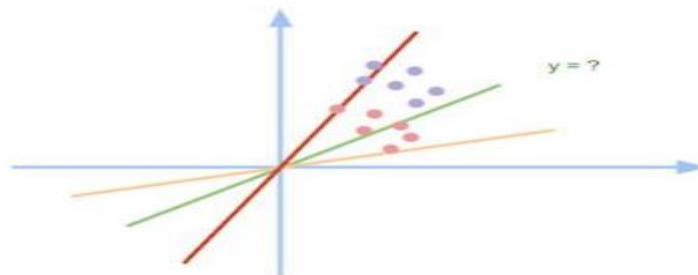


**FIGURE 4 : REPRÉSENTATION DU FONCTIONNEMENT DE L'ALGORITHME DE RÉTROPROPAGATION**

Si toutes les entrées sont à 0, alors peu importe la valeur des poids donnés à chaque connexion, la valeur en sortie sera toujours 0. Dans ce cas, nous pouvons ajouter le biais qui nous permet de modifier la sortie afin que l'apprentissage se fasse correctement.

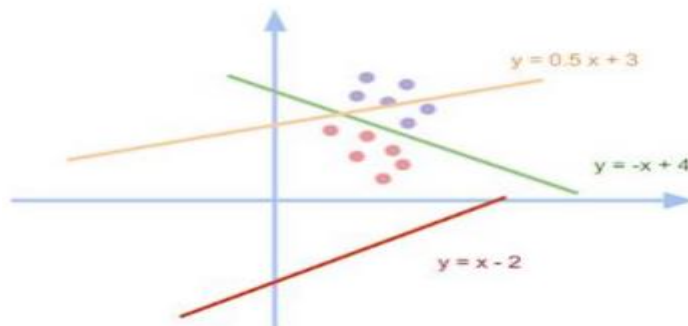
#### ✚ Le biais

Le biais Afin de mieux comprendre le rôle des biais, prenons l'exemple d'une fonction linéaire  $y = A * x$ , pour essayer de séparer deux ensembles de données (bleu et rouge) .Séparation d'un ensemble de données à l'aide d'une fonction linéaire.



**FIGURE 5.1 :SÉPARATION IMPOSSIBLE À L'AIDE DE FONCTION LINÉAIRE**

Nous pouvons voir qu'aucune fonction ne permet de séparer les ensembles correctement. De cette façon, nous introduisons le biais



**FIGURE 1 :SÉPARATION DE DEUX ENSEMBLES DE DONNÉES À L'AIDE D'UNE FONCTION LINÉAIRE ET UN BIAIS**

Ici, la fonction utilisée est  $y = A * x + B$  où  $B$  correspond au biais. Grâce à ce biais, nous avons pu trouver la bonne fonction linéaire  $y = -x + 4$  qui sépare correctement les deux ensembles.

### ✚ Surentraînement

La phase d'entraînement peut s'avérer délicate. En effet, il est facile de surentraîner un perceptron, ce qui veut dire que celui-ci a mémorisé les données fournies et n'est pas assez générale pour être appliqué à d'autres données. Pour éviter ce problème, celui-ci doit passer une phase de tests. La phase de tests sert à introduire de nouvelles données dans le réseau de neurones artificiels qui n'ont pas été utilisées dans la phase d'apprentissage et avoir un pourcentage de réponses justes. Si le pourcentage n'est pas satisfaisant, nous pouvons modifier la façon dont les données sont divisées

### ✚ Le sous-apprentissage

Un réseau de neurones artificiels peut mémoriser les données mais il peut aussi ne pas apprendre suffisamment pour être généralisable. Afin d'éviter le sous-apprentissage, nous devons mélanger toutes les données avant la phase d'entraînement.

### ✚ Les réseaux de neurones multicouches

Le principe du fonctionnement d'un perceptron et d'un réseau de neurones multicouches est essentiellement le même. Nous avons toujours des entrées et des sorties mais nous avons des couches intermédiaires appelées couches cachées. Chaque élément d'entrée est connecté à chaque élément de la couche suivante, et ainsi de suite jusqu'à la couche de sortie

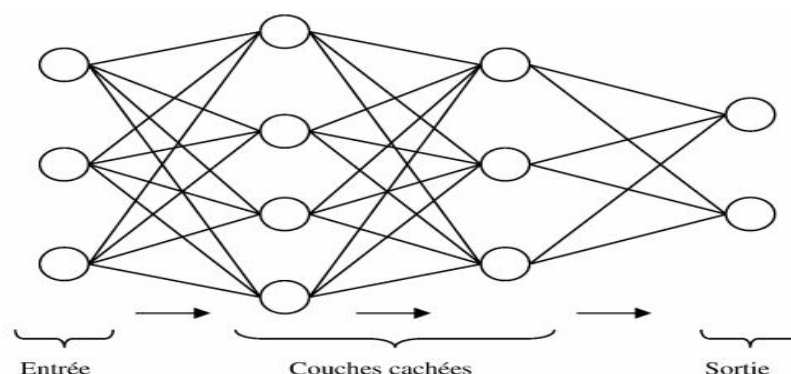


FIGURE 5 : REPRÉSENTATION GRAPHIQUE D'UN RÉSEAU DE NEURONES ARTIFICIEL

### ✚ Les couches cachées

Notre compréhension du fonctionnement des réseaux de neurones artificiels a changé. En utilisant une seule couche, nous pouvons donc approximer toute fonction, mais elle ne sera pas généralisable, d'où la nécessité d'utiliser plusieurs couches cachées.

## II.4 - Construction de l'architecture d'un réseau

### ✚ Le nombre de couches à utiliser

Pour décider si nous devons utiliser une ou deux couches cachées, nous pouvons utiliser une technique qui consiste à commencer avec une seule couche cachée et de l'adapter jusqu'à trouver une architecture satisfaisante. Nous permettent juste d'avoir un point de départ pour tester plusieurs architectures.

### ✚ Le nombre de nœuds à utiliser par couche

Si nous utilisons peu de neurones, alors il se peut que nous ayons des problèmes de sous apprentissage. L'inverse, trop de neurones utilisés et nous pouvons avoir des problèmes de surentrainement. Le nombre de neurones d'une couche cachée doit rester entre le nombre de neurones de la couche d'entrée et du nombre de neurones de la couche de sortie

## III - Réseau de neurones à convolution

Les réseaux de neurones à convolution ont été créés dans les années 80. L'idée qui a mené à sa création est le fait d'essayer de faire ressortir certaines parties de l'image qui pourraient être intéressantes et les analyser, indépendamment de leur position dans l'image. Un réseau de neurones à convolution est essentiellement composé de 4 parties :

- Convolution
- Non-linéarité (ReLU)
- Pooling
- Classification

### ✚ Convolution

La convolution, d'un point de vue simpliste, est le fait d'appliquer un filtre mathématique à une image. D'un point de vue plus technique, il s'agit de faire glisser une matrice pardessus une image, et pour chaque pixel, utiliser la somme de la multiplication de ce pixel par la valeur de la matrice. Cette technique nous permet de trouver des parties de l'image qui pourraient nous être intéressantes.

1	1	1	0	0
0	1	1	1	0
0	0	1	1	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	0

1	0	1
0	1	0
1	0	1

Figure 6 : Valeurs des pixels d'une image 5x5

Figure 7 :valeurs d'une matrice filtre

Dans le cas initial, les valeurs sont binaires. Dans un cas réel, les valeurs devraient varier entre 0 et 255. Les valeurs sont représentées par des 1 et 0. Dans un cas réel, ces valeurs sont continues et peuvent être positives ou négatives.



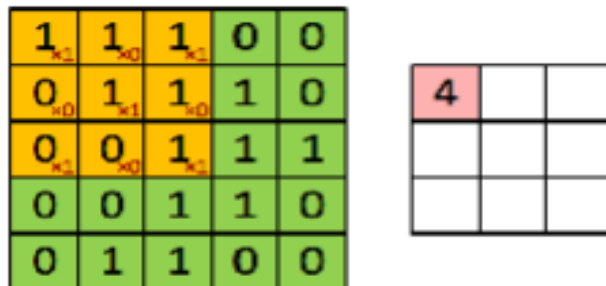


FIGURE 8 : DÉMONSTRATION DE CONVOLUTION

**✚ ReLu – Unité linéaire rectifiée**

ReLU est très utilisée dans les réseaux de neurones à convolution car il s'agit d'une fonction rapide à calculer :  $f(x) = \max(0, x)$ . Sa performance est donc meilleure que d'autres fonctions où des opérations coûteuses doivent être effectuées, comme la division dans le cas de la fonction sigmoïde, et le résultat final d'un réseau reste similaire. ReLU est une fonction qui doit être appliquée à chaque pixel d'une image après convolution, et remplace chaque valeur négative par un 0

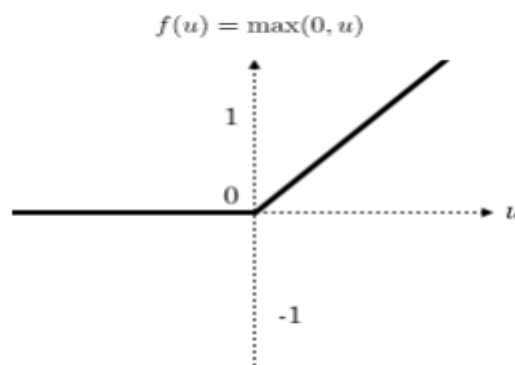
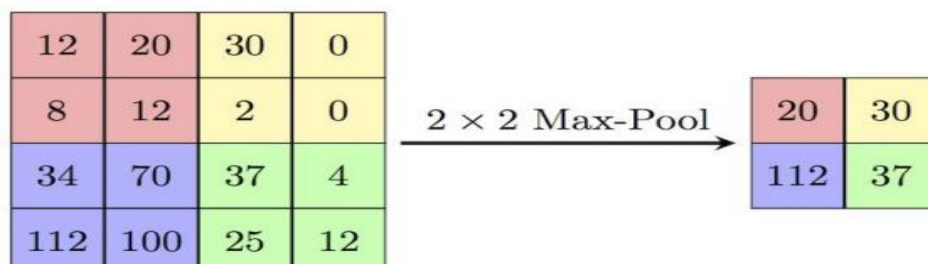


FIGURE 9: REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DE RELU

**✚ Pooling**

Pooling est le dernier outil utilisé par les réseaux de neurones à convolution. Celui-ci est utilisé afin de réduire la taille d'une couche tout en s'assurant que les éléments importants d'une image sont gardés. La méthode utilisée consiste à imaginer une fenêtre de 2 ou 3 pixels qui glisse au-dessus d'une image, comme pour la convolution. Mais, cette fois-ci, nous faisons des pas de 2 pour une fenêtre de taille 2, et des pas de 3 pour 3 pixels. Après une phase de Pooling, nous pouvons constater que la taille de l'image fait maintenant un quart de celle d'origine



**FIGURE 10: POOLING POUR RÉDUIRE LA TAILLE D'IMAGE**

## **IV - Les systèmes de transport intelligents (STI)**

Les systèmes de transport intelligents (STI) représentent une combinaison d'information et de technologies de communication de pointe. Ils sont utilisés dans les systèmes de gestion du transport et de la circulation routière pour rehausser la sécurité, l'efficacité et la durabilité des réseaux de transport routier, pour réduire les engorgements et pour améliorer l'expérience de conduite.

### **IV.1 - Le wagon intelligent : [5][6][7]**

#### **✚ le ratio de productivité (R)**

le wagon de fret joue un rôle passif du point de vue de la sûreté de fonctionnement. En effet, ce wagon ne possède ni énergie embarquée, ni capteurs, ni actionneurs permettant d'analyser et de déterminer un éventuel risque lié à ce système. Les constructeurs ferroviaires justifient l'absence d'équipements afin de limiter au maximum la tare du wagon (poids à vide) et augmenter le ratio de productivité (R) pour les transporteurs routiers. Ce ratio est le rapport en tonnes entre le poids transporté (P<sub>Trans</sub>) et le poids total du système (P<sub>Total</sub>) selon la formule suivante :

$$R = \frac{P_{Trans}}{P_{Total}} \quad (4)$$

Prenons par exemple, pour un wagon Modalohr qui pèse 40 tonnes et qui permet de charger deux remorques ayant une charge transportée de 17 tonnes et un poids à vide de 6 tonnes. Le poids transporté est donc de 46 tonnes (les deux remorques) pour un poids total de 86 tonnes. Le ratio de productivité est donc de 0,53. Par la route, avec un tracteur routier de 9 tonnes, ce ratio est également de 0,53 ce qui permet de dire que le ferroutage est un moyen complémentaire comparable à la route si le tracteur routier n'est pas transporté avec la remorque. Par ailleurs, le wagon permet de faire le lien entre les deux autres acteurs du système c'est-à-dire avec les véhicules routiers et avec l'infrastructure ferroviaire. Afin d'étayer ces propos, nous allons présenter l'intérêt du concept du wagon intelligent en analysant deux accidents de ferroutage.

#### **✚ L'intérêt du wagon intelligent**

##### **Analyse de deux accidents de ferroutage :**

- **L'accident de la navette Eurotunnel 7539 (France-Angleterre) Le 18 novembre 1996 :**

Le train navette poids-lourds 7539 à destination de la Grande Bretagne s'est immobilisé dans le tunnel ferroviaire avec un incendie à bord. Celui-ci dégageait d'importantes fumées qui ont rapidement enveloppé la voiture salon et la locomotive de tête compliquant l'évacuation. Cet incendie a montré des défaillances dans les systèmes de détection d'incendie du tunnel et de confirmation d'incendie. De plus, le système de communication et de confinement des fumées dans un seul tunnel a présenté quelques défaillances.

– **Intérêt du concept du wagon intelligent :**

L'intérêt du concept du wagon intelligent s'expose aisément avec cet accident. L'ajout de fonctions, telles que la détection de température dans le wagon, sur ses organes principaux (Boîte d'essieu, roues de boggie, freins, ...) mais également sur la marchandise transportée ainsi que la surveillance d'autres paramètres importants comme la fuite de liquide provenant de la charge auraient permis de faire de la maintenance préventive sur le wagon, de refuser éventuellement le chargement du camion et lors de l'exploitation en convoi de détecter avant l'entrée dans le tunnel le risque d'incendie et/ou l'incendie en lui-même.

• **L'accident du Iron Highway 121 (Canada) Le 13 août 1997**

Une remorque routière transportée à bord du train 121 s'est désarrimée et s'est mise en porte-à-faux sur la plate-forme qui la portait, excédant la largeur du wagon. Pendant que le train roulait sous un passage supérieur aménagé pour une route, cette remorque a heurté les colonnes d'appui du pont. La remorque a subi des dommages considérables, il a fallu fermer le passage supérieur pendant plusieurs jours car plusieurs colonnes du pont ont été endommagées.

– **Intérêt du concept du wagon intelligent :**

L'intérêt du concept du wagon intelligent s'expose également facilement dans le cadre de cet accident. En effet, l'ajout d'un système permettant de surveiller l'arrimage de la charge aurait permis de détecter plusieurs paramètres utiles relatifs aux mouvements de la charge (sa position par rapport au wagon et l'accélération transversale de la remorque par exemple).

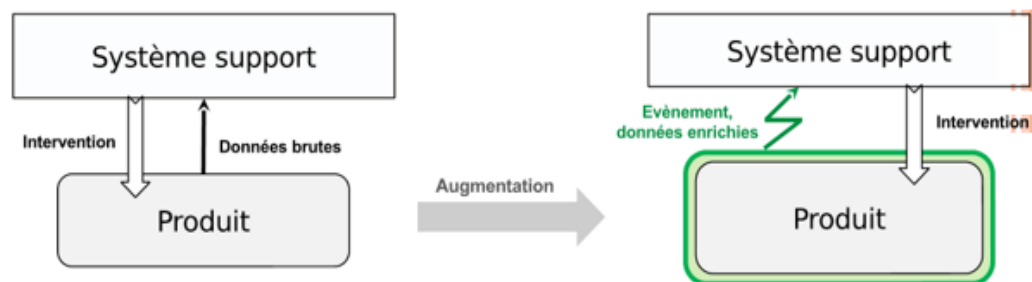
 **Concept du wagon intelligent**

Le concept de wagon intelligent basé sur le concept d'augmentation :

- ✓ Ajout de fonctions embarquées à un système passif pour améliorer les performances du système complet de transport. (Capteurs, actionneurs, unités de traitement, réseaux de terrain)
- ✓ Ajout de fonctions au wagon de ferroutage permettrait de contribuer plus activement à la sûreté de fonctionnement du ferroutage.

L'ajout de ces fonctions implique l'introduction des équipements suivants sur le wagon :

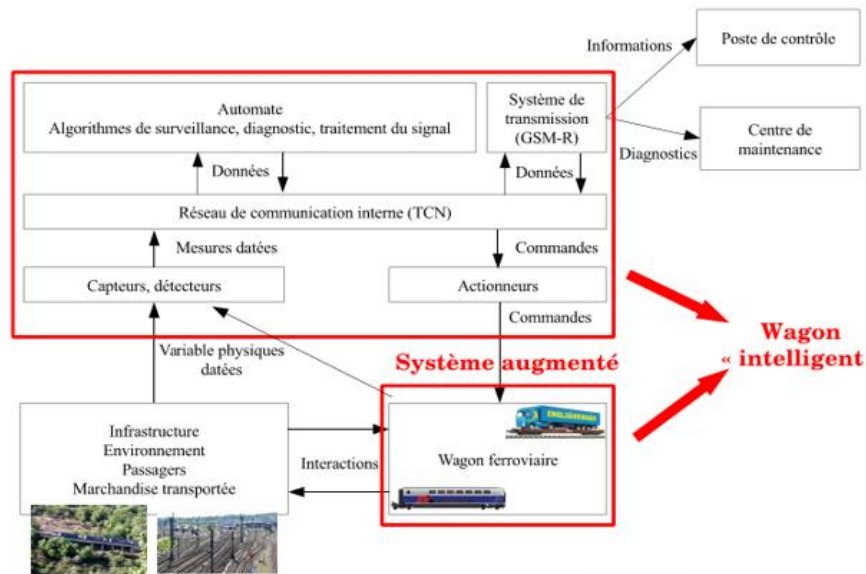
- Des fonctions logicielles permettant de remplir des missions de surveillance, commande, communication
- Une instrumentation adaptée composée de capteurs matériels et d'instruments intelligents afin de récupérer les variables physiques nécessaires aux fonctions logicielles précédentes
- Des redondances matérielles et logicielles afin de rendre le système tolérant aux défaillances. Ces équipements supplémentaires vont constituer le système d'automatisation du wagon de ferroutage et doivent pouvoir répondre aux besoins de sûreté de fonctionnement du système de ferroutage.



**FIGURE 11 : SYSTÈME AUTOMATIQUE AVEC AUGMENTATION**

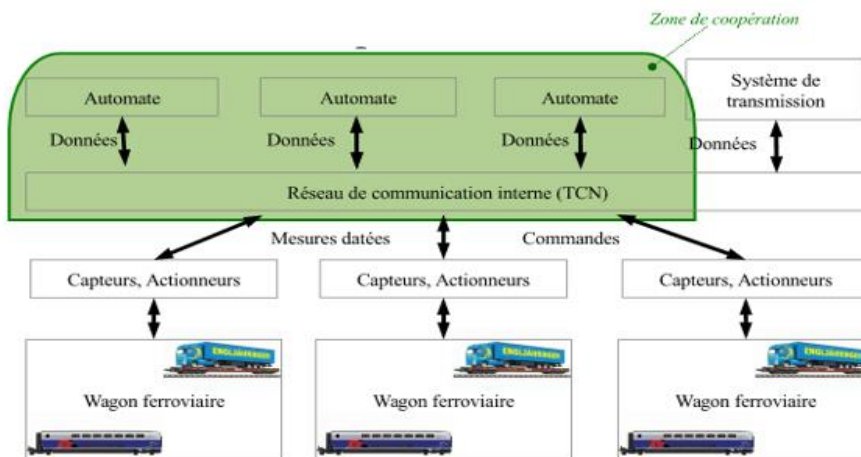
#### **✚ La réduction des risques par le wagon intelligent**

Le wagon de ferroutage intelligent est équipé d'unités de traitement (automates, régulateurs, calculateurs) accomplissant des traitements logiciels afin d'effectuer ses missions (surveillance, diagnostic, contrôle et commande). Le wagon intelligent est également équipé d'un réseau de terrain reliant les unités de traitement aux capteurs et aux actionneurs placés sur sa structure. Ce réseau permet de transmettre des commandes à destination des actionneurs et de récupérer les informations issues des actionneurs (accomplissement d'une commande par exemple) ainsi que les mesures générées par les capteurs. Ces mesures sont obtenues à partir de variables physiques issues de l'environnement proche du wagon (infrastructure ferroviaire, opérateurs, camions).



**FIGURE 12 : SYSTÈME AUTOMATIQUE POUR UN WAGON INTELLIGENT**

✓ **Extension du concept au train :**



**FIGURE 13 : SYSTÈME AUTOMATIQUE POUR UN TRAIN**

Afin de concevoir ce système d'automatisation, il est d'abord nécessaire de déterminer l'ensemble des fonctions qu'il doit rendre et cela dans toutes ses phases de fonctionnement. Cette identification passe par une analyse fonctionnelle. Après avoir défini l'ensemble de ces fonctions, il s'agit ensuite de pouvoir déterminer les architectures optimales offrant, pour le concepteur, le meilleur compromis entre niveau de sûreté de fonctionnement et coût financier de ces ajouts.

## IV.2 - Décomposition fonctionnelle

Le système central de l'analyse est évidemment le système d'automatisation du wagon de ferroutage, c'est-à-dire les fonctions et les équipements supplémentaires. Les systèmes autres que ceux contribuant à la sûreté de fonctionnement mais faisant partie du wagon (bogie, freins, coque) et de l'infrastructure (rails, tunnels, système de signalisation, ...) sont considérés comme extérieurs au système central et sont dénommées respectivement par partie mécatronique wagon et partie mécatronique infrastructure. Les autres éléments extérieurs du système central sont les suivants

- **Les opérateurs humains** : Ils peuvent être des opérateurs de l'infrastructure, conducteurs de trains ou de véhicules routiers.
- **Les véhicules routiers** : L'hypothèse que nous avons prise est d'avoir des véhicules passifs. Dans le cas contraire, les capteurs de ces véhicules viendront s'ajouter à ceux du système.
- **L'énergie utilisée** : elle n'est pas produite par le système mais celui-ci doit pouvoir se connecter à différentes sources (électrique, pneumatique, mécanique).
- **Le milieu environnant** : Les conditions atmosphériques font parties de ce milieu par exemple.

De la même façon, nous définissons les phases de fonctionnement du système :

### ☒ Phase de chargement - déchargement

Cette phase décrit le comportement de l'ensemble du système depuis l'arrêt d'un train en gare jusqu'à son ordre de départ. Cette phase comprend les étapes : de mise en place du train et du système de chargement, du gerbage des véhicules et du blocage de la charge sur le wagon.

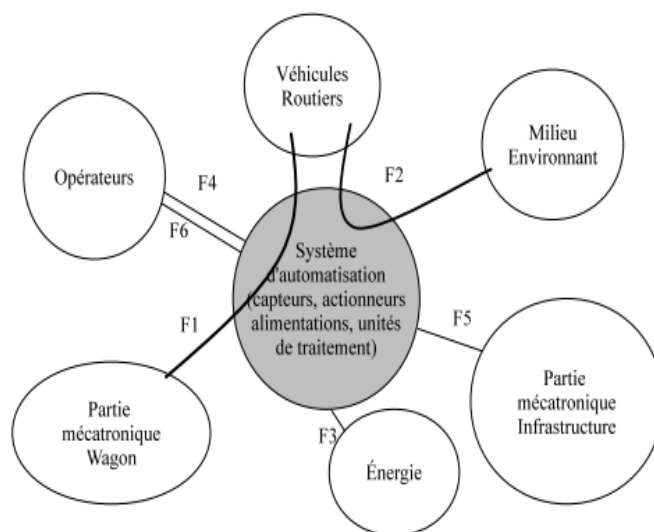
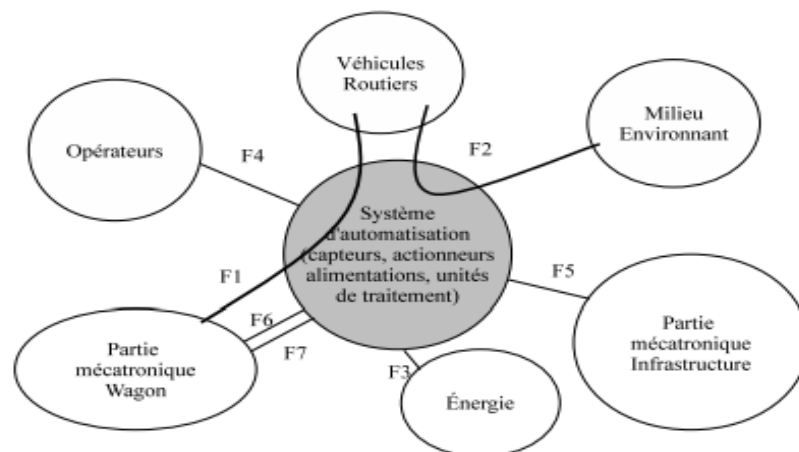


FIGURE 13 : DIAGRAMME DE LA PHASE DE CHARGEMENT DÉCHARGEMENT

- **F1 : Surveiller la mise en place du véhicule sur le wagon** : cette fonction permet de vérifier l'installation correcte du véhicule sur le wagon.
- F2 : Surveiller l'intégrité physique de la charge** : cette fonction permet au système intelligent de vérifier les informations importantes de la charge afin d'autoriser ou non sa mise en place pendant et après sa mise en place sur le wagon...
- **F3 : Alimenter le système intelligent en énergie** : cette fonction permet au système d'être alimenté sur le wagon et de détecter une anomalie dans son système de distribution d'énergie.
- **F4 : Transmettre des informations** : cette fonction fait appel à l'ensemble des matériels d'émission et de logiciels de communication pour émettre des messages vers les opérateurs ou les automatismes.
- **F5 : Recevoir des informations de l'infrastructure** : cette fonction permet au système de recevoir des informations des automatismes et de les comprendre.
- **F6 : Recevoir des informations des opérateurs** : cette fonction est similaire à la précédente puisqu'elle permet de recevoir des informations des opérateurs et de les comprendre

**Phase de convoi :**

Cette phase de fonctionnement du système est définie temporellement depuis l'ordre de départ du train jusqu'à son arrivée dans la gare suivante.



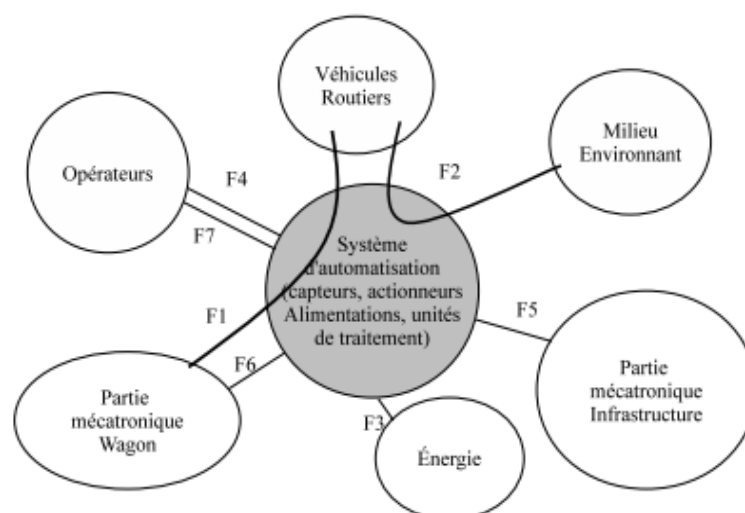
**FIGURE 14 : DIAGRAMME DE LA PHASE DE CONVOI**

- **F1 : Détecter un défaut d'arrimage de la charge sur le wagon** : cette fonction vérifie l'adéquation entre le wagon et la charge. Elle surveille l'état du système d'arrimage et les mouvements de la charge

- **F2 : Surveiller l'intégrité physique de la charge** : cette fonction permet au système intelligent de vérifier les informations importantes de la charge
- **F3 : Alimenter le système intelligent en énergie** : comme pour les phases de chargement et de convoi, cette fonction permet au système d'être alimenté sur le wagon et de détecter une anomalie dans son système de distribution d'énergie
- **F4 : Transmettre des informations** : comme pour la phase de chargement-déchargement, cette fonction fait appel à l'ensemble des matériels d'émission et de logiciels de communication pour émettre des messages vers les opérateurs.
- **F5 : Recevoir des informations de l'infrastructure** : cette fonction permet au système de recevoir des informations des automatismes extérieurs et de les comprendre
- **F6 : Surveiller les paramètres physiques du wagon** : cette fonction vérifie les données importantes du wagon pendant la phase de convoi
- **F7 : Recevoir les alarmes d'autres wagons** : cette fonction permet au système de recevoir des informations des autres wagons du convoi et de les relayer vers les opérateurs.

☒ **Phase de parking maintenance :**

Cette phase décompose les fonctions supplémentaires du système en dehors de son utilisation dite "normale", c'est-à-dire lors des opérations de maintenance du wagon ou lors de son immobilisation sur une voie ferrée.



**FIGURE 14 : DIAGRAMME DE LA PHASE DE PARKING MAINTENANCE**



**\_F1 : Vérifier la présence d'une charge sur le wagon** : cette fonction fait appel à un système de détection d'une charge sur le wagon (variation du poids du système, images ...) et de réception des informations provenant des opérateurs pour confirmation de cette présence (type de marchandise, durée de stationnement)

– **F2 : Surveiller l'intégrité physique de la charge** : comme pour la phase de convoi, cette fonction permet au système intelligent de vérifier les informations importantes du système quelles que soient les conditions extérieures.

– **F3 : Alimenter le système intelligent en énergie** : comme pour les phases de chargement et de convoi, cette fonction permet au système d'être alimenté sur le wagon et de détecter une anomalie dans son système de distribution d'énergie

– **F4 : Transmettre des informations** : comme pour les phases de chargement et de convoi, cette fonction fait appel à l'ensemble des matériels d'émission et de logiciels de communication pour émettre des messages vers les opérateurs ou les automatismes

– **F5 : Recevoir des informations de l'infrastructure** : comme pour les phases de chargement déchargement et de convoi, cette fonction permet au système de recevoir des informations des automatismes extérieurs et de les comprendre.

– **F6 : Surveiller les paramètres physiques du wagon** : comme pour la phase de convoi, cette fonction vérifie les données importantes du wagon pendant la phase de parking (blocage des freins et de l'arrimage de la charge, fonctionnement des systèmes ...).

– **F7 : Recevoir des informations des opérateurs** : comme pour la phase de chargement-déchargement, cette fonction permet de recevoir des informations des opérateurs et de les comprendre.

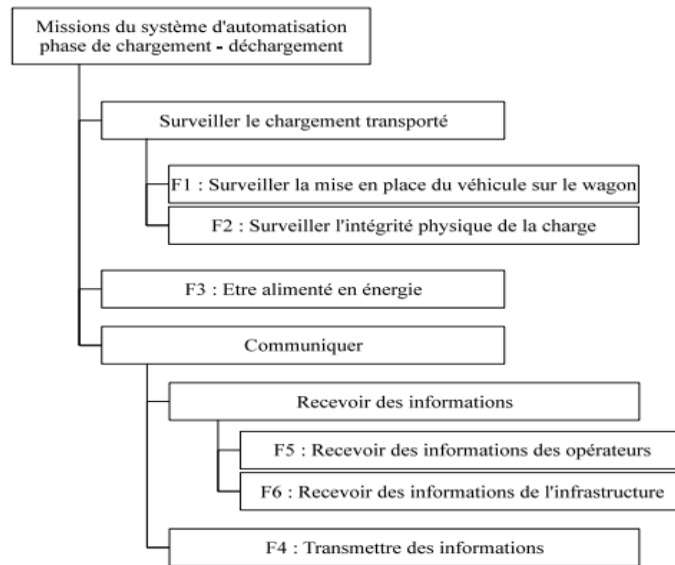
## **V - Arbres fonctionnels hiérarchiques du wagon intelligent [5]**

Ces arbres fonctionnels permettent de structurer les fonctions obtenues sous forme de modèle hiérarchique

### **☒ Phase de chargement-déchargement**

- Les fonctions F1, F2 et F3 peuvent se regrouper : surveiller le chargement transporté.
- Les fonctions F5 et F6 peuvent se regrouper autour de la mission : recevoir des informations.

- Un dernier regroupement peut s'effectuer entre la fonction F4 et le groupe F5-F6 autour de la mission : communiquer son état.

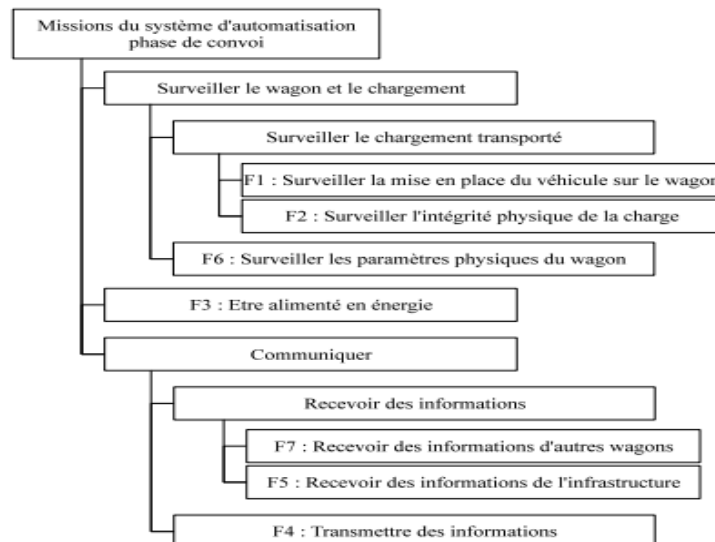


**FIGURE 15 : ARBRE FONCTIONNEL DE LA PHASE DE CHARGEMENT**

**DÉCHARGEMENT**

**☒ Phase de convoi :**

- F1 et F2 peuvent se regrouper : surveiller la charge et le système d'arrimage du wagon.
- F3, F6 et le regroupement F1-F2 peuvent se rassembler : surveiller le système de ferroutage.
- F4 et le groupe F4-F7 autour de la mission : communiquer son état.



**FIGURE 16 : ARBRE FONCTIONNEL DE LA PHASE DE CONVOI**

**☒ Phase de parking maintenance :**

- F1, F2, F3 et F6 peuvent se regrouper : surveiller l'ensemble du système complexe.
- F5 et F7 se rassemblent autour de la mission commune : communiquer son état.

- F4 et le groupe F5-F7 autour de la mission : communiquer son état.



Figure 17 : Arbre fonctionnel de la phase de parking maintenance

## V - Modélisation du wagon intelligent : Modélisation multi-niveaux en conception.

Modélisation de systèmes complexes en conception : proposition d'une représentation utilisant des séquences ordonnées de défaillances : utilisation de l'algorithme Branch and bound pour l'obtention des architectures de surveillance optimales

- ✓ Application au wagon intelligent de ferroutage :

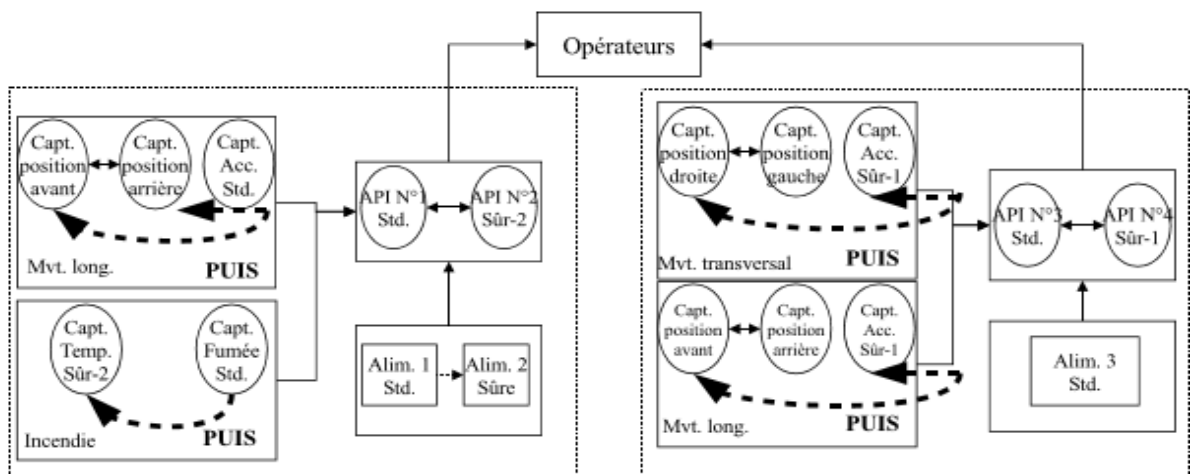


FIGURE 18 : APPLICATION AU WAGON INTELLIGENT DE FERROUTAGE

✓ Application à la surveillance de l'arrimage du camion :

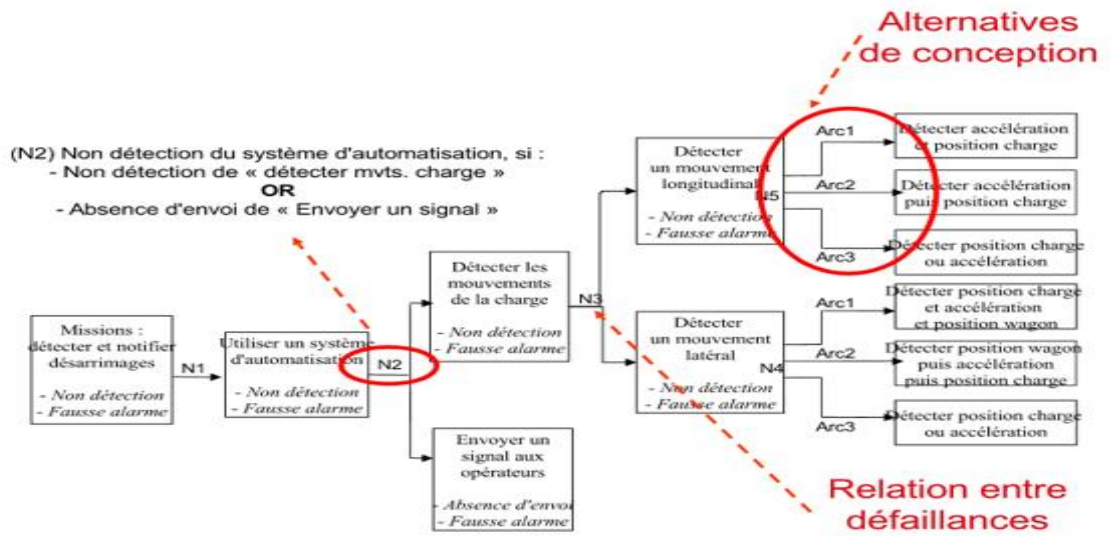


FIGURE 19- APPLICATION À LA SURVEILLANCE DE L'ARRIMAGE

DU CAMION

✚ MODELISATION DE SYSTEMES DISTRIBUES COOPERATIFS POUR LE DIAGNOSTIC :

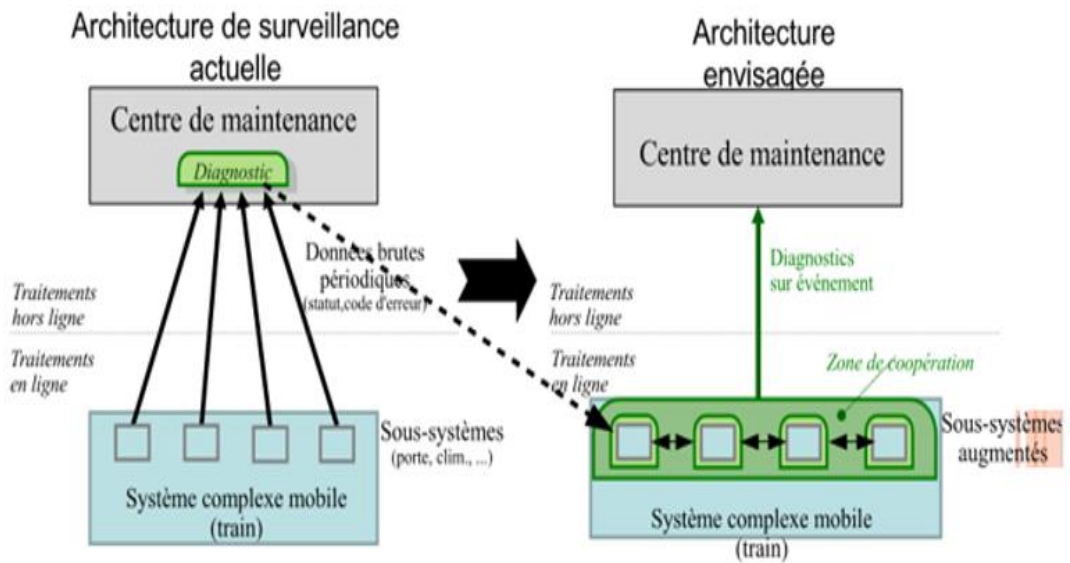


FIGURE 2: MODÉLISATION DE SYSTÈME DE SURVEILLANCE

- Grande quantité de données → Diagnostic décentralisé en ligne
- Données centralisées → Diagnostic plus fiable et plus précis
- Diagnostic centralisé hors ligne → Multi-décideurs autonome

## VI - Conclusion

Les causes de défauts dans un système du wagon intelligent sont de sources différentes. Ces défauts provoquent des pertes instables si elles ne sont pas détectées et diagnostiquées d'une manière précoce. Cependant, la surveillance est devenue une nécessité pour assurer une productivité et une technicité de qualité. A cet effet, les méthodes de diagnostic et de surveillance utilisées dans ce chapitre visent à détecter et remédier à temps avant que le défaut cause un arrêt intempestif.

## VII – Bibliographie

- [1]: « systèmes de transport intelligents (STI) » [Enligne]. Available [https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me\\_de\\_transport\\_intelligent](https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_de_transport_intelligent) [Accès le 20/06/2021]
- [2]: « Le département COSYS : Composants et systèmes » [Enligne]. Available: <https://www.ifsttar.fr/menu-haut/departements-et-laboratoires/> [Accès le 03/07/2021]
- [3]: La Réforme des Chemins de Fer : Manuel pour l'Amélioration de la Performance du Secteur Ferroviaire, 2017.
- [4]: BARREIRO LINDO Flávio, Interprétation d'images basée sur la technologie des réseaux de neurones, 2018
- [5]: Saïd Hayat, Joffrey Clarhaut, Prise en compte des séquences de défaillances pour la conception de systèmes d'automatisation. Application au ferroutage, 2010
- [6]: Saïd Hayat, Blaise Conrad, Vincent Cocquempot, J. Clarhaut Amélioration de la sûreté de fonctionnement du ferroutage par le concept du wagon intelligent
- [7]: Saïd Hayat, J. Clarhaut, Présentation du concept du wagon ferroviaire « intelligent » 2015