



# Méthodologie d'allocation de disponibilité pour un système complet de métro

Sylvain Maciejewski, Florence Trichet-Bonnechere

## ► To cite this version:

Sylvain Maciejewski, Florence Trichet-Bonnechere. Méthodologie d'allocation de disponibilité pour un système complet de métro. Congrès Lambda Mu 23 "Innovations et maîtrise des risques pour un avenir durable" - 23e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sécurité de Fonctionnement, Institut pour la Maîtrise des Risques, Oct 2022, Paris Saclay, France. <hal-03865259>

**HAL Id: hal-03865259**

**<https://hal.science/hal-03865259v1>**

Submitted on 22 Nov 2022

**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.



HAL Authorization

# Méthodologie d'allocation de disponibilité pour un système complet de métro

MACIEJEWSKI Sylvain  
SYSTRA France  
72 Rue Henry Farman  
75513 PARIS Cedex 15  
smaciejewski@systra.com

TRICHET-BONNECHERE Florence SYSTRA France  
72 Rue Henry Farman  
75513 PARIS Cedex 15  
ftrichet-bonnechere@free.fr

**Résumé** — Cette étude présente la démarche effectuée pour allouer un objectif de disponibilité opérationnelle technique sur une ligne de transport de métro française typique. La disponibilité opérationnelle technique correspond au temps perdu par le voyageur pour des pannes d'origines techniques.

La typologie typique d'une ligne a été définie puis les sous-systèmes contributeurs à l'indisponibilité vue du voyageur en se confrontant aux pratiques des exploitants.

Après avoir fixé une disponibilité opérationnelle technique au niveau de la ligne complète, une démarche descendante d'allocation a d'abord préalablement été effectuée. A l'aide de données issues du terrain, les indisponibilités théoriques ont été ajustées pour certains sous-systèmes. Elles ont permis, tout en restant exigeants d'effectuer une démarche remontante, d'aboutir à deux disponibilités opérationnelles techniques pour l'ensemble du système de transport.

**Mots-clefs** — Allocation, Disponibilité, Métro

**Abstract** — This study presents the approach taken to allocate a technical operational availability target on a typical French metro line. The technical operational availability corresponds to the time lost by the passenger due to breakdowns of technical origins.

The typical characteristics of a line has been defined and then the sub-systems contributing to the unavailability seen by the passenger by confronting the operators' practices.

After setting a technical operational availability at the level of the complete line, a top-down allocation process was first performed. Using data from operation, the theoretical unavailabilities were adjusted for some sub-systems. This allowed, while still requiring a top-down approach, to be able to fix two technical operational availabilities for the entire transport system.

**Keywords** — Allocation, Availability, Metro

## I. INTRODUCTION

Beaucoup d'entre nous ont été amenés à effectuer des spécifications de disponibilité sur un système complexe. Cependant, dans la plupart des cas, ces spécifications restent uniquement théoriques, la prestation demandée se limitant à la phase d'appel d'offre, sans suivi des objectifs en phase opérationnelle. Ce manque ne permet au spécificateur de vérifier la pertinence des objectifs fournis. Par ailleurs, le système étant complexe, les constructeurs qui répondent à l'appel d'offre n'ont pas toujours toutes les données d'entrée, les solutions techniques sur étagère et le temps d'analyser les objectifs pour pouvoir les questionner. Ce n'est qu'en cours de design que surviennent de possibles demandes de dérogation.

L'objectif de l'étude est, pour un système de métro complet français complètement automatisé (sans conducteur), de proposer une démarche d'allocation de disponibilité des sous-systèmes le composant, exigeante pour viser l'excellence, tout en restant atteignable pour les constructeurs.

Cette démarche est innovante dans les aspects suivants:

- Elle permet une approche plus structurée des allocations de disponibilité en phase de spécifications,
- Elle propose un niveau adéquat de disponibilité afin de favoriser l'optimisation ou de nouvelles solutions techniques par les constructeurs.

## **II. GLOSSAIRE**

DO : Disponibilité Opérationnelle

EN : European Norm

FMDS : Fiabilité, Maintenabilité Disponibilité et Sécurité

GOA 4 : Niveau d'automatisme 4 (Grade Of Automation level 4)

HLP : Haut Le Pied

MAD : Délai administratif moyen (Mean Administrative Delay)

MLD : Délai logistique moyen (Mean Logistic Delay)

MRT : Durée moyenne de réparation (Mean Repair Time)

MTBF : Moyenne des temps de bon fonctionnement (Mean Time Between Failure)

MTBFS : Moyenne des temps de bon fonctionnement pour les défaillances affectant le service (Mean Time Between Failure affecting Service)

MTD : Délai technique moyen (Mean Technical Delay)

MTTR : Durée moyenne de panne (Mean Time To Restoration)

MUFT : Temps moyen de panne non détectée (Mean Fault detection Time)

REX : Retour d'Expérience

TMD : Temps moyen de bon fonctionnement (Mean Up Time)

## **III. RAPPELS SUR LES TEMPS INTERVENANTS DANS LA DISPONIBILITE : REFERENCES ET DEFINITION**

### ***A. Portée de la note***

L'allocation porte sur l'objectif de disponibilité opérationnelle technique ; celui-ci se base sur le temps perdu par le voyageur pour des pannes d'origine technique.

### ***B. Schéma des temps***

La présente étude s'appuie sur les dénominations de l'Annexe B informative, figure B1 de la norme EN (European Norm) 50126-1 : 2017 - Applications ferroviaires – Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FMDS) - Partie 1 : Processus FMDS générique. Elle est reproduite sur la Fig.1 de la page suivante.

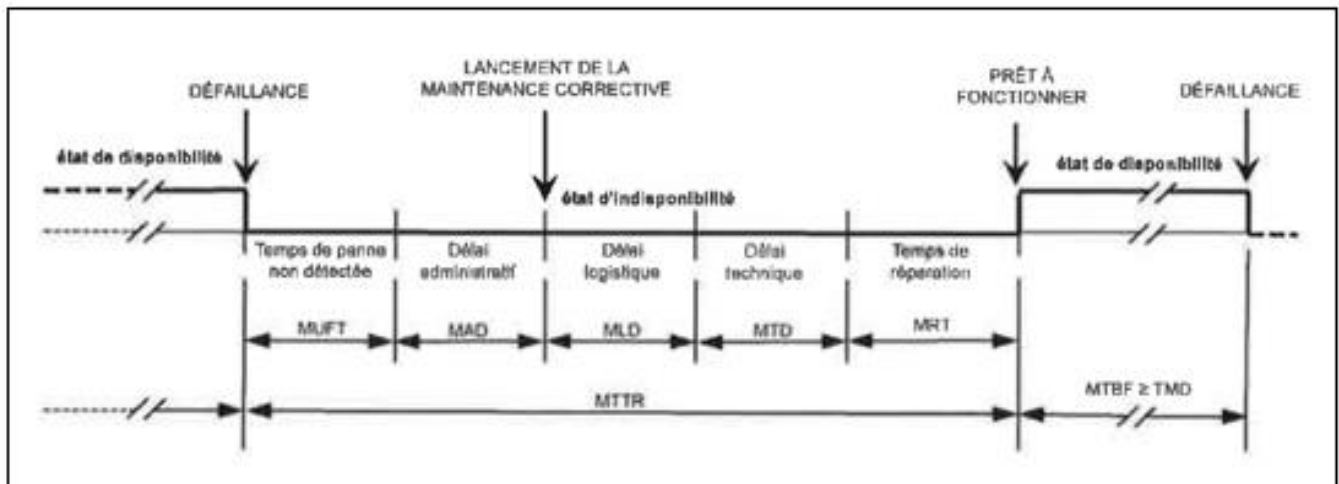


Fig.1 schéma des temps (source l'Annexe B informative, figure B1 de la norme EN 50126-1 : 2017)

Avec :

MUFT	Temps moyen de panne non détectée
MAD	Délai administratif moyen
MLD	Délai logistique moyen
MTD	Délai technique moyen
MRT	Durée moyenne de réparation
MTTR	Durée moyenne de panne
MTBF	Moyenne des temps de bon fonctionnement
TMD	Temps moyen de fonctionnement

Les définitions des sigles sont reprises dans le chapitre glossaire.

### C. Types de disponibilités

Le terme de disponibilité a plusieurs composantes, et il convient de bien préciser le type de disponibilité abordé dans la présente étude.

#### a) Disponibilité opérationnelle technique

Il est mesuré une DO (Disponibilité Opérationnelle) technique avec tous les temps logistiques y compris le MAD ; elle doit inclure les pannes d'origine technique uniquement, pour vérifier d'une part que le concepteur a bien conçu le système et d'autre part que l'exploitant et le mainteneur font du bon travail.

La DO technique prend en compte le temps perdu par le voyageur pour des pannes d'origines techniques. Il comprend les éléments suivants :

- Le temps logistique, s'il est nécessaire à remettre l'exploitation en service, et
- Le temps de réparation de la maintenance uniquement, s'il est nécessaire à la remise en service de l'exploitation ferroviaire.

#### b) Disponibilité opérationnelle

L'exploitant peut mesurer d'autres DO en fonction de son contrat avec la Maîtrise d'Ouvrage. Cela peut être par exemple

la mesure de tous les retards d'exploitation : pannes techniques mais aussi les autres événements tels les malaises voyageurs, les grèves...

La formule à appliquer dépend des projets. Dans cette analyse, nous utiliserons la formule suivante :

$$DO = \frac{\text{Heures réelles d'exploitation}}{\text{Heures prévues d'exploitation}} \quad (1)$$

La formule peut aussi être un ratio entre le nombre de courses réalisées et le nombre de courses prévues, tout en considérant qu'une course est accomplie par exemple si elle a moins de 4 minutes de retard.

#### c) Disponibilité inhérente

La disponibilité du concepteur, qui est la disponibilité intrinsèque (inhérente) répond à la formule suivante :

$$\text{Disponibilité intrinsèque} = \frac{MTBF}{MTBF + MRT} \quad (2)$$

## IV. DISPONIBILITÉ OPÉRATIONNELLE TECHNIQUE

### A. Utilité de la disponibilité opérationnelle

L'objectif global de DO technique de la ligne permet aux industriels une démarche descendante et de définir une architecture technique adéquate en fonction de cet objectif, décliné en sous objectifs et ainsi de suite. Elle incite à la redondance pour atteindre les objectifs.

La disponibilité intrinsèque du concepteur est une donnée d'entrée pour les constructeurs.

Ceux-ci doivent calculer une DO technique prévisionnelle avec les hypothèses de temps logistique du mainteneur, données d'entrées à fournir par la Maîtrise d'Ouvrage.

Ils ne savent pas prédire une DO incluant les temps de l'exploitant et les indisponibilités autres que techniques,

comme par exemple, les malaises voyageurs, grèves.... Un autre exemple est le temps d'injection de la rame : la figure B1 de l'annexe informative de la norme EN 50126:2017 ne permet pas de le caractériser.

Mais la DO est facile à mesurer en exploitation en phase de démonstration, et en particulier la DO technique.

Il n'y a pas de lien direct entre d'une part la DO incluant les temps de l'exploitant et les indisponibilités autres que techniques, et d'autre part la DO technique.

Ainsi, nous ne pouvons pas démontrer qu'une DO technique de x % permet d'atteindre une DO incluant les temps de l'exploitant et les indisponibilités autres que techniques de y % (avec  $y < x$ ).

Notre objectif s'arrête à la DO technique et n'a pas pour vocation de s'intéresser à la DO incluant les temps de l'exploitant et les indisponibilités autres que techniques.

Pour des sous-systèmes simples, voire équipements, il peut y avoir un lien direct entre les différentes DO. Prenons pour exemple le 3ème rail de la voie : s'il est hors service sur une certaine portion, le train s'arrête.

Pour les sous-systèmes et équipements complexes, comme la signalisation ferroviaire, cela n'est pas possible. Il peut effectivement y avoir beaucoup de pannes possibles avec des conséquences très variables sur l'exploitation : arrêts des trains, limitation de vitesse, marche à vue...

## B. Détermination de la disponibilité opérationnelle

### 1) En phase de conception

En prévisionnel, le constructeur calcule en phase de prédiction une DO technique théorique qui répond à la formule suivante :

$$DO \text{ technique} = \frac{MTBFS}{MTBFS + MLD + MTD + MRT} \quad (3)$$

Avec :

- MTBFS : Moyenne des temps de bon fonctionnement pour les défaillances affectant le service
- MAD négligée devant  $MRT + MTD + MLD$ .

Elle correspond au temps perdu par le voyageur pour des pannes d'origines techniques ; ce temps comprend le temps logistique (s'il existe) et le temps de réparation de la maintenance uniquement.

Le MUFT = 0 car s'il n'y a pas d'impact sur l'exploitation, la panne n'est pas détectée par l'exploitant.

### 2) En phase opérationnelle

En phase opérationnelle, après l'inauguration du système de transport, la DO technique peut être déterminée à partir d'une main courante incrémentée par l'opérateur.

Elle peut aussi être vérifiée en exploitation en utilisant la Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (toutes pannes d'origines techniques) en mesurant les temps d'indisponibilité des fonctions du système de transport (MRT, MTD, MLD, MAD).

## V. MÉTHODOLOGIE

Après avoir fixé un objectif de disponibilité au niveau de la ligne de métro, une démarche d'allocation descendante a été appliquée. Afin de vérifier la pertinence de cette allocation, une démarche remontante a ensuite été effectuée, basée sur des retours d'expériences de différents projets. Les retours d'expérience disponibles pouvant varier en caractéristiques de ligne (longueur de ligne, fréquence des trains etc...), une extrapolation des données de REX (Retour d'Expérience) a été définie par application de règles simples.

La complexité des transformations a été évitée, l'objectif étant de rester le plus pragmatique possible d'une part, et des données détaillées permettant une extrapolation plus fine étant difficilement disponibles d'autre part. La Fig.2 ci-dessous résume la méthode d'allocation utilisée dans l'étude :

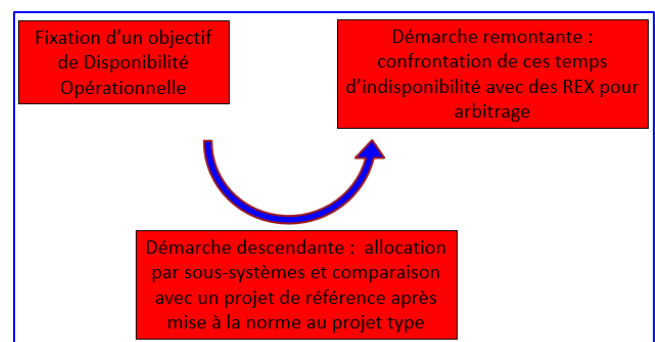


Fig.2 : Méthode d'allocation utilisée dans l'étude

## VI. PRELIMINAIRE : PARAMETRES D'AJUSTEMENT DES DONNEES

### A. Typologie et caractéristique de la ligne modèle

#### 1) Mode de conduite

Les lignes de métro françaises sont désormais toutes construites sans conducteur, le mode de conduite retenu est donc GOA 4 (Niveau d'automatisme 4).

#### 2) Choix des caractéristiques de la ligne

Les données de cette étude émanent de REX, de dires d'experts ou d'autres projets traités par SYSTRA. Les caractéristiques des autres lignes considérées ne sont jamais les mêmes que celles de la ligne modèle. Il convient de procéder à des ajustements. Ces derniers ont été traités en considérant les paramètres ci-dessous, selon les sous-systèmes considérés :

- Le nombre de trains,
- Le nombre de portes palières motorisées / nombre de cycles par heure,

- Les hauteurs de portes palières (les portes palières basses sont plus fragiles que les hautes),
- La longueur de la ligne,
- La géométrie des stations (courbe par exemple),
- La longueur des tunnels,
- Le nombre de stations,
- ...

L'allocation s'applique à un projet français, avec des exigences de service et une organisation de la maintenance propre aux pays occidentaux. Par exemple, le coût de la main d'œuvre y est élevé. Ainsi, le personnel sera ajusté au juste nécessaire.

Nous avons ensuite considéré une longueur de ligne standard, avec une configuration standard (par exemple, un certain pourcentage de ligne en tunnel). Le tableau I ci-dessous présente les éléments caractéristiques de ligne qui ont été pris en compte :

TABLE I. CARACTERISTIQUES DE LA LIGNE

Caractéristiques de la ligne	Eléments considérés
Génie civil	Longueur en km
	Nombre de stations
	Longueur tunnel (pour le dimensionnement de la ventilation en tunnel et drainage)
Exploitation	Nombre de départs/jour
Train	Nombre de voitures/train
	Nombre de portes (vantail double)/voiture
	Flotte en heure de pointe
	Flotte (exploitation + réserve exploitation et maintenance)
Façades de quai	Nombre de façades de quai
	Nombre de portes palières motorisées
	Type de façades de quai (pour dimensionnement du nombre de pannes)
Energie	Traction (caténaire ou 3ème rail)

### B. Choix des catégories de défaillances

L'objectif de DO technique qui sera assigné est lié à la classification des défaillances. Le tableau II de la page suivante présente un exemple de classification des défaillances retenues. Celui-ci est inspiré :

- Du tableau C de l'annexe C informative de la norme EN 50126-1:2017,
- De la classification des défaillances Matériel Roulant CLC-TR 50126-3 : 2008 (Guide d'application MR), au § 5.2.4.4 p 15,
- Des classifications issues des projets traités par SYSTRA.

TABLE II. CLASSES DE DEFAILLANCES

Classes de défaillances	Catégories et définition des défaillances	
	Catégorie de défaillance	Définition
3 - Grave	Détresse	Le secours, ou la détresse a pour conséquence l'immobilisation du train et son incapacité à se déplacer par ses propres moyens. La détresse nécessite de remorquer ou pousser la rame et occasionne de ce fait des retards importants.
	HLP (Haut Le Pied)	Le HLP est déclenché par la défaillance d'un équipement qui ne permet plus d'assurer la sécurité des passagers. Les passagers seront déposés à la station la plus accessible et le train sera retiré de l'exploitation.
	Retard > 4 minutes	Retard d'au moins un train, qui entraîne un retard sur la circulation des trains supérieur à 4 minutes mesuré en terminus
2 - Importante	1 minute < Retard ≤ 4 minutes	Toute défaillance : • Qui dégrade la situation technique du sous-système (non nominale), entraînant la perte d'une fonction, • Et qui entraîne un retard au terminus sur la circulation d'au moins un train inférieur ou égal à 4 minutes et supérieur à 1 minute.
1 - Mineure	Avarie	Toute défaillance : • Qui dégrade la situation technique du système (non nominale), cependant celui-ci remplit toujours l'ensemble des fonctions qui lui incombent, • Et qui entraîne un retard au terminus sur la circulation d'au moins un train inférieur ou égal à 1 minute.

Ainsi, seules les pannes de classes 2 et 3 impactent l'exploitation et sont prises en compte pour le calcul de l'indisponibilité opérationnelle technique.

### C. Evaluation des temps logistiques du mainteneur

Selon la formule prévisionnelle (3) de DO technique présentée au § IV B 1) ci-dessus, les MTBFS sont calculés par les concepteurs en fonction :

- De l'architecture technique, et
- Des MTBF des équipements.

Il faut définir les MRT, MTD et MLD.

Ils ont été fixés en se basant sur les REX issus de bases de données de maintenance pour une ligne de métro française.

Ils sont regroupés dans le tableau III ci-dessous pour les équipements fixes :

TABLE III. MRT, MTD ET MLD POUR LES EQUIPEMENTS FIXES

Localisation des équipements fixes	MRT, MTD et MLD (en heures et minutes)	
	MLD+MTD	MRT+MLD+MTD impactant le service
Equipelement dans un local technique accessible	1h	1h30
Cas des portes palières motorisées	0h15	0h20
Equipelement en ligne	1h30	2h

Il est à noter que pour les portes palières motorisées, les temps d'intervention dépendent de l'organisation de l'exploitation qui gère le premier niveau en cas de panne : présence de personnel dans les stations, condamnation d'une porte ou pour faire démarrer les trains à vue à l'aide du pupitre de commande à quai. Dans certains pays à faible coût de main d'œuvre et donc de présence de personnel dans chaque station, ce temps peut être réduit.

Les MRT, MTD et MLD sont regroupés dans le tableau IV ci-dessous pour le matériel roulant :

TABLE IV. MRT, MTD ET MLD POUR LE MATERIEL ROULANT

Défaillances pour le matériel roulant		MRT+MLD+MTD impactant le service en minutes
Catégories	Types	
Grave	Détresse	30
	Retrait immédiat (HLP)	10
	Retard supérieur à 4 minutes	10
Importante	Retard de 1 à 4 minutes	4

Pour rappel, nous ne considérons que l'impact vu par le voyageur et nous ne nous intéressons pas aux actions ayant lieu une fois que le train a libéré la ligne en service commercial. Par exemple, en cas de HLP, le retard considéré est uniquement le temps nécessaire à l'arrivée d'un autre train.

### D. Durée de fonctionnement des sous-systèmes

Les performances des sous-systèmes sont liées à leur durée de fonctionnement. En particulier la durée de fonctionnement du matériel roulant dépend de son profil de mission. Ainsi les durées fonctionnement des différents sous-systèmes peuvent varier de 24h par jour à possiblement presque moitié moins pour le matériel roulant.

Afin d'avoir une approche normée pour notre ligne de métro type, les calculs de DO prévisionnelle technique considèrent une durée de fonctionnement de 24h pour l'ensemble des équipements, soit 8760h/an.

## **VII. ETAPE 1 : FIXATION D'UN OBJECTIF DE DO TECHNIQUE**

### **AU NIVEAU DE LA LIGNE DE METRO**

Ce niveau a été fixé sur la base de projets traités par SYSTRA, sur proposition de SYSTRA ou à la demande des Maîtrises d'Ouvrage.

## **VIII. ETAPE 2 : DEMARCHE DESCENDANTE - ALLOCATION**

### **PAR SOUS-SYSTEMES ET COMPARAISON AVEC UN PROJET**

### **DE REFERENCE APRES MISE A LA NORME AU PROJET TYPE**

Après avoir fixé un objectif de disponibilité au niveau de la ligne de métro, une démarche d'allocation descendante a été appliquée, à dire d'experts.

Les allocations ont été comparées à des projets de référence.

Cette étape a permis de connaître les temps d'indisponibilité annuels dus à des pannes d'origine technique vues par le voyageur pour l'ensemble de la ligne et pour chaque sous système.

#### ***A. Détermination des sous-systèmes dont les pannes impactent l'exploitation***

La ligne a été découpée en sous-systèmes en se basant sur un découpage fréquent dans les projets traités par SYSTRA et/ou correspondants à des savoir-faire industriels spécifiques. L'objectif est toujours de rester au maximum générique.

Chaque sous-système a été évalué en se posant la question: si ce sous-système subit une panne technique, est ce que le passager subira un impact comme un retard dans son voyage? Prenons l'exemple du matériel roulant, il est entendu que seules les pannes de classes 2 et 3 sont considérées.

#### ***1) Sous-systèmes participants à la DO technique***

Les sous-systèmes participants à la DO technique sont les suivants :

- Matériel roulant,
- Façades de quai,
- Automatismes de Conduite des trains (bord et sol),
- Réseau Com (réseau standard),
- Commandes centralisées,
- Logique traction,
- Courants forts,
- Caténaire / 3ème rail,
- Voie et ses aménagements,
- Drainage,
- Management incendie

#### ***2) Les sous-systèmes ne participant pas à la DO technique***

Les sous-systèmes ne participant pas à la DO technique sont les suivants (liste non exhaustive) :

- Génie civil,
- Equipements industriels de maintenance (y compris tous véhicules),
- Courants faibles,
- La ventilation en tunnel,
- La billettique,
- L'éclairage,
- ...

Il est considéré que :

- Les équipements industriels de maintenance sont en nombre suffisant, éventuellement redondés afin ne pas empêcher la maintenance corrective ou préventive, ni la mise à disposition des trains pour assurer l'exploitation,
- Le nombre de trains et ceux en réserve pour l'exploitant et le mainteneur sont en nombre suffisant,
- La maintenance est effectuée correctement.

Cas de la ventilation en tunnel et courants faibles : Souvent des objectifs de disponibilité sont alloués, mais un REX indique que des pannes de ces équipements n'impactent pas l'exploitation. Par exemple, si la ventilation en tunnel ne fonctionne pas, il y a un risque de sécurité, mais par expérience l'exploitant continue tout de même à exploiter jusqu'à la fin de la journée.

## **IX. ETAPE 3 : DEMARCHE REMONTANTE - CONFRONTATION**

### **DE CES TEMPS D'INDISPONIBILITE AVEC DES REX POUR**

### **ARBITRAGE**

Afin de confronter le résultat théorique d'expert à la réalité du terrain en termes d'allocation d'indisponibilité, nous avons dépouillé des bases de maintenance d'exploitants français et internationaux à partir desquelles nous avons calculé un temps d'indisponibilité annuel pour chaque sous système.

Aucune de ces données de maintenance n'ont englobé un système de transport complet.

Elles ont été ajustées en prenant en compte les caractéristiques de lignes présentées dans le tableau I du § VI A 2 ci-dessus.

Selon la source des REX, la crédibilité des chiffres pour chaque sous-système et leur caractère transposable a été évaluée à dire d'expert. Ainsi, nous avons affecté un degré de confiance sur les données disponibles. Ce degré de confiance

s'est traduit par un coefficient alloué pour chaque sous-système de chaque projet.

Ces données d'indisponibilité par sous-système ont permis de fixer un taux de disponibilité par sous-système, puis au niveau de la ligne.

## X. CONCLUSIONS ET RÉSULTATS

Nous avons ainsi retenu des objectifs globaux de disponibilité pour la ligne très ambitieux de 99.8% et ambitieux de 99.7%, avec, pour chacun d'entre eux, une allocation en conséquence sur les sous-systèmes.

Cette analyse s'appuie sur les performances de la réalité afin d'atteindre ce double objectif :

- tendre à l'amélioration des performances des sous-systèmes des lignes futures, dans certaines limites bien sûr. Le niveau de ces performances à respecter doit conduire les constructeurs à choisir les équipements performants avec la mise en place de nouvelles redondances si nécessaires.
- contrôler la réalité les allocations précédemment faites.

Le tableau V ci-dessous présente le résultat de l'allocation pour une disponibilité opérationnelle technique de 99.7% au niveau du système de transport. Les données ont été approximées pour de raisons de confidentialité.

Nom du système	Système de transport - DO technique											
DO technique ligne	99.7000%											
Heures d'indisponibilité /an	26.28											
Nom du sous système	Matériel roulant	Façades de quai	Automats- mes de conduite des trains y compris la comm	Réseau Com	Commandes Centralisées	Logique Traction	Courants forts	Caténaire ou 3ème rail	Voie et ses aménage- ments	Drainage	Ventilation des tunnels	Manage- ment incendie
Poids dans l'indisponibilité	26.00%	26.00%	26.00%	1.40%	5.00%	1.40%	5.00%	1.40%	5.00%	1.40%	0.00%	1.40%
Indisponibilité sous système	0.0780%	0.0780%	0.0780%	0.0042%	0.0150%	0.0042%	0.0150%	0.0042%	0.0150%	0.0042%	0.0000%	0.0042%
Indisponibilité sous système en h	6.83	6.83	6.83	0.368	1.31	0.37	1.31	0.37	1.31	0.37	0.00	0.37
Disponibilité sous système	99.9220%	99.9220%	99.9220%	99.9958%	99.9850%	99.9958%	99.9850%	99.9958%	99.9850%	99.9958%	100.0000%	99.9958%

TABLE V. ALLOCATION POUR UNE DISPONIBILITE OPERATIONNELLE TECHNIQUE DE 99.7% AU NIVEAU DU SYSTEME DE TRANSPORT

Cette allocation de disponibilité est robuste car elle est confrontée à la réalité du terrain. Elle est transposable à toute autre ligne de transport française sous réserve d'utilisation des règles d'extrapolation définies ; ces résultats permettent de fixer d'autres objectifs de DO technique sur d'autres lignes françaises à l'aide de règles simples de transposition.

## BIBLIOGRAPHIE

La bibliographie est la suivante :

- Norme EN 50126-1 version 2017 Application ferroviaire – Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FDMS)
- CLC-TR 50126-3 : 2008 (Guide d'application de la norme EN 50126-1 à la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et la sécurité du matériel roulant)
- Fiches méthodes du Groupe de travail « Management, Méthodes, Outils, Standards » de l'ImdR (Institut pour la Maîtrise des Risques)