



HAL
open science

Caractérisation des stratégies instrumentales de gestion d'environnements dynamiques : analyse de l'activité de régulation du métro

Catherine Zanarelli

► To cite this version:

Catherine Zanarelli. Caractérisation des stratégies instrumentales de gestion d'environnements dynamiques : analyse de l'activité de régulation du métro. domain_stic.soci. Université Paris VIII Vincennes-Saint Denis, 2003. Français. NNT : . tel-00090534

HAL Id: tel-00090534

<https://theses.hal.science/tel-00090534>

Submitted on 31 Aug 2006

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.

**Université Paris VIII-SAINT-DENIS
UFR de PSYCHOLOGIE**

Thèse

**Pour obtenir le grade de
Docteur de l'Université Paris 8
Discipline : Ergonomie**

Présentée et soutenue publiquement
le 31 janvier 2003 par

Catherine ZANARELLI

**CARACTERISATION DES STRATEGIES INSTRUMENTALES DE
GESTION D'ENVIRONNEMENTS DYNAMIQUES**

ANALYSE DE L'ACTIVITE DE REGULATION DU METRO

Directeur de thèse : Pierre RABARDEL

Jury

- Pascal BEGUIN, CNAM, examinateur.
- François DANIELLOU, Université de Bordeaux, rapporteur, président du jury.
 - Pierre PASTRE, CNAM, rapporteur.
 - Pierre RABARDEL, Université Paris 8, directeur.
 - Janine ROGALSKI, CNRS, Université Paris 8, examinateur.

*A Fernande,
Jeanne-Françoise, Serge,
Alexander et Matéa*

Remerciements

Cette thèse doit son aboutissement au soutien et aux conseils de nombreuses personnes qui ont toutes contribué de près ou de loin à sa gestation. Toutes ne peuvent être citées ici, mais elle se reconnaîtront.

Je tiens à remercier tout d'abord Pierre Rabardel d'avoir accepté de me diriger dans ce périlleux voyage.

Je remercie tous les membres du laboratoire Cognition et Activités Finalisées de l'Université Paris 8, pour leur accueil, leur disponibilité et leur soutien pendant la réalisation de cette thèse.

Mes remerciements vont également au laboratoire d'Ergonomie Cognitive et Physiologique de l'EPHE avec lequel j'ai effectué une partie du voyage.

Je remercie François Daniellou et Pierre Pastré ainsi qu'à Pascal Béguin et Janine Rogalski de l'intérêt qu'ils ont témoigné à ce travail en acceptant de faire partie du jury.

J'exprime ma reconnaissance à la RATP qui m'a accueillie tout au long de ma convention CIFRE et m'a donné les moyens matériels de réaliser ce travail.

Je remercie surtout très sincèrement les régulateurs du PCC et du terminus de la Porte de Saint-Cloud, dont le quotidien a nourri ma recherche et ma réflexion pendant tant d'années et sans lesquels ce travail n'aurait pas lieu d'être.

Un grand merci à Laurent Pasquier qui a accepté de collaborer avec une ergonome et qui a supporté vaillamment les mauvais traitements que je lui ai infligé.

Je tiens à remercier tous ceux qui y ont cru et qui ont consacré leur temps et leur énergie à l'accompagnement de ce projet, en particulier : Poly Langa et Marion Chesnais, Janine Rogalski, Christine Vidal-Gomel, Nathalie Lang, Cécile Scéo-Briec ... et mes deux "piliers" : Pascale Dantan et Géraldine Martin.

Une pensée spéciale pour celle qui a su trouver les mots : Renan.

Enfin, je ne remercierai jamais assez mes parents, Alexander et Matéa pour leur patience, leur soutien et la force qu'ils me donnent.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	18
<i>Une demande de terrain à l'origine de la recherche.....</i>	<i>20</i>
<i>Délimitation du champ de la recherche.....</i>	<i>21</i>
<i>Les questions de recherche.....</i>	<i>24</i>
<i>La mise en œuvre.....</i>	<i>25</i>
<i>Plan de la thèse.....</i>	<i>27</i>
PARTIE 1 DE LA GESTION D'ENVIRONNEMENTS DYNAMIQUES A L'APPROCHE INSTRUMENTALE POUR ANALYSER LA REGULATION DE TRAFIC.....	28
CHAPITRE 1 DE LA GESTION D'ENVIRONNEMENTS DYNAMIQUES A LA REGULATION DE TRAFIC	30
1 La caractérisation des situations dynamiques	32
1.1 Catégoriser les situations	32
1.1.1 Selon l'axe du rapport à l'opérateur : la médiatisation	32
1.1.2 Selon l'axe de la transformation du produit.....	34
1.1.3 Selon l'axe de la dynamique des situations.....	35
1.1.3.1 La dynamique temporelle	35
1.1.3.2 Le déroulement temporel.....	36
1.1.4 Selon l'axe de la complexité du processus.....	37
1.2 Les spécificités de la régulation de trafic	38
1.2.1 Selon l'axe du rapport à l'opérateur.....	39
1.2.2 Selon l'axe de la transformation du produit.....	41
1.2.3 Selon l'axe de la dynamique des situations.....	41
1.2.4 Selon l'axe de la complexité du processus.....	41
2 La caractérisation des situations perturbées	42
2.1 Dans la gestion d'environnements dynamiques.....	42
2.2 Les spécificités de la régulation de trafic	43
2.2.1 Le point de vue technique.....	43
2.2.2 Le point de vue des opérateurs	44
3 Caractéristiques cognitives de la gestion d'environnements dynamiques	45
3.1 La surveillance	46
3.1.1 Une exploration sélective	46
3.1.2 Un raisonnement inférentiel	47
3.2 Le diagnostic.....	48
3.2.1 Comprendre l'état et l'évolution du processus.....	48
3.2.2 L'utilisation des connaissances	49
3.2.3 L'orientation par l'action.....	50
3.2.4 L'importance de l'activité de contrôle.....	50
3.2.5 La prise en compte de la dynamique du système.....	51
3.3 L'anticipation.....	52
3.3.1 Dans les environnements dynamiques.....	52
3.3.2 Dans la régulation de trafic.....	54
3.4 La prise de décision	56

3.4.1	Une construction progressive	56
3.4.2	Les difficultés de la prise de décision.....	56
3.5	Les spécificités de la régulation de trafic	57
3.5.1	La tâche de régulation de trafic	57
3.5.2	L'organisation de la régulation	58
3.5.3	L'objet de l'activité des régulateurs de trafic.....	59
3.5.3.1	L'approche technique	59
3.5.3.2	Les apports de la littérature psycho-ergonomique	60
3.5.4	Le traitement des perturbations	61
3.5.5	Les stratégies de régulation de trafic	64
3.5.5.1	L'approche technique	64
3.5.5.2	L'approche psycho-ergonomique	66
3.6	Conditions d'analyse de l'activité	69
3.6.1	Pour la gestion d'environnements dynamiques.....	69
3.6.2	Pour la régulation de trafic	70
4	<i>Synthèse</i>	70
CHAPITRE 2 CADRE D'ANALYSE DE LA DIMENSION INSTRUMENTALE DE L'ACTIVITE		74
1	<i>Les organisateurs de l'activité</i>	76
1.1	Les procédures	76
1.2	Les règles d'action.....	77
1.3	Les stratégies	77
2	<i>Les concepts pragmatiques</i>	78
2.1	Une relation de filiation avec la notion d'invariant opératoire	78
2.2	Un statut d'invariant conceptuel	79
3	<i>Les schèmes</i>	80
3.1	Caractéristiques structurelles	80
3.2	Caractéristiques fonctionnelles	81
3.3	Comment identifier les schèmes ?.....	82
4	<i>Les instruments et la théorie instrumentale</i>	83
4.1	Les outils : prothèses ou instruments ?.....	83
4.2	Les outils et instruments cognitifs.....	86
4.3	Les schèmes d'utilisation.....	87
4.3.1	Caractéristiques structurelles.....	87
4.3.2	Caractéristiques fonctionnelles.....	88
4.4	Une définition “ psychologique ” de l’instrument.....	88
4.5	La structuration de l’activité par l’instrument	90
4.6	Comment identifier les instruments ?.....	92
5	<i>Synthèse</i>	93
PARTIE 2 IDENTIFIER DES STRATEGIES DANS UNE SITUATION DE REGULATION DE METRO		96
CHAPITRE 3 LE CONTEXTE DE L'ETUDE		98
1	<i>De l'exploitation à la régulation d'une ligne de métro</i>	100
1.1	Positionnement de la fonction "régulation".....	100
1.2	Principes techniques de la régulation	101

2	<i>Définition de la tâche prescrite</i>	102
2.1	La régulation du métro.....	102
2.2	Le dispositif de régulation.....	102
2.3	Description des tâches.....	104
2.3.1	Au PCC : le chef de régulation.....	104
2.3.1.1	La régulation en situation normale.....	105
2.3.1.2	La régulation en situation perturbée.....	105
2.3.2	Au PML : le chef de départ.....	106
2.3.2.1	La régulation en situation normale.....	107
2.3.2.2	La régulation en situation perturbée.....	107
2.3.3	Mise en relation des deux pôles de régulation.....	107
2.3.4	Les horaires de travail.....	107
3	<i>Un questionnement issu du terrain</i>	108
3.1	Les constats sur la situation actuelle.....	108
3.1.1	La définition des situations perturbées.....	108
3.1.2	L'évaluation des situations perturbées.....	110
3.1.3	Le retour d'expérience sur le traitement des situations perturbées.....	110
3.2	La demande de l'entreprise.....	111
3.3	Le choix de la situation étudiée.....	112
4	<i>Synthèse</i>	113
	CHAPITRE 4 LE RECUEIL DE DONNEES	114
1	<i>La population étudiée</i>	116
1.1	Les chefs de départ.....	116
1.2	Les chefs de régulation.....	117
2	<i>Les postes de travail</i>	118
2.1	Le poste de travail du chef de départ au PML.....	118
2.2	Le poste de travail du chef de régulation au PCC.....	119
3	<i>Le recueil de données</i>	120
3.1	Analyser le travail en situation réelle.....	120
3.2	Les enregistrements vidéo de l'activité.....	121
3.3	Déroulement des prises de vue.....	123
3.3.1	Le recueil des traces de l'activité.....	124
3.3.1.1	Au PML.....	124
3.3.1.2	Au PCC.....	124
3.4	Les entretiens et verbalisations.....	125
3.4.1	Les entretiens hors situation de travail.....	125
3.4.2	Les verbalisations simultanées.....	125
3.4.3	L'autoconfrontation au PCC.....	126
3.4.3.1	Mise en œuvre.....	126
3.4.3.2	Le support vidéo de l'autoconfrontation.....	127
4	<i>Analyse des données</i>	128
4.1	Analyse thématique à partir d'entretiens.....	128
4.2	Retranscription des données issues de l'observation vidéo.....	129
4.2.1	Données sur le processus.....	129

4.2.1.1	Au PML	129
4.2.1.2	Au PCC.....	129
4.3	Les protocoles.....	130
4.3.1	Organisation.....	130
4.3.2	Découpage.....	130
4.3.2.1	Les "situations".....	130
4.3.2.2	Les "épisodes"	131
4.3.3	Codage.....	132
4.3.3.1	Protocoles PML	132
4.3.3.2	Protocoles PCC.....	133
5	<i>Synthèse</i>	133
PARTIE 3 LES RESULTATS		136
INTRODUCTION.....		138
CHAPITRE 5 LES STRATEGIES DE REGULATION ET LES INSTRUMENTS DES REGULATEURS DE TERMINUS. 140		
1	<i>Caractérisation des situations perturbées.....</i>	<i>142</i>
1.1	A partir des entretiens	142
1.1.1	Dimensions de différenciation.....	143
1.1.2	Facteurs de pondération.....	144
1.2	A partir de l'analyse de l'activité	145
1.2.1	Caractérisation des épisodes.....	146
1.2.1.1	Durée de l'épisode et nombre d'événements à traiter	146
1.2.1.2	Période de l'offre de transport et durée de l'épisode.....	146
1.2.1.3	Durée de l'épisode perturbé et intervalle théorique moyen	146
1.2.1.4	Contexte de l'épisode et période de l'offre de transport.....	147
1.2.1.5	Retard maximum à absorber et période de l'offre de transport.....	148
1.2.2	Episodes simples et complexes.....	148
1.2.3	Composition des situations.....	149
2	<i>Schémas, instruments et concept pragmatique de la prise d'informations.....</i>	<i>149</i>
2.1	Modalités de détection des situations perturbées	150
2.1.1	Deux modalités de détection.....	150
2.1.2	Zone de la perturbation et type d'épisode initial	151
2.1.3	Impact de la zone de la perturbation sur le mode de détection	151
2.1.4	Les informations utilisées pour la détection	152
2.1.5	Type d'informations utilisées et type d'épisode initial	153
2.2	Modalités de prise d'informations : linéaire ou alternante.....	154
2.2.1	L'anticipation.....	154
2.2.2	L'amplitude de la prise d'informations.....	154
2.2.3	L'anticipation et la marge de manœuvre.....	155
2.2.4	Lien entre anticipation et marge de manœuvre.....	156
2.2.5	Prise en compte des dimensions régularité et ponctualité.....	157
2.2.6	Lien entre la zone concernée et le type de prise d'informations.....	158
2.3	Schémas et instruments d'évaluation de la ponctualité.....	159
2.3.1	Evaluer la ponctualité par le pointage des rames.....	159
2.3.1.1	L'importance quantitative et qualitative du pointage	160

2.3.1.2	Les fonctions attribuées au pointage des rames	161
2.3.2	Un schème de pointage des rames	163
2.3.2.1	Répartition des différents pointages	165
2.3.2.2	Lien entre l'utilisation des différents types de pointage	165
2.3.3	Les instruments du pointage automatique	166
2.3.4	Les instruments du pointage manuel	168
2.3.5	Les instruments du pointage à quai de départ	171
2.3.6	Utilisation des pointages et type de prise d'informations	175
2.3.7	Autre cas : une information reçue d'un autre opérateur	176
2.4	Schémes et instruments d'évaluation de la régularité	177
2.4.1	Le concept pragmatique de fluidité	178
2.4.1.1	Un schème d'évaluation de la fluidité	180
2.4.1.2	Les instruments de l'évaluation de la fluidité	181
2.4.1.3	Les indicateurs utilisés par les opérateurs	182
2.4.1.4	Lien avec le type de prise d'informations	185
2.5	Système d'instruments de la prise d'informations	186
2.6	Lien entre type d'épisode et type de prise d'informations	189
3	<i>Instruments et stratégies d'action</i>	189
3.1	L'action : "linéaire" ou "alternante"	190
3.1.1	Lien entre type d'action et type d'épisode	190
3.1.2	Nombre total de rames modifiées	191
3.1.3	Rames utilisées par rapport aux rames disponibles pour agir	191
3.1.4	Nombre maximum de rames par intervention	193
3.2	Les instruments de l'activité de régulation	193
3.2.1	Diversité des manœuvres utilisées et type d'action	194
3.2.2	Fonctions utilisées et type d'action	194
3.2.3	Utilisation de la manœuvre "prise de retard"	197
3.2.3.1	Prise de retard moyenne par rame	197
3.2.3.2	Valeur moyenne par action de prise de retard	198
3.2.3.3	Nombre de rames par prise de retard	199
3.2.3.4	Valeur moyenne et nombre de rames par prise de retard	199
3.2.3.5	Amplitude de l'action et type d'action	200
3.3	Evaluation de la performance des stratégies d'action	201
3.3.1	La durée de la phase de stabilisation	202
3.3.2	Les indicateurs de performance	203
3.3.2.1	L'indice global de ponctualité ou Indice Retard	204
3.3.2.2	L'indice global de régularité ou indice Intervalle	207
3.3.2.3	L'indice de régularité ou écart moyen à l'intervalle prévu	208
3.3.3	Le maintien en équilibre de la ponctualité et de la régularité	211
3.3.3.1	Dimension du trafic maintenue en équilibre et type d'épisode	212
3.3.3.2	Dimension du trafic maintenue en équilibre et type d'action	213
3.3.3.3	Présence d'une phase de diminution du retard et type d'épisode	213
3.3.3.4	Les moyens mis en œuvre pour diminuer le retard	214
4	<i>Les stratégies globales de régulation</i>	215
4.1	Au niveau d'analyse des épisodes	215

4.1.1	Lien entre type de prise d'informations et type d'action.....	215
4.1.2	Lien entre le type de stratégie et le type d'épisode.....	216
4.1.3	Lien entre le type de stratégie et les opérateurs	217
4.2	Au niveau d'analyse des situations	217
4.2.1	Relation entre type de prise d'informations et type d'action	218
4.2.2	Relation entre type de situation et type d'action	218
5	<i>Synthèse</i>	219
CHAPITRE 6 LES STRATEGIES DE REGULATION ET LES INSTRUMENTS DES REGULATEURS DU PCC		224
1	<i>Caractérisation des situations perturbées</i>	227
1.1	A partir des entretiens	227
1.1.1	Dimensions de différenciation des situations	227
1.1.2	Facteurs de pondération.....	230
1.2	A partir de l'analyse de l'activité	231
1.2.1	Deux sous-tâches dans le traitement d'une perturbation	231
1.2.2	Caractérisation des situations	232
1.2.2.1	Durée totale de la perturbation et localisation de la perturbation.....	232
1.2.2.2	Durée totale de la perturbation et période de l'offre de transport	232
1.2.2.3	Rames stationnant sous tunnel et période de l'offre de transport	233
1.2.2.4	Rames stationnant sous tunnel et valeur de l'intervalle entre les rames	234
1.2.2.5	Rames stationnant sous tunnel et durée totale de la perturbation.....	234
1.2.3	Composition des situations.....	234
2	<i>La détection des situations perturbées</i>	235
2.1	Deux modes de détection	235
2.2	Les informations utilisées	236
3	<i>Le diagnostic : rechercher la cause de la perturbation</i>	237
3.1	La recherche de la cause	237
3.1.1	Diagnostic délégué au terrain ou réalisé par l'opérateur.....	237
3.1.2	Lien entre la réalisation du diagnostic et sa durée	239
3.1.3	Une organisation invariante de la recherche de la cause.....	240
3.1.4	Un schème d'action instrumentée	243
3.1.4.1	Lien entre la réalisation du diagnostic et la recherche de la cause	244
3.1.4.2	Lien entre la recherche de la cause et le type de situation.....	245
3.2	La suppression de la cause de la perturbation	245
3.2.1	Intervention du chef de régulation.....	246
3.2.2	Intervention du chef de régulation et type de recherche de la cause	247
3.2.3	Intervention du chef de régulation et réalisation du diagnostic	248
3.2.4	Type d'action entreprise pour supprimer la cause.....	249
3.2.5	Suppression de la cause et mesures de surveillance	249
3.2.6	Suppression de la cause et délai d'identification.....	250
3.3	Evaluation de la performance.....	251
3.3.1	Délai entre début de la perturbation et identification de la cause	252
3.3.2	Délai entre identification de la cause et reprise du trafic	253
3.3.3	Proportion de l'interruption de trafic par rapport à la durée totale.....	253
4	<i>La gestion du trafic résiduel</i>	254

4.1	Rôle dans le traitement des perturbations.....	255
4.1.1	Délai entre la reprise du trafic et la fin de la perturbation	255
4.1.2	Nombre de voies concernées	256
4.2	Les instruments de la gestion du trafic résiduel	257
4.2.1	Délai d'intervention	257
4.2.2	Un schème d'action instrumentée	258
4.2.3	Choix de la gestion du trafic résiduel	260
4.2.4	Les rames stationnant sous tunnel	261
4.2.5	La détection des rames stationnant sous tunnel	262
4.2.6	Le traitement des rames stationnant sous tunnel.....	263
4.2.6.1	L'action préventive.....	264
4.2.6.2	L'action corrective	264
4.2.7	Facteurs favorisant le stationnement sous tunnel.....	265
4.2.8	Impact sur la durée de l'interruption de trafic	266
5	<i>Synthèse</i>	266

PARTIE 4 APPORTS A LA CONCEPTION ET DISCUSSION 270

INTRODUCTION..... 272

CHAPITRE 7 SPECIFICATIONS ERGONOMIQUES POUR LA CONCEPTION ET L'ORGANISATION DU TRAVAIL

..... 274

1	<i>Application pratique à la conception d'un outil d'aide à la régulation.....</i>	277
1.1	Historique du projet SART	277
1.2	Le module SAGIM	278
1.3	Préconisations pour la conception de SAGIM	278
1.3.1	Gérer procédures et stratégies.....	279
1.3.2	Intégrer les classes de situations.....	279
1.3.3	S'adapter au niveau de connaissance de l'opérateur.....	279
1.3.4	Restituer des stratégies différentes de résolution.....	280
1.3.5	Récupérer des informations sur le traitement des situations.....	280
2	<i>Comprendre la régulation.....</i>	281
1.4	Définir les situations perturbées : les classes de situations.....	281
1.5	Evaluer et assurer le suivi de la régulation.....	282
1.5.1	Les indicateurs de performance	282
1.5.2	Assurer le suivi par une démarche de Retour d'Expérience.....	284
1.6	Accompagner la régulation : principes directeurs	284
1.6.1	Deux scénarios organisationnels	285
1.6.2	Les atouts d'un PC Centralisé	286
1.6.3	Les conditions de réussite d'un PC décentralisé	287
3	<i>Outils de la régulation</i>	289
1.7	Concevoir des outils pour les chefs de départ	289
1.7.1	Faciliter la détection précoce des perturbations	289
1.7.2	Prendre en compte la ponctualité et la régularité.....	290
1.7.2.1	La ponctualité : développer le pointage des rames.....	290
1.7.2.2	La régularité : exploiter le concept de fluidité	291
1.7.3	Favoriser le lissage de l'action	292

1.7.4	Favoriser une régulation globale de la ligne.....	292
1.7.5	Connaître les résultats de son action.....	293
1.8	Concevoir des outils pour les chefs de régulation.....	293
1.8.1	Aider la gestion du trafic résiduel.....	293
1.8.2	Aider l'identification et la gestion des rames stationnant sous tunnel.....	294
1.8.3	La fiabilité des communications.....	295
1.8.4	Connaître les résultats de son action.....	295
4	<i>Synthèse</i>	295
CHAPITRE 8 SYNTHÈSE ET DISCUSSION.....		298
1	<i>Synthèse des résultats</i>	301
1.1	Le contexte.....	301
1.2	Les stratégies et instruments des chefs de départ.....	301
1.3	Les stratégies et instruments des chefs de régulation.....	303
2	<i>Discussion</i>	304
2.1	Stratégies de gestion d'environnements dynamiques et régulation de trafic.....	304
2.1.1	Définir les situations perturbées.....	304
2.1.2	La détection des situations perturbées.....	305
2.1.3	L'objet de l'activité.....	305
2.1.4	L'action sur le processus.....	306
2.1.5	La performance.....	308
2.2	Les instruments de l'activité.....	309
2.3	La conceptualisation pragmatique.....	310
3	<i>Apports et limites</i>	312
3.1	Les apports méthodologiques.....	312
3.1.1	Analyser une situation réelle de régulation.....	312
3.1.2	Comparer deux tâches de régulation d'un même processus.....	313
3.1.3	Différencier deux niveaux d'analyse.....	313
3.1.4	Une méthode de recueil de données spécifique.....	314
3.2	Concevoir autour des invariants du sujet.....	315
3.2.1	Systèmes d'instruments.....	316
3.2.2	Genèses instrumentales.....	316
3.2.3	Schémas d'action instrumentée.....	316
3.2.4	Concepts pragmatiques.....	317
3.3	Difficultés et limites.....	317
4	<i>Questions ouvertes</i>	318
4.1	Prolonger l'analyse des invariants du sujet.....	318
4.2	Analyser l'activité collective de régulation.....	319
4.3	Analyser l'évolution conjointe des systèmes d'instruments et de l'organisation du travail.....	319
4.4	Initier une analyse développementale des compétences de régulation.....	320
BIBLIOGRAPHIE.....		323
GLOSSAIRE.....		331
INDEX DES FIGURES.....		333
INDEX DES TABLEAUX.....		334

LISTE DES ANNEXES

Chapitre 3

Annexe A : Principes techniques de la régulation.

Annexe B : Alternance des phases d'activité au PCC et au PML

Chapitre 4

Annexe C : L'écran de la console de suivi

Annexe D : Les outils et les postes de travail du chef de départ et du chef de régulation

Annexe E : L'installation des prises de vue au PML et au PCC

Annexe F : Un extrait du garde-temps des chefs de départ

Annexe G : Un protocole PML

Annexe H : Un protocole PCC

Chapitre 5

Annexe I : L'échantillon de situations analysées pour le PML

Annexe J : Les manœuvres de retournement en terminus

Chapitre 6

Annexe K : L'échantillon de situations pour le PCC

Chapitre 7

Annexe L : Les fonctions actuelles et potentielles de SAGIM

INTRODUCTION

La recherche présentée ici vise à contribuer à la compréhension des activités de gestion d'environnements dynamiques. Elle s'inscrit dans un double objectif d'apport de connaissances et d'aide à la conception. Elle est centrée sur le rapport de l'opérateur au processus qu'il régule et consiste à analyser l'usage des différents systèmes techniques mis à sa disposition. Il s'agit d'une approche "anthropocentrée" dans une situation (ici la régulation de rames de métro), où le rapport à l'objet de l'activité est indirect et fortement médiatisé par des outils et des personnes. Nous analyserons les stratégies des opérateurs en intégrant la dimension instrumentale de l'activité, au travers de l'analyse de l'activité de deux métiers chargés de réguler une ligne de métro.

UNE DEMANDE DE TERRAIN A L'ORIGINE DE LA RECHERCHE

Le contexte de cette recherche est celui de la RATP, entreprise chargée d'exploiter le réseau de transport public le plus dense du monde. Notre intervention s'inscrit dans le cadre d'une convention CIFRE¹, ce qui implique pour le chercheur de répondre à un double objectif scientifique et appliqué. Nous nous intéressons particulièrement à l'activité de régulation du métro qui consiste à assurer, en temps réel, le déroulement de l'offre de transport prévue et à adapter les horaires et les intervalles des rames aux aléas du temps réel. La régulation de trafic appartient aux activités de gestion d'environnements dynamiques.

Les questions à l'origine de ce travail sont issues d'une demande de terrain reçue lors d'une précédente étude réalisée dans la même entreprise.

L'exploitation d'une ligne de métro s'appuie sur des moyens regroupés en deux fonctions principales, "commerciale" et "transport". La fonction commerciale est chargée de la gestion des espaces, de l'amélioration et du développement des services aux voyageurs. Elle est fortement dépendante de la fonction "transport", chargée de gérer l'activité de circulation des trains sur les lignes. La direction d'une ligne de métro doit veiller à ce que les résultats de l'activité de la fonction "transport" contribuent efficacement aux objectifs de la fonction "commerciale", à savoir produire un transport de qualité en terme de régularité et de ponctualité. Les métros doivent circuler régulièrement pour éviter une attente trop longue en station et une surcharge de voyageurs dans les rames. Les métros doivent circuler selon un horaire, pour respecter les conditions de travail des conducteurs.

¹ Cifre : Convention Industrielle de Formation par la Recherche en Entreprise.

La régulation du trafic appartient à la fonction "transport" de l'exploitation. Elle a pour objectif le respect d'intervalles réguliers entre les rames et le respect de l'horaire prévu. Lorsque la situation est perturbée, le régulateur doit identifier et traiter les événements qui perturbent le fonctionnement de la ligne. Ces situations perturbées ont un impact important sur la production de l'entreprise en termes de qualité de service offert aux voyageurs.

Soucieuse d'améliorer sa performance commerciale, une direction de ligne et la direction de l'ingénierie ferroviaire ont posé trois constats sur le traitement des situations perturbées :

- Certaines situations perturbées posent particulièrement problème aux opérateurs chargés de la régulation,
- Il existe peu de moyens objectifs d'évaluation de cette activité de régulation,
- L'évolution technique envisagée pour la régulation doit s'accompagner d'un changement organisationnel,

Ces constats ont amené l'entreprise à formuler une demande d'étude ergonomique en termes d'analyse des pratiques réelles de régulation, dans un double objectif d'apports de connaissances et de propositions pour concevoir des aides efficaces pour assister cette activité :

- Quelles sont les pratiques réelles de régulation d'une ligne de métro, pour les deux acteurs principaux chargés de cette fonction, à savoir, les chefs de régulation du Poste de Commande Centralisé (PCC) et les chefs de départ, en terminus de ligne ?
- Comment assister cette activité avec des outils d'aide adaptés ?
- Comment cette activité peut-elle évoluer sur le plan organisationnel et quelles seraient les conséquences d'un regroupement des deux fonctions de régulation en un seul lieu ?

DELIMITATION DU CHAMP DE LA RECHERCHE

Pour répondre à cette demande, nous avons eu recours aux outils théoriques de la psychologie cognitive et de l'ergonomie ainsi qu'à l'analyse de l'activité en situation réelle. Nous avons reformulé la demande de manière à ce qu'elle constitue un objet de recherche pour l'ergonome en même temps qu'une source de connaissances utilisables par l'entreprise.

Nos appuis théoriques reposent sur :

- **La gestion d'environnements dynamiques**

La psychologie ergonomique s'intéresse depuis longtemps aux situations dynamiques (Edwards et Lees ; 1974 Bainbridge, 1978). L'analyse bibliographique des recherches francophones dans le domaine de la gestion d'environnements dynamiques met en évidence que celles-ci portent principalement sur :

- La caractérisation des exigences cognitives liées aux situations dynamiques : Mariné et Cellier (1988a), Decortis (1988), de Keyser (1990), Bisseret (1995), Amalberti (1996), Cellier (1996), Cellier, de Keyser et Valot (1996), Hoc (1996), Van Daele et Carpinelli (1996), Boudes et Cellier (1998) ...
- La modélisation de l'activité en situation dynamique (diagnostic, prise de décision...) : Senach (1984), Rasmussen (1986), Navarro (1991), Samurçay (1992), Amalberti (1996), Hoc (1996)...
- Le co-contrôle de processus et les modalités de régulation de l'activité collective : Dos Santos (1985), Filippi (1994), Bourdon et Weill-Fassina (1994), Rogalski (1994), Doniol-Shaw et Froment (1996), Leplat (1997)...

Nous ferons donc appel aux cadres théoriques de la gestion d'environnements dynamiques pour identifier et analyser les activités cognitives impliquées dans l'activité de régulation. La régulation est une activité qui consiste à gérer un système dont l'évolution peut être indépendante des actions de l'opérateur. Les particularités de ce type de situations résident dans la distance entre l'opérateur et le système qu'il doit contrôler et l'importance de la dimension spatio-temporelle de l'activité.

- **Les invariants organisateurs des conduites et les activités avec instruments**

Pour caractériser une activité, nous pouvons nous intéresser à la performance des sujets, en tant que résultat de l'activité ou à l'organisation de cette activité, à savoir la façon dont la tâche est réalisée. D'après Leplat (1995), pour décrire l'activité, il faut disposer d'indicateurs autres que la performance globale, c'est-à-dire qu'il faut mettre en évidence les différentes formes d'habiletés nécessaires au travail. Ces éléments permettent de décrire l'activité et les savoirs qui la sous-tendent. Ils comportent des concepts, des stratégies et des outils. L'analyse de la conduite des opérateurs est guidée par le postulat que les stratégies mobilisées sont en

rapport avec les définitions conceptuelles implicites des opérateurs, à savoir les concepts (Pastré, 1994).

Certaines des études sur les environnements dynamiques placent les "outils" et leurs usages en situation réelle au centre de l'analyse de l'activité, en tant que moyen associé à l'action de l'opérateur, médiateur entre lui et l'objet de son travail (Rabardel, 1995). Dans cette optique, la comparaison des variations de l'activité en fonction de l'usage des instruments pour la réalisation de tâches identiques ou proches est un paradigme méthodologique qui permet d'analyser l'organisation spécifique de l'activité chez les opérateurs en fonction du type d'instruments utilisé (Rabardel, 1993a).

Un certain nombre d'études soulignent également la nécessité de développer des recherches du côté des outils en usage dans le champ du contrôle de processus : Guillevic (1990), Lambert (1993), Filippi (1994), Heath et Luff (1994), Ouni (1996), Boudes et Cellier (1998). Dans cette perspective, plusieurs auteurs ont choisi de mettre au premier plan le rôle des "outils" dans l'activité, dans des domaines plus ou moins proches de la gestion d'environnements dynamiques : Béguin (1994), Conein & Jacopin (1994), Minguay (1995), Galinier (1996), Rabardel (1995), Rabardel, Rogalski & Béguin (1996), Duvenci-Langa (1997).

Dans une situation d'activité instrumentée, médiatisée par des artefacts, en raison par exemple de la grande distance séparant les intervenants du processus, nous pensons qu'une caractérisation de l'activité la plus complète possible, doit prendre en compte cet aspect de la situation. Nous utiliserons donc pour notre analyse l'approche instrumentale de Rabardel (1995) qui propose une définition psychologique des instruments de travail comme produit de l'activité des opérateurs pour agir sur l'objet de leur activité. Cette approche permet d'adopter le point de vue de la construction et de l'usage des instruments par les opérateurs eux-mêmes. Elle part du principe que l'utilisation d'un outil n'est pas considérée comme une fin en soi et son usage ne relève pas de la simple application de procédures ou de modes d'emploi (Galinier, 1996). Les instruments sont constitués de schèmes et d'artefacts et comportent une forte composante cognitive. Les instruments constitués ont aussi une caractéristique fonctionnelle importante, ils permettent l'organisation de l'activité des opérateurs.

Nous nous intéressons donc aux organisateurs de l'activité et en particulier aux schèmes et aux concepts pragmatiques et au niveau cognitif, aux savoirs qui leurs sont associés (Samurçay et Pastré, 1998) :

- Les concepts pragmatiques étant des invariants relatifs aux concepts opérationnels du domaine, construits par les activités de conceptualisation et de représentation,
- Les schèmes étant des invariants relatifs à l'organisation de l'activité qui s'actualisent en procédures et qui sont associés à des classes de situations et à des artefacts pour former des instruments. Le schème peut être considéré comme une unité de fonctionnement responsable du guidage de l'action comportant un aspect pratique et finalisé qui permet de générer des procédures adéquates (Galinier, 1996).

Schèmes et concepts pragmatiques sont des invariants organisateurs de l'activité qui permettent de faire le lien entre connaissance et action (Rabardel, 1995).

Dans cette perspective, nous analysons l'activité de régulation de manière à en dégager des invariants caractéristiques des stratégies des opérateurs, pour caractériser les instruments, les schèmes et les concepts pragmatiques qu'ils ont élaborés.

LES QUESTIONS DE RECHERCHE

D'un point de vue théorique, nous analysons les stratégies et les instruments mobilisés dans une situation de gestion d'environnements dynamiques. Nous souhaitons analyser ces stratégies en intégrant la dimension instrumentale de l'activité. Nous cherchons à savoir comment les opérateurs chargés de la régulation parviennent à construire une représentation de la situation qu'ils traitent et comment ils parviennent à modifier l'offre de transport prévue pour l'adapter en temps réel aux aléas du trafic. Il est donc nécessaire de comprendre comment les opérateurs construisent leur représentation des situations perturbées et définissent les moyens d'agir dessus, à savoir :

- Quels sont les types de situations traités par les opérateurs et peut-on identifier des classes de situations caractéristiques ?
- Quels sont les types de stratégies de prise d'informations et d'action et les instruments mobilisés par les opérateurs dans ces deux situations de régulation
- Les stratégies de prise d'informations et d'action dépendent-elles des situations ou des opérateurs ?

Nous mettrons en évidence :

- Comment est constituée/construite l'activité individuelle pour contribuer à la régulation. Nous recherchons les organisations invariantes de l'activité de régulation en situation perturbée. Nous les mettrons en relation avec les différents types de situations pour plusieurs opérateurs et dans deux tâches de régulation complémentaires.
- Quels instruments ou systèmes d'instruments sont constitués par les opérateurs et support des activités représentatives et d'action, pour leur permettre de se représenter et d'agir sur l'objet de leur activité. Comment les outils permettent une telle construction de la représentation et de la stratégie d'action des intervenants de la régulation.

LA MISE EN ŒUVRE

Pour réaliser cette étude, nous avons choisi d'étudier la régulation d'une ligne de métro en combinant l'analyse de deux activités de régulation proches et complémentaires, l'une au niveau central au Poste de Commande Centralisé, l'autre à un niveau local, dans un terminus de ligne.

La situation étudiée appartient à la sous-classe des supervisions de trafic et répond à des objectifs de guidage de mobiles. Dans cette classe, une double médiatisation est à noter :

- entre le sujet et l'objet de son activité (les rames de métro), relation indirecte médiatisée par des outils de prise d'informations et d'action c'est-à-dire un accès indirect du sujet à l'objet du travail.
- une médiatisation par divers opérateurs : l'action du superviseur de trafic est également médiatisée par l'activité d'autres opérateurs qui agissent pour lui sur le système régulé, ici une ligne de métro.

Les études réalisées sur des terrains proches (Cellier et Mariné, 1988 ; Huchon et Zanarelli 1995, 1996 ; Zanarelli, 1997 ; Mailles, 1996) portaient sur des situations où toute la tâche de régulation est réalisée par un seul opérateur. Dans cette recherche, nous décrivons précisément les stratégies mises en œuvre deux pôles chargés de la régulation d'une même ligne : les chefs de régulation au PCC et les chefs de départ en terminus, dont l'organisation du travail est la suivante :

- un pôle chargé de la régulation "en ligne" entre deux terminus, c'est le PCC ou poste de commande centralisé, où se trouvent les chefs de régulation,

- un pôle chargé de la régulation à l'approche et dans les terminus de ligne sur chaque voie, le PML ou poste de manœuvres local où se trouvent les chefs de départ.

Cette organisation nous permet de répondre à la demande de l'entreprise portant, entre autres, sur la réorganisation de l'activité de régulation. Les évolutions envisagées étant le regroupement des deux pôles de régulation en un seul point et le rapprochement de la direction de ligne.

Notre recherche se centre sur le traitement des situations perturbées qui permet d'accéder aux processus de diagnostic, planification, prise de décision et d'action et d'observer les interactions explicites entre l'opérateur et le système. C'est pendant le traitement des situations perturbées que l'opérateur intervient comme acteur effectif de la fiabilité du système.

Chaque situation perturbée, qui se traduit au moins par du retard sur l'horaire, a un coût pour l'entreprise en termes de temps supplémentaire à rendre ou payer aux conducteurs et de qualité de service offert aux voyageurs. La "base de données des incidents d'exploitation du métro" quantifie les événements ayant entraîné l'impossibilité d'appliquer l'horaire théorique. Elle indique par exemple, le nombre d'incidents d'exploitation survenu sur chaque ligne de métro et le retard qu'ils ont entraîné sur la ligne par rapport à l'horaire prévu. Les conséquences d'une situation perturbée sont quantifiées en nombre de minutes d'interruption du trafic en ligne. Les statistiques sont réalisées sur la base d'une durée d'interruption de trafic à partir des heures consignées sur le rapport des régulateurs.

Nous avons choisi d'étudier une situation réelle de régulation, car elle permet d'accéder aux activités mises en jeu et à leurs déterminants (Hoc et Plee, 1996).

Nous avons fait le choix d'une étude transversale portant sur deux types d'opérateurs d'expérience et d'ancienneté équivalente, pour répondre à notre objectif de recherche d'invariants de l'activité. C'est également une contrainte du terrain qui a favorisé ce choix, car, les formations sont organisées moins d'une fois par an et les postes étudiés comportent peu de nouveaux arrivants.

Comme le soulignent Mariné, Cellier et Valax (1988), la difficulté dans l'analyse de ce type d'activité est l'absence de critères formels d'évaluation précise du travail des opérateurs. C'est pourquoi nous avons construit des indicateurs spécifiques de chaque situation permettant de caractériser l'activité le plus objectivement possible. Nous avons tout d'abord identifié deux typologies de situations sur la base d'entretiens pour nous permettre de catégoriser les

situations perturbées recueillies lors de la phase d'observations systématiques. Après avoir défini les différents types de situations, de stratégies de prises d'informations et d'action et les types d'instruments, nous les mettons en relation de manière à identifier des stratégies globales de régulation pour les deux pôles de la régulation observés.

PLAN DE LA THESE

Cette thèse s'articule autour de quatre parties :

- La première partie présente l'analyse de la littérature. Dans le chapitre 1, nous caractérisons la régulation de trafic en tant que gestion d'environnement dynamique avant d'examiner dans le chapitre 2 les notions de schèmes, concepts pragmatiques et la pertinence du recours à l'approche instrumentale pour analyser les stratégies des régulateurs.
- La deuxième partie concerne le contexte et de la méthodologie mis en œuvre pour réaliser la recherche, présentés dans les troisième et quatrième chapitres.
- La troisième partie de cette thèse est consacrée à la présentation des résultats. Les cinquième et sixième chapitres présentent les stratégies de régulation pour les chefs de départ et les chefs de régulation.
- La quatrième partie est consacrée à la discussion des résultats. Nous proposons dans le chapitre 7 des recommandations pour la conception d'outils et des situations de travail. Puis nous terminerons dans le chapitre 8 par une synthèse et une discussion des résultats obtenus, avant de conclure sur les apports et les limites de ce travail en termes théoriques et méthodologiques et sur les perspectives de recherche.

PARTIE 1

**DE LA GESTION D'ENVIRONNEMENTS DYNAMIQUES A
L'APPROCHE INSTRUMENTALE POUR ANALYSER LA
REGULATION DE TRAFIC**

CHAPITRE 1

DE LA GESTION D'ENVIRONNEMENTS DYNAMIQUES A LA REGULATION DE TRAFIC

Dans ce chapitre, nous situons la tâche que nous étudions, c'est-à-dire la régulation d'une ligne de métro, par rapport aux catégorisations existantes des environnements dynamiques. Nous situons également l'activité de régulation sur le plan des caractéristiques des processus et des activités cognitives auxquels elle fait appel.

1 LA CARACTERISATION DES SITUATIONS DYNAMIQUES

Dans le domaine de la gestion d'environnements dynamiques, il est indispensable d'élaborer une typologie des situations analysées afin de situer les résultats des recherches et de définir leur domaine de validité (Hoc, 1993). C'est pourquoi nous allons nous intéresser aux différentes dimensions possibles de classement de ce type de situations. Ces typologies permettent d'organiser les résultats empiriques par domaine, de traduire des résultats appliqués en concepts théoriques, de réduire la complexité en utilisant un nombre réduit de dimensions pour décrire les situations (*Hoc, ibid.*).

1.1 Catégoriser les situations

Les caractéristiques des situations dynamiques sont la temporalité (Cellier, 1991), le rythme particulier, le dynamisme, la complexité (Malaise, 1991) car l'environnement échappe en partie au contrôle de l'opérateur (Hoc, 1989a). Si nous y ajoutons le rapport qu'entretient l'opérateur avec la situation gérée, nous pouvons catégoriser ces situations selon quatre axes :

- le rapport à l'opérateur,
- la transformation du produit,
- la dynamique des situations,
- la complexité du processus.

Nous présentons ces axes et, pour chacun d'eux, les particularités de la régulation de trafic.

1.1.1 Selon l'axe du rapport à l'opérateur : la médiatisation

Samurçay et Hoc (1991) soulignent les caractéristiques des situations de gestion d'environnements dynamiques : un contrôle indirect et décalé dans le temps, une information sur le processus indirectement accessible, des délais de réponse du processus qui peuvent être très longs. Ce type de situations comporte des dimensions caractéristiques qui se rapportent à l'opérateur, telle qu'une étendue du champ de supervision et de contrôle particulière, puisque

les actions de l'opérateur se combinent avec l'évolution propre de l'environnement (Hoc, 1993). Hoc (1996) distingue de grandes catégories à partir des caractéristiques de la situation gérée et du rapport à l'opérateur, comme par exemple la distance entre le sujet et le système contrôlé, ou la dimension temporelle. Dans une situation de régulation de trafic, par exemple, les délais peuvent varier d'une minute (lorsque le régulateur donne un ordre de départ immédiat), à plusieurs heures (lorsque les manœuvres de régulation engagées ont des effets sur la journée). Les informations disponibles sur le processus peuvent être indirectes et nécessiter des raisonnements inférentiels importants (Hoc, *ibid.*). Dans la régulation de trafic, il existe des données chiffrées sur la situation de la ligne et des données non disponibles directement qui doivent être inférées, telles que le nombre de voyageurs dans une rame de métro. La conduite de ce type de processus est dite manuelle lorsque les opérateurs assurent l'essentiel du pilotage des régulations, comme dans la régulation du trafic de bus.

Lorsque le contrôle du processus est indirect car les effets des actions du sujet sur les variables cibles sont indirects, il y a propagation des effets de l'action de l'opérateur dans une (des) chaîne(s) causale(s) et une augmentation des possibilités d'intervention de facteurs non contrôlés (de Keyser, 1988 ; Hoc, 1989a). Si nous prenons le cas des régulateurs du métro, ces derniers régulent l'activité d'autres personnes et non celle d'un système de production automatisé, comme dans les processus chimiques, haut-fourneaux ou centrales nucléaires. Malaise (1991) insiste sur la nature du contrôle exercé sur le processus (direct, indirect) en se référant à la notion de médiatisation. Le contrôle peut être indirect et relayé par des prises d'informations directes sur l'objet ou relayé par des automatismes, dans ce dernier cas, l'opérateur intervient après un premier filtrage effectué par les automates. Il s'agit alors de supervision. Senach (1984) parle de supervision ou de pilotage, selon que l'opérateur est dans ou hors de la boucle de régulation. Dans le pilotage d'avion par exemple, le pilote doit exercer un contrôle continu sur les éléments de la situation pour contrôler son appareil. Ses commandes sur le palonnier modifient la trajectoire, donc l'opérateur est dans la boucle de contrôle. Si le pilote automatique est enclenché, le pilote intervient ponctuellement pour programmer la route, il est hors de la boucle et la tâche de conduite devient discontinue. Il s'agit alors de supervision.

Spérandio (1993), caractérise la conduite de processus comme : "*la mise en œuvre d'actions pour maintenir des grandeurs physiques à certaines valeurs déterminées entre certaines limites et ceci, quelles que soient les variations externes ou internes qui peuvent influencer ces grandeurs*". Dans les situations de contrôle de processus, la distance entre l'opérateur et le

système introduit un éloignement physique qui correspond à un élargissement du champ de travail de l'opérateur, la nécessité de se construire une représentation du processus au travers des représentations externes et un accès indirect au champ de travail (Cellier, 1996). Les opérateurs sont éloignés les uns des autres, malgré le développement des moyens techniques de communication (interphone, téléphone, etc.). Dans ces cas, en situation de fonctionnement normal, l'opérateur assure la surveillance, intervient moins directement sur le processus (Cellier, *ibid.*). En situation dégradée, il détecte les dysfonctionnements, récupère les incidents, remplit une fonction d'intégration en planifiant, coordonnant l'activité des différents postes et intervenants, jouant un rôle de relais. Dans le contrôle de trafic, la médiatisation est à la fois réalisée par des machines et par des Hommes.

Ces éléments de la littérature nous permettent de différencier la conduite de processus (haut-fourneau, centrale électrique, usine chimique), de la supervision (de réseaux électriques, téléphoniques, de trafic ferroviaire, routier, ou aérien).

Nous en retiendrons que la caractérisation des exigences cognitives liées à ce type d'activité permet de repérer les dimensions spécifiques de ce type de situations. Ces dimensions spécifiques induisent des exigences plus ou moins fortes de la tâche et donc des configurations de tâches différentes.

1.1.2 Selon l'axe de la transformation du produit

Le deuxième axe permettant de classer les situations dynamiques est celui de la transformation du produit (Hoc, 1990). Elle est centrée sur la description du processus de transformation des flux de matières, de manière souple, sans à-coups, avec des étapes distinctes ou non, à la suite d'opérations séquentielles se suivant sans discontinuité, de transformations d'état, discrètes ou non (Malaise, 1991).

La continuité ou non des variables du processus entraîne, selon Cellier (1996), une contrainte liée à la représentation sous forme continue ou non de ces variables induisant la manipulation de valeurs sous différents formats. Elle entraîne la nécessité d'articuler des représentations d'évolution reposant sur ces formats et la catégorisation des données pour réduire la complexité informationnelle (Cellier, *ibid.* ; Mailles, 1996). Les transformations subies par les variables du processus peuvent être discontinues, permettant ainsi des représentations en termes d'états discrets ; ou continues, nécessitant alors des représentations en termes d'évolution (Hoc, 1996).

Nous retiendrons de cet axe qu'il permet de regrouper des secteurs industriels différents mais dont le mode de production (c'est-à-dire le processus de transformation des matières) est identique.

1.1.3 Selon l'axe de la dynamique des situations

Un autre axe pour catégoriser les situations s'appuie sur la dynamique de ces situations. C'est l'axe le plus développé. Amalberti (1996) souligne que cette dimension dynamique, le plus souvent discriminante dans la littérature, permet d'opposer processus lents et processus rapides. Il souligne l'abondance de publications dans le domaine des processus lents et la rareté des écrits sur les processus rapides. Il explique cette différence par la difficulté à observer ces types de situations, dans lesquelles l'usage de la verbalisation pendant la tâche est difficile, voire impossible. La vitesse du processus supervisé, par rapport au déroulement des activités cognitives, indique le degré des contraintes temporelles pesant sur la situation (Hoc, 1996). Cela permet de différencier processus lents et rapides. La régulation du trafic métro se rapproche à ce niveau plus de la conduite de haut-fourneau (processus lent) que du pilotage des avions (processus rapide), dans le sens où les délais de réaction laissés aux régulateurs sont liés à la vitesse de déplacement et aux délais de mise en œuvre des manœuvres décidées. La pression temporelle peut varier de quelques minutes à quelques heures.

Amalberti (1996) souligne que la distinction entre processus lents et rapides est trop caricaturale puisqu'il existe dans chaque type de processus des phases relativement calmes, des phases transitoires et des états particulièrement instables et évolutifs. Cette distinction n'est pas totalement opérationnelle pour les autres facteurs de complexité : risque, dimension collective et les effets conjugués des différents facteurs ne se cumulent pas simplement. Selon cet auteur, les taxinomies actuelles de situations de contrôle de processus sont peu représentatives et prédictives des comportements des opérateurs. Pour pallier ces difficultés, il propose de construire un modèle-cadre "*soulignant les communautés entre situations plutôt que les différences en faisant l'hypothèse d'une même architecture cognitive et d'une même palette de mécanismes de contrôle*" (Amalberti, *ibid.*).

1.1.3.1 La dynamique temporelle

Le processus à contrôler évolue selon une dynamique temporelle qui lui est propre (Hoc, 1996). La situation n'est pas dynamique à part entière lorsque les interventions de l'opérateur interagissent avec les facteurs déterminant l'évolution du processus (relation de causalité).

C'est une différence avec la gestion de crise, où les opérateurs doivent limiter les conséquences de la causalité du processus en évitant les catastrophes, comme dans une tempête de neige, une inondation ou un feu de forêt (Rogalski, Samurçay ; 1993). Dans la régulation de trafic, les moyens d'action des opérateurs sont constitués des manœuvres de régulation, sélectionnées par l'opérateur en fonction des ressources et des contraintes de la situation. L'évolution du processus dépend des états antérieurs du système et des actions entreprises (Senach, 1984). Elle se manifeste par un changement de l'état d'une variable par rapport à un état antérieur, par le maintien d'un état constant ou par l'apparition de nouvelles variables (Decortis, Cacciabue ; 1991).

1.1.3.2 *Le déroulement temporel*

Les délais temporels (Daniellou, 1986) portent sur le processus, les outils au travers desquels les informations sont transmises (vers et de l'opérateur), les actions mises en œuvre par les opérateurs (décalage et durée), les opérations mises en œuvre au travers d'autres personnes. Les informations fournies aux opérateurs sont la plupart du temps à gérer simultanément (Samurçay, Delsart ; 1994). L'opérateur peut devoir comprendre une situation où plusieurs phénomènes simultanés sont en interaction, impliquant une forte intrication des causes et des effets, des objectifs flous, mal définis et/ou conflictuels, parfois dans une situation à risques (Hoc, 1991). Il s'agit alors le plus souvent de gérer la simultanéité d'événements ayant des délais temporels propres. Leur occurrence peut être régulière, irrégulière ou cyclique ce qui rend leur anticipation plus ou moins aisée (Decortis, Cacciabue ; 1991). L'activité peut être interrompue par la survenue d'événements imprévus, d'où la difficulté de prendre du recul et de traiter en profondeur chaque problème. L'opérateur doit évaluer des priorités entre les manœuvres à engager et les éventuelles interférences entre les conséquences de ses actions (Decortis, Cacciabue ; *ibid.*).

Cellier (1996), propose une typologie basée sur la différenciation des processus sur le plan de leur déroulement temporel. L'auteur affirme que la dynamique d'évolution du processus concerne le tempo d'évolution du processus et son délai de latence. Cette dynamique implique des contraintes sur les possibilités d'intervention, des représentations de l'évolution du processus, l'intervention de plusieurs opérateurs ou non au cours du cycle. La stabilité/instabilité du processus désigne la fréquence de sortie de ce processus des limites acceptables. L'auteur ajoute que si l'instabilité implique une charge mentale de travail importante et une forte activité d'anticipation, par contre, la stabilité entraîne des risques de baisse de vigilance. Dans ce même volume, Cellier (*ibid.*) indique que la coexistence de

plusieurs dynamiques nécessite pour l'opérateur de connaître l'enveloppe temporelle d'évolution des variables et d'avoir un modèle pertinent pour chacune. Dans ce cas, il conclut que la difficulté essentielle consiste à articuler les différents profils d'évolution pour assurer une planification des actions compatible avec l'état futur. D'après ce même auteur, des cycles de périodes différentes sont inhérents à une logique de fonctionnement de l'installation. Les opérateurs doivent intégrer les fluctuations des cycles sur différentes périodes pour disposer d'un modèle fonctionnel utilisable. L'acquisition de la connaissance de ces fluctuations implique pour l'opérateur la nécessité d'une longue expérience du processus (Cellier, *ibid.*).

1.1.4 Selon l'axe de la complexité du processus

La gestion d'environnements dynamiques appartient aux activités dites complexes. Cette notion est employée non en référence à des théories de la complexité telles que celles de l'Intelligence Artificielle que nous n'aborderons pas ici, mais plutôt par rapport à une caractérisation de la tâche et de l'activité cognitive de l'opérateur, des facteurs environnementaux et techniques de la situation (Ferreira, 1995). Nous distinguerons la complexité du système de celle de la tâche.

- La complexité du système renvoie à la multiplicité des variables en jeu et leur interactivité, à l'éloignement de l'opérateur par rapport au processus, aux nombreux paramètres désignant une même réalité et aux supports d'informations fournis à l'opérateur, qui laissent bien souvent à désirer et ne favorisent pas encore la réduction de la complexité (Malaise, 1991).
- La complexité de la tâche correspond aux difficultés posées aux opérateurs, eux-mêmes sujets à la variabilité, pour structurer leurs stratégies cognitives de traitement d'informations. Elle est liée à 3 dimensions (Ferreira, 1995) : la variabilité des éléments de la situation, le hasard et l'incertitude qui leur sont associés et l'interaction entre ces éléments. Les opérateurs doivent effectuer la gestion, la mise en relation, la coordination, le traitement de ces critères et indices sur la situation. Les paramètres² (ou variables) disponibles pour réaliser la tâche peuvent être très nombreux, en interaction plus ou moins forte et relever de diverses dimensions (de Keyser, 1988 ; Decortis et Cacciabue, 1991).
La dynamique temporelle, des objectifs qui peuvent être peu clairs ou conflictuels

² paramètres, variables et descripteurs : nous utiliserons la même distinction que Hoc (1991), entre ces termes. Les deux termes paramètres et variables désignent des valeurs accessibles par des mesures, capteurs, etc. et les descripteurs désignent des valeurs inobservables.

(objectifs techniques de maintien de l'équilibre du processus de production versus objectifs stratégiques de production, objectifs économiques, sociaux, sécuritaires), associés à un risque élevé renvoient également à la complexité du système (Wisner, 1989-1990).

Pour Wisner (1989-1990) la complexité des situations a aussi d'autres sources, tel que le rapport avec les êtres humains ou les rôles sociaux remplis par les opérateurs, beaucoup plus difficiles à définir, organiser et rationaliser que la transformation de la matière.

1.2 Les spécificités de la régulation de trafic

La régulation de trafic que nous allons étudier comporte des spécificités que nous détaillons dans les paragraphes suivants, en reprenant les quatre axes précédemment utilisés. Mais avant, nous balayerons les définitions de la régulation.

Une première définition de la régulation concerne la régulation de l'activité. Elle fait partie de l'action finalisée qui vise à l'atteinte d'un objectif. Si l'objectif est atteint, on considère l'action comme réussie, sinon elle a échoué. Lorsqu'une action échoue, cela signifie que le résultat qu'elle a produit est trop éloigné de celui qui était attendu, hors des limites acceptables. Grâce à la régulation réalisée par un opérateur, le système peut être soit maintenu dans un état stable pour éviter qu'il s'éloigne d'une certaine marge autorisée, soit revenir à un état stable après la survenue de perturbations (Leplat, 1971). Un système de régulation agit alors en fonction des écarts entre le but assigné et celui effectivement atteint. L'opérateur qui surveille reçoit des informations sur le fonctionnement du système et/ou sur les caractéristiques du produit de sortie. Il va confronter le résultat de la production avec le but qui devait être atteint (Leplat, 1985b). Il peut y avoir une simple comparaison ou un diagnostic sur les causes de l'état obtenu (Rogalski et Samurçay, 1993).

Le traitement des données issues de cette confrontation entre l'état atteint et l'état attendu va guider les actions à mettre en œuvre pour réduire l'écart et ramener le système à un état normal : c'est une boucle de régulation (Leplat, 1985b). Les actions décidées dépendent des informations que possède le sujet sur le système contrôlé (stockées dans sa mémoire ou fournies par les aides au travail).

La régulation que nous étudions ne concerne pas l'activité des opérateurs mais elle est la tâche des opérateurs chargés de réguler un système qui a son fonctionnement propre, en l'occurrence le trafic ferroviaire sur une ligne de métro.

1.2.1 Selon l'axe du rapport à l'opérateur

Le régulateur de trafic fait appel à d'autres opérateurs, acteurs pour les interventions sur le processus, ce sont les conducteurs et les autres intervenants de la ligne. Les régulateurs ont pour tâche de réguler un processus par l'intermédiaire de l'activité d'autres personnes. Le contrôle exercé par le régulateur sur le déroulement du processus de production est indirect ; il agit par le moyen de manœuvres de régulation, transmises par des outils sur la conduite des conducteurs. En ce sens, nous pouvons dire que la régulation du métro se rapproche de la régulation aérienne, où les régulateurs gèrent le comportement en vol des pilotes. Elle s'en différencie par son objectif principal qui n'est pas l'évitement des conflits entre les mobiles, mais le respect des horaires, la régularité, les heures de fin de service, la montée/descente des voyageurs, à une fréquence élevée (RATP, 1984).

La présence de médiation entre l'opérateur et le système est une dimension importante de la régulation de trafic. Pour le métro parisien, il existe deux sortes d'intermédiaires : les conducteurs et les chefs de départ (en terminus). Il y a plusieurs vues partielles, celles du chef de régulation (un par ligne au PCC) et celles des chefs de départ (deux par ligne, un par terminus) et celles des conducteurs (Grosjean, 1992). Cette caractéristique de l'activité implique la nécessité d'un partage d'informations entre les différents groupes d'opérateurs. Il existe donc plusieurs points de vue globaux, locaux, partiels sur la situation. Si l'information locale ne remonte pas vers le régulateur, une solution à un problème peut se révéler inapplicable sur le terrain. Il y a dans ce type de situation de régulation, une délégation d'une partie du contrôle à l'échelon local (Cellier, 1996). C'est le cas dans la régulation du métro, où l'organisation du départ des trains est déléguée aux chefs de départ et le conducteur est l'effecteur des choix réalisés par les régulateurs (chef de régulation et les chefs de départ). Cela signifie, pour reprendre l'expression de ce même auteur, que "l'efficacité du système dépend en partie de la collaboration entre plusieurs types d'opérateurs". La performance dépend de l'existence d'une véritable communication entre les différents types d'opérateurs et le partage d'une représentation fonctionnelle de la situation (Cellier, *ibid.*).

L'opérateur n'est pas un surveillant passif qui se contente de réagir à une alarme ou une déviation, il est de plus en plus un intégrateur du système (Malaise, 1991). Cet auteur a observé que l'opérateur, qui régule de moins en moins lui-même le processus, met en place les premières actions urgentes et cherche ensuite à contacter les intervenants adéquats et collecter les informations pour établir un pré-diagnostic permettant le guidage des actions ultérieures. Il prend en charge les actions de planification ou de coordination d'actions. Il prend en compte,

les contraintes, les objectifs et les priorités de chacun et favorise la collaboration entre les intervenants. Il peut intervenir sur le processus par le biais d'autres opérateurs et inversement, des actions sur le processus peuvent être réalisées par son intermédiaire à la demande des autres personnes. L'opérateur isolé en salle de contrôle joue donc un rôle d'intégrateur, qui le conduit à réguler, coordonner, intégrer l'activité des différents autres intervenants. Malaise (*ibid.*) note que ce rôle est encore trop rarement pris en compte par les concepteurs.

Grosjean (1992) analyse l'activité dans une salle de contrôle de trafic ferroviaire sur le plan de l'articulation entre le travail lié à l'exploitation, à la régulation de trafic et l'information voyageurs, activités éminemment collectives. Elle montre la position centrale d'un poste de régulation centralisé, qui véhicule l'idée d'un PC omniscient et omnipotent. Ceci d'autant plus que les personnes du terrain se sentent localement aveugles et impuissants dans une situation de grosse perturbation. L'observation de l'activité montre que la vision centrale c'est-à-dire "la connaissance de ce qui se passe effectivement", est une construction provisoire, partielle, souvent discutée, reconstruite et déconstruite, dont les sources sont nombreuses et largement distribuées (Grosjean, *ibid.*). L'auteur met en évidence que lorsque la perturbation survient, la répartition de la connaissance de la situation entre les agents devient partielle. Dans ce cas, même si l'on suppose la parfaite fiabilité des systèmes d'informations, les informations fournies ne sont pas suffisantes pour suivre le déroulement de la perturbation et les décisions de régulation prises. Les échanges verbaux et les activités de recherches d'informations à l'intérieur du PCC³ compensent cette insuffisance. Ainsi, bien qu'un PCC soit par définition le lieu où est centralisé le maximum d'informations et dans lequel se prennent les décisions concernant le trafic, sa perspective fait partie des différentes perspectives locales sur le trafic. Les moyens dont le régulateur dispose pour appréhender le monde dépendent des contraintes et limitations des outils et des informations que veulent bien leur fournir les agents sur le terrain. C'est pourquoi la gravité d'une situation telle qu'elle est perçue au PCC peut ne pas être celle qui est perçue en ligne.

A propos des communications transmises dans les situations perturbées de trafic ferroviaire, Bourdon et Mageau (1991) notent d'ailleurs que 90% des appels téléphoniques sont recentrés sur le trafic des trains. Les autres communications sont remises ou annulées. Si le système de radiophonie n'est pas fiable, de nombreux appels n'aboutissent pas pour des raisons d'absence d'interlocuteur ou d'appareils de réception. Janet (1980) étudie les communications sur le

³ PCC : poste de commande centralisé

même réseau et montre également que les opérateurs chargés de la régulation en deux lieux différents communiquent peu pendant le traitement des situations perturbées.

1.2.2 Selon l'axe de la transformation du produit

Dans la régulation de métro, la bonne marche de la ligne se traduit par le maintien d'une certaine stabilité des paramètres (heures de passage, intervalles) entre des valeurs acceptables (RATP,1981). Il s'agit donc de maintenir un équilibre dynamique caractéristique des situations de gestion d'environnements dynamiques entre ponctualité et régularité.

La production du transport est spécifique car elle consiste à **produire un service de manière industrielle**. Il en découle une première difficulté qui réside dans la définition de l'objet de travail. En effet, ce qui est produit et vendu, au client, c'est le processus de travail lui-même, qui n'est pas "stockable" (Foot, 1987). Cet auteur précise qu'il considère la production du transport comme un *"cas limite de production à l'aide d'une machine-outil où c'est le mouvement des moyens de production qui est en lui-même production d'une offre de transport"*.

1.2.3 Selon l'axe de la dynamique des situations

Dans la régulation de trafic, la dynamique d'évolution du processus contrôlé est relativement homogène pour une situation particulière car en général, les mobiles ont tous la même capacité de vitesse de déplacement. Il peut y avoir exception, même dans la régulation du métro, dans les cas d'incidents où un train est immobilisé ou n'est plus en capacité de respecter les vitesses minimales prescrites. Il existe cependant une grande disparité dans la stabilité du processus en fonction du type de trafic régulé :

- la régulation du trafic de bus est soumise à un environnement très ouvert, mais offre de nombreuses possibilités de manœuvres de régulation,
- la régulation du métro s'effectue dans un environnement plus fermé puisqu'il s'agit d'un système de transport guidé, mais les possibilités de manœuvres sont plus réduites.

1.2.4 Selon l'axe de la complexité du processus

L'objectif de la tâche de régulation de trafic est de guider des mobiles en fonction d'une vue globale afin d'assurer la sécurité et le respect des horaires prévus. La dimension spatio-temporelle de l'activité est donc très importante (Cellier, 1996). L'auteur précise que si la

distance physique est importante entre les mobiles et le contrôleur, elle est moindre entre l'information originelle et sa représentation sur un dispositif de présentation. En effet, les dispositifs les plus courants sont des Tableaux de Contrôle Optique (TCO) qui représentent les mobiles en déplacement sous forme de représentation graphique du réseau.

Deux dimensions sont également à souligner dans les situations de contrôle de trafic : les contraintes de mobilité et de sécurité (Amalberti, 1996). Les contraintes de mobilité déterminent fortement la sécurité. Par exemple, la possibilité d'immobiliser ou non les véhicules dépend de la contrainte de mobilité et a un impact sur la sécurité des voyageurs et des agents. Les dimensions de l'espace dans lesquelles se déplacent les mobiles, si elles sont moins importantes dans la régulation ferroviaire que dans la régulation aérienne ont un impact sur la prise en charge de la sécurité.

2 LA CARACTERISATION DES SITUATIONS PERTURBEES

2.1 Dans la gestion d'environnements dynamiques

Hoc (1996) distingue globalement trois types de situations dans les environnements dynamiques, qui se rencontrent tout au long du déroulement du processus :

- Les situations de marche normale où les paramètres de la situation ont une valeur nominale.
- Les situations de marche dégradée ou perturbée où certains paramètres subissent des dérives plus ou moins grandes.
- Les situations incidentelles concernant les dérèglements ou pannes liées au processus lui-même, c'est-à-dire des défaillances du fonctionnement du processus de production.

Chabaud (1990) définit plusieurs types de perturbations par rapport aux exigences qu'elles entraînent pour les opérateurs.

- Les dysfonctionnements prévus dans le domaine de l'évaluation de la fiabilité technique : leur récupération consiste à mettre en service un réseau de secours, comme par exemple, pour les défaillances d'installations, les pannes de machine, les coupures d'alimentation. Les procédures prévues de manière générale permettent d'atteindre les objectifs visés c'est-à-dire un état "sûr" du système.

- Les dysfonctionnements caractérisés par des déviations des paramètres du processus : ce sont des déviations lentes et récupérables, à condition d'avoir identifié au moins la procédure de récupération et si possible la cause. Dans le cas de la régulation de trafic, l'identification de la cause est indispensable pour la détermination de la procédure de résolution. L'origine de ces perturbations est dans le processus lui-même, au niveau de sa commande, ou de l'environnement.
- Les "aléas organisationnels" : ce sont des défauts dans les procédures qui peuvent ne pas être applicables dans le contexte, des problèmes de disponibilité de la main-d'œuvre (absence ou autre tâche en cours).

2.2 Les spécificités de la régulation de trafic

2.2.1 Le point de vue technique

Clément (1997) propose de définir le terme de perturbation par une approche technique visant à décrire les mesures prises par des exploitants chargés de la surveillance du trafic. Pour l'auteur, il faut considérer les incidences d'une perturbation sur la circulation des véhicules avec voyageurs ou sur l'attente des voyageurs dans les stations, sur le confort des voyageurs en station (éclairage, SIV⁴, etc.), sur les outils mis à la disposition des exploitants (SAE⁵, phonie, etc.). Une perturbation est donc un événement qui a une incidence sur la circulation des véhicules ou sur l'attente des voyageurs en station. Pour traiter ces perturbations, les opérateurs devront prendre des mesures d'exploitation, à savoir en trouver la cause, remédier à la perturbation et en même temps assurer la continuité du trafic puis revenir au programme d'exploitation théorique.

Selon les données techniques (Clément, *ibid.*), la durée d'une perturbation dans la circulation des véhicules est évaluée par le temps écoulé pendant lequel le programme d'exploitation théorique n'est plus assuré. Pour traiter une perturbation, les régulateurs doivent réduire autant que possible ce temps et prendre des mesures pour maintenir une circulation des rames avec un horaire le plus proche possible de ce programme théorique.

Clément (*ibid.*) ajoute que le traitement effectué dépend de la nature du défaut, du moment (heure d'affluence, heure creuse, jour ouvrable, jour férié, etc.), du lieu (en ligne, au terminus,

⁴ SIV : Système d'Informations Voyageurs

⁵ SAE : Système d'Aide à l'Exploitation

hors ligne, au dépôt/atelier, etc..), de la disponibilité des équipements (nature de la voirie, implantation des appareils d'insertion, réserve matériel roulant, etc.). Il va de soi que ce traitement dépend également des opérateurs, à savoir leur niveau de compétences, leur expérience, la capacité à réagir vivement et à adopter une stratégie de circonstances face à un incident, mais aussi de l'organisation du personnel (exploitation et maintenance) et des outils mis à la disposition des opérateurs, etc. On retrouve ici un problème cité précédemment par Chabaud (1990) concernant les difficultés posées aux opérateurs en fonction du type de dysfonctionnement, à savoir la disponibilité des agents chargés d'intervenir directement sur le processus.

Sous l'angle des exploitants, le traitement d'une perturbation se décompose donc en périodes caractérisées par des événements importants : connaissance d'un incident, traitement de l'incident, fin de l'incident, retour au programme d'exploitation théorique (Clément, 1997). Afin de déterminer une mesure d'exploitation efficace il y a une recherche du meilleur compromis possible entre l'influence, la durée estimée de la perturbation et les possibilités et la durée de mise en place d'une mesure d'exploitation. L'auteur considère donc bien ici qu'il existe plusieurs types d'événements survenant sur la ligne qui perturbent le déroulement du trafic. Il souligne l'importance de prendre en compte les causes et les conséquences de ces événements en termes de durées et d'actions.

2.2.2 Le point de vue des opérateurs

Dos Santos (1985), dans une étude menée sur le réseau du métro parisien distingue deux types de situations (situations normales et résolutions d'incidents), à partir des prescriptions globales de l'entreprise.

- Les situations "normales" comportent des interventions sur la ligne pour des manœuvres prévues et le suivi des trains en ligne par le chef de régulation, est défini comme une *"veille du TCO pour accompagner le déroulement de la ligne"*.
- Les situations perturbées, que l'auteur appelle "résolution d'incidents" sont classées en deux grandes catégories, distinguées selon deux modalités d'un facteur lié à l'énergie électrique de traction :
 - avec coupure de courant de traction
 - sans coupure de courant de traction

Les procédures prévoient la marche à suivre en fonction du temps de stationnement d'un train. Le critère de différenciation est basé sur le travail prescrit et les procédures existantes pour gérer la situation.

Lévy (1996), étudie le réseau des bus parisiens et note que certaines situations sont considérées par les opérateurs comme risquant de devenir des perturbations si elles ne sont pas traitées le plus tôt possible. Dans la situation étudiée de régulation du métro, il peut s'agir de l'absence de matériel disponible pour assurer un départ de train, de l'absence inopinée d'un conducteur à son poste, d'une avarie technique au dégarage du train qui bloque les voies de garage. Ces événements sont traités en amont du départ des trains et deviennent des perturbations ayant un impact sur le trafic, s'ils ne sont pas traités par l'opérateur.

3 CARACTERISTIQUES COGNITIVES DE LA GESTION D'ENVIRONNEMENTS DYNAMIQUES

Nous avons décrit les caractéristiques des environnements dynamiques sur la base des processus gérés par les opérateurs. Nous examinerons dans cette partie les caractéristiques cognitives impliquées dans ce type d'activité.

En 1986, Rasmussen souligne l'intérêt de traiter le diagnostic et ses relations avec la surveillance, la prise de décision et la mise en œuvre de l'action, dans une approche globale. Selon Rasmussen (1991), une analyse de l'activité cognitive est indispensable pour identifier les stratégies des opérateurs et les stratégies adoptées pour réaliser une tâche peuvent être très variées. Pour que la conception des outils puisse guider l'utilisateur, il est indispensable de caractériser les stratégies en fonction des critères des utilisateurs. Ainsi, cet auteur affirme que la conception d'outils adaptés pour l'aide (informatisée) à la décision doit passer par la connaissance des critères de performance et des préférences des opérateurs dans le choix des stratégies. Cet auteur propose un modèle des processus de décision. Il présente des exemples de stratégies identifiées dans le domaine du diagnostic de pannes et la recherche d'informations dans les bibliothèques. Ces exemples ne font pas partie de la gestion d'environnements dynamiques, mais l'auteur souligne que dans les situations plus dynamiques, telle que la supervision de processus continu, la nécessité d'une analyse est d'autant plus prégnante que le contrôle du processus est indirect et fait appel à un suivi des actions à partir du niveau des connaissances.

Les activités impliquées dépendent des classes de situations normales, déviantes ou perturbées dans lesquelles se trouvent les opérateurs. De manière générale Daniellou (1986) les définit comme étant la surveillance (identification d'états de fonctionnement), le diagnostic (évaluation de l'état présent par rapport aux exigences de la tâche), l'anticipation et la prise de décision/planification (choix d'intervention).

Rogalski et Samurçay (1993), précisent que la tâche de gestion d'environnements dynamiques peut être décrite comme une boucle comportant des prises d'informations, diagnostics, pronostics, planification de l'action et de ses moyens, décisions d'action et exécution, contrôle de l'activité.

Hoc et Amalberti (1999) proposent un modèle d'ensemble de l'activité en situation dynamique en considérant le diagnostic comme une activité de régulation permanente visant à analyser les faits et à en spécifier d'autres pour assurer la cohérence dans la représentation occurrente de l'évolution au cours de la situation.

3.1 La surveillance

La surveillance consiste à identifier des états de fonctionnement (Bainbridge, 1980-1981). Cet auteur souligne la nécessité pour les opérateurs de développer une double représentation portant sur le processus et sur les effets des actions qu'ils engagent. Lorsque le processus est dans un état stable, il s'agit de contrôler périodiquement des paramètres donnant des informations sur le processus à réguler. La détection des changements d'état du système peut indiquer le passage de la surveillance d'un processus à la récupération d'un incident (Senach, 1984).

3.1.1 Une exploration sélective

La surveillance est guidée par les connaissances "générales" des opérateurs sur le processus. Ils doivent à tout moment pouvoir se construire une représentation de l'état des installations qu'ils régulent afin de décider des actions à entreprendre. L'exploration des paramètres est sélective (sélection et reconnaissance par le filtrage) car les paramètres sont plus ou moins synthétiques, stables, nécessitent ou non une récupération des informations (Daniellou, 1986). Les signaux à détecter sont répartis de façon inégale dans le temps, c'est une caractéristique des processus événementiels (Spérando, 1993). Les contraintes temporelles dépendent également de la mobilisation de l'opérateur, sollicité par une alarme ou détectant une anomalie déclenchant son action (Chabaud, 1990). On retrouve la notion de filtre chez de

Keyser (1990), qui distingue un filtre statistique et un filtre sémantique. Le filtre statistique permet de relever les dérèglements du système qui surviennent le plus souvent (probabilité d'apparition). Le filtre sémantique permet à l'opérateur de dégager les informations utiles à son action, en fonction de son degré d'expérience. Il a tendance à négliger ce qui n'est pas pertinent pour les objectifs de son action. Decortis et Cacciabue (1991) proposent la notion de filtrage cognitif pour désigner l'opération de sélection et de reconnaissance, suivant certains critères de saillance perceptive ou cognitive, des signes pertinents à un moment donné pour l'opérateur, pour construire son diagnostic.

Hoc (1991b) identifie dans une situation de haut-fourneau, l'utilisation de connaissances de nature causale sur le processus. Samurçay et Hoc (1996) parlent d'activité de compréhension du système qui comporterait un contrôle périodique du processus et l'exploration sélective de paramètres par l'utilisation d'indices mobilisant l'attention de l'opérateur.

3.1.2 Un raisonnement inférentiel

Hoc (1989a), indique que l'activité principale de raisonnement inférentiel vise à assurer un équilibre dynamique du système, avec des hypothèses anticipatrices et une évaluation de ces hypothèses pour réaliser le diagnostic et le choix des actions. C'est l'accès indirect à des variables importantes du processus qui justifie ce raisonnement inférentiel par formation et évaluation d'hypothèses (Rogalski et Samurçay, 1993). Ce processus inférentiel est à mettre en œuvre pour le pronostic et dans le choix d'actions parmi un répertoire. C'est le cas de la lutte contre les feux de forêt qui implique de fortes exigences pour les opérateurs en termes de traitement de l'information, prise de décision et de planification.

Les stratégies les plus efficaces et pertinentes pour les décisions d'action s'appuyant sur des représentations d'évolution, Hoc (1992) note que les aides logicielles à la conduite de processus consistent souvent à présenter des graphiques mettant en évidence des tendances d'évolution des variables et souligne la nécessité de définir des variables pertinentes pour décrire ces évolutions. Ces stratégies font plus appel aux données présentées sous forme d'historiques et effectuent plus de mises en relations entre évolutions différentes que les stratégies s'appuyant sur des représentations d'état. Samurçay et Delsart (1994) mettent également en évidence que les stratégies les moins efficaces se concentrent sur des actions spécifiques à une situation ponctuelle.

3.2 Le diagnostic

Le diagnostic de dysfonctionnements c'est l'évaluation de l'acceptabilité de l'état présent en le comparant avec les exigences de la tâche (Bainbridge 1980-1981). Decortis et Cacciabue (1991), dans leur modèle cognitif de l'opérateur de contrôle, parlent d'interprétation de l'état actuel du système sur la base d'indices observés et de test de l'interprétation. Cette activité comporte également la prédiction des événements futurs. Selon Hoc et Amalberti (1994), l'étude du diagnostic séparé de la prise de décision présente un handicap majeur de défaut de validité vis à vis des situations professionnelles de diagnostic. Ainsi, ces auteurs définissent le diagnostic comme une activité de compréhension d'une situation pertinente à une décision d'action.

3.2.1 Comprendre l'état et l'évolution du processus

Dans la conduite de haut-fourneau (Hoc, 1989a), l'activité de diagnostic permet de prendre en considération les changements de l'environnement ne relevant pas des actions du sujet, de suivre le déroulement des chaînes causales initiées par les actions de l'opérateur. Le diagnostic peut être orienté vers la compréhension de l'état ou de l'évolution du processus ou vers la recherche des causes de dysfonctionnement. Cette activité est finalisée par l'intervention. L'existence de longs délais de réponse entraîne un pronostic sur l'enchaînement probable d'événements futurs (Hoc, *ibid.*).

La variation d'un paramètre amène l'opérateur à un pré-diagnostic qui guide la suite de la résolution. Le diagnostic permet d'orienter la recherche d'informations, l'anticipation et le contrôle de l'action (Daniellou, 1986).

Dans une étude du diagnostic orienté vers la recherche de causes, Bertrand et Weill-Fassina (1993) soulignent que l'objectif n'est pas de transformer le processus mais de l'interroger. Le diagnostic n'a pas pour but l'anticipation de l'évolution du processus, mais la recherche des causalités de la panne afin de la réparer.

Le diagnostic qui consiste à comprendre l'état et l'évolution du processus s'appuie sur des connaissances passées (Hoc 1996). Lorsqu'il n'y a pas de stratégie spécifique à une situation, l'opérateur fait référence à son expérience, des situations déjà traitées ou ressemblantes. S'il y a un panel de solutions disponibles ou connues, l'opérateur sélectionne la plus appropriée. Le diagnostic peut avoir plusieurs objectifs différents. Nous devons à Rasmussen la description la plus complète de stratégies de diagnostic fondées sur l'analyse de situations de recherche de

pannes électriques. Si l'on veut étendre la portée de ces résultats (Hoc, Amalberti, Boreham ; 1995), nous devons alors parler de stratégies orientées par la connaissance du fonctionnement normal du système (stratégie topographique) versus des stratégies orientées par la connaissance des dysfonctionnements du système (stratégie symptomatique).

Le diagnostic peut correspondre à une hypothèse exprimée avec un certain degré d'incertitude. Il est alors possible de distinguer un diagnostic portant sur le futur, c'est un pronostic, d'un diagnostic portant sur le présent ou le futur immédiat, d'un diagnostic d'incertitude, en fonction de l'objet sur lequel il porte (Hoc, Amalberti, Plee ; 1996).

3.2.2 L'utilisation des connaissances

Dans les situations dynamiques, l'opérateur peut ne pas posséder de stratégie spécifique déjà constituée pour répondre à une situation. Il peut alors se référer aux connaissances relatives au domaine de travail acquises par ailleurs (Senach, 1984). Il y a donc à la fois intervention de ce qu'il sait (expérience) et des éléments ponctuels survenus en temps réel, des particularités de la situation en cours. L'opérateur qui reconnaît une situation déjà traitée ou une situation dont les caractéristiques sont proches d'une situation connue, dispose " d'outils " plus ou moins constitués qui vont lui permettre de résoudre le problème (Cellier, 1991). Il va donc activer une des pistes de recherche et faire appel au panel de solutions dont il dispose pour sélectionner celle(s) qu'il pense la(les) plus appropriée(s).

Alengry et Tayssier (1991) ont formalisé les savoirs impliqués dans la supervision d'un processus (dans une salle de contrôle de centrale nucléaire et sur un simulateur) et identifié le modèle de raisonnement qui traite ce savoir. Ils utilisent une méthode empirique pour différencier des connaissances de surface (cohérentes avec les règles d'expertise construites sur la base d'associations empiriques et efficaces dans les situations bien connues), des connaissances profondes (basées sur le principe de structure et mises en oeuvre lorsque les règles habituelles ne sont plus suffisantes pour résoudre une situation inconnue ou complexe).

Dans une des situations de résolution d'incident sur simulateur que les auteurs ont étudiée, ils identifient quatre périodes du diagnostic basé sur les connaissances :

- identification de la dérive et tentative de récupération locale,
- construction d'un contexte d'hypothèses simultanées d'explication de la dérive,
- traitement des hypothèses par raisonnement déductif qui permet de confirmer ou d'infirmer les hypothèses,

- raffinement des suppositions liées à la localisation et à l'importance de l'accident. L'activité de supervision de l'accident pendant cette quatrième phase montre l'utilisation des connaissances profondes à propos de la structure et du fonctionnement de la centrale nucléaire.

3.2.3 L'orientation par l'action

Le diagnostic s'inscrit dans une stratégie de gestion des risques - ne pas agir trop tôt ou trop tard - et des coûts car il s'agit de gérer le processus et sa propre activité et celle des autres opérateurs impliqués (Hoc, 1996). L'opérateur doit prendre des décisions, parfois sans avoir toutes les données nécessaires pour les justifier. Il peut prendre des mesures conservatoires pour éviter une dégradation de la situation, privilégiant l'efficacité. Il peut également différer le diagnostic volontairement. L'opérateur reste en activité de contrôle et de surveillance parce qu'il pense que l'évolution temporelle de la situation permettra de préciser ce diagnostic, d'économiser des ressources pour l'établir. Le diagnostic est donc un compromis entre l'amélioration de l'état du dispositif et le recueil d'informations pertinentes (Hoc, *ibid.*).

Dans les situations dynamiques où le processus à superviser ne se fige pas pendant le diagnostic, l'opérateur peut gérer plusieurs niveaux de diagnostic en même temps (Hoc, *ibid.*) : à un niveau général, l'objectif est d'améliorer le déroulement du processus, à un niveau plus local, il s'agit de résoudre des problèmes ponctuels.

3.2.4 L'importance de l'activité de contrôle

Bainbridge (1980-1981) souligne l'importance du contrôle. Elle note que certaines variables du processus à contrôler ne sont pas toujours mesurables techniquement, ce qui signifie pour l'opérateur une évaluation qualitative d'une partie des paramètres. Les informations indispensables à l'appréciation peuvent provenir du processus, à travers les outils d'aide au travail, du produit de sortie, de dispositifs de signalisation, de tests, d'actions antérieures ou d'autres opérateurs.

Ce contrôle est fonction de la connaissance qu'a l'opérateur de la dynamique du processus, de son interprétation des événements passés et présents et de sa prévision du futur (Bainbridge, 1980-1981). Le contrôle de l'activité s'exerce à trois niveaux : compréhension de la situation initiale, exécution, évaluation (Rogalski et Samurçay, 1993). Le contrôle permet à l'opérateur de mettre en relation des variables sur l'état du processus, l'étendue et la chronologie des

actions des sujets. Le modèle de Rasmussen ne prend d'ailleurs pas en compte cette notion de rétroaction qui va de l'action au diagnostic, comme le soulignent Hoc et Amalberti (1994).

Les habiletés de contrôle d'installations industrielles très complexes peuvent se développer sur plusieurs années (de Keyser, 1994).

3.2.5 La prise en compte de la dynamique du système

La tâche du contrôleur de processus consiste en premier lieu à faire face aux urgences. Il doit résoudre les défaillances du système à contrôler pour lesquels les concepteurs du système n'ont pas prévu de mesures sécuritaires automatiques (Reason, 1988). Il peut y avoir un passage sans transition entre des périodes d'activité de veille, de surveillance des paramètres à une activité de prise de décision rapide (Caruso, 1992). Cette variation peut s'identifier en étudiant les phases de l'activité des opérateurs sur un laps de temps allant de l'heure à la journée. Dans la régulation du trafic de bus, on peut observer des variations entre heures creuses et heures de pointe de circulation, flux de voyageurs, lors de la brusque arrivée d'informations sur une perturbation ou à la prise de service des machinistes.

Un des éléments important de l'activité de contrôle est la maîtrise de la dimension dynamique du système, c'est-à-dire la multiplicité de variables en interaction et leur évolution au cours du temps. La connaissance de la dimension dynamique du processus inclut la connaissance de l'amplitude et de la chronologie des effets dans le processus et leur interaction (Bainbridge, 1980-1981). Cette compétence de gestion de la dynamique du système s'acquiert par l'expérience des effets d'une action, elle peut être réalisée " au jugé ", de façon inconsciente, le plus souvent par intuition, elle permet de tester et d'élaborer de nouveaux savoir-faire (Bainbridge, *ibid.*).

Dans le domaine de la régulation de trafic, Mariné et Cellier (1988a) ont étudié les dimensions spatio-temporelles de l'activité de régulation du trafic de bus et soulignent l'importance de la dimension temporelle en tant que facteur de complexité.

En 1988, Decortis construit une typologie de l'interaction entre les structures temporelles de l'opérateur et celles du système complexe.

De Keyser (1990) développe une réflexion sur le thème des difficultés rencontrées par les opérateurs de salles de contrôle pour gérer l'aspect dynamique du système contrôlé et en particulier son évolution temporelle. Elle propose un modèle descriptif caractérisant, d'un point de vue temporel, la conduite de système complexe par l'opérateur, ainsi qu'un modèle

explicatif montrant les mécanismes par lesquels l'opérateur tente d'appréhender la dynamique temporelle du système. L'auteur propose quatre mécanismes principaux que l'on retrouve chez Cellier, de Keyser et Valot (1996), que l'opérateur pourrait mettre en œuvre pour intégrer la dynamique du système : l'intériorisation des événements du système survenant avec régularité, l'établissement de liaisons causales entre plusieurs événements (estimation fondée sur la causalité), le repérage de détails pertinents d'enchaînements d'événements et celle s'appuyant sur le temps de l'horloge (la temporalité), extérieur au sujet et à l'action.

3.3 L'anticipation

3.3.1 Dans les environnements dynamiques

L'anticipation consiste à se fixer des objectifs et les procédures pour les atteindre (Richard, 1980). L'anticipation c'est :

- la détection précoce des fluctuations de certains paramètres sur le processus, signes avant-coureurs de dérèglement connus à partir de la probabilité d'apparition de certains phénomènes, établie a priori, mais également des relations fonctionnelles entre certains paramètres (de Keyser, 1982).
- la préparation sélective à certaines classes de situations. Elle permet d'intervenir avant que l'anomalie ne soit installée, par une plus grande efficacité dans la prise d'informations (Richard, 1980). Dans les processus à longs délais de réponse (Hoc, 1989b), la nécessité de l'anticipation est accrue car il n'est pas possible de procéder par "essais et erreurs" pour éviter les incidents. Une des contraintes de la situation de contrôle de processus est le délai de réponse qui augmente les besoins d'anticipation et les activités de pronostic.
- la connaissance par l'apprentissage empirique du processus et de son déroulement, par les informations sur l'évolution du système tels que des historiques, des données circonstancielles, des connaissances sur le processus. (Hoc, 1992). Pour Cellier (1991), l'anticipation porte à la fois sur : l'évolution du processus si aucune modification n'est décidée, et les effets de l'action engagée, la préparation de l'action future, le choix des séquences d'action pour revenir à un état stable ou garantir la stabilité des conditions de déroulement du processus.

Dans un processus industriel, les opérateurs essaient d'obtenir des informations sur les sorties, le processus en cours, mais également en amont du processus pour mieux anticiper les

réglages utiles (Bainbridge, 1980-1981). Roth et Woods (1988) ont d'ailleurs montré dans une situation de contrôle de centrale électrique que les opérateurs expérimentés agissent très tôt lors de perturbations et produisent des anticipations sur les effets de ses actions à partir d'informations partielles sur le processus. Ils réalisent des actions de contrôle partiel qui leur fournissent des informations intermédiaires sur les actions antérieures et les réponses du système.

Les modèles de formalisation de ces connaissances sont le plus souvent sous forme de réseaux causaux. Ces réseaux doivent être peu maniables dans les situations où l'opérateur doit procéder à des calculs de prédiction, car le temps nécessaire à la construction des connaissances et à la mise en œuvre est important. Dans les situations plutôt familières, Hoc et Samurçay (1992) supposent l'utilisation de scénarios (basés sur des hypothèses) et de représentation de type "schémas". Dans ce cas, les décisions sont prises sur une simple reconnaissance de la situation à partir d'indices.

Samurçay (1992) montrent que l'activité consiste essentiellement en des processus de raisonnement (élaboration d'hypothèses, tests, compréhension de la situation...), qui nécessite une méthodologie d'analyse particulière si l'on veut les analyser. Dans ce type de gestion d'environnements dynamique, l'anticipation n'a pas besoin d'être trop précise, du fait de l'intervention de facteurs non contrôlés. Dans des situations de contrôle d'environnements dynamiques, l'opérateur doit donc réaliser à la fois un pronostic sur l'évolution du phénomène si aucune action n'est entreprise et sur l'évolution si l'on modifie le système (Rogalski et Samurçay, 1993).

Dans la conduite de haut-fourneau, il faut souligner que l'anticipation ne porte pas sur l'action du conducteur en raison des délais de réponse très longs mais sur le déroulement du processus (Van Daele, Carpinelli ; 1996). Elle est étroitement liée à l'expertise car elle suppose l'existence chez l'opérateur de connaissances spécifiques à la situation. Pour un opérateur expérimenté, l'anticipation a également un caractère économique puisqu'elle lui permet de diminuer les prises d'informations pour maintenir sa représentation à jour et réaliser les ajustements de son action (Van Daele, Carpinelli, *ibid.*). L'anticipation ouvre la possibilité d'un filtrage des informations utiles à la mise à jour de la représentation (rôle économique) et permet une préparation de l'action, un choix de séquences d'action future (planification). Van Daele et Carpinelli (1996) soulignent que dans les situations dynamiques, les plans d'action des opérateurs sont suffisamment souples pour s'adapter à des variations imprévisibles de l'environnement. C'est le cas dans la régulation de trafic, puisque l'activité consiste non

seulement à éviter les dégradations mais aussi à répondre le plus vite possible aux événements perturbant le trafic. Dans les cas de perturbations, l'arrivée de nouvelles informations sur la situation peut amener l'opérateur à revoir la décision prise et réorienter son action rapidement, voire annuler cette action si la perturbation s'est résorbée d'elle-même. Il doit anticiper les effets de ses propres actions combinés avec l'évolution du processus.

L'anticipation peut concerner des événements, les effets d'action, l'amplitude, durée, ordre, moment d'occurrence d'un événement (Hoc, 1996). Dans les situations dynamiques, il n'est pas suffisant pour l'opérateur d'anticiper les résultats de l'action. L'anticipation doit porter sur les effets de certains événements, afin qu'ils ne deviennent pas irrécupérables. Elle doit également concerner le moment d'occurrence des actions pour que les objectifs ne soient pas impossibles à atteindre. Cette activité nécessite d'élaborer et de mobiliser les connaissances sur l'évolution propre du processus (Hoc, *ibid.*).

Eyrolle, Mariné et Mailles (1996), dans une revue de questions, indiquent que les situations dynamiques se caractérisent par un ensemble de traits (complexité, dynamisme, incertitude) qui, sur le plan des exigences, nécessitent pour les opérateurs la construction de représentations du système et de son évolution et l'élaboration de plans d'actions intégrant les durées des actions et les délais de réponse du processus. L'évaluation d'un état ou des effets d'une action implique une anticipation et une représentation des états futurs probables en raison du caractère évolutif de la situation. L'anticipation porte sur l'évolution du processus, le choix des moyens d'action et leur articulation temporelle, sur le moment opportun de mise en œuvre. Les résultats montrent qu'une gestion efficace suppose de trouver la meilleure coordination entre ces différentes temporalités (Carling, 1999).

3.3.2 Dans la régulation de trafic

Dans le contrôle de la navigation aérienne, l'activité anticipatrice permet la diminution de la complexité et le guidage des choix et combine deux aspects (Cellier, 1991) :

- la mobilisation des connaissances sur les effets de la dynamique du processus sur différents facteurs et leur combinaison ;
- l'extrapolation de vitesses de déplacement à partir des évolutions antérieures de ces paramètres.

Filippi (1994) étudie la régulation du RER parisien et montre que pour le chef de régulation, le temps est une contrainte et une ressource pour l'anticipation. Les opérateurs envisagent très

vite une solution dans ses grandes lignes, mais sa faisabilité dépend des conditions dans lesquelles on se trouve. Cette anticipation se traduit sous la forme de décisions rapides puisque la contrainte temporelle est liée au respect ou au rétablissement d'horaires ou d'intervalles théoriques. Les solutions envisagées ont un caractère éphémère et il existe un décalage dans le temps entre une décision et sa mise en œuvre qui est progressive et décalée car tributaire des temps de manœuvre, de déplacements et de communication. Selon l'auteur, la résolution d'un incident s'effectue au fur et à mesure des résultats de l'action et de la prise en compte des événements. Il n'y a pas de plan préétabli dont l'opérateur suit les étapes. La construction progressive du traitement consiste à dégager "une trame de résolution" qui reste ouverte et se précise en fonction de l'avancement de la résolution.

Bourdon et Weill-Fassina (1994) étudient l'émergence d'un processus de constitution d'un groupe (ou réseau) pour réguler un événement particulier perturbant le trafic ferroviaire. Cette étude se centre sur les processus de coopération, de développement d'un réseau et ses modalités dans la gestion de situations perturbées. Elle met en évidence la constitution d'un référentiel commun, la modification de l'organisation de l'activité due à de nouvelles exigences liées à la situation. Bressolle *et al.* (1996) ont mis en évidence l'apparition de stratégies de coopération en cas d'accroissement de la charge de travail dans une situation de contrôle de trafic aérien. Ces stratégies de coopération permettent de récupérer et d'assurer de la redondance dans la transmission des informations.

Doniol-Shaw et Froment (1996) étudient l'anticipation et la résolution de conflits et d'incidents de circulation sur la régulation d'une ligne ferroviaire à grande vitesse. Ils identifient des stratégies d'anticipation et des formes d'activité collective. Ces formes d'activité collective peuvent servir de système d'aide pour évaluer les stratégies et l'impact prévisible des décisions sur le trafic. Boudes et Cellier (1998) dans le domaine du contrôle aérien, mettent en évidence que l'anticipation exige de déterminer le moment de l'action, d'en évaluer la durée, l'apparition des effets mais aussi de caler ses actions sur une métrique temporelle et sur un processus dont il faut évaluer l'évolution propre. L'anticipation nécessite donc la prise en compte du passé, en plus du présent et du futur pour déterminer la stabilité du processus ou son évolution. En montrant la complexité de cette activité d'anticipation, les auteurs s'intéressent aux objets considérés par le sujet dans l'anticipation. Les auteurs concluent que pour construire des aides à l'anticipation appropriées à chaque poste, il semble nécessaire de connaître le champ d'anticipation et par la même les objets sur lesquels il porte (Boudes, Cellier, *ibid.*).

3.4 La prise de décision

La décision et la planification de l'intervention consistent à choisir et introduire un changement dans les commandes de conduite (Bainbridge, 1980-1981).

3.4.1 Une construction progressive

La prise de décision se fait à partir d'indices, lorsque c'est possible et consiste à planifier et anticiper des événements ultérieurs, en établissant des priorités et des objectifs à atteindre (Daniellou, 1986). Il y a possibilité de modification de la planification en fonction des nouvelles informations. L'activité de contrôle dépend de la connaissance du processus et permet de mettre en relation les variables et de contrôler l'état du processus (Daniellou, *ibid.*).

La reconnaissance d'une configuration connue de problème permet d'anticiper le déroulement de l'incident et d'élaborer des objectifs intermédiaires pour résoudre la perturbation (Daniellou, *ibid.*). La configuration se reconnaît à partir de plusieurs indices dont la présence a déjà été traitée auparavant par l'opérateur. L'incident en cours est ensuite rattaché à une classe de situations, qui va permettre l'anticipation des événements ultérieurs et de ce fait les conséquences possibles et les alternatives. L'opérateur va définir des priorités et des objectifs à atteindre. Ses interventions sont planifiées, même si en cours de route, les nouvelles informations pourraient modifier la planification (Daniellou, *ibid.*). L'expérience permet de structurer fortement certaines actions entre elles. Lorsque l'opérateur remarque une information ou valeur inattendue, alors l'activité sera réorientée. L'expérience passée est donc mise en œuvre selon les besoins, pas nécessairement à la suite d'une décision consciente. Souvent, les décisions de contrôle dynamique sur le processus sont combinées avec d'autres types de décisions : diagnostic d'erreur dans l'évaluation du moment de l'action ou dans celle de l'évolution du processus, décision d'action... (de Keyser, 1994).

3.4.2 Les difficultés de la prise de décision

Dans les situations où les opérateurs sont sollicités pour résoudre plusieurs problèmes simultanément, Daniellou, (1986) souligne que les opérateurs expérimentés reviennent à une moindre anticipation, à des réponses aux alarmes au coup par coup et à des diagnostics plus locaux ainsi qu'une vision plus ponctuelle de la situation. Cette réaction est due au fait que la situation présente ne ressemble à aucune situation connue auparavant, il n'existe pas de solution disponible immédiatement pour y répondre. Mariné, Cellier et Valax (1988)

évoquent le recours à des « patterns situationnels » permettant la reconnaissance de situations connues. Hoc et Samurçay (1992) parlent de la notion de « schémas ».

3.5 Les spécificités de la régulation de trafic

3.5.1 La tâche de régulation de trafic

La tâche de régulation consiste à “ maintenir des paramètres dans des limites acceptables, ou revenir à un état stable ” (Faverge, 1966 ; Daniellou, 1986). Les régulateurs doivent donc fournir une solution qu’ils jugent la plus appropriée à un incident qu’ils ont diagnostiqué comme appartenant à une classe de situations ; ceci, en fonction des données dont ils disposent sur la situation, ses caractéristiques permanentes, cycliques ou ponctuelles, des ressources et contraintes disponibles (Spérandio, 1988). Le régulateur de trafic doit “ veiller à la régularité du trafic ” par le maintien des déplacements des mobiles dans une valeur normée (Mariné, Cellier, Valax ; 1988). En situation perturbée, les opérateurs chargés de la régulation doivent adapter l'offre de transport théorique pour assurer le meilleur service possible aux voyageurs en fonction des aléas de la situation réelle (Froloff, Rizzi, Saporito, 1989).

Les objectifs principaux qui caractérisent la tâche de régulation sont (Dos Santos, 1985 ; Spérandio, 1988 ; Joseph, 1993) :

- **assurer la fluidité** du déroulement du processus, pour les avions comme pour les RER, il s’agit d’optimiser la circulation en amenant les variables du processus dans des valeurs-normes, ou éviter qu’elles s’en écartent. Pour réaliser cette tâche, le contrôleur peut prendre des mesures auxquelles les pilotes ou les conducteurs sont tenus de se conformer.
- **assurer la sécurité du processus** qui se déroule et qui est à surveiller. Il s’agit de veiller à la sécurité des mobiles en assurant des intervalles temporels et spatiaux suffisants, tout en respectant une certaine rapidité. La priorité est accordée à la sécurité.

Dans la situation de trafic de bus, que Mariné, Cellier, Valax (1988) ont étudiée, l'opérateur doit, pour détecter et traiter les perturbations du trafic, considérer les écarts de chaque bus avec le déroulement théorique et les écarts entre les bus en ligne, anticiper l'évolution des perturbations en fonction des vitesses de déplacement, évaluer ces perturbations dans l'espace réel. Les perturbations possibles portant sur les lignes de bus sont : l'avance, le retard, par rapport à l'horaire théorique ou la formation de trains de bus (deux ou trois bus qui se suivent). Il s’agit pour le régulateur de détecter et de traiter les perturbations qui surviennent et d’anticiper leur évolution, à partir des informations et des ressources dont il dispose, des

moyens de son action pour assurer la production de l'offre de transport. Le régulateur doit gérer des informations issues de plusieurs sources. Toute perturbation non traitée à temps peut s'amplifier et déboucher sur un problème de nature plus complexe (Mariné, Cellier, 1988b).

La maîtrise de cette tâche se caractérise par la longueur de l'acquisition de l'expertise et la difficulté des débutants à anticiper l'évolution du système (Foraste, 1986).

3.5.2 L'organisation de la régulation

La régulation peut être une activité collective, comme sur le RER où elle implique une douzaine de personnes simultanément (Filippi, 1994). Dans ce cas, il s'agit pour les régulateurs de surveiller la bonne marche des trains et en cas de perturbation, de mettre en œuvre des mesures de régulation du trafic, en tenant compte de la gestion des conducteurs, du matériel roulant, des passages au dépôt. Les opérateurs coordonnent leurs activités en distribuant leur attention sur des objets différents, des personnes et des sources d'informations différentes. Le lieu de la régulation (ici, un Poste de Commande Centralisé, ou PCC) est considéré comme un " espace d'actions complexes " (Darfel *et al.*, 1993).

Par une méthode d'analyse du cours d'action collectif et individuel des régulateurs du RER parisien, Filippi (1994) met en évidence des caractéristiques invariantes de l'activité de régulation. Parmi ces invariants, tous ne se retrouvent pas systématiquement dans toutes les situations. Il existe des phases de l'action toujours abordées par les opérateurs en situation de résolution de perturbation (notées "s" pour systématique) et d'autres qui apparaissent uniquement en fonction du déroulement d'un incident (notées "c" pour circonstanciel). D'autres encore ne sont pas liées à un incident mais correspondent à un problème ponctuel (notées "p" pour ponctuel) :

- compréhension et évaluation de l'origine de l'incident très souvent initiée par l'appel d'un conducteur (s).
- dépannage ou évacuation des trains défectueux, valable pour les incidents panne ou incident sur train (s).
- recherche de matériel de remplacement (s).
- recherche et gestion de conducteurs pour les attribuer au matériel (s).
- mise en œuvre du remplacement du matériel consistant à transmettre aux différents acteurs les décisions prises (s).

- retenues des trains en amont et en aval qui consiste à assurer la régulation du trafic (c).
- recherche d'un responsable habilité à intervenir sur le terrain, à partir d'un certain degré de gravité de l'incident, ce qui permet d'assister le conducteur (c).
- appel des conducteurs (p).
- prise en compte des problèmes relatifs aux dysfonctionnements des installations fixes entraînant l'indisponibilité provisoire de certains dispositifs techniques (p).
- planification du garage d'un train au dépôt à la fin de sa course (p).

Ces invariants ne sont pas des étapes de procédures à suivre, ce sont des constructions théoriques du chercheur, élaborées à partir de l'analyse de l'activité. Si ces éléments varient d'un type de situation de régulation de trafic étudiée à une autre, ils permettent de se représenter la complexité de la tâche et la multiplicité des actions à entreprendre pour les opérateurs chargés de la régulation.

3.5.3 L'objet de l'activité des régulateurs de trafic

Nous avons défini la gestion d'environnements dynamiques du point de vue des situations, puis des activités cognitives qu'elle implique, puis nous avons précisé les particularités de la gestion de trafic. Pour aller plus avant dans l'analyse de la tâche de régulation, nous allons maintenant détailler les objets de l'activité des opérateurs, du point de vue de la littérature technique et psycho-ergonomique.

3.5.3.1 L'approche technique

Froloff, Rizzi et Saporito (1989), ont effectué une analyse technique, qui fait référence dans le champ du transport urbain, dans le but de théoriser la régulation de trafic. Ces auteurs attribuent deux dimensions au trafic :

- **la ponctualité** : la ligne est ponctuelle lorsque les horaires prévus sont appliqués.
- **la régularité** : la ligne est régulière lorsque les intervalles entre les mobiles sont égaux. La régularité permet de minimiser l'attente des voyageurs en station et d'équilibrer la charge des rames.

C'est sur ces deux dimensions que les régulateurs peuvent prendre de l'information et agir. Cette définition nous amène à soulever la question de la manière dont les opérateurs chargés

de la régulation prennent en compte ces deux dimensions du trafic et comment ils agissent dessus.

3.5.3.2 *Les apports de la littérature psycho-ergonomique*

Selon l'approche psycho-ergonomique du domaine de la régulation de trafic, les déterminants principaux identifiés par Cellier et Mariné (1988) pour évaluer une perturbation et prendre une décision de régulation combinent trois critères : l'amplitude de la perturbation, la fréquence des véhicules et la position de la perturbation. Ces trois critères se rapportent aux deux concepts évoqués dans le paragraphe précédent :

- l'amplitude et la position de la perturbation qui correspondent à une dégradation de la ponctualité,
- la fréquence des véhicules qui se rapporte à une dégradation de la régularité. Les auteurs identifient des marqueurs verbaux dans les verbalisations des opérateurs qui portent sur la régularité et s'expriment en termes d'écart, de déséquilibre, de train de bus, ou de valeur numérique exprimant un écart.

Ces auteurs mettent en évidence que les opérateurs expérimentés utilisent ces éléments de manière à prendre en compte les dimensions spatiales et temporelles des situations pour réguler leur ligne. Ils soulèvent la question de l'activité des opérateurs qui s'appuierait sur une comparaison entre la situation en cours et une situation standard acceptable ("pattern" ou configuration figurative de la ligne) ou bien sur la coordination d'informations de nature différente avec indexation de données numériques.

Ils soulèvent également la question de savoir si les opérateurs accordent plus d'importance à l'une (la régularité) ou l'autre (la ponctualité) des propriétés du trafic. Cellier (1991) apporte un début de réponse en mettant en évidence dans une situation de simulation que les opérateurs expérimentés accordent plus d'importance à la régularité entre les bus qu'à la ponctualité. Il montre que la prise en compte de la régularité s'appuie sur une analyse de l'évolution de la situation non pas d'un bus mais de plusieurs bus. Mailles (1996) dans une situation de simulation, avec des sujets non professionnels, met en évidence que ces derniers ne parviennent à maintenir aucune des deux dimensions de la situation en équilibre.

Nous retiendrons de ces éléments de la littérature psycho-ergonomique du domaine de la régulation de trafic qu'ils montrent la pertinence des deux dimensions du trafic des rames sur

une ligne de métro (la régularité et la ponctualité) pour caractériser l'activité des opérateurs et que la question de leur prise en compte par les opérateurs reste posée.

3.5.4 Le traitement des perturbations

Dans une étude visant l'aide à la conception d'une salle de contrôle pour le métro de Lyon, Dessaigne (1989) propose de regrouper les situations traitées par les régulateurs en classes d'événements plutôt qu'en termes d'incidents (qui sont une partie des événements qui surviennent dans la gestion d'une ligne de métro). L'auteur identifie différentes classes d'événements composées de "scénarios d'exploitation". Ces scénarios relatent l'exploitation nominale et incidentelle, ce qui permet d'englober plus complètement l'activité des opérateurs travaillant sur des systèmes dynamiques. Dans ce cas, contrairement à l'exemple de Dos Santos (1985) cité en début de chapitre, les scénarios (différents des procédures) ne relèvent pas du prescrit mais de l'activité réelle. L'auteur indique que ces scénarios sont caractérisés par :

- leur probabilité d'apparition
- la charge de travail de l'opérateur à un moment donné
- la contrainte temporelle pesant sur la résolution

Nous pouvons remarquer que ces scénarios sont construits du point de vue de l'activité, ils intègrent les actions des opérateurs en réponse à des types de situations.

Si les exemples précédents avaient le mérite d'intégrer les situations non dégradées, Filippi (1994) propose une « typologie des incidents » traités par les régulateurs du PCC du RER parisien en se fondant sur une distinction basée sur leur complexité de résolution pour les chefs de régulation. Cet auteur souligne que l'absence de situations perturbées pour les voyageurs peut être le résultat d'une activité intense en amont. Les dimensions utilisées pour différencier les situations sont la connaissance des causes et l'existence d'une trame de solution. Les deux dimensions sont croisées pour donner trois classes de situations :

- type 1 : l'origine de l'incident est identifiée et une trame de résolution est envisagée,
- type 2 : l'origine est identifiée et plusieurs trames de solutions sont envisagées,
- type 3 : l'origine n'est pas identifiée.

L'avantage de cette typologie est qu'elle prend en compte les résolutions possibles envisagées par l'opérateur. L'inconvénient est qu'elle ne distingue pas de niveaux de dégradation entre les

situations et ne prend en compte que les incidents les plus courants, comme le dit l'auteur : *"Nous avons décidé d'observer les situations moyennement perturbées, c'est-à-dire celles composées des incidents les plus courants qui ont lieu presque quotidiennement aux heures de pointe (freins de secours, retard de trains..."*, ceci pour des raisons de facilité de recueil des données. Filippi (*ibid.*) souligne la nécessité d'approfondir cette typologie afin de l'utiliser pour construire des aides à la résolution d'incidents comportant plusieurs entrées possibles.

Lecot (1994) étudie également le métro parisien et propose une typologie des situations pour les régulateurs, basée sur la répartition des activités de traitement d'incidents pour aider la rédaction des rapports journaliers d'incidents. Elle distingue des incidents dits "classiques" et des incidents dits "complexes" qui ont une influence différente sur la répartition des activités lors du traitement et sur la façon de rédiger le rapport post-incident. Dans cette étude, les situations sont différenciées du point de vue de leurs conséquences sur l'activité et de leur fréquence de survenue. Le critère de complexité est évoqué, il est défini *comme "variant en fonction de la perturbation et des mesures à appliquer"*. La gravité d'un incident est définie par rapport au déroulement de la gestion de l'incident, en particulier, il semblerait que ce soit la nature et le nombre d'informations disponibles qui seraient primordiaux pour le chef de régulation. Ce que nous retiendrons de cette étude est une différenciation des situations sur des critères qui ne sont pas équivalents. Certains incidents sont évoqués en termes de causes ou en termes de symptômes. On ne sait pas si la présence de ces deux dénominations est pertinente pour les opérateurs. De même, cette typologie n'inclut pas les situations non perturbées.

Bourdon, Weill-Fassina, (1994) définissent une perturbation comme "un événement survenant par rapport au déroulement habituel du travail". Dans une situation ferroviaire, ces auteurs proposent de classer les situations perturbées selon trois situations types, différenciées par rapport à la plus ou moins grande difficulté de gestion qu'elles impliquent. Trois critères de différenciation sont pris en compte : l'heure qui peut être creuse ou de pointe, la possibilité ou non de dégagement du train immobilisé, le temps court ou long d'arrêt du train. Le croisement de ces trois critères permet de distinguer trois types de situations présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : typologie de situations proposée par Bourdon et Weill-Fassina (1994)

type de situation	heure	dégagement possible	temps d'arrêt
I	creuse	oui	court
II	pointe	oui	court
	pointe	non	long
III	pointe	non	long

Lévy (1996) étudie la régulation du trafic de bus et définit tout d'abord le terme de perturbation du point de vue de l'entreprise. Elle montre que selon l'espace-temps et le point de vue choisi, les représentations des perturbations sont très différentes :

- Pour la maintenance, elles sont caractérisées en terme de taux de pannes,
- Pour le service chargé de la sécurité du réseau, elles sont décrites en termes de consignes à respecter ou de rapports d'événements,
- Pour les gestionnaires, elles sont quantifiées en termes de statistiques sur des "kilomètres perdus", c'est-à-dire non réalisés,
- Pour les ressources humaines, elles sont évaluées en termes de grèves, d'actes délictueux et d'absentéisme.

Cet éclatement des points de vue entraîne des redondances importantes concernant les informations disponibles et une diversité des mesures utilisées qui empêche une comparaison ou une synthèse. L'auteur souligne que le kilomètre perdu c'est-à-dire, non effectué par le véhicule est la seule unité de mesure commune. Cette unité ne prend pas en compte les conséquences sur l'activité des opérateurs. Lévy (*ibid.*) identifie des situations perturbées qui ne sont pas considérées par les régulateurs comme des perturbations mais qui pourraient le devenir si elles ne sont pas traitées le plus tôt possible dès leur détection. C'est le cas des absences de matériel au départ, de retard de conducteurs, d'avaries de rame au dégarage qui empêche les trains de sortir des voies de garage par exemple.

Dans sa thèse ultérieure, Lévy (1999) définit les perturbations en se plaçant du côté des régulateurs. Pour ces derniers, une perturbation est caractérisée par : le nombre de voitures touchées, l'ampleur du retard sur l'ensemble de la ligne, le non-respect de l'horaire théorique dans une certaine proportion et le cumul des perturbations. Le point de référence est constitué des horaires théoriques : "*plus le retour à l'horaire théorique est complexe, plus la situation est perturbée*". Dans ce cas, la prise en compte du respect des horaires théoriques, des conditions de travail, de perte minimale de kilomètres, de desserte satisfaisante pour les

voyageurs sont les caractéristiques d'une situation complexe à traiter. A ces facteurs est ajoutée l'ambiance dans les terminus. Ainsi, l'auteur considère comme perturbée "*toute situation donnant lieu à une intervention du régulateur ayant des conséquences même minimales pour les voyageurs*". Elle souligne que l'établissement d'une catégorisation des perturbations suppose de choisir un angle d'observation, en sachant que ce choix reflète une représentation du problème qui oriente l'analyse.

3.5.5 Les stratégies de régulation de trafic

3.5.5.1 L'approche technique

La littérature technique dans le domaine de la gestion de trafic définit en amont de la réalisation du transport proprement dit, une stratégie de régulation des véhicules qui vont assurer la production de l'offre de transport. L'entreprise exploitante d'un réseau de transport public se doit de décider des grands principes qui vont régir l'application du programme d'exploitation. Ce programme d'exploitation précise les choix en termes d'horaires et d'intervalles qui doivent être pratiqués sur chaque ligne du réseau, en fonction des heures et des sens de circulation. Il traduit les exigences de la situation.

Pour définir le programme d'exploitation, il faut évaluer la demande de transport, c'est-à-dire estimer le nombre et les flux de voyageurs potentiels. Pour cela, des campagnes de comptages des voyageurs sont mises en place. Ces données sur la demande permettent de définir une performance que devra atteindre le réseau en terme d'offre de transport. Cette performance attendue est précisément définie dans le programme d'exploitation.

Le programme d'exploitation est donc établi à partir de la demande de transport estimée, en fonction de la capacité de l'infrastructure du réseau (caractéristiques des voies, de la signalisation, la durée d'un tour en ligne, etc.). Il définit la performance à atteindre en termes d'intervalles, d'horaires, de taux de charge maximum des véhicules (exemple : en nombre maximum de voyageurs debout au mètre carré) pour répondre à la demande des voyageurs. Le programme d'exploitation permet aussi de calculer le nombre de véhicules et de conducteurs nécessaires pour assurer la production de l'offre de transport.

Les données du programme d'exploitation permettent ensuite de définir une stratégie globale de régulation valable pour chaque ligne du réseau. La stratégie de régulation correspond au choix, par l'exploitant du réseau de transport, d'appliquer certains principes généraux dans la

production du service de transport pour les voyageurs. D'après SYSTRA⁶ (1998), la stratégie de régulation d'un exploitant correspond aux critères qu'il met en place pour faire circuler ses véhicules sur son réseau. En d'autres termes, ce sont les directives qui cadrent la circulation des véhicules. Certains principes sont définis de manière globale et ne varient pas, quelle que soit l'offre de transport produite. SYSTRA, dans un document à destination des exploitants, recommande d'appliquer trois principes généraux guidant le choix des stratégies de régulation :

- Le respect des horaires ou des intervalles prévus au programme d'exploitation au départ des terminus
- Le respect de l'ordre prévu de départ des véhicules du terminus. En ligne, ceux-ci doivent se conformer aux informations qui leurs sont données automatiquement ou par le régulateur en matière d'horaires ou d'intervalle.
- La surveillance des départs des terminus et de la circulation des véhicules par les opérateurs chargés de la régulation et le déclenchement, s'il y a lieu, des actions correctrices.

D'un point de vue technique, les stratégies sont prédéfinies dès la programmation du transport. La stratégie de régulation est définie en amont de la mise en fonction d'une ligne, elle doit être choisie avant même les outils de régulation, car c'est elle qui doit guider le choix et la conception des outils d'aide à la régulation. La stratégie de régulation correspond plutôt à une définition de la tâche prescrite, l'activité réelle devant s'y conformer.

SYSTRA définit trois stratégies possibles :

- Stratégie privilégiant la régularité : les véhicules quittent les terminus en fonction d'un intervalle prédéterminé et en ligne les conducteurs règlent leur marche selon l'intervalle qui les sépare du véhicule précédent
- Stratégie privilégiant le respect de l'horaire : les véhicules quittent les terminus selon un horaire qui constitue la référence et se conforment, en ligne à l'horaire (éventuellement modifié)

⁶ entreprise d'ingénierie ferroviaire filiale commune de la RATP et de la SNCF qui exporte le savoir-faire technique de ces deux entreprises en matière de construction et d'exploitation des réseaux de transport public, en France et dans le monde.

- Stratégie mixte : les véhicules doivent se conformer à l'horaire sur une partie du trajet et aux intervalles sur une autre.

La mise en œuvre de ces stratégies peut varier en fonction des moments de la journée (privilégier l'intervalle aux heures de pointe par exemple et le respect de l'horaire en heures creuses), ou de la configuration de la ligne (privilégier le respect de l'intervalle sur un tronçon commun à deux lignes).

Cette définition d'une stratégie se situe du côté de la tâche. Nous nous intéressons à l'activité des opérateurs, c'est-à-dire à la façon dont ils réalisent la tâche de régulation. C'est pourquoi nous allons par la suite examiner les définitions des stratégies proposées par la littérature psychologique et ergonomique.

3.5.5.2 *L'approche psycho-ergonomique*

Dans les situations où la dimension spatio-temporelle est très prégnante telle que la régulation de trafic, les caractéristiques du processus pertinentes pour l'action sont à la fois temporelles et spatiales. Mariné, Cellier et Valax (1988) ont étudié une tâche de régulation de bus, seulement partiellement comparable à la situation que nous étudions, puisqu'il s'agit d'un mode de transport différent et d'une expérimentation par simulation. Ces auteurs ont mis en évidence des différences entre les experts et les non-experts dans la régulation de bus. Les opérateurs expérimentés prennent mieux en compte le caractère dynamique de la situation en particulier sur le plan de l'interdépendance des véhicules entre eux. Il apparaît que les opérateurs expérimentés anticipent plus loin dans le temps et se représentent plus précisément l'état de la situation future (localisation et espacement des bus), ce qui leur permet de tenir compte des évolutions de la situation régulée et de ne pas agir ponctuellement, au coup par coup.

Cellier et Mariné (1988), ont également mis en évidence que les opérateurs expérimentés travaillent plus avec des détections autonomes de perturbations qu'à partir des alarmes alors que les opérateurs débutants utilisent plus les alarmes pour détecter les perturbations.

La situation que nous étudions comporte une particularité par rapports aux situations de régulation de trafic habituellement étudiées dans la littérature. Celle-ci tient au fait que contrairement aux situations de régulation de nombreux réseaux de surface comme le bus ou le tramway, il n'y a pas de Système d'Aide à l'Exploitation, donc pas d'alarme qui puisse aider l'opérateur à détecter une situation perturbée. La seule alarme dont disposent les régulateurs en terminus est "l'alarme départ", qui signale qu'une rame n'est pas partie alors que le signal

de départ a sonné. Nous reviendrons sur les prises d'informations et sur le rôle de cette alarme que nous décrivons en tant que moyen utilisé pour évaluer la ponctualité d'une rame au quai de départ.

Eyrolle, Mariné et Mailles (1996) analysent une situation de régulation de trafic aérien en utilisant la simulation. Ils identifient trois stratégies développées pour prendre en compte le dynamisme de la situation sur le plan temporel :

- stratégie de contournement : pour pallier les retards d'informations sur l'état du processus ou sur les résultats d'actions menées. Elle consiste à contourner les difficultés engendrées par ces délais. Les opérateurs réalisent des actions de contrôle pour obtenir des informations intermédiaires, des prises d'informations précoces.
- stratégie de compression : elle consiste à réduire les délais du processus en anticipant ou en déléguant certaines actions. Elle peut se traduire par la mise en œuvre d'ordres anticipés, l'initiation précoce de l'action.
- stratégie de compensation des délais : l'objectif est de compenser des retards éventuels dus à des phénomènes perturbateurs non prévisibles ou à des erreurs d'estimation des durées. Une telle stratégie peut être anticipatrice lorsque des marges temporelles ont été préservées au moment de la planification. Cette stratégie peut être rétroactive, une fois le retard intervenu, l'opérateur pour le récupérer réduit la durée de certains événements ultérieurs.

Ces deux études portent sur des situations qui ne sont que partiellement comparables avec le réseau qui nous étudions. En effet il s'agit :

- D'un mode de transport différent, le bus n'est pas un mode guidé (circulation sur des rails), le métro en est un et à ce titre, le métro est plus proche du tramway.
- D'un environnement plus ou moins ouvert car le bus circule en milieu urbain et le métro circule en site protégé.
- D'une densité de circulation différente car les réseaux étudiés par les auteurs précédents sont en province et nous étudions le réseau parisien.
- De modes d'exploitation différents puisque les réseaux étudiés sont exploités plutôt en termes de respect d'horaires (hors centre ville) et nous étudions un réseau exploité plutôt en termes de respect d'intervalles (pas de notion de centre ville/périphérie).

Bourdon et Mageau (1991) analysent également une situation de régulation de trafic ferroviaire, mais sur le réseau SNCF. Ces auteurs s'intéressent aux outils de prise d'informations utilisés par les opérateurs en salle de contrôle de trafic ferroviaire. Ils montrent que des systèmes d'informations adaptés aux situations de routine peuvent devenir potentiellement dangereux dans des situations inattendues. Ils distinguent l'activité en situation de routine et celle en situation inattendue. Cette approche est centrée sur la prise d'informations, elle montre que le système technique ne donne à l'opérateur qu'une partie de l'information concernant la localisation des trains. D'après les entretiens menés auprès des opérateurs, le contrôleur ne "voit" pas toute l'information concernant la localisation géographique des trains sur le tableau de contrôle optique, mais il l'obtient parce qu'il a l'habitude de la reconstruire. Il utilise son stylo pour suivre la ligne qui symbolise le trafic. Une partie de l'aire géographique contrôlée n'est pas disponible sur le tableau de contrôle, dans la situation observée. En particulier, il est arrivé que 10 minutes soient nécessaires pour localiser un train et alerter les secours.

Les résultats montrent également une insuffisance dans les informations données pour réaliser une anticipation acceptable dans le contrôle du trafic, par exemple, on ne peut différencier un train en gare qui roule d'un train à l'arrêt. Dans les situations inattendues, l'information disponible ne permet pas une compréhension claire de la situation, à partir des outils de prise d'informations. La collecte d'informations prend beaucoup de temps, car l'opérateur doit interrompre la tâche en cours pour réceptionner des informations venant de l'extérieur et de l'intérieur du poste de contrôle. Cette perte de temps est renforcée par le fait que certaines sources d'information ne fonctionnent pas selon le moment où survient l'incident.

Plus proche de nous, Filippi (1994) étudie le réseau de RER parisien. Cette situation est plus proche de celle que nous étudions car il s'agit de transport ferroviaire. Mais en raison de leur longueur, chaque ligne de RER est régulée par plusieurs opérateurs qui régulent chacun une portion de ligne entre des gares précises. Ces régulateurs sont assistés d'aiguilleurs chargés de tracer les itinéraires. Les régulateurs se passent ainsi le relais lorsque les rames sortent de leur territoire. Les événements rencontrés sont le plus souvent de type stationnement de trains non prévus, pour des raisons variées. Cette situation est proche de celle du métro puisqu'il s'agit d'un mode ferroviaire. Mais les lignes sont plus longues et les régulateurs, privilégient le respect de la ponctualité en banlieue et celui de la régularité dans Paris intra-muros.

Les situations rencontrées par les opérateurs et analysées par Filippi sont de type "stationnement imprévu d'un train pour une avarie ou un frein de secours". Les situations

rencontrées sont très proches de celles traitées sur le métro et l'auteur a choisi d'analyser des situations perturbées survenant fréquemment sur le réseau.

L'auteur identifie des stratégies de traitement de situations perturbées en s'appuyant sur deux critères : le degré de connaissance de la cause de la perturbation et l'existence d'une ou plusieurs trames de résolution.

La première stratégie identifiée par Filippi (1994) s'applique dans les situations où l'origine de l'incident est identifiée clairement et où il subsiste une incertitude quant à l'applicabilité de la solution envisagée. L'opérateur prévoit des solutions de rechange, jusqu'à ce qu'il puisse décider quelle solution sera la plus efficace. La mise en oeuvre d'une première solution est doublée de la mise en place d'une deuxième, jusqu'à ce qu'il s'avère que la première pourra être menée à bien. Alors la solution de rechange pourra être abandonnée. Il faut donc, prévoir et transmettre les deux possibilités d'action, tout en veillant à ne pas dépasser le seuil à partir duquel la mise en place d'une solution devient irréversible. Le régulateur doit envisager les conséquences de toutes les solutions et privilégier celle qui sera la moins pénalisante et la plus efficace.

La deuxième stratégie est appliquée lorsque l'origine de la perturbation n'est pas identifiée. Les difficultés pour le chef de régulation consistent à diagnostiquer et évaluer l'incident. Il faut agir sur le terrain le plus vite possible pour éviter que les conséquences ne s'étendent. Il y a rarement de début précis dans ce type de situation, car même si le chef de régulation peut détecter une anomalie, sans stationnement de train, il peut ne pas envisager l'étendue qu'elle prendra. L'opérateur peut construire des hypothèses parallèles pour expliquer ce qui se passe lorsque la situation se dégrade.

Concernant le métro parisien, Janet (1980) indique que les régulateurs situés au Poste Central de Commande communiquent peu, voire pas du tout, au cours du traitement des situations perturbées avec leurs collègues régulateurs en terminus.

3.6 Conditions d'analyse de l'activité

3.6.1 Pour la gestion d'environnements dynamiques

Les auteurs qui ont travaillé dans le domaine de la gestion d'environnements dynamiques ont utilisé plusieurs paradigmes pour analyser ce type de tâche. Hoc et Samurçay (1990), Samurçay (1992), soulignent la nécessité d'une méthodologie particulière pour l'analyse des

situations de gestion d'environnements dynamiques, car c'est une activité impliquant surtout des raisonnements.

Van Daele et Carpinelli (1996) comparent deux méthodologies d'analyse : une simulation de soins intensifs et une situation réelle de contrôle de coulée continue en sidérurgie. Ils montrent que la situation de simulation est plutôt propice à l'étude de l'anticipation de l'action et celle de la situation réelle à l'anticipation de l'évolution propre du processus. Les résultats issus de la situation réelle mettent en évidence que cette dernière est plus dynamique que la situation simulée et les exigences d'anticipation de l'évolution propre du processus y sont plus élevées. Nous retiendrons donc l'intérêt d'une analyse de l'activité menée en situation réelle.

3.6.2 Pour la régulation de trafic

Dans une situation de régulation de trafic de bus, Mariné, Cellier et Valax (1988) étudient l'activité d'opérateurs professionnels, en utilisant la simulation statique, sur la base de protocoles verbaux. La tâche de régulation peut être organisée différemment selon le réseau étudié. Elle peut être répartie entre plusieurs opérateurs, c'est le cas pour la régulation ferroviaire des grandes lignes et le RER. Elle peut être assurée par un seul opérateur pour toute une ligne, c'est le cas sur le bus et le tramway. Filippi (1994) étudie la régulation du RER et analyse deux activités de régulation en situation réelle, où les opérateurs sont situés en un même lieu. Elle préconise l'analyse d'une situation où les acteurs de la régulation sont situés en des lieux différents. C'est pourquoi nous avons choisi d'analyser les stratégies de régulation en fonction du positionnement de l'opérateur dans le dispositif de régulation.

Mailles (1996) étudie l'activité de régulation de trafic de bus en utilisant une simulation dynamique, avec des sujets non professionnels. Elle réalise une simulation qui lui permet d'avoir une représentation claire de la performance attendue et de calculer des indicateurs en termes de bonnes et de mauvaises performances.

4 SYNTHÈSE

Dans ce chapitre, nous avons caractérisé les situations et les activités cognitives et stratégies mises en œuvre concernant la gestion d'environnements dynamiques, en spécifiant les particularités de la régulation de trafic.

L'examen de la littérature francophone nous permet de retenir les caractéristiques des situations de gestion d'environnements dynamiques que l'on retrouve dans la régulation de trafic, à savoir :

- une grande complexité et un dynamisme particulier puisque l'environnement échappe en partie au contrôle de l'opérateur (Hoc, 1989),
- la prégnance de la dimension temporelle et le rythme particulier du processus (Cellier, 1991),
- le caractère non directement accessible de la majorité des variables des situations traitées (Cellier, 1991),
- les conséquences de ces caractéristiques sur les stratégies des opérateurs, en termes d'anticipation (Pastré, 1999a).

Les éléments pertinents pour caractériser les situations du point de vue des opérateurs sont liés au contexte, au niveau de dégradation de la situation, aux caractéristiques de l'état du système, etc. En particulier, il s'agit des dimensions spatiales, temporelles et spatio-temporelles caractéristiques des situations de régulation de trafic (Cellier, 1996). Les opérateurs prennent également en compte les critères de marge de manœuvre, de possibilité d'action et les ressources disponibles, dans les situations nominales, perturbées ou dégradées. Nous soulignerons la nécessité de différencier pour l'analyse les événements qui ont un impact sur les voyageurs et ceux qui n'en ont pas.

Nous retiendrons de la notion de "situation perturbée" qu'il s'agit de situations au cours desquelles certains paramètres du processus régulé subissent des dérives plus ou moins grandes et que les opérateurs doivent ramener à des valeurs normales (Hoc, 1996). Dans la régulation de trafic, une perturbation peut être définie comme un événement qui survient par rapport au déroulement du travail qui peut être dû à des causes internes au système géré ou à son environnement et qui a ou risque d'avoir des conséquences pour les voyageurs (Bourdon et Weill-Fassina, 1994). Le déroulement habituel est constitué par la gestion de situations inhabituelles et d'incidents. Deux dimensions caractérisent les situations de régulation de trafic : la régularité et la ponctualité (Mariné et Cellier, 1988 ; Froloff *et al.*, 1989). Ce sont ces deux dimensions qui sont dégradées alternativement ou simultanément cas de perturbation. L'activité consiste donc à prendre de l'information et à agir sur ces deux dimensions pour mettre en place des mesures, supprimer la cause de l'événement lorsque c'est possible et revenir à la situation nominale.

En ce qui concerne les stratégies de régulation, les auteurs étudiés soulignent la nécessité de s'intéresser à :

- La capacité de raisonner en termes d'évolution (Hoc, 1991),
- La gestion simultanée de plusieurs événements (Decortis et Cacciabue, 1991),
- La mise en place une stratégie au caractère anticipatif ou réactif (Amalberti, 1996 ; Mariné et al., 1988 ; Grosjean, 1995 ; Samurçay et Pastré, 1995).
- La capacité de surmonter les difficultés d'anticipation de l'évolution du processus (Hoc, 1989b).

L'évaluation de la performance des stratégies devra donc s'appuyer sur des indicateurs permettant d'objectiver ces éléments.

Nous nous posons trois questions de recherche à partir de cette revue de la littérature :

- Les caractéristiques des stratégies de régulation sont-elles identiques quelles que soient les tâches de régulation ?
- Sont-elles dépendantes des situations ?
- Comment les dimensions de régularité et de ponctualité sont-elles prises en compte dans les stratégies de régulation ?

Pour répondre à ces questions, nous nous intéressons :

- au choix par l'opérateur entre plusieurs possibilités, suite au diagnostic,
- aux différents niveaux d'anticipation,
- à la transformation de la situation, à savoir la performance des stratégies pour traiter les situations.

Nous étudierons l'activité d'opérateurs professionnels en situation réelle et nous analysons deux tâches de régulation. Nous reprendrons, lorsque ce sera possible, une partie des observables utilisés par les auteurs qui ont précédemment travaillé sur ce domaine pour faciliter les comparaisons. Nous cherchons à isoler les stratégies des sujets en mettant en évidence les caractéristiques qui permettent de différencier le traitement des situations. C'est pourquoi nous nous intéresserons à l'ordre, la séquence, la structuration et au déroulement temporel de l'activité.

Les recherches menées dans le domaine de la gestion d'environnements dynamiques se sont développées autour de questionnements sur les systèmes de contrôle/commande traduisant la relation indirecte entre l'opérateur et l'objet de son activité. Nous nous intéressons aux systèmes d'instruments et aux stratégies dans l'activité de régulation par rapport aux situations rencontrées, en fonction de la position des opérateurs dans le dispositif de régulation d'une ligne de métro.

Avant de présenter la situation étudiée, nous allons développer les notions que nous avons retenues pour compléter notre cadre d'analyse par les éléments de l'approche instrumentale.

CHAPITRE 2

CADRE D'ANALYSE DE LA DIMENSION INSTRUMENTALE DE L'ACTIVITE

Le chapitre précédent nous a permis d'identifier les différentes dimensions à analyser pour examiner les stratégies des opérateurs gérant une situation dynamique. Nous avons pu noter cependant, que si les auteurs notaient l'importance de la dimension médiatisation dans ce type d'activité, peu d'entre eux placent les "outils" et leurs usages au centre de l'analyse de l'activité, en tant que moyen associé à l'action de l'opérateur, médiateur entre lui et l'objet de son activité (Rabardel, 1995). Un certain nombre d'études soulignent la nécessité de développer des recherches du côté des outils en usage dans le champ de la gestion d'environnements dynamiques. Dans cette optique, quelles autres dimensions prendre en compte pour une analyse ?

Dans ce chapitre, nous examinerons le cadre d'analyse retenu pour guider notre analyse de l'activité qui nous a permis de compléter notre approche par l'intégration de la dimension instrumentale de l'activité, des organisateurs de l'activité, des concepts pragmatiques, des schèmes et des instruments.

1 LES ORGANISATEURS DE L'ACTIVITE

Les organisateurs de l'activité sont des unités de fonctionnement responsables du guidage de l'activité (Vergnaud, 1985). L'intérêt des organisateurs de l'activité est qu'ils peuvent être soit élaborés par les opérateurs eux-mêmes soit partagés par une communauté professionnelle. Ils peuvent être de nature différente, telles que les procédures, les règles d'action et les stratégies.

1.1 Les procédures

Dans la gestion d'environnements dynamiques, la transformation des états du système régulé par l'opérateur exige des opérations, dont certaines sont imposées par le système technique ou l'organisation (Leplat, 1985a). Dans le contrôle de processus, différentes variables interviennent et sont liées entre elles et il est possible d'agir sur certains points d'intervention. Pour atteindre le but, le dispositif doit être utilisé comme le définit la procédure, qui indique en fonction des contraintes, les opérations à mettre en œuvre. Dans certains contrôles de processus, les procédures indiquent les opérations à effectuer pour traiter un incident, par exemple. Ces procédures doivent permettre d'engendrer toutes les exécutions particulières. L'opérateur se réfère au "possible", dont il doit être capable d'évoquer toutes les conditions.

1.2 Les règles d'action

Selon Rasmussen (1991), les règles d'action sont utilisées par les opérateurs expérimentés en tant que raccourcis fondés sur l'expérience et le savoir-faire. L'opérateur doit identifier si la règle est applicable dans la situation considérée, sinon il réoriente son action en fonction des données du contexte. Les règles d'action correspondent aux caractéristiques de la situation c'est-à-dire des conditions, permettant la mise en oeuvre d'actions, en réponse à cette situation. Elles sont généralement de forme conditionnelle -si....alors... - où "si" est suivi des conditions à réunir, "alors" des actions à mettre en oeuvre. Les règles d'action sont instanciées, elles permettent de décrire l'action et de la mettre en oeuvre dans un contexte spécifique. Elles comportent des références aux caractéristiques permettant de différencier les situations. Elles sont liées aux classes de situation.

D'après Samurçay et Pastré (1995), c'est le diagnostic sur la situation qui permet de choisir les règles d'action à appliquer et leur domaine de validité. Dans les situations de contrôle de processus, il faut savoir identifier le problème posé pour choisir dans le répertoire des règles d'action. Les règles d'action font partie des contenus représentatifs (Minguy, 1995). Ceux-ci ont trait à l'environnement pertinent à prendre en compte pour conduire le processus.

1.3 Les stratégies

Les stratégies sont constituées d'un ensemble de règles tactiques (elles-mêmes composées de différentes heuristiques), qui est utilisé pour contrôler la transformation de données (Rasmussen, 1991). Le comportement au travail des individus dépendant des exigences de l'environnement de travail tel qu'il est perçu par l'individu, c'est la façon de réaliser ce travail qui est sur l'initiative de l'opérateur. L'environnement délimite le champ des possibilités c'est-à-dire des stratégies de travail acceptables. Les stratégies interviennent dans l'activité des opérateurs en termes de types de séquences de comportement, dont certains aspects présentent des similitudes.

Dans le travail réel, lié à une situation particulière, la mise en oeuvre d'une stratégie se traduit par l'apparition d'un événement particulier. Le choix d'une stratégie dépend de critères de performance, propres à chaque individu, liés au processus de travail (temps nécessaire, effort, coût...). Il dépend aussi des exigences du travail (choisir la solution la plus économique ou la plus sûre) et de critères subjectifs. La liberté de choisir une stratégie de travail est très importante comme moyen de résoudre des conflits entre les ressources propres de l'opérateur

et les exigences du travail. Pastré (1994), souligne que l'acte "d'adopter une stratégie" n'est pas toujours réalisé à la suite d'une décision volontaire de la part du sujet. Le plus souvent, les opérateurs ont un comportement et le chercheur qui les observe va construire des représentations du travail observé qu'il qualifie de "stratégie" ; ce qui permet de rendre leur comportement plus intelligible.

Un des éléments importants de la stratégie est l'anticipation. Elle se caractérise par une représentation de la situation, des différentes actions possibles et des transformations de la situation qui en résultent. Elle peut également se caractériser par une adaptation aux contingences de la situation, en fonction du rappel de ce qui c'est déjà passé antérieurement, dans des circonstances analogues. C'est une prise de décision heuristique, basée sur des règles Rasmussen (1991). Les opérateurs recherchent alors l'information nécessaire à la résolution du problème.

2 LES CONCEPTS PRAGMATIQUES

2.1 Une relation de filiation avec la notion d'invariant opératoire

Vergnaud (1985) postule qu'il existe des objets conceptuels en actes constitués d'invariants opératoires permettant de prélever sur la situation l'information juste pertinente pour agir. Cet auteur définit les invariants opératoires comme des objets, propriétés, relations et processus sélectionnés dans le réel. Ils guident la prise d'informations sur la situation et la reconnaissance des éléments importants à traiter. C'est à partir d'eux que la représentation peut réaliser sa fonction de "conceptualisation du réel en vue de l'action efficace".

Vergnaud (1991) identifie deux catégories d'invariants opératoires :

- **les concepts en actes** dont la fonction est la sélection d'informations pertinentes et leur insertion dans une représentation calculable,
- **les théorèmes en actes** (propositions tenues pour vraies) dont la fonction est de permettre effectivement le calcul, c'est à dire les inférences.

Samurçay et Pastré (1995) postulent l'existence d'invariants relatifs à l'organisation de l'activité associés à des classes de situations. Ils les caractérisent comme des invariants relatifs à un domaine d'activité, construits par des activités de conceptualisation et de représentation, se développant avec l'expérience. Les concepts pragmatiques permettent aux opérateurs de

comprendre et de traiter les situations qu'ils rencontrent. Ils s'appuient sur des variables essentielles du système contrôlé qui permettent de poser un diagnostic sur la situation et de choisir l'action appropriée.

Pour Samurçay et Pastré (1998), un invariant opératoire est plutôt d'origine conceptuelle et comporte des dimensions pertinentes pour l'action exprimées par des indicateurs. Ces indicateurs représentent les dimensions importantes de la situation et structurent l'activité. Le concept pragmatique est relié à la représentation fonctionnelle Leplat (1985), qui représente la situation de travail appréhendée par l'opérateur de façon schématique et déformée, comme l'a caractérisé Ochanine (1978, 1981) avec la notion "d'image opérative". Le concept pragmatique contribue à la structuration de la représentation fonctionnelle en mettant en évidence les relations essentielles entre les variables de la situation.

Pour Vergnaud (1991) les concepts en actes ne sont pas transmis avec le langage comme support. Pastré (1999b) caractérise le concept pragmatique par sa capacité d'être explicité par la parole et par le geste. Les concepts pragmatiques peuvent être exprimés par les opérateurs. Ils peuvent être enseignés, montrés aux opérateurs débutants par les opérateurs plus expérimentés.

2.2 Un statut d'invariant conceptuel

Pastré (1994) indique que la conceptualisation de l'action permet d'arriver à la maîtrise d'une situation par le biais de la construction d'invariants opératoires qui assurent l'efficacité de l'action.

Les concepts pragmatiques s'appuient sur une dimension du processus, une variable fonctionnelle de base par exemple, dont l'évaluation permet de porter un jugement sur le fonctionnement du processus lui-même (Pastré 1999c). Les concepts pragmatiques sont des invariants conceptuels pertinents pour traiter des classes de situations. Ils ont des propriétés qui les distinguent des concepts scientifiques, car ils sont partagés et transmis en situation de travail et ont une validité locale fortement liée aux buts de l'action (Pastré, *op. cit.*). Il s'agit de connaissances sur la situation qui permettent à l'opérateur de la comprendre et de prendre les bonnes mesures pour la traiter. Ce savoir est très contextualisé. Les psychologues ou les ergonomes les définissent avec les experts.

Les concepts pragmatiques sont constitués :

- d'un signifiant concret, c'est-à-dire d'indicateurs reposant sur des variables observables susceptibles de prendre différentes valeurs,
- d'un signifié abstrait, c'est la dimension conceptuelle du concept pragmatique, qui permet la mise en relation des variables observées.

Le concept pragmatique a un double statut de variable fonctionnelle (Pastré, 1999a) à visée:

- épistémique car il s'inscrit dans un contexte et prend son sens par différence avec les autres concepts.
- pragmatique car il se réfère à la situation et s'inscrit dans une situation de référence.

L'analyse de la conduite des opérateurs est guidée par le postulat que les stratégies mobilisées sont en rapport avec les définitions conceptuelles implicites des opérateurs (les concepts). Si l'on appelle stratégie quelque chose qui découle de l'action et qui est singulière, on peut faire l'hypothèse qu'il est possible d'établir une relation entre ces patterns d'activité et les définitions implicites des concepts. Ce qui permet à Pastré (*ibid.*), de mettre en relation un niveau d'efficience avec un niveau conceptuel. En ce sens, l'auteur indique que le concept pragmatique permet de faire un lien conceptuel entre connaissance et action.

3 LES SCHEMES

3.1 Caractéristiques structurelles

Le concept de schème est issu de la théorie piagétienne. Vergnaud (1985) définit les schèmes comme une "totalité dynamique organisée" comportant quatre catégories d'éléments :

- **des invariants opératoires** : ce sont des objets, propriétés, relations et processus issus du réel. Ils guident la prise d'informations sur la situation et la reconnaissance des éléments importants à traiter. C'est à partir d'eux que la représentation peut réaliser sa fonction de "conceptualisation du réel en vue de l'action efficace".
- **des règles d'action** : elles sont de type "si...alors" et permettent de guider et d'engendrer l'action. C'est un niveau relativement proche de l'action observable. L'action ayant elle-même pour objectif de transformer le réel ou de l'interroger. Il y a donc un va-et-vient entre réel et représentation, ce qui permet l'évolution adaptative de la représentation.
- **des inférences** ou calculs : ce sont des raisonnements.

- **des prédictions** ou attentes : objectifs, buts à atteindre, étapes intermédiaires.

Le schème est un organisateur de l'activité (Vergnaud, 1999), pour une classe de situations donnée, au sens où il constitue un outil d'aide à la prise d'informations, au diagnostic et à la prise de décision. Cet auteur souligne que si le schème sous-tend une "organisation invariante de l'activité pour une classe de situation donnée" et c'est bien l'organisation de la conduite et non la conduite elle-même qui est invariante. L'instanciation d'un schème dépend de son adéquation à l'objectif de transformation d'une situation. Le schème s'actualise sous la forme d'une procédure adaptée aux particularités de la situation (Rabardel, 1995).

3.2 Caractéristiques fonctionnelles

Pour Vergnaud (1985), l'unité spécifique des échanges entre le milieu et le sujet se formalise sous le concept de schème qui lui permet d'effectuer des calculs de générer des suites d'actions, d'anticiper et de donner du sens à la situation. Le développement et l'utilisation de schèmes est une des activités représentatives. Pastré (1994) postule que le schème est à l'action ce que le concept est à la cognition : l'unité élémentaire de sens qui permet de rendre compte de l'organisation de l'activité. Le schème peut donc être considéré comme une unité de fonctionnement responsable du guidage de l'action comportant un aspect pratique et finalisé qui permet de générer des procédures adéquates (Galinier, 1996).

Les schèmes sont définis selon leurs caractéristiques fonctionnelles et par rapport à leurs notions parentes de schéma, script, frame. Pour Samurçay (1987), la notion de schéma, et ses variantes de cadre et de plan sont définies comme un ensemble organisé de connaissances qui représentent sous forme générique des concepts, des procédures, des événements ou des séquences d'événements. Au moment de leur utilisation les variables du schéma sont particularisées en fonction du contexte évoqué par la situation. Ils constituent des cadres de référence pour interpréter des données nouvelles, ce sont des connaissances génériques particularisées en fonction des caractéristiques d'une situation. Cette notion de schéma n'est pas nouvelle en psychologie et correspond à une formalisation en termes de traitement de l'information des structures assimilatrices du système cognitif. Elle a été développée particulièrement dans le domaine de la compréhension et la mémorisation de texte narratifs. La notion de schéma à laquelle Hoc (1988) fait référence évoque les structures schématiques et assimilatrices construites par généralisation au cours de l'expérience passée. Ces structures statiques (propriétés ou relations entre des objets) sont liées à des unités procédurales

(procédures, stratégies) et font partie des organisateurs de l'activité. Dans la terminologie psychologique de l'approche "traitement de l'information", l'accent est mis tantôt sur les aspects procéduraux de ces structures (les schèmes d'action de Piaget), tantôt sur les aspects déclaratifs (les schémas de Bartlett en 1932).

Samurçay (1987) souligne que les notions de plans (au sens de Hoc) et de schèmes (au sens de Piaget) ont un point commun et une différence :

- Le schème traduit des anticipations nécessaires au développement de l'activité et il existe une certaine relation entre la schématisation des plans et la construction d'invariants opératoires (schèmes) puisque ces deux notions renvoient à l'extraction, par le sujet, des propriétés et des relations communes aux objets, événements, relations et aux situations,
- Les plans sont des représentations statiques alors que les schèmes sont dynamiques et de nature procédurale.

3.3 Comment identifier les schèmes ?

Du point de vue méthodologique, dans la théorie piagétienne ou celle des schémas, ni les invariants opératoires, ni les schèmes ni la schématisation des plans ne sont observables. Ils sont inférés à partir des conduites observées. Afin de distinguer les schèmes dans l'analyse des situations réelles, on se réfère non à une propriété du schème mais au statut de ce schème dans l'activité finalisée du sujet (Rabardel, 1995).

Leplat (1995) cite le cas des schèmes d'usages de Rabardel qui, lorsqu'ils sont utilisés de manière répétée, prennent le statut de compétences incorporées. D'autres types de schèmes peuvent prendre ce statut. Leplat (*op. cit.*) note que les compétences incorporées, comme les schèmes sont difficilement verbalisables et très liées au contexte. Ce type de compétence s'exprime bien dans l'action mais peu ou pas du tout dans le discours.

Isoler les schèmes des sujets, en fonction de leur expérience nécessite l'identification d'organisations invariantes de la conduite, "valables pour une classe donnée de situations..." (Pastré, 1994). Galinier (1996), indique qu'une séquence d'actions est guidée par un schème particulier qu'il est possible d'inférer à partir d'une séquence d'action. C'est pourquoi nous nous intéressons à l'ordonnement des prises d'informations pendant le traitement de chaque situation. Nous analyserons donc la structure des actions et des prises d'informations, leur ordre d'intervention et leur répétition au cours du traitement de chaque situation perturbée.

Nous en retiendrons sur le plan méthodologique, que les schèmes :

- peuvent être inférés à partir de l'activité observée,
- sont éventuellement difficilement verbalisables,
- leur mise en évidence passe par la recherche d'organisations invariantes de l'activité.

L'analyse suppose donc de s'intéresser à la mise en évidence de :

- régularités de séquences d'activité,
- l'existence d'un choix entre plusieurs possibilités,
- différents niveaux d'anticipation,
- la transformation de la situation, à savoir les effets de l'activité sur la situation,
- l'opérationnalité, c'est-à-dire la performance de l'activité.

4 LES INSTRUMENTS ET LA THEORIE INSTRUMENTALE

La théorie instrumentale que nous développerons dans les paragraphes suivants fait également appel à la notion de schèmes d'utilisation (Rabardel, 1995) définis comme des invariants organisateurs de l'activité en relation avec les artefacts.

Les instruments sont définis comme non donnés dans une situation, mais construits à partir de **schèmes d'utilisation** de l'opérateur et d'**artefacts** (Rabardel, *ibid.*). Nous développons cette approche car elle nous permet de comprendre comment les opérateurs utilisent et intègrent leurs outils de travail et comment les instruments élaborés par les opérateurs sont particularisés en fonction des situations dans lesquelles ils sont utilisés.

4.1 Les outils : prothèses ou instruments ?

Les objets et les systèmes techniques sont omniprésents dans notre vie et dans nos activités. Deux approches contrastées du rôle de ces outils peuvent être schématisées (Rabardel, 1995) :

- Dans une approche technocentrée des objets techniques, l'Homme occupe une position "résiduelle", où son activité est pensée en fonction du processus technique.
- Dans une approche plus anthropocentrique l'Homme est replacé dans une position centrale depuis laquelle on envisage alors le rapport aux systèmes techniques.

Les deux points de vue, technocentré et anthropocentré, doivent être articulés, mais nous aborderons dans cette recherche une approche plutôt anthropocentrique, puisqu'elle se situe dans un **courant ergonomique centré sur l'activité de l'homme au travail**. En effet, la position de l'homme est ici envisagée comme celle d'utilisateur d'outils pour réaliser une tâche, outils qui doivent être appropriés par les opérateurs et qui constituent les moyens de leur action.

A partir de là, il existe deux alternatives (Hollnagel, Mancini, Woods ; 1988 ; Reason, 1988 ; Norman, 1993) :

- Premièrement, il s'agit de considérer les outils comme “ **prothèses** ”, dont le rôle est de compenser les déficiences du raisonnement humain ou de la résolution de problèmes susceptibles de provoquer des “ erreurs humaines ”. Dans l'approche "prothèse" (Jeffroi et Sagar, 1991), le système expert est censé remplacer certaines fonctions cognitives de l'opérateur. Les opérateurs sont alors "*hors de la boucle de décision*" qui est conduite par le système. L'interface consiste à gérer l'entrée et la sortie de données traitées par le système.
- Deuxièmement, l'outil peut être considéré comme un “ **instrument** ” utilisé par un opérateur réellement compétent pour réaliser la tâche mais dont les ressources sont limitées. L'instrument permet à l'opérateur d'avoir de nouvelles ressources de compréhension et/ou d'action sur la situation. L'introduction d'outils informatisés modifie radicalement l'environnement et les exigences cognitives pesant sur l'opérateur (Woods, 1988). Par exemple dans le contrôle de processus, l'implantation d'automatismes place l'opérateur dans une position de superviseur. Cette modification des possibilités de l'utilisateur modifie alors la façon dont l'homme réalise la tâche, mais également la tâche elle-même et la performance (Norman, 1993). L'auteur souligne à ce propos que l'interaction entre les individus et la tâche influence l'artefact et son usage ; que la perception de l'artefact et son usage varient en fonction de la nature de la tâche, du niveau d'expertise et d'habileté de la personne. Ceci justifie l'intérêt d'une meilleure compréhension du rôle de l'artefact. Norman (*op. cit.*) soutient que l'artefact cognitif s'il améliore la performance, **modifie la tâche à accomplir** car l'opérateur doit apprendre de nouvelles choses, mettre de côté des procédures et des connaissances qui peuvent ne plus être nécessaires lorsqu'il dispose de l'artefact pour agir.

Dans l'optique de l'outil "instrument", l'approche des activités avec instruments (Rabardel, 1993a) nous semble alors être une voie intéressante d'étude de la relation entre l'opérateur et

les instruments qu'il associe à son action. Rabardel (1993b) dégage les caractéristiques communes des conceptions anthropocentriques sur l'instrument, qui est à la fois :

- **support des relations entre objet et sujet adapté** à ces 2 éléments sur le plan matériel, cognitif et sémiotique, en fonction de l'activité dans laquelle il est intégré.
- **médiateur** entre le sujet (utilisateur de l'instrument) et l'objet (de l'action) de manière épistémique et pragmatique. Dans la médiation épistémique, l'instrument permet au sujet de mieux connaître l'objet de son action (connaissance). Dans la médiation pragmatique, l'instrument en tant que moyen, permet au sujet d'agir sur l'objet (action de transformation, de contrôle ou de surveillance). Au cours de l'activité, ces deux médiations sont en interaction constante.

De Keyser (1988) présente la fonction épistémique des artefacts comme structurant le champ informationnel des opérateurs. Certains instruments découpent, intègrent ou décomposent une réalité complexe. L'auteur identifie les fonctions des **aides au travail** comme filtrant et/ou masquant l'information. C'est le cas des images graphiques sur écran dans les processus continus. Dans ce cas, les aides au travail conseillent les opérateurs dans des fonctions de détection, interprétation, diagnostic, conception, anticipation, planification, surveillance, dépannage, maintenance consultation, en effectuant un traitement partiel des informations utiles à l'action. L'opérateur va accorder plus ou moins sa confiance à cette aide et appuyer son raisonnement sur les informations qu'elle fournit. L'hypothèse qui sous-tend la conception de telles aides pose qu'une abondance d'informations générées par la situation "noierait" l'opérateur.

L'instrument, moyen de l'action, selon la transformation qu'il permet d'appliquer à l'objet peut être qualifié d'instrument :

- matériel (transformation d'un objet matériel, outil à main),
- cognitif (prise de décision cognitive comme dans la gestion d'environnements dynamiques),
- psychologique (gestion de sa propre activité),
- sémiotique (interaction avec autrui ou un objet sémiotique).

L'instrument est opératif dans l'action lorsqu'il prend en charge une partie de la tâche. Il est lié au type de situation dans lequel il s'insère, mais il peut être pertinent pour une classe plus

large de situations et être réutilisé dans des situations futures appartenant aux mêmes classes de situation. C'est en ce sens un moyen de capitaliser l'expérience (Rabardel, 1995).

4.2 Les outils et instruments cognitifs

Parmi ces conceptions de l'instrument, nous avons retenu celle **d'outil cognitif**.

Rogalski et Samurçay (1993) définissent des "outils cognitifs opératifs" comme étant "*des artefacts, objets externes au sujet, construits par un processus d'élaboration à caractère social, intégrant les connaissances de ceux qui l'ont conçu (par exemple, les outils logiciels)*". Ces outils ont une fonction représentative et prennent en charge une partie de l'activité cognitive des opérateurs. Ils sont orientés vers une connaissance "**anticipatrice**" de la réalité. Un outil cognitif permet de prolonger les possibilités de traitement cognitif des opérateurs, il est un intermédiaire entre la tâche à accomplir et l'action à mettre en œuvre.

Rogalski et Samurçay (*ibid.*) ont dégagé les différences et les invariants entre deux outils cognitifs ayant ces propriétés et utilisés dans des situations de gestion d'environnements dynamiques différentes : le contrôle de haut-fourneau et la lutte contre les feux de forêt.

Les résultats montrent que les deux outils permettent la réduction de la complexité de la situation soit par la gestion globale de la situation (feux de forêt : simplification de données actuelles et multiples), soit par une aide locale (haut-fourneau : traitement de données d'un seul type).

Les méthodes d'appropriation de ces deux outils sont différentes :

- l'outil feu de forêt nécessite la prise en compte et la manipulation d'un grand nombre de paramètres sur la situation,
- l'outil haut-fourneau nécessite principalement l'identification de la pertinence de l'utilisation de l'outil dans une situation précise.

Selon Samurçay (1994), les modèles d'environnements dynamiques qu'élaborent les opérateurs par et pour l'action constituent une base pour la conception d'outils cognitifs. Ces modèles sont :

- spécifiques à chaque activité,
- des objets conceptuels qui permettent de comprendre l'état du système et de générer des évolutions possibles ,

- marqués par les propriétés des représentations externes,
- variés et de niveaux d'abstraction différents pour un même système décrit et un même opérateur,
- différents du modèle de l'ingénieur.

Ces modèles élaborés par les opérateurs font partie des conceptualisations de l'activité, au même titre que les modèles prescriptifs.

4.3 Les schèmes d'utilisation

4.3.1 Caractéristiques structurelles

Le schème d'utilisation, concept issu des recherches de Piaget, est lié à l'utilisation d'un artefact (Rabardel, 1995).

Les schèmes d'utilisation sont des **invariants organisateurs de l'action** (Béguin, 1994) qui permettent la compréhension des situations (dimension épistémique), leurs transformations et l'obtention de résultats (dimension pragmatique), l'orientation et le contrôle de l'activité (dimension heuristique). Les schèmes d'utilisation constituent les entités psychologiques organisatrices des actes instrumentaux définis par Vygotski. Ils sont relatifs aux objets de l'activité. Ils concernent deux dimensions de l'activité :

- l'une est reliée à la gestion des caractéristiques et des propriétés particulières de l'artefact utilisé (exemple : manipulations propres à l'outil). On parle alors d'activités relatives aux tâches "secondes".
- l'autre concerne les activités orientées vers l'objet de l'activité. Dans ce cas, l'artefact est le moyen de réaliser ces activités dites "premières". La cohérence d'ensemble de ces activités est assurée par la signification globale de l'acte (exemple : effectuer un réglage).

Associés à ces types d'activités, on retrouve deux niveaux de schèmes d'utilisation :

- Les schèmes d'usages, relatifs aux tâches "secondes". Ils peuvent être des schèmes élémentaires répondant à un seul sous-but, ou un ensemble de schèmes élémentaires. Ils sont liés aux actions et activités en relation avec l'artefact et relatifs à la gestion des caractéristiques de l'artefact.
- Les schèmes d'action instrumentée, relatifs aux tâches premières. Ils incorporent les schèmes d'usage qui se combinent, s'imbriquent entre eux et s'organisent pour constituer

les “totalités” que sont les schèmes d’action instrumentée. Ces schèmes acquièrent une signification en fonction de l’activité globale à accomplir (au moyen de l’artefact).

Les schèmes d’utilisation ont une dimension privée, propre à chaque individu, et sociale car les sujets sont insérés dans un environnement humain qui contribue à la construction des schèmes. Les schèmes sont transmis, de manière plus ou moins formalisée. On parle alors de schèmes sociaux d’utilisation. Lorsqu’un artefact est utilisé simultanément ou conjointement par un collectif de travail, dans le cadre d’une activité commune ou partagée, des schèmes spécifiques à ce contexte d’activité collective sont mis en œuvre. On parle alors de schèmes d’activité collective instrumentée.

4.3.2 Caractéristiques fonctionnelles

Les schèmes d’utilisation sont pluri-fonctionnels car ils remplissent des fonctions orientées vers la compréhension, la transformation de la situation et l’obtention de résultats, l’orientation et le contrôle de l’activité (Rabardel, 1995).

Ils constituent ainsi des “cadres assimilateurs”, comme les autres schèmes. Ils permettent de donner une signification aux situations et aux objets en fonction de la finalité de l’activité des sujets et des tâches. Ils contribuent au traitement des situations, à leur découpage en buts, sous-buts, états, transformations, modifications possibles sur les objets, et attribution d’instruments pour accomplir une tâche. Les schèmes d’utilisation sont liés aux artefacts (moyens de l’action) et aux objets de l’action. Ils organisent l’action et l’utilisation de l’artefact qui lui-même organise en retour l’action (Rabardel, 1995).

Comme tout schème, les schèmes d’utilisation doivent être instanciés en fonction des éléments spécifiques à une situation.

4.4 Une définition “psychologique” de l’instrument

Rabardel (1995) définit l’instrument comme une “entité mixte” composée de l’artefact matériel (objet technique, machine) ou symbolique, conçu par le sujet ou non et des schèmes (associant des schèmes d’utilisation et des schèmes d’action), qui sont le résultat d’une construction du sujet. Les concepteurs anticipent une partie des usages ultérieurs des artefacts qu’ils conçoivent. Les utilisations réelles d’un objet sont diverses et variées ; cependant il existe dans l’activité des “éléments relativement stables et structurés” que sont les schèmes d’utilisation. Ces éléments s’adaptent et se modifient en fonction des situations

(accommodation à un artefact) et ils sont réutilisés dans un certain nombre de situations différentes (assimilation à un artefact).

Les schèmes, élaborations du sujet permettent d'associer l'instrument, construit également par le sujet, comme composante fonctionnelle de l'action. Ils concernent tous les éléments de l'action, c'est-à-dire l'artefact, le sujet lui-même et les objets de l'action. Comme les représentations opératives (Ochanine, 1978, 1981), ils sont laconiques, incomplets et simplifiés. Les opérateurs ne retiennent de la situation que les informations pertinentes à la classe de situation et à son traitement. Cette incomplétude permettrait le " jeu " nécessaire pour gérer les particularités d'une situation et leur complexité (Rabardel, 1995). On retrouve d'ailleurs cette notion chez Rasmussen (1991) lorsqu'il affirme que la marge de manœuvre laissée aux opérateurs sur le " comment effectuer le travail " permet de choisir une stratégie de travail. Ce choix est pour lui un des moyens de résoudre les conflits entre les ressources propres de l'opérateur et les exigences de la tâche.

Selon Rabardel, (1995), les deux composantes de l'instrument (schèmes et artefacts) peuvent être dissociées et s'appliquer à d'autres artefacts pour les schèmes et d'autres schèmes pour les artefacts. L'instrument ainsi constitué peut l'être pour une utilisation ponctuelle ou peut perdurer et être utile pour plusieurs actions futures. Dans ce cas, cela permet une capitalisation des connaissances. Pour l'auteur, cela sous-entend que les représentations des sujets comportent des invariants relatifs à la situation (structure, déroulement, contrôle), mais également à la classe de situations plus générale à laquelle appartient l'action.

La situation correspond au contexte dans lequel se déroule l'action (Rabardel, (1995). Les classes de situations sont constituées par l'opérateur sur la base des connaissances qu'il a sur les objets (leurs propriétés et les transformations qu'il est possible de leur appliquer) et sur les invariants de l'action. L'opérateur regroupe dans une même classe toutes les situations pour lesquelles il est amené à agir de la même façon. Ainsi, il peut faire appel à des schèmes familiers qui sont mobilisés dans les classes de situations familières où le sujet connaît bien les artefacts associés aux schèmes ainsi que les objets associés à l'action et leurs transformations (Rabardel, 1995).

Le domaine d'activité regroupe des classes de situations qui font appel à un ensemble d'activités caractéristiques d'un domaine (Vidal-Gomel, 2001).

4.5 La structuration de l'activité par l'instrument

Nous avons vu que l'artefact, en tant que moyen d'action des opérateurs introduit une médiatisation de leur activité. Il est utilisé pour répondre à un objectif d'action, c'est-à-dire pour réaliser la tâche et impose des contraintes d'utilisation liées à son fonctionnement (Rabardel, 1995). Rasmussen, dès 1991, souligne le rôle des instruments dans l'activité. Pour lui, le champ des possibilités d'action des opérateurs est limité par leurs propres capacités (savoir, compétences, connaissance du contexte, capacité de jugement) et les stratégies de travail dépendent également des équipements disponibles, qui font partie des exigences du travail.

Dans le domaine des interactions Homme-ordinateur, les artefacts structurent la tâche des opérateurs en apportant de nouvelles ressources et de nouveaux problèmes (Rabardel, 1995). Selon Payne (cité par Rabardel), l'artefact permet une médiation entre l'objet et le sujet qui porte sur trois éléments :

- il représente l'objet et les opérations réalisées sur l'objet par l'intermédiaire de la représentation qu'il donne au sujet,
- les opérations sur l'objet sont traduites en actions par l'intermédiaire d'un langage artificiel,
- les actions de l'opérateur doivent être coordonnées avec celles du système.

Il y a donc une double détermination de l'action par la tâche à effectuer et les ressources disponibles (Rabardel, 1995). Les stratégies des sujets et l'efficacité de leur travail dépendent en partie des artefacts dont ils disposent. En présentant différemment les éléments de la situation, les artefacts peuvent contraindre l'organisation de l'action des opérateurs. Ils modifient les contraintes cognitives des tâches et de ce fait les compétences cognitives requises pour les résoudre (Rabardel, 1995).

Cependant, la structuration de la tâche par l'instrument a ses limites. Ainsi, dans une étude sur la conservation des schémas dans une tâche administrative avec différents outils, Sébillotte (1993) met en évidence deux résultats : les schémas restent stables concernant les buts à atteindre dans la tâche mais par contre les schémas sur les procédures pour atteindre ces buts sont très modifiés avec l'utilisation d'outils différents. Ceci peut s'expliquer par le fait que les objectifs généraux de la tâche restent les mêmes, les transformations à appliquer sur l'objet,

également ; mais les procédures, particulières aux outils, varient. Le changement d'artefact a donc des effets limités en fonction des niveaux de l'activité pris en compte.

Rabardel (1995) résume les effets de l'instrument sur la recomposition de l'activité en deux dimensions : l'une concerne les contraintes qui conditionnent l'action des sujets (activité requise), l'autre concerne les possibilités d'action offertes par l'artefact. Ainsi, les variations de l'ouverture du champ des possibles peuvent aller dans le sens d'un élargissement (nouvelles modalités d'organisation de l'action), comme dans le sens d'une réduction des actions réalisables.

L'artefact fait partie des contraintes de la situation. Ces contraintes liées à l'artefact s'ajoutent à celles de la situation, elles sont différentes selon le type d'activité réalisée avec l'artefact. Elles portent sur (Rabardel, 1995) :

- les conditions de mise en fonctionnement de l'artefact (contraintes de modalité d'existence),
- les transformations qu'il permet d'appliquer à l'objet et la nature de l'objet transformé (contraintes de finalisation),
- la structuration des modalités des actions qu'il permet de faire sur certains types de transformations et certains objets (contraintes de structuration de l'action).

La structuration de l'activité par l'artefact peut revêtir différentes modalités (Rabardel, 1995) :

- la structuration passive simple de l'action où l'activité est structurée autour de la forme de l'outil (les outils à main),
- la structuration passive organisée : l'opérateur intervient dans une organisation procédurale du processus où il a une place spécifique temporelle (contrainte de temps), spatiale (lieu des actions), opératoire (nature et enchaînement des actions).
- la structuration active où l'artefact a une connaissance des opérateurs et il a pour objectif d'influencer son activité (les systèmes experts).

Mais l'artefact ne structure pas à lui seul l'activité. Les schèmes d'utilisation, les tâches et les modes opératoires prescrits interviennent également dans la structuration d'une activité qui devient alors "*relativement requise*" (Rabardel, 1995).

Le champ instrumental de l'artefact pour le sujet correspond à l'ensemble des schèmes d'utilisation de l'artefact dans le quel il est insérable pour constituer l'instrument, l'ensemble

des objets sur lequel il permet d'agir, l'ensemble des transformations, changements d'état qu'il permet de réaliser. Les schèmes d'utilisation et les artefacts s'enrichissent et se diversifient en relation avec l'évolution du champ instrumental de l'artefact. Ils évoluent en fonction de la multiplicité des artefacts auxquels ils sont associés pour former un instrument et de la diversité des statuts qu'ils peuvent prendre dans cette association (Rabardel, 1995).

Les instruments peuvent également se regrouper en systèmes et dans ce cas, il est nécessaire de les analyser selon leurs fonctions et la relation de redondance ou de complémentarité qui les unit. Un système d'instruments est caractérisé par la redondance, la complémentarité des fonctions pour une classe de situations et l'existence éventuelle d'un outil pivot qui structure l'usage des autres outils.

4.6 Comment identifier les instruments ?

Galnier (1996) dans une situation de conduite de poids lourds avec introduction de boîte de vitesse automatiques, a identifié les ressources et les instruments mis en œuvre dans l'activité par les opérateurs. cet auteur a mis en évidence les processus de genèse instrumentale dans une situation de découverte de ce nouvel outil.

Cette genèse instrumentale, issue des processus d'instrumentation et d'instrumentalisation s'appuie sur des schèmes. Les schèmes permettent de générer des séquences d'action, de prise d'informations et d'attribution de signification à la situation. C'est sur la mise en évidence des schèmes qu'a porté l'analyse de l'auteur.

Minguy, (1995) a montré qu'un système d'instruments est associé à des conditions de gestion des opérations de pêche, par la mise en évidence des **invariants de l'activité**.

Nous retiendrons de ces recherches que la mise en évidence des instruments passe par l'analyse de l'activité qui vise à mettre en évidence :

- Des artefacts utilisés par les opérateurs,
- Des classes de situations dans lesquelles sont utilisés ces artefacts,
- Des organisations invariantes de l'activité, pour en inférer les schèmes sous-jacents.
- Des fonctions attribuées aux artefacts par les opérateurs, par une approche fonctionnelle.

- De l'objet sur lequel l'artefact permet d'effectuer des modifications, car il n'y a pas d'instrument sans objet de l'activité. Pour un même objet de l'activité, toutes les dimensions de l'artefact ne forment pas un instrument.

5 SYNTHÈSE

Dans ce chapitre, nous avons présenté les notions retenues pour notre analyse : organisateurs de l'activité, concepts pragmatiques, schèmes et instruments. Ces notions sont explicatives et structurantes des comportements des opérateurs et permettent de faire le lien entre connaissance et action.

Nous retiendrons que les concepts pragmatiques sont issus de l'expérience, ils peuvent être montrés et enseignés par les opérateurs plus expérimentés aux opérateurs novices (Pastré, 1994). Ils font partie des savoirs de référence en raison de leur pertinence pour réaliser une tâche, c'est pourquoi ils sont précieux pour comprendre l'activité. Nous soulignons le rôle instrumental dans l'activité du concept pragmatique puisqu'il permet la compréhension et aide à poser un diagnostic sur l'état de la situation. Il est à rapprocher des notions de représentation fonctionnelle (Leplat, 1985) et d'image opérative (Ochanine, 1978). Sur le plan méthodologique, les concepts pragmatiques apparaissent à la fois dans le discours des opérateurs et dans leur activité, les schèmes sont inférables à partir de l'activité. C'est pourquoi nous retiendrons la nécessité de s'intéresser à la fois à la succession des séquences d'action et au discours des opérateurs sur leur activité.

Nous avons développé la notion de schème, élément structurant l'activité qu'il est possible d'inférer à partir des invariants observés dans l'activité (Rabardel, 1995). Sur le plan méthodologique, isoler les schèmes des sujets, en fonction de leur expérience correspond à l'identification d'organisations invariantes de la conduite, valables pour une classe donnée de situations..." (Pastré, 1994). Du point de vue de l'observation, une séquence d'action est guidée par un schème particulier qu'il est possible d'inférer ainsi que l'a montré Galinier (1996) dans son étude sur la conduite de poids lourds.

Nous avons évoqué les schèmes d'action instrumentée, qui associés à des artefacts permettent de constituer les instruments mobilisés par les opérateurs en situation de travail pour réaliser une tâche (Rabardel, 1995). L'approche instrumentale, permet de donner un sens aux usages différents d'un même outil. Puisque selon l'auteur, les deux composantes de l'instrument (schèmes et artefacts) peuvent être dissociées et s'appliquer à d'autres artefacts pour les

schèmes et d'autres schèmes pour les artefacts. L'instrument ainsi constitué peut l'être pour une utilisation ponctuelle ou peut perdurer et être utile pour plusieurs actions futures. Dans ce cas, cela permet une capitalisation des connaissances.

Les instruments peuvent se regrouper en systèmes caractérisés par la redondance et la complémentarité des fonctions.

L'analyse des instruments s'appuyant sur l'observation et la mise en évidence d'invariants de l'activité, de fonctions attribuées aux artefacts.

Nous allons donc nous intéresser dans la deuxième partie de cette thèse à la structure des actions, leur ordre d'intervention et leur déroulement dans le temps ainsi qu'à la manière dont les outils propres aux opérateurs de régulation du métro sont intégrés comme instruments de leur activité.

PARTIE 2

**IDENTIFIER DES STRATEGIES DANS UNE SITUATION
DE REGULATION DE METRO**

CHAPITRE 3

LE CONTEXTE DE L'ETUDE

L'objet de ce chapitre est de présenter la situation de travail. Nous situons la régulation par rapport à l'exploitation du métro ainsi que les principes qui régissent cette activité avant d'aborder la demande formulée par l'entreprise. Nous décrivons ensuite les tâches, les deux métiers étudiés, les postes de travail et les outils des opérateurs chargés de la régulation.

Nous prenons la ligne de métro comme unité de description car c'est autour d'elle qu'est organisée l'exploitation du réseau.

1 DE L'EXPLOITATION A LA REGULATION D'UNE LIGNE DE METRO

L'exploitation, c'est la préparation, la réalisation et le contrôle de l'offre de transport sur le réseau du métro. Nous présentons ici les caractéristiques de l'exploitation d'une ligne, avant de présenter les principes techniques de la régulation, c'est-à-dire les types de régulation qui interviennent sur la ligne.

1.1 Positionnement de la fonction "régulation"

La fonction "exploitation" d'une ligne de métro comprend la totalité des moyens dont dispose une ligne de métro pour assurer les prestations prévues. Ces moyens sont regroupés en deux fonctions principales :

- La fonction commerciale, chargée de la gestion des espaces, de l'amélioration et du développement des services aux voyageurs,
- La fonction "transport", chargée de l'activité de circulation des trains sur les lignes. La régulation appartient à la fonction "transport" de l'exploitation. C'est une activité à dominante technique.

L'état d'exploitation d'une ligne de métro est caractérisé par la position des trains, les ordres de départ, les horaires de passage des trains en certains points de la ligne, les corrections éventuelles du régulateur (Guittard *et al.* ; 1996). Les contraintes qui pèsent sur l'exploitation sont liées aux moyens disponibles pour assurer le transport et aux conditions d'utilisation de ces moyens. Les caractéristiques de l'exploitation du métro sont :

- une allure identique de tous les trains,
- une seule destination car tous les trains effectuent la même mission,
- tous les trains sont omnibus.

- une contrainte de régularité des intervalles entre les trains plus prégnante que la contrainte de respect de l'horaire.⁷

Contrairement à l'organisation du réseau de bus, la régulation du métro parisien est à la fois centralisée et délocalisée⁸ :

- centralisée car toutes les lignes sont régulées à partir d'un lieu unique regroupant les régulateurs appelés chefs de régulation.
- délocalisée : ce sont deux métiers différents qui sont chargés d'assurer cette fonction de régulation : chefs de régulation et chefs de départ. Ces opérateurs sont situés en des lieux différents de la ligne : le Poste de Commande Centralisé, appelé PCC dans deux salles regroupant la régulation de toutes les lignes de métro et les Postes de Manœuvre Locaux ou PML, un dans chaque terminus de ligne.

1.2 Principes techniques de la régulation

Techniquement, on distingue deux types de régulation permettant d'intervenir sur le trafic : la régulation d'horaires et la régulation d'intervalles⁹.

- La régulation d'horaires est orientée vers la gestion des conditions temporelles de travail des conducteurs. C'est un ensemble de moyens mis en place dans le but d'aider les conducteurs à respecter l'horaire prévu des trains (Stablo, 1981). En terminus, la régulation d'horaires consiste à organiser les séquences de départ des trains par rapport à des horaires prévus. En ligne, la régulation d'horaires consiste à agir sur le temps d'arrêt en station.
- La régulation d'intervalles est orientée vers les voyageurs, car leur priorité est de disposer de trains qui passent régulièrement. Elle a pour but de maintenir un intervalle déterminé entre les trains aussi bien en ligne qu'en terminus. Elle agit sur les trains en amont et en aval du train le plus retardé afin de répartir le retard et de rééquilibrer des intervalles.

L'annexe A présente les systèmes techniques qui sous-tendent la régulation.

⁷ Document sans titre et non daté, destiné aux clients de l'ingénierie ferroviaire externe, ici le réseau lyonnais.

⁸ Cette organisation était valable pour toutes les lignes du métro jusqu'en novembre 2001. A partir de cette date, la régulation de la ligne 4 a été décentralisée et relocalisée dans un PC spécialement conçu, regroupant le chefs de régulation et les chefs de départ (renommés gestionnaires de terminus) de la ligne 4 (Délégation à l'Ingénierie Ferroviaire, cahier des charges fonctionnel pour la conception du nouveau PC de la ligne 4 ; 1997).

⁹ Source : cahier des charges fonctionnel pour la conception du nouveau Poste de Commande de la ligne 4 du Métro parisien.

2 DEFINITION DE LA TACHE PRESCRITE

2.1 La régulation du métro

La régulation a pour rôle la coordination des différents acteurs et la minimisation des effets des perturbations sur le service aux voyageurs (Service Médical de la RATP, 1988). Elle entretient donc une forte relation avec la sécurité et la fiabilité du trafic.

La régulation consiste à assurer que le trafic sur la ligne est conforme au plan de transport théorique (horaires et intervalles prévus) et à traiter les événements qui perturbent le fonctionnement normal de l'exploitation d'une ligne de métro. Le(s) opérateur(s) chargé(s) de la régulation réalise(nt) l'adéquation nécessaire entre les conditions théoriques et les conditions réelles de production du transport (De Keyser, 1990). En cas d'incident, l'objectif est d'assurer une qualité de service acceptable pour le plus grand nombre possible de voyageurs. Le régulateur doit supprimer les causes d'une perturbation, en cherchant à minimiser ses conséquences sur le trafic (RATP, 1981).

En résumé :

- lorsque la ligne régulée est dans un état stable, l'objectif est de conserver un équilibre entre régularité des intervalles entre les trains et ponctualité des départs.
- lorsque la ligne est dans un état de déséquilibre ou non stable, la régulation est le moyen mis en œuvre pour revenir à l'équilibre.

2.2 Le dispositif de régulation

Nous avons analysé la tâche prescrite en nous appuyant sur des documents de formation, des descriptifs de la tâche, des entretiens auprès de l'encadrement, la participation à la formation des chefs de régulation et des chefs de départ.

Trois types d'opérateurs interviennent dans la régulation d'une ligne : les chefs de régulation du PCC, les chefs de départ en terminus et les conducteurs.

Nous avons ciblé notre recherche sur l'activité des chefs de régulation au PCC et des chefs de départ en terminus, pendant le service voyageurs, hors travaux de nuit. D'une part, les chefs de régulation et les chefs de départ sont identifiés par l'organisation du travail comme acteurs institutionnels directs de la régulation de la ligne. D'autre part, si les conducteurs

interviennent sur la régulation de la ligne, la tâche de conduite n'est pas directement une tâche de régulation, mais une tâche de poursuite. Elle consiste à guider un mobile dans un environnement complexe et contrôler le fonctionnement de ce véhicule et de ses éléments de sécurité (Galinié, 1996). La régulation comporte une dimension de guidage de plusieurs mobiles, dans un environnement complexe, avec une vue globale du trafic (Cellier, 1996). Le conducteur est le maillon entre le régulateur et la rame de métro, il est l'effecteur des choix réalisés par les régulateurs (chef de départ et de régulation) ; en ce sens il est également un élément de la fiabilité du système.

Nous étudions les deux pôles assurant des fonctions régulation de trafic, chefs de départ et de régulation (figure 1) :

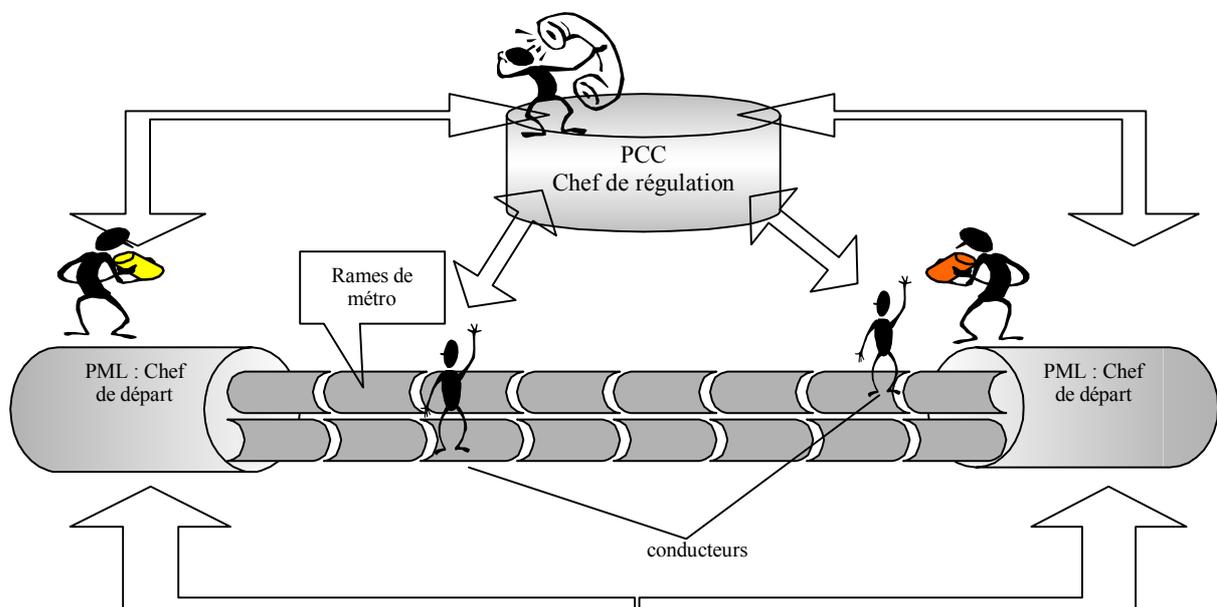


Figure 1 : répartition géographique et liaison phonique entre chef de régulation au PCC, chefs de départ aux PML et conducteurs dans les rames

- Au Poste de Commande Centralisé ou PCC, le chef de régulation réalise les fonctions de suivi des trains, régulation du trafic, de gestion de l'énergie en ligne, d'aide aux conducteurs, de liaison avec les services de maintenance et d'information voyageurs.
- Au Poste de Manœuvre Local ou PML aux deux bouts de la ligne, dans chaque terminus, un chef de départ assure les fonctions de gestion des conducteurs, de régulation du départ des trains. Il est assisté d'opérateurs chargés de la gestion du matériel roulant et de la gestion des itinéraires dans le terminus.

Le chef de régulation communique par téléphone avec les deux chefs de départ en terminus. Il peut leur demander d'intervenir sur les départs des rames sur chaque voie (ordre des rames, horaires, intervalles) et échanger avec eux des informations sur le trafic. Le chef de régulation communique également avec chaque conducteur par le téléphone haute-fréquence, pour recueillir des informations sur la situation sur le terrain et lui demander de réaliser des manœuvres.

Chaque chef de départ peut communiquer avec son collègue de l'autre terminus grâce au téléphone, mais chacun ne peut communiquer avec les conducteurs en ligne. Pour joindre les conducteurs en ligne, les chefs de départ doivent passer par le chef de régulation qui transmet éventuellement un message ou une information. Pour joindre les conducteurs dans le terminus, chaque chef de départ dispose d'un interphone relié au quai de départ.

Les conducteurs en ligne peuvent entendre les autres conducteurs qui se trouvent dans la même section électrique que la leur, le plus souvent ils s'interpellent lorsqu'ils se croisent à une station.

L'organisation comportant un chef de régulation et des chefs de départ (Beuchard, 1984) permet la centralisation au PCC du recueil d'informations, de la prise de décision et de la transmission des ordres et le maintien de personnel sur le terrain en contact direct avec les conducteurs au PML, en terminus. Cette organisation diffère de celle mise en place pour la régulation des bus pour laquelle c'est le même opérateur qui assure l'envoi des véhicules en ligne et leur régulation.

2.3 Description des tâches

2.3.1 Au PCC : le chef de régulation

Le chef de régulation doit assurer des tâches directement liées au trafic ainsi que d'autres tâches, pendant la période de nuit où les rames voyageurs ne circulent pas. Nous ne citerons ici que les tâches effectuées pendant le service voyageurs (entre 5h30 et 1h15).

D'après le document de formation "à l'usage des apprentis" (1995), le chef de régulation est chargé d'assurer des tâches de :

- gestion de la circulation des rames sur le réseau,

- surveillance technique des installations, tels que les essais de fonctionnement de certaines installations de sécurité et mise en fonctionnement d'équipements télécommandés à partir du PCC.
- contrôle, par consignation écrite des événements survenant sur la ligne par la tenue de registres (exemple : registre de signalement des avaries aux installations fixes), vérification de mise à jour de procédures, gestion de la mise en place de pancartes d'information aux conducteurs (exemple : personnel sur les voies), signalement par téléphone aux équipes de maintenance de dysfonctionnements des systèmes.

2.3.1.1 *La régulation en situation normale*

La situation normale, c'est lorsque le transport se déroule comme prévu. En situation normale, le chef de régulation doit surveiller le respect de la régularité des intervalles entre les trains. Il surveille le passage des premiers et des derniers trains, l'intervalle entre les rames et autorise la circulation de trains de travaux et organise leur insertion dans le trafic.

2.3.1.2 *La régulation en situation perturbée*

La situation perturbée correspond aux périodes où des événements imprévus surviennent et perturbent le déroulement prévu de l'offre de transport. En situation perturbée, l'offre de transport prévue ne peut plus être réalisée. La tâche des chefs de régulation consiste alors à identifier les perturbations et leurs causes, supprimer ces causes en limitant les effets sur le trafic et rétablir une situation conforme au plan de transport théorique.

Dans les situations perturbées, la tâche du chef de régulation consiste à maintenir une offre de transport acceptable, c'est-à-dire à assurer au mieux le transport des voyageurs en tenant compte des moyens disponibles et des contraintes de la situation. Le chef de régulation peut être amené à dégrader ponctuellement les conditions de transport d'une partie des voyageurs, pour assurer de meilleures conditions à un plus grand nombre. Par exemple en arrêtant un train et en le faisant tourner pour rouler sur l'autre voie surchargée.

D'après le document "comment remédier aux incidents d'exploitation" (1984), il y a deux types de mesures immédiates pour limiter les répercussions d'un incident : remédier à la cause en la supprimant et assurer le meilleur service résiduel possible sur la ligne. Il faut ensuite revenir à l'horaire théorique car c'est l'horaire adapté à la capacité de transport nécessaire et - il faut assurer les conditions de travail des conducteurs.

L'entreprise (Clément, 1997) décrit de manière théorique le traitement d'une perturbation, en trois périodes : la prise de connaissance de l'incident, le traitement de l'incident et le retour au programme théorique d'exploitation. Ces périodes sont des étapes de travail définies de manière formelle, d'où l'absence d'itérations. Déterminer une mesure d'exploitation efficace, nécessite une recherche sur le meilleur compromis possible entre l'influence, la durée estimée de la perturbation et les possibilités et la durée de mise en place d'une mesure de régulation. Les mesures de régulation dépendent de critères tels que la nature, le lieu de l'incident sur la ligne, les conséquences de la perturbation sur le trafic (une voie ou les deux voies sont perturbées ou interrompues), le moment suivant la plage horaire ou le jour (heures d'affluence, heures creuses, jour ouvrable, férié, etc.) et la valeur estimée du retard occasionné. Le même auteur cite également l'organisation du travail pour le personnel d'exploitation et de maintenance, les possibilités données à l'exploitant pour optimiser le trafic en cas de perturbation (disponibilité des installations sur le site, du matériel roulant, des outils et du personnel), les compétences des opérateurs telles que l'expérience, la capacité à réagir vivement, à adopter une stratégie de circonstances et les outils mis à la disposition des opérateurs.

2.3.2 Au PML : le chef de départ

Le chef de départ doit assurer les départs réguliers des trains en respectant l'horaire prévu¹⁰ et en respectant les conditions horaires de travail des conducteurs (Laville, 1999). Le chef de départ doit assurer des tâches de :

- Gestion du trafic qui consiste à assurer le départ des trains, détecter les retards éventuels des rames et anticiper les répercussions de ces retards sur le trafic,
- Contrôle du respect des horaires de travail des conducteurs, qui peut passer par la "remise en place" des équipes conducteurs pour permettre aux équipes prenant leur service de partir à l'heure pour leur premier départ.
- Gestion de la feuille d'utilisation du matériel permettant aux ateliers d'entretien de programmer les passages en révision.

¹⁰ Indiqués sur un document appelé garde-temps qui donne les horaires de tous les trains au départ d'un terminus pour une journée donnée.

2.3.2.1 *La régulation en situation normale*

Les fiches de poste (Pouvil, 1993) indiquent que le chef de départ est chargé des tâches de vérification de présence des conducteurs à la prise de service et tout au long du service et de la surveillance du départ des trains. Cette tâche consiste à détecter et traiter les situations perturbées (écarts aux intervalles et horaires prévus) et anticiper leurs répercussions sur le trafic.

2.3.2.2 *La régulation en situation perturbée*

Le chef de départ gère les perturbations de l'offre de transport en procédant à des manœuvres de régulation telles que la compensation d'horaires par modification des horaires de départ prévus, la modulation du nombre de trains en ligne, le choix sur le type de manœuvre de retournement en terminus.

2.3.3 **Mise en relation des deux pôles de régulation**

L'activité des deux types d'opérateurs est complémentaire, parfois le chef de départ au terminus intervient pour gérer les conséquences de l'activité du chef de régulation au PCC et parfois c'est le contraire (annexe B). D'où la nécessité d'étudier les deux types d'activité (tableau 2).

Tableau 2 : types d'opérateurs, tâches, lieu et domaines d'intervention des opérateurs chargés de la régulation

Opérateur	Tâche	Lieu de travail	Secteur d'intervention
chef de départ	- expédier des trains sur une voie assurer la régularité des intervalles assurer le respect des horaires	- PML (Poste de Manœuvre Local) - dans chaque terminus de la ligne	- une voie d'expédition - à partir de son terminus
chef de régulation	- réguler en ligne - assurer la régularité des intervalles traiter les perturbations	- Poste de Commande Centralisé (PCC)	- les deux voies - dès la sortie des terminus

2.3.4 **Les horaires de travail**

Les opérateurs intervenants sur la ligne sont en travail posté en 3X8 ou 2X8, correspondant à l'alternance des services de jour (matin), mixte (après-midi) ou de nuit (tableau 3).

Tableau 3 : horaires postés au PCC et au PML

service	jour	mixte	nuite
Chef de départ (PML)	5h15-11h30	11h30-18h00	18h00-01h15
Chef de régulation (PCC)	5h15-12h30	12h30-19h00	19h00-5h15

3 UN QUESTIONNEMENT ISSU DU TERRAIN

3.1 Les constats sur la situation actuelle

Nous avons réalisé une première prise de contact avec le terrain afin de comprendre le contexte de la production du transport. Pour cela, nous avons procédé comme suit :

- Réalisation de 25 entretiens auprès des intervenants de l'exploitation du métro, de la conception de l'offre de transport à sa réalisation et son contrôle,
- Suivi de la formation intitulée "conception des horaires" d'une durée de trois jours, destinée aux cadres de l'exploitation, qui nous a permis de nous familiariser avec les documents présentant l'offre de transport et de comprendre sa construction, (Conception des horaires du métro, document de formation 1997),
- Suivi en tant qu'observatrice de la partie de la formation des opérateurs chargés de la régulation qui concerne l'utilisation du simulateur du PCC,
- Consultation des documents de formation,¹¹
- Observations ouvertes des principales activités d'exploitation d'une ligne de métro.

Nous avons ensuite formulé, en collaboration avec les demandeurs de l'étude, trois constats sur la régulation, en nous concentrant sur les situations perturbées et leur traitement.

Les constats concernent : la définition, l'évaluation et le retour d'expérience sur les situations perturbées.

3.1.1 La définition des situations perturbées

Le traitement des situations perturbées constitue un enjeu important pour l'entreprise du point de vue de la qualité de service. L'analyse de ces situations fait partie de la demande qui nous a été adressée par l'entreprise, car pour l'année 1998, il y a eu en moyenne, par ligne et par mois 175 événements comptabilisés comme "incidents d'exploitation". Ces événements ont

¹¹ Département Métro (1995) Document de formation à l'usage des apprentis, formation des chefs de régulation.

entraîné, en moyenne par ligne et par mois, plus de 12h de retard par rapport à l'horaire prévu¹².

Les méthodes prescrites de traitement des perturbations, les spécifications fonctionnelles, les "standards" de la qualité de service et la base de données des incidents d'exploitation du métro permettent de cerner le point de vue que porte l'entreprise sur les situations perturbées. Ce point de vue traduit une définition "en négatif" des situations perturbées qui sont caractérisées comme des situations au cours desquelles il n'est plus possible d'appliquer le programme de transport théorique. Ce point de vue s'exprime en termes d'écart à une performance attendue en matière de production de transport, puisque c'est le "temps écoulé pendant lequel le programme d'exploitation théorique n'est plus assuré". Les perturbations sont définies en fonction des objectifs de chacun des pôles de l'exploitation (lignes, PCC, cellule horaires, ingénierie ferroviaire...). Charenton et Scuotto (1999), dans une présentation du plan Opéra¹³, qui vise à créer de nouveaux indicateurs de la qualité de service, soulignent d'ailleurs *"l'absence de vocabulaire commun aux différents intervenants de la production"*.

Du point de vue des opérateurs, les premiers entretiens nous ont permis de déceler dans leur discours des éléments structurant leur représentation des situations perturbées :

- Un incident n'est pas forcément une perturbation. S'il est transparent pour les voyageurs, ce n'est pas une perturbation. S'il a une incidence sur le trafic voyageurs, il est considéré comme une perturbation. Si l'on applique cette distinction au terminus, pour les chefs de départ, il peut y avoir plusieurs types de situations perturbées, qui ont une incidence sur le service voyageurs.
- La nature est différente de la cause de la perturbation Les opérateurs interrogés distinguent la nature et la cause de l'événement qui survient. Identifier la nature de la perturbation permet de catégoriser sur le plan technique un événement (incident lié aux voyageurs, à la signalisation, aux installations fixes, au matériel, à l'énergie électrique de traction, ...). Elle ne permet pas de décider tout de suite de l'action à entreprendre. Pour engager l'action appropriée, il faut identifier quelle en est la cause.
- Une perturbation difficile à traiter n'est pas toujours grave. Les opérateurs distinguent la difficulté de la gestion et la gravité de la perturbation. Une perturbation grave peut-

¹² Département Métro, Unité Spécialisée Horaires et Trafic, "Courbes enveloppe et indicateurs de trafic" 1996, 1997, 1998.

¹³ OPERA : Objectif Production Et REgularité

être facile à gérer, une situation peu grave peut ne pas l'être. La difficulté est liée à l'existence d'une procédure connue et bien définie pour agir. La gravité est plutôt liée aux conséquences pour les voyageurs.

3.1.2 L'évaluation des situations perturbées

L'évaluation des situations perturbées est surtout quantitative. Lévy (1999) souligne dans son étude sur la régulation du réseau de bus, que l'unité de mesure commune à tous est le "kilomètre perdu" c'est-à-dire le nombre de kilomètres non effectués par les véhicules. Sur le réseau du métro, nous avons pu identifier "des indicateurs nombreux mais partiels", ainsi qu'une difficulté soulignée par l'entreprise "à se rendre compte de la qualité réelle du transport" (Charenton, Scuotto ; 1999). Ces indicateurs sont, pour l'année 1998, pour tout le réseau du métro :

- STANDAT (pourcentage de voyageurs ayant subi une attente non conforme aux standards) : en heures creuses, 1,4 % ; en heures de pointe, 3,6 %.
- Pourcentage de Tours perdus par rapport à l'objectif : 1,97 %,
- Retard horaire moyen à l'heure de pointe du matin : 5 minutes,
- Retard horaire moyen à l'heure de pointe du soir : 11 minutes, Pourcentage de voyageurs à plus de 4 au m² : à l'heure de pointe du matin, 25 % ; à l'heure de pointe du soir, 9 %.

Nous retiendrons parmi ces indicateurs que le retard horaire, c'est-à-dire **l'écart entre l'horaire prévu et celui réalisé** est considéré comme pertinent par l'entreprise (Charenton, Scuotto ; *ibid.*). Ces indicateurs soulignent des résultats globaux et évaluent des performances techniques, mais pas la qualité du service offert aux voyageurs. Ils ne prennent pas en compte la régulation du point de vue de l'activité des régulateurs.

3.1.3 Le retour d'expérience sur le traitement des situations perturbées

La démarche actuelle de Retour d'Expérience concernant le traitement des situations perturbées est essentiellement centrée sur l'aspect technique des situations. Les écrits disponibles sont incomplets. Les documents produits ne gardent aucune trace de l'élaboration des décisions prises pour traiter les événements perturbant le trafic. En pratique, il s'agit d'une absence de traces concernant la construction du raisonnement mis en œuvre par les opérateurs pour traiter les situations perturbées.

Le Retour d'expérience réalisé exprime des conclusions en termes de non-respect de procédures prescrites, c'est-à-dire d'écart à la norme. L'entreprise privilégie une logique de sanction, en cas de *faute de sécurité*, comme le montre cet extrait issu d'un rapport d'étude (Audignon et Besse ; 2000) : "*les différents rapports d'enquêtes qui nous ont été communiqués mettent l'accent sur le fait que les procédures qui auraient dû être appliquées ne l'ont pas été*".

Les retombées d'un retour d'expérience uniquement centré sur la recherche de fautes se traduisent le plus souvent par des modifications matérielles et/ou le rappel des procédures prescrites et de la norme à respecter en matière de sécurité ferroviaire.

Ce type de retour d'expérience n'est pas systématique, il porte sur des cas critiques, sujets à polémique ou donnant lieu à des recherches de responsabilités. Cette démarche introduit une notion de sanction, alors que la fonction première du retour d'expérience est la recherche d'explications et qu'une telle démarche pour être efficace, doit s'affranchir de toute recherche de culpabilité (Amalberti et Barriquault, 1999).

3.2 La demande de l'entreprise

La prise de conscience de ces constats a amené le département Métro et la délégation à l'ingénierie ferroviaire à exprimer une demande d'étude ergonomique sur la régulation. En regard des 3 constats, les attentes concernant notre étude étaient de trois ordres :

- **Définir les situations perturbées**

La définition des situations perturbées est un des éléments centraux pour comprendre et organiser la régulation du réseau du métro. Il existe des indicateurs permettant de définir les situations perturbées qui peuvent être complétés par une approche centrée sur les opérateurs. Il s'agit d'apporter des connaissances complémentaires aux approches techniques maîtrisées par l'entreprise.

- **Evaluer et assurer le suivi de la régulation**

La connaissance des pratiques de régulation constitue pour l'entreprise un enjeu d'importance pour concevoir situations de travail et outils de régulation afin d'assurer un service de transport sûr et de qualité. Il s'agit d'apporter des connaissances sur les pratiques réelles de régulation en situations perturbées sur les deux acteurs principaux de la régulation, le chef de régulation au PCC et le chef de départ au PML.

Il s'agit de réaliser un **retour d'expérience** centré sur les pratiques réelles de traitement des situations perturbées. Les attentes concernent la hiérarchisation de l'urgence, le traitement des informations, par les opérateurs.

- **Accompagner la régulation et ses évolutions**

Il s'agit de produire des éléments d'aide à la décision en matière d'organisation de la régulation. L'entreprise a pour projet le regroupement des fonctions de régulation assurées actuellement au PCC et au PML en un même lieu et de les déplacer vers l'encadrement de ligne, de manière à rapprocher la régulation des objectifs commerciaux propres à l'unité opérationnelle que constitue une ligne de métro. Elle nous a donc interrogée sur les conséquences d'un tel changement organisationnel sur l'activité de régulation des opérateurs du PCC et du PML.

Notre recherche a également pour but de proposer des principes de conception d'outils d'aide, basés sur le fonctionnement cognitif des opérateurs. En particulier, nos préconisations seront mises en œuvre dans le développement d'un prototype d'outil d'aide à la régulation.

Nous reprendrons les trois questions de l'entreprise pour y répondre dans le chapitre 7.

3.3 Le choix de la situation étudiée

Nous avons répondu à la demande de l'entreprise en proposant de réaliser un retour d'expérience centré sur les opérateurs. Il s'agit de décrire et d'analyser finement l'activité de régulation d'une ligne. Pour cela, nous avons effectué le choix d'analyser l'activité de deux métiers et un type de situation, les situations perturbées.

Le choix de la ligne est fondé sur l'analyse des statistiques annuelles réalisées par l'entreprise (1997). Nous avons travaillé sur une des lignes représentative de la complexité du réseau étudié car elle est :

- la quatrième ligne en nombre de parcours de voyageurs effectués, qui sont supérieurs à 550 000 pour un jour ouvrable.
- la troisième ligne en nombre de perturbation apparaissant au rapport journalier des chefs de régulation, (pour l'année 1997, 1806 perturbations traitées par les chefs de régulation et pour les 9 premiers mois de 1998, 1406 perturbations traitées).

4 SYNTHÈSE

La régulation du métro consiste soit à maintenir un équilibre dynamique entre les trains en ligne soit à rétablir cet équilibre lorsqu'il n'est plus assuré. Cette tâche est réalisée principalement par les chefs de régulation au Poste de Commande Centralisé et les chefs de départ au Poste de Manœuvre Local. Nous avons choisi d'étudier l'activité complémentaire de ces opérateurs.

Les constats concernant le point de vue de l'entreprise sur les situations perturbées traduisent une définition "par défaut", un manque d'homogénéité et une approche essentiellement quantitative de ces situations. Ils mettent en évidence l'absence de traces concernant la construction du raisonnement des opérateurs pendant le traitement des situations perturbées. Le retour d'expérience tel qu'il est pratiqué est centré sur l'aspect technique des situations ; il est non systématique et porte sur les cas critiques d'accidents et d'incidents.

Ces constats ont amené l'entreprise à formuler une demande de recherche en ergonomie dans le but de réaliser un retour d'expérience centré sur les pratiques réelles de régulation du métro, en particulier le traitement des situations perturbées. Elle s'articulait autour de 3 questions :

- Définir les situations perturbées,
- Evaluer et assurer le suivi de la régulation,
- Accompagner la régulation et ses évolutions.

Cette demande s'inscrit dans notre problématique de recherche concernant l'étude des usages des instruments développés dans les situations de gestion d'environnements dynamiques. Les résultats de cette recherche contribueront à la définition des principes de conception ainsi qu'à l'aide à la décision pour l'évolution de la régulation.

Nous détaillerons dans le chapitre 4 la population étudiée, les postes de travail et la méthodologie que nous avons mis en œuvre pour analyser ces deux situations de travail.

CHAPITRE 4

LE RECUEIL DE DONNEES

Nous présentons dans ce chapitre les caractéristiques de la population étudiée, puis le découpage des situations d'analyse, avant de décrire notre choix d'analyser l'activité en situation réelle par le croisement de plusieurs méthodes de recueil de données. Nous évoquons pour terminer les modalités d'analyse des données.

1 LA POPULATION ETUDIEE

Nous avons travaillé avec des opérateurs titulaires du poste de régulation et volontaires pour participer à l'étude :

- Au PML, avec quatre chefs de départ,
- Au PCC, avec trois chefs de régulation.

1.1 Les chefs de départ

Le poste de chef de départ nécessite une connaissance approfondie de la production du transport et de l'organisation de l'exploitation d'une ligne de métro.

Ce poste appartient à la filière "Exploitation du réseau ferroviaire" et la sous-filière "Manœuvre des trains". Il s'agit d'un poste technique au plus proche du terrain, nécessitant une attention soutenue tout au long du service. L'accès au poste de chef de départ est possible par promotion au choix, embauche en qualité d'attaché technique ou concours interne.

Il existe deux voies pour accéder à ce poste :

- la promotion au choix, qui permet de suivre une formation qualifiante de 7 à 8 semaines et une semaine de mise en double sur un poste de chef de départ.
- le concours interne permet à un opérateur dans le cadre de l'apprentissage du métier, d'occuper le poste de chef de départ pendant au moins 40 "postes" par an, pour une durée de 6 mois à 1 an. Ces opérateurs occupent alternativement les postes de chef de départ (chargé de gérer les départs des rames) et chef de manœuvres. Les chefs de départ qui ont passé le concours interne sont d'anciens chefs de manœuvres (chargé de tracer les itinéraires dans le terminus, remplissant une fonction d'aiguilleur).

Le tableau 4 présente les caractéristiques professionnelles des opérateurs observés par rapport à la population des agents de maîtrise du département métro.

Tableau 4 : caractéristiques professionnelles des opérateurs observés

Opérateurs	N*	Age moyen	Ancienneté moyenne dans l'entreprise	Ancienneté moyenne au PML *	Ancienneté moyenne au poste *	Dernier poste occupé *
Chefs de départ observés	5	41,5 ans	13,3 ans	7 ans	1 à 3 ans	Agent de manœuvre départ (AMD) et chef de manœuvres
Agents de maîtrise du département métro	/?	39,9 ans	16,3 ans	/	/	/

* disponible uniquement pour les opérateurs observés au PML

Les opérateurs que nous avons observés ont en moyenne 41,5 ans, soit un peu plus que la moyenne des agents de maîtrise du département métro (âge moyen : 39,9 ans). Ils ont une ancienneté moyenne dans l'entreprise (13,3 ans) et dans le terminus (7 ans) assez élevée qui s'explique par le fait que c'est un poste auquel les opérateurs ne peuvent accéder directement en entrant dans l'entreprise. La différence entre l'ancienneté dans les locaux et l'ancienneté au poste s'explique par le fait que les chefs de départ ont occupé d'autres postes dans le même terminus. Tous ont occupé le poste de chef de manœuvres, ce qui signifie qu'ils connaissent bien le fonctionnement du terminus.

1.2 Les chefs de régulation

Les chefs de régulation appartiennent à la filière "Exploitation du réseau ferroviaire" et à la sous-filière "personnel de stations, gares et contrôle, du réseau métro". Les particularités des chefs de régulation résident dans le fait qu'ils sont considérés comme "l'élite des métiers de la régulation" et qu'ils occupent un poste de fin de carrière.

Ils constituent une population particulière au sein de l'exploitation parce qu'ils font partie d'un petit nombre "d'élus" (74 personnes). Cette population est à forte majorité masculine (1 femme au PCC soit 1,35%) alors qu'il y a 50,2 % de femmes dans tout le secteur de l'exploitation. Les chefs de régulation sont considérés comme "privilegiés" au sein de leur département car ils ont un statut d'agent de maîtrise avec un échelon hiérarchique particulier, des horaires particuliers qui leur permettent d'avoir 4 jours de repos consécutifs pour 6 jours travaillés au lieu de 2 jours pour 6 pour les agents en ligne et plus de jours de repos sur une année complète que les agents de maîtrise en ligne.

Les chefs de régulation accèdent à ce poste par une formation, sur demande et recommandation de l'encadrement. La formation de chef de régulation est accessible à des personnes expérimentées, reconnues par leurs pairs et leur encadrement, qui ont occupé des

fonctions opérationnelles à l'exploitation. Jusqu'à récemment, c'était un poste de fin de carrière pour les agents de maîtrise de l'exploitation. Il y a moins d'une session de formation par an.

Le tableau 5 présente les caractéristiques professionnelles des chefs de régulation.

Tableau 5 : caractéristiques professionnelles des chefs de régulation

Opérateurs	N*	Age moyen	Ancienneté moyenne dans l'entreprise	Ancienneté moyenne au PCC *	Ancienneté moyenne au poste (sur la ligne) *	Dernier poste occupé *
Chefs de régulation observés (PCC)	3	41,2 ans	19,2 ans	10,2 ans	4,4 ans	Sous-chef de terminus
Agents de maîtrise du département Métro	/	39,9 ans	16,3 ans	/	/	/

* disponible uniquement pour les opérateurs du PCC.

Ce tableau montre que les opérateurs du PCC observés sont en moyenne un peu plus âgés (41,2 ans) que les agents de maîtrise de leur département (39,9 ans). Ils ont une ancienneté dans l'entreprise supérieure (19,2 ans) à l'ancienneté moyenne des agents de maîtrise de leur département (16,3 ans). Le poste de chef de régulation est plutôt un poste de fin de carrière qui se libère au départ en retraite (sachant que les opérateurs de l'exploitation ont la possibilité de partir en retraite à 50 ans). La différence entre l'ancienneté au PCC et l'ancienneté au poste s'explique par le fait que chaque chef de régulation a pu réguler d'autres lignes avant d'être titulaire sur la ligne observée. Nous avons analysé l'activité de 3 des 5 opérateurs titulaires du poste de régulation de la ligne observée. Ces trois opérateurs ont occupé le poste d'agent de maîtrise appelé « sous-chef de terminus ». Deux d'entre eux ont été conducteurs et ont passé des concours pour devenir agent de maîtrise ; le troisième a été recruté à un niveau bac + 2 (DUT ou BTS) et a occupé directement un poste de maîtrise.

2 LES POSTES DE TRAVAIL

2.1 Le poste de travail du chef de départ au PML

Le poste de travail du chef de départ au PML comporte un synoptique, des écrans de visualisation, des outils d'informations sur l'état de l'offre de transport prévue et réelle et des moyens de communication (voir annexe C pour le détail de l'écran de la console de suivi).

L'annexe D présente les outils spécifiques du chef de départ au PML et les outils communs avec ceux du chef de régulation au PCC.

La figure 2 présente le poste de travail du chef de départ en terminus.

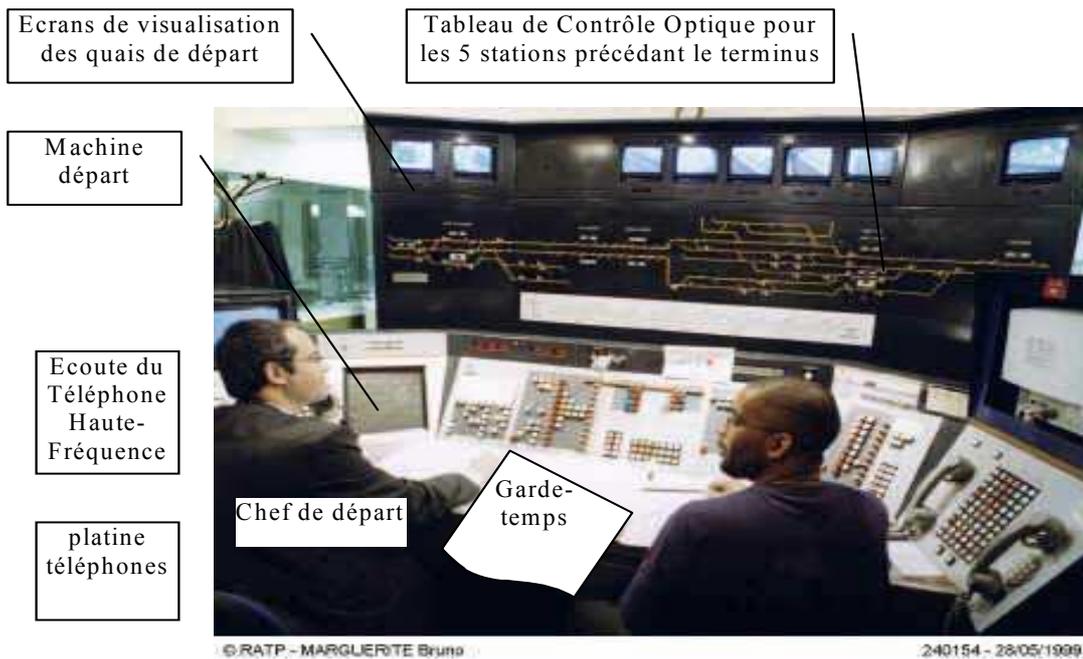


Figure 2 : poste de travail du chef de départ au PML

2.2 Le poste de travail du chef de régulation au PCC

Le poste de travail du chef de régulation au PCC est équipé d'un synoptique de ligne, d'un pupitre de commande et de moyens de télécommunications. L'annexe D présente le détail des outils spécifiques au poste du chef de régulation. La figure 3 présente le poste de travail du chef de régulation au PCC.

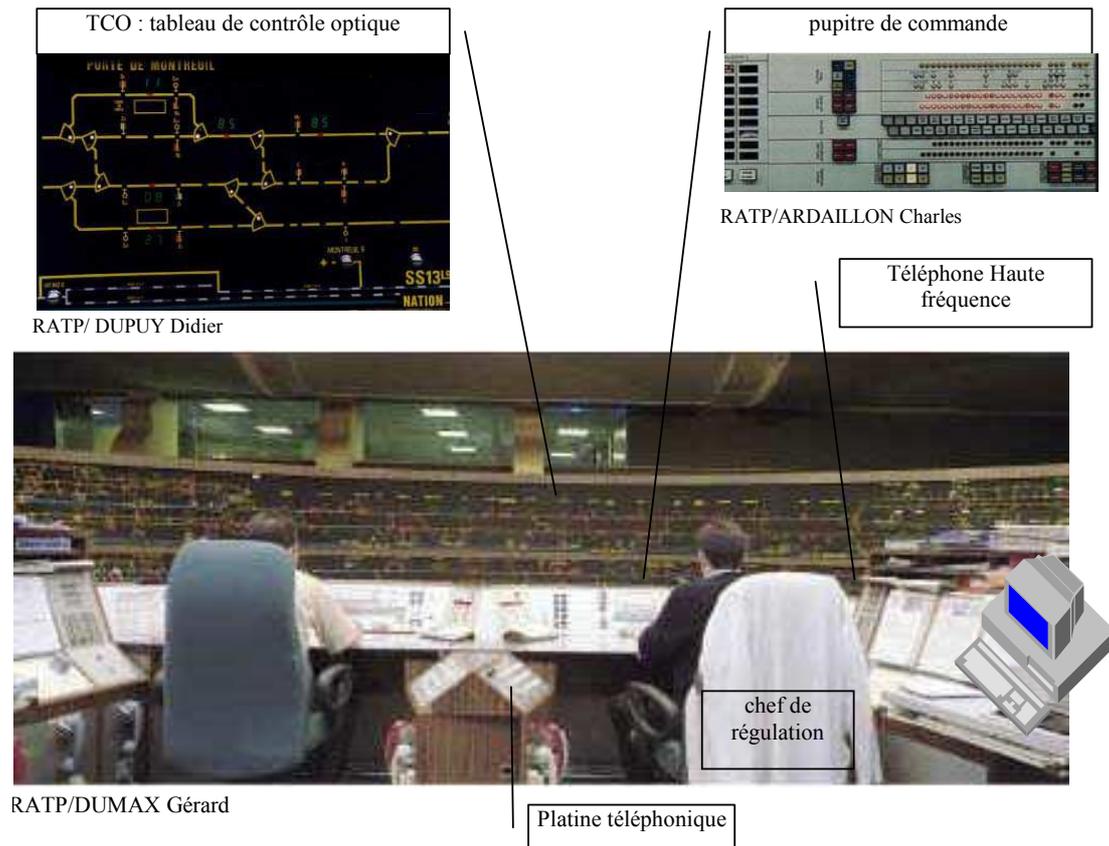


Figure 3 : poste de travail du chef de régulation au PCC

3 LE RECUEIL DE DONNEES

Notre démarche consiste à associer des observations en situation réelle, une analyse de protocoles verbaux et des entretiens sur le travail recueillis indépendamment de la réalisation de la tâche.

3.1 Analyser le travail en situation réelle

Nous étudions l'activité d'opérateurs professionnels de la régulation, en situation réelle. Nous avons procédé par "séances d'observation", c'est-à-dire par recueil systématique de données au cours de l'activité (Hoc, 1996). Ces observations étaient de durée variable (entre 4 et 12 heures). Elles ont pour but de vérifier, enrichir et démontrer des hypothèses de travail (Guérin *et al.*, 1991) puisque l'observation est l'approche la plus immédiate de l'activité. Rousseau (1989) utilise trois critères pour choisir les séquences d'activité à observer :

- recueillir un condensé de l'activité, représentatif de la variété du travail.

Sur ce point, nous avons procédé à une première analyse de la tâche. Quelques observations ouvertes nous ont permis de différencier des périodes de régulation en situation calme et d'autres de régulation en situation perturbée.

- prendre en compte les éléments du contexte de l'action.

Sur ce point, la première série d'observations et l'analyse de la tâche nous a permis de conclure que la tâche de régulation pouvait être subdivisée en deux sous tâches distinctes, qui dans la situation étudiée sont réparties entre les deux pôles principaux chargés de la régulation d'une ligne de métro.

- se centrer sur l'opérateur au poste.

Nous avons choisi d'analyser deux postes de travail, celui du chef de régulation au PCC et celui du chef de départ au PML et les interactions entre ces opérateurs et la ligne régulée.

L'étude en situation réelle permet d'accéder aux activités effectivement mises en jeu (Hoc, Plee ; 1996). Elle ne pose pas le problème d'avoir à simuler toutes les contraintes qui s'exercent sur l'activité (Samurçay et Rogalski, 1992). Elle est très riche en matériau, ce qui implique de faire des choix, telle la simplification du fonctionnement du système (Mailles, 1996).

Ce choix d'étudier une situation réelle nécessite la construction d'une méthodologie adaptée permettant d'appréhender la situation de manière globale. C'est pourquoi au cours de notre analyse de l'activité, nous avons recueilli des données sur la situation, l'organisation du travail par l'opérateur, ses actions et les moyens qu'il utilise dans l'activité de régulation du trafic, en utilisant des moyens vidéo. Nous détaillerons plus loin les éléments recueillis et les moyens mis en œuvre.

3.2 Les enregistrements vidéo de l'activité

Certains éléments historiques ont facilité l'introduction des caméras dans la salle de contrôle du PCC. Le travail du chef de régulation et son contexte a été pendant les années 70-80 la vitrine technologique de l'entreprise. Plusieurs films ont été réalisés dans la salle, par et pour l'entreprise. La nouveauté pour les opérateurs résidait dans l'objectif de la démarche, qui visait à réaliser des documents vidéo support à l'analyse de l'activité, pour comprendre l'usage des outils de régulation.

Le point de vue adopté est centré sur l'interaction médiatisée entre l'opérateur et le système qu'il doit réguler, par les outils dont il dispose. Nous avons donc choisi de réaliser un enregistrement vidéo :

- de l'état du système sur le synoptique de ligne (TCO),
- des actions de l'opérateur sur le pupitre de commande (mise en place et suppression des DSO, utilisation des commandes de gestion de l'énergie électrique),
- des communications (appels téléphoniques directs, utilisation des téléphones de quai et du THF).

Nous souhaitons disposer d'un support d'analyse assez riche et d'une vision dynamique de l'activité. Le recours aux observations vidéo pour l'analyse du travail a été favorisé par le faible coût, l'encombrement réduit et la bonne qualité des dispositifs d'enregistrement vidéo¹⁴. C'est aussi un outil idéal pour l'autoconfrontation, car il est support à la discussion et aux échanges avec les différents interlocuteurs. Il permet une plus grande précision du recueil par rapport aux méthodes papier/crayon, lorsqu'il est indispensable de noter à la fois le contenu de l'activité et le déroulement temporel et chronologique des événements (Kerguelen, 1998). Il permet d'obtenir un relevé d'observables dont la fréquence est élevée, la discrimination difficile ou lorsque la simultanéité rend impossible le relevé en temps réel (Minguy, 1995 ; Galinier, 1996). Il permet la précision et la prise en compte de combinaisons d'événements. Borzeix (1997) indique que l'usage de la vidéo permet de disposer d'un matériau pouvant faire apparaître l'enchaînement des actions au cours d'une unité d'analyse suffisamment longue. Le film a également pour avantage de "saisir la situation réelle" et permet de compléter les éléments de contexte que ne peut recueillir (ou seulement partiellement) la prise de notes ou l'enregistrement audio (Falzon, 1996). Il peut servir de support à l'autoconfrontation. Kerguelen (1998) souligne que l'usage d'un plan fixe pour filmer la situation conduit à réduire la situation et à réaliser un recueil incomplet, par contre l'utilisation d'un champ mobile demande une certaine maîtrise des techniques de prise de vue.

La démarche a été présentée oralement et dans un document écrit à la hiérarchie, puis résumée dans un "courrier" d'une page distribué aux chefs de régulation et aux chefs de départ

¹⁴ Même si le recours à ce type d'enregistrement nécessite une coordination pour une précision temporelle et chronologique de l'activité, la présence de l'analyste lors des prises de vue, l'instauration d'une relation de confiance entre l'observé et l'observateur et la garantie que les observations restent sous le contrôle de l'intervenant, un long dépouillement des données.

volontaires. Une affichette a été placardée dans le terminus pour informer les conducteurs sur les raisons de la présence d'une caméra dans le PML.

L'annexe E présente les installations des prises de vue au PML et au PCC.

3.3 Déroulement des prises de vue

- **Au PML**

Les caractéristiques des situations traitées au PML sont telles que certaines situations ne se révèlent perturbées que bien après leur commencement. C'est pourquoi nous avons choisi, comme Filippi (1994) sur le RER, de réaliser les prises de vue de l'activité des chefs de départ en continu et d'isoler ensuite les situations perturbées dans la chronologie de l'activité. La dimension temporelle est ainsi prise en compte pour rendre la dynamique de la situation.

- **Au PCC**

Nous avons choisi de déclencher les enregistrements au moment du début de chaque perturbation dès qu'un événement nous était signalé par le chef de régulation. Les situations perturbées traitées au PCC constituent des unités relativement indépendantes les unes des autres et facilement identifiables. Les critères que nous avons utilisés pour déclencher les enregistrements s'appuient sur :

- **le signalement** par le chef de régulation d'un dysfonctionnement dans la marche des trains,
- **ou un appel de conducteur** au Téléphone Haute Fréquence (THF) signalant un stationnement, un problème sur les installations fixes, une demande de coupure de courant immédiate,
- **ou une coupure de l'énergie électrique** de traction au synoptique (TCO).

Ce choix de déclencher instantanément l'enregistrement implique que la continuité temporelle de l'activité ne soit pas prise en compte au-delà de l'unité constituée par le traitement d'une situation perturbée (Filippi, 1994). Ce type de méthode de déclenchement « à la demande » ne serait pas pertinent pour évaluer la charge de travail des opérateurs par exemple ou pour une étude du cours d'action mais elle est appropriée dans le cadre d'une étude se centrant sur les situations perturbées en tant qu'unité d'observation.

3.3.1 Le recueil des traces de l'activité

Ce recueil consiste à recueillir les traces ou supports utilisés et les productions issues de l'activité des opérateurs observés.

3.3.1.1 Au PML

Les chefs de départ travaillent à partir d'un document qui reprend tous les horaires de départ des rames du terminus pour la journée. Il s'agit du garde-temps, document qui présente l'offre de transport théorique, donc nous présentons un extrait en annexe F. Ils remplissent au fur et à mesure la colonne "horaire réel" afin d'y faire figurer l'offre de transport effectivement réalisée. L'intérêt de ce document est qu'il présente en parallèle l'offre de transport théorique et l'offre de transport réalisée. Ce garde-temps a été systématiquement relevé lors des séances d'observation. Le garde-temps du terminus que nous avons étudié comporte une colonne "observations" réservée aux commentaires et explications concernant les événements survenus sur la ligne. Cette colonne permet de mettre en relation une modification de l'offre de transport avec les raisons qui l'ont motivée. Il ne retrace pas les modalités d'enchaînement des prises de décision de régulation.

3.3.1.2 Au PCC

Les chefs de régulations produisent un compte-rendu sur un micro-ordinateur à la suite du traitement de chaque situation perturbée. Ce compte-rendu, appelé "rapport journalier", a été recueilli systématiquement après les séances d'observation. Il comporte les éléments suivants caractérisant l'événement survenu :

- l'heure d'occurrence
- sa localisation (station, voie, rame, numéro de voiture et de matériel..),
- l'intervenant concerné (conducteur, sous-chef de terminus...),
- le motif, qui permet de décrire l'action ou l'événement (exemple : signal d'espacement anormalement rouge),
- la cause (exemple : si elle est identifiée ou pas),
- la nature de l'événement (exemple : DI pour disjonction d'intensité, DG pour déclenchement général, DA pour disjonction d'alarme),

- parfois la durée totale de l'événement (exemple : "RST 23 min" pour une remise sous tension après 23 minutes d'interruption).

3.4 Les entretiens et verbalisations

3.4.1 Les entretiens hors situation de travail

Ces entretiens hors situation de travail ont été réalisés lors de la phase préliminaire de l'étude. Ils étaient centrés sur la description des éléments du travail et les techniques de manipulation des outils de régulation. Dans certains cas, nous avons pu baser nos entretiens sur des exemples issus d'observations ouvertes pour poser nos questions à partir de cas concrets. Nous avons pu obtenir des explications et des commentaires à propos d'événements et d'actions effectivement vécus. Nous avons enregistré les entretiens sur bande audio et réalisé des analyses de contenu sur la base d'une retranscription intégrale.

Nous avons également réalisé des entretiens complémentaires aux observations de l'activité. Ce type d'entretiens a été utilisé ponctuellement, pour les situations observées en terminus et lorsque l'autoconfrontation au PCC ne permettait pas d'interpréter entièrement les données. Ils ont été enregistrés et retranscrits puis synchronisés avec les protocoles d'observation permettant de compenser le caractère non systématique des verbalisations simultanées.

3.4.2 Les verbalisations simultanées

Cette technique consiste à demander à l'opérateur de réaliser une tâche réalisant des commentaires à haute voix. Cette méthode associe le recueil en parallèle de données sur l'activité issues des verbalisations en cours d'activité. Nous avons procédé par enregistrement sur bande vidéo, permettant de mettre en parallèle verbalisations et activité observée. Nous avons également recueilli les traces de l'activité telles que les annotations résultant de l'activité ou le recours à des aides externes.

- **Au PML**

Nous avons demandé aux opérateurs d'explicitier la réalisation de leur travail. Nous avons formulé la consigne suivante : *"pendant cette séance, je vous demanderais de me dire à haute voix tout ce que vous faites et de m'expliquer de manière la plus détaillée possible comment vous faites et pourquoi vous le faites, lorsque vous manipulez vos outils pour réguler la ligne"*.

- **Au PCC**

Les verbalisations systématiques en cours d'activité étaient impossibles, car elles risquaient de mettre les opérateurs en situation de double tâche, dans une activité comportant une composante sécuritaire. Nous avons donc utilisé l'autoconfrontation, décrite dans le paragraphe 3. 4.3.

L'avantage de cette méthode est de compenser les lacunes des techniques classiques d'observation qui se limitent au recueil des éléments observables de l'activité et ne permettent pas d'accéder aux raisonnements mis en œuvre. Elle permet d'accéder aux processus mentaux c'est-à-dire au raisonnements et aux connaissances impliqués dans la réalisation d'une tâche (Bisseret, Sébillotte, Falzon ; 1999). Cette technique suppose une bonne connaissance préalable du travail par l'analyste, acquise par une première phase d'observations préliminaires (entretiens, enregistrements audio, observations papier/crayon). Cette méthode comporte une contrainte de temps, puisque le recueil de protocoles est relativement long (Hoc, 1993). Mais nous avons passé 3 ans dans l'entreprise et 6 mois sur le terrain proprement dit.

3.4.3 L'autoconfrontation au PCC

Nous n'avons pu réaliser d'autoconfrontation avec les opérateurs du PML pour des raisons de locaux et de matériel (il n'y a pas de salle de réunion ni de matériel de vidéo-projection dans un terminus de métro), mais nous avons pu demander aux opérateurs de verbaliser en cours d'activité car l'activité au PML permet ce type d'interférence.

Par contre nous l'avons utilisée au PCC pour présenter aux régulateurs un film de leur activité.

3.4.3.1 Mise en œuvre

Au PCC, nous avons réalisé une autoconfrontation individuelle avec chaque chef de régulation. Nous avons utilisé cette technique de l'entretien a posteriori avec un support vidéo pour recueillir des explications sur la situation, la justification des actions et la construction de l'activité. L'autoconfrontation permet d'avoir une trace des situations et de remédier à leur caractère elliptique par l'explicitation ultérieure des intentions et des savoirs mobilisés (Borzeix, 1997). L'autoconfrontation éclaire la compréhension de l'activité en restant proche des faits et de la situation vécue, grâce au support utilisé (ici, la vidéo et les rapports écrits des opérateurs). Elle permet de relier l'action aux représentations, règles et savoirs, situer l'action et comprendre le rapport au métier.

Nous avons réalisé des autoconfrontations individuelles, que nous avons enregistrées sur magnétophone puis retranscrites intégralement et ajoutées aux protocoles. Le support de ces

autoconfrontation était double : enregistrements vidéo réalisés lors de l'observation et rapports journaliers établis par l'opérateur suite au traitement de la situation perturbée, qui présente un compte rendu du point de vue des résultats de l'action et de la procédure suivie.

La consigne était la suivante : *"Aujourd'hui, nous allons regarder les vidéos que j'ai réalisées ensemble. Vous avez traité un certain nombre de situations perturbées. Nous allons en revoir certaines tenter de comprendre ce qui s'y est passé, comment elles ont été traitées, avec quelles actions de régulation et pourquoi. Un peu comme le débriefing après une séance de simulation en formation, sauf que l'on s'appuie sur ce film"*.

Ce support vidéo a permis de mettre l'opérateur face à son activité sur le système, ses verbalisations en cours d'activité, l'affichage de l'horodatage sur les bandes vidéo et l'état du système, c'est-à-dire le suivi de la transformation du processus.

3.4.3.2 *Le support vidéo de l'autoconfrontation*

Filippi (1994) note que l'autoconfrontation permet d'explicitier les actions dont la signification n'apparaît pas clairement à l'observateur. Elle souligne que dans sa propre méthodologie d'autoconfrontation, il manquait aux opérateurs une représentation de l'évolution de la ligne, pour se remettre réellement dans les conditions de l'activité. C'est pourquoi nous avons choisi de filmer aussi le TCO¹⁵ et d'inclure cette image comme support de l'autoconfrontation. Les opérateurs ont noté cette caractéristique comme un élément qui les aidait beaucoup à se remettre "dans le bain", étant donné que les autoconfrontations pouvaient avoir lieu longtemps après l'observation. Chaque opérateur a été amené à commenter sa propre activité à partir d'un montage des deux prises de vue filmées par les deux caméras vidéo. Les plans issus des prises de vue sont mixés pour obtenir une bande VHS. La figure 4 présente le montage des images des deux caméras.

¹⁵ Le TCO (tableau de contrôle optique) propose une représentation dynamique du déplacement des rames sur les deux voies de circulation. L'annexe S présente les postes de travail et le détail des outils à disposition des opérateurs

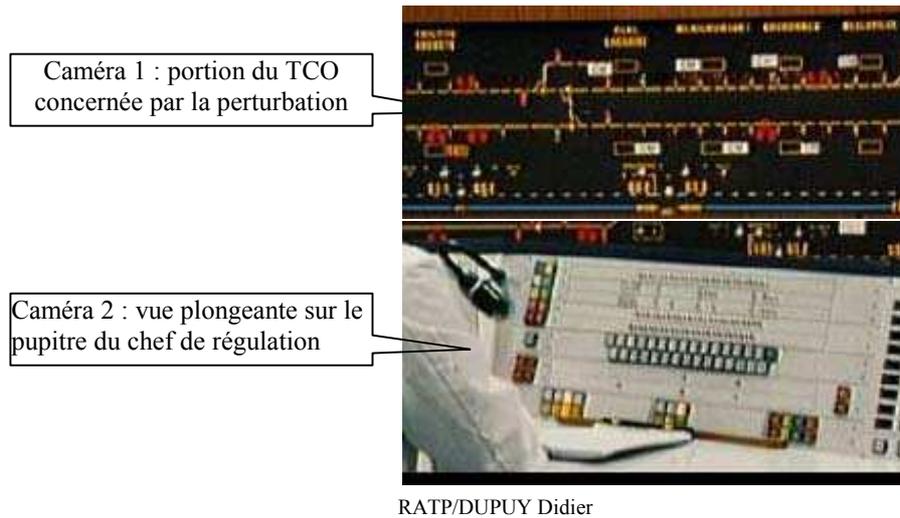


Figure 4: image issue du montage vidéo support de l'autoconfrontation au PCC

4 ANALYSE DES DONNEES

4.1 Analyse thématique à partir d'entretiens

Pour commencer, nous avons procédé à deux observations d'une journée auprès des chefs de régulation et des chefs de départ pour recueillir des exemples de situations traitées. Nous avons ainsi pu construire une grille d'entretien, à partir de cas concrets. Sur la base de ces exemples, nous avons réalisé 22 entretiens dans le but de dégager une liste de critères de différenciation des situations perturbées pour chaque pôle de régulation observé (le PCC et le PML).

L'analyse thématique de ces entretiens nous a permis d'identifier certaines dimensions des situations importantes pour les opérateurs.

L'analyse a consisté à relever dans chaque entretien tout élément permettant de différencier deux situations entre elles, de préciser des circonstances, des conditions à remplir, des moyens disponibles et des critères pondérant le degré de dégradation de la situation. Nous avons identifié des critères liés à la situation elle-même, au contexte, à l'action, aux causes ou aux conséquences d'un événement.

La validation de ces critères a été réalisée par une présentation individuelle des résultats à quatre chefs de régulation et quatre chefs de départ et par une analyse de l'activité qui nous a permis de compléter et valider les critères issus des entretiens.

4.2 Retranscription des données issues de l'observation vidéo

Le recueil de données a pour but de construire des protocoles individuels établis du point de vue de l'opérateur tenant le poste lors de la session d'observation. Pour chaque situation et pour chaque opérateur nous avons retranscrit toutes les données disponibles sur la base des enregistrements, des prises de note et des traces de l'activité. Pour le PCC nous y avons ajouté la retranscription des autoconfrontations. L'horodatage des différentes méthodes de recueil a permis de synchroniser les données dans les protocoles. Ces protocoles permettent de reconstituer l'activité des chefs de régulation et des chefs de départ pendant le traitement de situations perturbées, de leur déclenchement au retour à la normale, en prenant en compte l'occurrence et la chronologie de l'activité.

Nous avons retranscrit les données issues de la vidéo en ne conservant que les situations exploitables, c'est-à-dire complètes et de durée acceptable pour être analysées, d'où l'échantillon de situations de taille réduite que nous avons analysé. Cependant, nous avons pu observer un grand nombre de situations perturbées lors de la réalisation des films (environ 3 mois au PCC et 1 mois au PML), qui nous ont permis de valider nos résultats, même sur des observations partielles.

4.2.1 Données sur le processus

4.2.1.1 Au PML

Pour les observations systématiques, les prises de notes sur la position des rames à quai de départ sur une grille d'observation et l'image vidéo des manipulations de l'opérateur ont été complétées par les informations chronologiques sur les numéros des rames et leurs heures réelles de départ consignées sur le Garde-Temps.

4.2.1.2 Au PCC

Pour les observations systématiques, l'image du synoptique a permis d'identifier précisément les numéros et la position des rames concernées par les actions de l'opérateur et de reconstituer la chronologie des mouvements des rames. Le rapport journalier a permis de vérifier la cohérence des informations observées.

4.3 Les protocoles

4.3.1 Organisation

Nous avons organisé les protocoles en colonnes permettant de mettre en parallèle les différentes dimensions de l'activité. Chaque protocole comporte : l'identité de chaque locuteur c'est-à-dire " qui s'adresse à qui ", l'heure, le contenu des communications, les prises d'informations et les différentes sources d'information, les actions et les moyens associés à l'action sur le processus, les verbalisations spontanées en cours d'activité pour le PCC et le PML et les verbalisations issues de l'autoconfrontation, pour le PCC ; des observables relatifs au système technique et au contexte dans lequel se déroule l'action comme les événements du trafic, la position des rames¹⁶.

Nous avons enlevé de chaque retranscription les éléments non liés directement à la gestion du trafic¹⁷.

- **Au PML** : il s'agit, par exemple, des tâches de gestion des déplacements des trains dans le terminus (manœuvres), de la pose de pancarte "Personnel Sur les Voies", ou de la gestion des horaires de travail des conducteurs.
- **Au PCC** : il s'agit, par exemple, des tâches de recueil et de consignation d'anomalies dans les stations signalées par les conducteurs qui ne perturbent pas le trafic, les tests de fonctionnement des installations, les demandes de pose de pancartes "Personnel Sur les Voies".

4.3.2 Découpage

Chaque protocole recueilli au PCC et au PML est découpé en "situations" et ensuite pour le PML, en "épisodes".

4.3.2.1 Les "situations"

Ces situations sont caractérisées par un événement qui marque leur début et leur fin. Pour identifier les situations, nous sommes partie de la définition de l'entreprise, selon laquelle "une perturbation correspond à la période au cours de laquelle il n'est plus possible

¹⁶ Les annexes G et I présentent deux protocoles, l'un pour le PML, l'autre pour le PCC.

¹⁷ ces informations n'étaient pas directement utiles pour notre analyse, par contre, elles doivent être prises en compte pour une étude de l'activité du régulateur dans son ensemble, au delà de la régulation du trafic.

d'appliquer l'horaire et les intervalles prévus". En termes plus psychologiques, une situation correspond à un regroupement des comportements observables (actions sur les commandes, communications, regards...) et des raisonnements et interprétations verbalisées en fonction d'un but identifié (Lamonde, 1992).

- **Au PML**

Nous avons identifié le début d'une situation perturbée par une dégradation de la régularité des intervalles et un retard par rapport à l'horaire prévu. Deux situations perturbées sont séparées par des périodes au cours desquelles le retard de la ligne est stable et les intervalles entre les trains sont réguliers.

Nous avons utilisé les données issues du garde-temps sur lequel chaque heure de départ réelle est notée en face de l'heure de départ théorique au fur et à mesure de la journée.

- **Au PCC**

Une situation perturbée est identifiée par un événement survenant par rapport au cours normal du trafic qui perturbe ou risque de perturber le déroulement de l'offre de transport. La durée d'une situation perturbée correspond à son traitement par l'opérateur jusqu'au retour à la normale. Pour identifier les perturbations, nous avons utilisé comme critère une coupure de courant apparaissant au TCO ou un appel d'un conducteur signalant un problème sur sa rame. Ces critères nous avaient permis de déclencher nos enregistrements vidéo.

4.3.2.2 *Les "épisodes"*

Pour les données du PML, nous avons découpé chaque situation en épisodes. Nous avons choisi d'identifier les stratégies de régulation au niveau des épisodes, ce qui permet une analyse plus fine lors de la recherche des invariants.

Un épisode est caractérisé par :

- le traitement d'un événement concernant une ou plusieurs rames, entre le moment où l'opérateur le détecte et le moment où la rame concernée quitte le terminus. Cet événement peut être de type "une rame est en retard par rapport à l'heure prévue", ou plus rarement de type "une rame est en avance par rapport à l'heure prévue".
- un but à atteindre comme, par exemple "*diminuer le retard de la rame 56*". Bertrand et Weill-Fassina (1993) définissent un but comme un élément de l'état du dispositif qui oriente l'activité de l'opérateur et auquel il cherche à répondre.

Chaque situation comporte un ou plusieurs épisodes successifs jusqu'à la stabilisation finale qui constitue la fin du traitement. Cet événement peut être de type "une rame est en retard par rapport à l'heure prévue", ou beaucoup plus rarement, de type "une rame est en avance par rapport à l'heure prévue". Un épisode est également caractérisé par un but à atteindre comme par exemple : « *gérer le retard de la rame 65* ».

Un épisode peut être rapporté au découpage en "séries" des situations perturbées analysées par Filippi (1994) dans une situation de régulation du RER.

Nous n'avons pas découpé les situations en épisodes au PCC car d'après les opérateurs, l'unité pertinente d'action est la situation.

Le tableau 6 récapitule les caractéristiques du découpage réalisé sur les protocoles.

Tableau 6 : caractéristiques des données retranscrites

	Situations	Episodes
PML	La durée inscrite entre deux périodes au cours desquelles le retard global de la ligne est stable pendant plus de 10 minutes et les intervalles entre les trains sont réguliers.	Le suivi d'une ou plusieurs rames cibles au cours du traitement constitue un épisode. Il comporte les prises d'informations et les actions de régulation liées à cette rame depuis la détection jusqu'à son départ du terminus
PCC	Le traitement d'un événement survenant sur la ligne, qui perturbe ou risque de perturber le déroulement de l'offre de transport. Le suivi porte sur une rame directement concernée par la cause de la perturbation ou un groupe de rames situées en amont ou en aval du lieu de la perturbation et des manœuvres qui leur sont associées	Pas de découpage en épisode car l'unité pertinente d'action est la situation

4.3.3 Codage

Nous avons analysé un échantillon de 9 situations au PML et 10 situations au PCC.

4.3.3.1 Protocoles PML

Nous avons tout d'abord codé toutes les rames concernées de manière à identifier le suivi des rames tout au long de chaque situation. L'annexe G présente un protocole du PML et tous les codages réalisés. Pour chaque rame de chaque protocole du PML nous avons codé :

- Les caractéristiques de la perturbation (l'horaire théorique et réel, l'intervalle théorique et réel, retard global, durée, nombre de rames concernées...)
- Les caractéristiques du traitement de la perturbation : l'évolution de la prise de retard, la majoration/minoration de l'intervalle, en valeur absolue et pourcentage, les manœuvres réalisées (type, valeur globale, nombre de rames concernées, valeur de la manœuvre par rame, la justification et le numéro des rames concernées), l'anticipation (en délai temporel,

en nombre de rames), la performance (sous forme d'indicateurs et sous forme de graphes), le suivi du retard, des intervalles théoriques et réels, le suivi individuel de chaque rame au cours d'une situation.

Nous avons ensuite réuni dans un tableau récapitulatif toutes les situations et tous les épisodes codés, de manière à réaliser des analyses quantitatives et qualitatives sur notre échantillon.

4.3.3.2 *Protocoles PCC*

Pour chaque protocole du PCC, nous avons codé :

- Les caractéristiques de la perturbation (durée, proportion d'interruption de trafic , période, intervalle théorique, nombre de rames dans la perturbation, localisation, zone, coupure de courant, présence de rame sous tunnel, ...).
- Les caractéristiques du traitement de la perturbation à savoir le mode de détection, l'information utilisée, gestion du trafic résiduel, heures et délais de connaissance de la nature et de la cause, nombre de rames concernées par la prise d'informations et par l'action, type de diagnostic...) et en particulier l'anticipation et la performance (par des indicateurs calculés).

L'annexe H présente un protocole pour le PCC.

5 SYNTHÈSE

Dans ce chapitre, nous avons présenté la méthodologie générale utilisée pour notre étude. Nous avons réalisé une analyse de l'activité de régulation en situation réelle, combinant des enregistrements audio et vidéo, le recueil de verbalisations pendant et hors activité et des traces de l'activité, dans le but de recueillir des données sur la situation et les comportements spontanés ainsi que des données verbales provoquées, essentiellement pour la compréhension de l'activité (Hoc et Amalberti, 1999). Nous avons observé le traitement de situations perturbées de 4 chefs de départ au PML et de 5 chefs de régulation au PCC, tous expérimentés. Notre objectif méthodologique était de s'assurer de recueillir le maximum d'informations permettant une reconstitution de l'activité qui soit la plus fidèle possible à la réalité du travail des opérateurs.

Les situations perturbées s'inscrivent dans la dynamique du processus et ont des caractéristiques spécifiques au PML et au PCC.

Les protocoles recueillis sont retranscrits et synchronisés puis découpés en situations (PCC et PML) et épisodes (pour le PML seulement). Le tableau 7 récapitule les caractéristiques principales du recueil de données et des protocoles au PML et au PCC.

Tableau 7 : caractéristiques du dispositif de recueil de données

	Entretiens hors situation	Analyse du travail en situation réelle	Recueil des verbalisations		Enregistrement vidéo	Recueil des traces de l'activité
			Pendant l'activité	A posteriori		
PML	oui	oui	oui	non	continu	Garde-temps avec colonne « rapport »
PCC	oui	oui	non	autoconfrontation	instantané	rapport journalier

Les chapitres suivants (5 et 6) présentent les résultats issus de cette analyse.

PARTIE 3
LES RESULTATS

INTRODUCTION

Les entretiens préliminaires nous ont permis d'identifier qu'une situation peut être perturbée du point de vue de l'un des pôles de la régulation et ne pas l'être pour l'autre pôle. Nous avons ensuite mis en relation le discours des chefs de régulation (PCC) et celui des chefs de départ (PML). Les opérateurs n'évoquent pas de construction commune de la résolution d'une situation perturbée entre le PCC et le PML :

- **du point de vue du PML**, le chef de départ doit assurer le retour à la régularité et la ponctualité du trafic, en tenant compte des variations de l'offre de transport prévue. Lorsque qu'une rame est en retard, le PCC n'intervient pas toujours, car souvent pour lui, la ligne n'est pas perturbée si les intervalles restent réguliers. Dans ce cas, le chef de départ intervient indépendamment du chef de régulation pour traiter la perturbation.
- **du point de vue du PCC**, il s'agit de prendre les mesures pour identifier la cause de la perturbation et d'assurer que le trafic autour du lieu de la perturbation reste régulier et ne se dégrade pas plus. A la fin de la perturbation, le chef de régulation doit rétablir le trafic et là, il informe le ou les chef(s) de départ dans le(s) terminus pour que celui entre en action et absorbe les conséquences de la perturbation en modifiant les heures de départ des rames. Le chef de départ intervient après la fin de la perturbation, suite à l'intervention du chef de régulation.

Notons ce phénomène de "cascade" qui fait que l'activité des chefs de régulation est un déterminant de l'activité des chefs de départ qui nous amène à évoquer plutôt une somme d'interdépendances qu'un collectif pour décrire l'organisation entre les deux pôles de la régulation.

Nous avons également quantifié les échanges entre le PCC et le PML au cours du traitement de 10 situations perturbées. Le chef de régulation du PCC s'adresse dans 6 situations sur 10 au chef de départ du PML qui va recevoir la rame concernée par la perturbation. Nous savons que la tâche du chef de départ consiste gérer les rames qui arrivent dans son terminus sur la voie de réception. Si nous n'avons pas observé de construction collective du traitement des situations perturbées, nous avons pu observer un passage de témoin entre le PCC et le PML.

Nous avons donc choisi d'analyser séparément l'activité des chefs de régulation et de départ, d'où l'organisation de la troisième partie de la thèse autour de deux chapitres de résultats :

- Chapitre 5 : la caractérisation des stratégies de régulation et des instruments pour les chefs de départ au PML
- Chapitre 6 : la caractérisation des stratégies de régulation et des instruments pour les chefs de régulation au PCC

CHAPITRE 5

LES STRATEGIES DE REGULATION ET LES INSTRUMENTS DES REGULATEURS DE TERMINUS

Dans ce chapitre, nous examinons les stratégies de régulation des chefs de départ. Nous mettrons en évidence les liens entre les épisodes, les types de prise d'informations et d'action et les instruments construits par les opérateurs.

Nous répondrons aux questions suivantes :

- Quels sont les types de prise d'informations et d'action et les instruments mis en œuvre par les opérateurs en situation perturbée ?
- Comment les opérateurs agissent sur l'objet de leur activité et quels sont les instruments mobilisés ?
- Les stratégies de régulation sont-elles équivalentes sur le plan de la performance ?
- Les stratégies dépendent-elles des opérateurs ?
- Retrouve-t-on au niveau des situations, les invariants observés pour les épisodes ?

Ce chapitre s'organise en 4 parties :

- la première caractérise les situations perturbées sur la base des entretiens et de l'analyse de l'activité,
- la seconde décrit les schèmes, les instruments et concepts pragmatiques impliqués dans la prise d'informations,
- la troisième présente les instruments et les stratégies de l'action,
- la dernière partie présente les stratégies globales des chefs de départ.

1 CARACTERISATION DES SITUATIONS PERTURBEES

1.1 A partir des entretiens

Les opérateurs distinguent des dimensions qui permettent de caractériser les situations et les facteurs de pondération, qui font basculer une situation d'un degré de perturbation à un autre selon la valeur qu'ils prennent. A titre d'exemple, ils citent la période de l'offre de transport où survient la perturbation.

C'est un facteur de pondération, car pour deux situations comparables en tous points, la période au cours de laquelle elles surviennent fera la différence entre une situation moyennement et très perturbée.

1.1.1 Dimensions de différenciation

Les chefs de départ différencient les situations perturbées entre elles sur la base des dimensions suivantes :

- Disponibilité d'une information concernant la présence ou non d'une perturbation en ligne signalée par un autre intervenant de la régulation
 - pas de perturbation : il peut s'agir d'un retard ponctuel en ligne du à une affluence ponctuelle de voyageurs. En général, il s'agit d'un retard "banal" ; c'est un retard cumulé.
 - une perturbation signalée par le PCC ou par le chef de départ de l'autre PML. La cause du retard permet d'en évaluer la durée. Généralement, s'il y a risque de dégradation, il faut se préparer à la mise en place de manœuvres importantes.
- Dégradation du trafic suite au non-respect des horaires et/ou des intervalles prévus
 - dégradation de la régularité ou non-respect des intervalles prévus au garde-temps : les intervalles s'éloignent des intervalles prévus, ou deviennent irréguliers. Dès que l'on ne respecte plus l'intervalle, on ne respecte plus l'horaire non plus, les trains sont en retard et les intervalles ne sont plus réguliers. Il peut s'agir d'un train ou de plusieurs qui prennent du retard en ligne suite à un incident ou en cumulant du retard en parcourant la ligne.
 - dégradation de la ponctualité ou non-respect des horaires prévus pour les services des conducteurs : les conducteurs ne repartent pas à l'heure prévue, on risque de ne pouvoir les ré-expédier en ligne si le retard devient trop important. L'offre de transport peut ne plus être assurée, si on supprime un train.
- Localisation de la perturbation
 - près du terminus géré : l'incident a lieu dans les quelques stations à proximité du terminus, cela signifie, moins de temps pour réagir et pour répartir le retard sur plusieurs trains.
 - près de l'autre terminus : le chef de départ a du temps pour "voir venir". Dès que l'autre terminus (ou le PCC) lui a signalé le problème, il va pointer le train le plus retardé et préparer son action.
 - en ligne : dans ce cas, le chef de départ peut pointer les trains sur la console de suivi.

Dans les deux derniers cas, après le traitement de la situation perturbée, le chef de départ ré-expédie en ligne les conducteurs rattachés à l'autre terminus.

1.1.2 Facteurs de pondération

Il s'agit de facteurs considérés par les chefs de départ comme pouvant aggraver l'état de la perturbation. Ils concernent la période de l'offre de transport, les décisions antérieures, le retard global de la ligne et sa prévisibilité, la ligne concernée et le type de manœuvre de retournement.

- Période de l'offre de transport
 - heures creuses = périodes de stabilisation de l'offre de transport = intervalle pratiqué long. Le retard peut être stabilisé, voire diminué
 - périodes de transition dégarage/garage = périodes où il faut absolument respecter les horaires de dégarages/garage et de départ des trains, car le battement en terminus est quasiment nul et la période de dégarage prépare l'offre de transport de la période d'affluence. Il s'agit des "flancs de pointe" de l'affluence, soit avant (pour les dégarages) ou après (pour les garages). Pendant ces périodes, quand il commence à y avoir du retard, que le chef de départ décale les départ des trains, il n'est pas possible de le stabiliser, ni de le réduire.
 - heures de pointe = heures d'affluence = l'intervalle pratiqué est court. Vers 16h-17h par exemple, l'affluence arrive et souvent le retard déjà pris s'accroît. Le chef de départ ne maîtrise pas le retard, il le subit.
- Décisions antérieures prises par les autres intervenants de la ligne (le PCC et l'autre PML)
 - peu de modifications : mise en place d'un SP ponctuel pour un ou deux trains, seuls quelques trains sont concernés, peu de déclassements de conducteurs, peu de manœuvres,
 - modifications importantes : mise en place d'un SP à durée indéterminée, beaucoup de trains sont concernés, beaucoup de déclassements en ligne.
- Retard global de la ligne en début de perturbation
 - le retard est nul ou faible
 - le retard est important, voire même égal ou supérieur à 30 minutes, il faut gérer les conducteurs en fonction de leur terminus d'attachement.

- Prévisibilité du retard
 - retard prévisible : c'est un retard d'un ou plusieurs trains signalé en amont sur la ligne. S'il est prévisible il sera réparti sur plusieurs trains par diminution des temps de battement et modification des intervalles d'un grand nombre de trains. Ce retard sera peu visible pour les voyageurs.
 - retard imprévisible : c'est un événement inopiné qui conduit l'opérateur à modifier le temps de battement en terminus et/ou modifier l'intervalle sur un petit nombre de rames.
- Ligne concernée
 - ligne longue : beaucoup de trains à gérer mais plus de temps pour réagir à des retards signalés précocement et plus de possibilités pour répartir ce retard sur de nombreux trains
 - ligne courte : peu de trains à gérer mais aussi moins de temps pour réagir et moins de possibilités de répartir le retard sur un grand nombre de trains
- Type de manœuvre de retournement possible en terminus
 - l'existence d'installations pour réaliser des manœuvres zéro (faire entrer directement une rame à quai de départ) permet de gagner du temps si le retard est minime, pas si le retard est important.
 - si le terminus dispose de plusieurs quais de départ il est possible d'alterner les départs et une rame qui ne part pas ne bloque pas le terminus.

1.2 A partir de l'analyse de l'activité

Nous allons maintenant nous pencher sur la façon dont les éléments qui permettent de caractériser les situations perturbées que nous venons de décrire sont pris en compte dans l'activité des opérateurs.

Pour cela, nous analysons un échantillon de situations perturbées traitées par les chefs de départ en terminus.

La situation correspond à une unité significative d'action organisée, mais elle peut comporter des unités plus petites que nous avons appelés "épisodes".

1.2.1 Caractérisation des épisodes

1.2.1.1 Durée de l'épisode et nombre d'événements à traiter

Nous avons tout d'abord recherché une relation entre le nombre d'événements à traiter et la durée de l'épisode. Nous supposons que les épisodes longs comportaient un plus grand nombre d'événements à traiter que les épisodes courts. Le tableau 8 présente le croisement de ces deux critères pour l'échantillon d'épisodes analysés et confirme cette tendance.

Tableau 8 : croisement des critères de durée et de nombre d'événements à traiter

		Nombre d'événements à traiter		
		Un seul	Plusieurs	Total
Evaluation durée de l'épisode	Moins de 10 minutes	12	1	13
	Plus de 10 minutes	4	6	10
	Total	16	7	23

Nous observons bien une relation entre le nombre d'événements à traiter et la durée de l'épisode. Les épisodes courts comportent, en majorité, un seul épisode (12 épisodes sur 13) et les épisodes plus longs, un peu plus d'événements à traiter (6 épisodes sur 10). Le nombre d'épisodes dans une situation a tendance à augmenter avec la durée de la perturbation.

1.2.1.2 Période de l'offre de transport et durée de l'épisode

Nous avons cherché à savoir s'il existait une relation entre le moment où survient l'épisode perturbé et la durée de l'épisode (tableau 9).

Tableau 9 : croisement entre la période de l'offre de transport et la durée de l'épisode

		Evaluation de la durée de l'épisode		
		Moins de 10 minutes	Plus de 10 minutes	total
Tendance de l'offre de transport	Avant ou après une période creuse	9	4	13
	Avant ou après une période de pointe	4	6	10
	total	13	10	23

Nous observons que les épisodes courts ont plutôt lieu avant ou pendant une période creuse dans 9 épisodes sur 13 alors que les épisodes longs ont plutôt lieu dans 6 épisodes sur 10 avant ou pendant une période de pointe. Les périodes précédant ou suivant les heures de pointe sont caractérisées par une instabilité structurelle de l'offre de transport, puisque les intervalles sont en augmentation ou en diminution, ce qui peut expliquer cette relation.

1.2.1.3 Durée de l'épisode perturbé et intervalle théorique moyen

Nous avons cherché à mettre en relation la durée des épisodes et l'intervalle théorique moyen, car nous supposons que plus l'intervalle est réduit entre les rames, plus le nombre de rames

est important, plus la pression temporelle est importante et l'épisode long à traiter (tableau 10).

Tableau 10 : durée de l'épisode et intervalle théorique moyen

		Evaluation de la durée de l'épisode		
		Moins de 10 minutes	Plus de 10 minutes	total
Intervalle théorique	Inférieur à 2 minutes 30	6	7	13
	Supérieur à 3 minutes	7	3	10
	total	13	10	23

Il semble que si l'intervalle entre les rames est important, les épisodes sont plutôt courts (7 épisodes sur 10), par contre, lorsque l'intervalle est réduit, les épisodes peuvent aussi bien être court que longs, même si une légère tendance se dégage en faveur des épisodes longs. Nous pouvons supposer que lorsque l'intervalle est réduit, il y a plus de rames à traiter, ce qui prend plus de temps.

1.2.1.4 Contexte de l'épisode et période de l'offre de transport

Nous avons voulu savoir s'il existait un lien entre le contexte dans lequel survient l'épisode et la période de l'offre de transport (tableau 11). Pour cela, nous avons croisé la valeur du retard global en début d'épisode et le type d'épisode. Nous supposons que les périodes précédant et suivant les périodes de pointe survenaient plutôt dans un contexte déjà perturbé, donc avec un retard global moyen ou important au début de l'épisode.

Tableau 11 : contexte de l'épisode et période de l'offre de transport

		Tendance de l'offre de transport		
		Avant ou après une période creuse	Avant ou après une période de pointe	total
Retard en début d'épisode	Pas de retard ou retard faible	2	6	8
	Retard moyen ou important	11	4	15
	total	13	10	23

Il semble qu'avant ou pendant une période creuse, le retard en début d'épisode soit plus important qu'en période de pointe. Nous pouvons supposer que les opérateurs, connaissant les heures des périodes de pointe, sont en mesure de préparer ces périodes de pointe, pendant les heures creuses.

En effet, les périodes creuses et de pointe alternant, les opérateurs peuvent se trouver en début de période creuse avec un retard important, conséquence de la période de pointe précédente. Ils vont alors tenter de le diminuer en prévision des heures de pointe pendant lesquelles ils savent qu'ils ne pourront rien faire pour limiter le retard. Ils entreront alors en période de pointe avec un retard moindre.

1.2.1.5 Retard maximum à absorber et période de l'offre de transport

Nous avons recherché une relation entre le retard maximum à absorber par le chef de départ pour traiter la rame la plus retardée et la période de l'offre de transport où survient l'épisode (tableau 12).

Tableau 12 : retard maximum à absorber pour la rame la plus retardée et période de l'offre de transport.

		Tendance de l'offre de transport		
		Avant ou après une période creuse	Avant ou après une période de pointe	total
Retard à absorber pour la rame pour la rame la plus retardée	Moins d'une minute	9	4	13
	Plus d'une minute	4	6	10
	total	13	10	23

Nous observons que le retard à gérer pour la rame la plus retardée est moins important avant ou pendant une période creuse, soit dans 9 épisodes sur 13, inférieur à 1 minute. Par contre, il est dans 6 épisodes sur 10 supérieur à 1 minute, lorsque l'épisode survient avant ou pendant une période de pointe. En heures de pointe, les intervalles sont moindres entre les rames, les rames s'arrêtent plus longtemps en station pour absorber l'afflux de voyageurs, le retard s'accumule plus vite qu'en heures creuses.

1.2.2 Episodes simples et complexes

Nous avons identifié deux types d'épisodes, **les épisodes simples et les épisodes complexes**.

Un épisode "simple" est caractérisé par :

- une courte durée (moins de 10 minutes),
- un seul événement à traiter.
- Sa survenue plutôt avant ou pendant les périodes creuses, lorsque l'intervalle entre les rames est important.
- Sa survenue dans un contexte déjà perturbé (retard en début de perturbation moyen ou important), car les périodes creuses suivent les périodes de pointe et en subissent les conséquences. Elles sont l'occasion de revenir à un retard moins important en prévision de la prochaine période de pointe.
- un retard maximum de la rame la plus retardée, généralement inférieur à une minute.

Un épisode "complexe" est caractérisé par :

- une longue durée (plus de 10 minutes)

- au moins deux événements à traiter, en cascade. Par exemple, un épisode complexe est composé du traitement d'un événement E1 et d'un événement E2 qui survient avant la fin du traitement de E1, etc.
- sa survenue plutôt avant ou pendant les heures de pointe, lorsque l'intervalle entre les rames est réduit.
- Sa survenue alors qu'il y a un retard plutôt faible, conséquence de l'activité déployée pendant les heures creuses pour réduire le retard en prévision des heures de pointe.
- un retard maximum de la rame la plus retardée, généralement supérieur à une minute.

1.2.3 Composition des situations

Nous avons caractérisé chaque situation selon le type d'épisodes qui la compose. Chaque situation peut comporter un ou plusieurs épisodes, de type "simple" ou "complexe". L'annexe I présente l'échantillon de situations et d'épisodes analysés au PML.

Une situation ne comportant que des épisodes simples est une situation de type "simple", une situation ne comportant que des épisodes complexes est une situation de type "complexe" et une situation comportant des épisodes simples et complexes est une situation de type mixte.

2 SCHEMES, INSTRUMENTS ET CONCEPT PRAGMATIQUE DE LA PRISE D'INFORMATIONS

Nous présentons comment les opérateurs se rendent compte qu'ils sont entrés dans le traitement d'une situation perturbée et sur quels indices ils s'appuient pour réaliser cette détection. Nous avons proposé deux niveaux d'analyse, celui des épisodes et des situations. Une situation pouvant comporter un ou plusieurs épisodes, c'est le premier épisode de chaque situation appelé épisode initial, qui marque l'entrée dans la situation perturbée.

Nous identifions deux types de prises d'informations au cours des épisodes traités. Nous caractérisons ces deux types de prises d'informations, puis nous les mettons en relation avec le type d'épisode de manière à mettre en évidence l'existence d'une relation entre le type d'épisode et le type d'information utilisée par les opérateurs.

Pour chaque prise d'informations réalisée dans chaque épisode les rames concernées, nous identifions leur position sur la ligne, grâce aux données recueillies sur vidéo et aux verbalisations des opérateurs, ainsi que l'heure prévue et réelle de départ et l'ordre prévu et

réel de départ de ces rames grâce aux informations reportées sur le garde-temps. Ces données permettent de construire les indicateurs pour caractériser la prise d'informations.

Nous mettrons en évidence les instruments associés de la prise d'informations. Nous déterminerons si ces instruments sont identiques quels que soient les épisodes, les situations et les opérateurs et s'il existe un système d'instruments.

2.1 Modalités de détection des situations perturbées

2.1.1 Deux modalités de détection

Nous avons utilisé l'indicateur "modalité de détection de la perturbation" pour identifier le déclenchement de la situation perturbée, c'est-à-dire le premier signe qui indique que l'opérateur n'est plus en train de surveiller une situation normale. Deux modalités de détection apparaissent :

- La détection autonome : l'opérateur détecte lui-même la situation perturbée,
- La détection assistée par un autre opérateur : l'opérateur est informé par une tierce personne qu'il s'agit d'une situation perturbée.

Nous avons cherché à identifier s'il existe un lien entre la modalité de détection des situations perturbées et le type d'épisode initial, c'est-à-dire l'épisode par lequel l'opérateur entre dans la perturbation. Nous avons retenu les épisodes initiaux des 9 situations analysées (tableau 13).

Tableau 13 : mode de détection des situations perturbées en fonction du type d'épisode initial

		Type d'épisode initial		
		simple	complexe	total
Mode de détection	autonome	3	3	6
	information reçue d'un autre opérateur		3	3
	total	3	6	9

La détection autonome d'une perturbation peut porter aussi bien sur les épisodes simples (3 épisodes sur 6) que complexes (3 épisodes sur 6). La détection assistée par un autre opérateur permet plutôt de détecter des épisodes initiaux de type "complexe" (3 épisodes sur 3). Cela signifie que pour les situations les plus complexes à traiter (débutant par un épisode de type complexe, comportant plusieurs événements successifs), les opérateurs dépendent de l'activité d'autres intervenants de la régulation.

Si le chef de régulation au PCC ou le chef de départ au PML de l'autre côté de la ligne ne transmet pas cette information au chef de départ, lorsqu'il en a connaissance, ce dernier détectera la perturbation par ses propres moyens, mais plus tard. Le chef de départ dépend en

partie de ses collègues pour détecter les perturbations, surtout de son collègue à l'autre bout de la ligne pour avoir des informations sur sa voie d'expédition (Laville et Zanarelli ; 2000).

2.1.2 Zone de la perturbation et type d'épisode initial

Nous avons cherché à savoir s'il existe une relation entre la zone où se trouve la perturbation lorsque l'opérateur la détecte et le type de l'épisode initial. Pour cela, nous reprenons l'épisode initial de chaque situation et nous le mettons en relation avec la zone dans laquelle se trouve la perturbation au moment où l'opérateur la détecte (tableau 14).

Tableau 14 : zone de la détection en fonction du type d'épisode initial

		Type d'épisode initial		
		simple	complexe	total
Zone de la détection	Proche du terminus	3	2	5
	Eloignée du terminus	0	4	4
	total	3	6	9

Les épisodes initiaux de type "simple" sont détectés lorsque la perturbation est proche du terminus (3 épisodes initiaux sur 3). Les épisodes initiaux de type "complexe" sont plutôt détectés de manière précoce, c'est-à-dire lorsqu'ils sont encore éloignés du terminus (4 épisodes sur 6), même si 2 épisodes initiaux sur 6 sont détectés alors qu'ils sont proches du terminus.

Plus la perturbation est détectée loin du terminus, plus l'opérateur a le temps de mettre en place des manœuvres de régulation sur les rames **précédant** la rame la plus retardée. Lorsque l'épisode initial de la perturbation porte sur une rame près du terminus, les opérateurs sont amenés à mettre en place des manœuvres de régulation uniquement sur les rames qui partent après celle qui fait l'objet de la détection (rames **en aval**) pour gérer les conséquences de la perturbation. Pour les situations complexes, l'opérateur agit sur les rames qui précèdent celle qui a fait l'objet de la détection (rames **en amont**).

2.1.3 Impact de la zone de la perturbation sur le mode de détection

La détection d'une situation perturbée proche du terminus est réalisée soit par évaluation de l'état de la régularité du trafic, soit par évaluation de la ponctualité directement lorsque le train est à quai de départ. La détection d'une situation perturbée éloignée du terminus est réalisée par réception d'une information donnée par un autre opérateur ou par le biais du pointage automatique des rames.

Nous avons mis en relation le mode de détection avec la zone dans laquelle se trouve la perturbation lorsqu'elle est détectée (tableau 15).

Tableau 15 : croisement entre la zone de détection de la situation perturbée et le mode de détection

		Zone de détection de la perturbation		
		Proche du terminus	Eloignée du terminus	total
Mode de détection (c'est-à-dire type de la première prise d'informations)	Evaluation de la régularité à partir de la fluidité du trafic	2	0	2
	Evaluation directe à quai de départ	3	0	3
	Information reçue d'un autre opérateur	0	3	3
	Pointage automatique	0	1	1
	total	5	4	9

Il existe une relation entre la localisation de la perturbation et les moyens utilisés pour la détecter. Les modes de détection sont spécifiques du lieu où se trouve la perturbation, ce qui nous permettra de souligner l'intérêt de développer des outils qui favorisent la détection des perturbations éloignées du terminus (nous reviendrons sur ce point dans le chapitre 7).

2.1.4 Les informations utilisées pour la détection

Le tableau 16 présente les indices prélevés dans la situation pour identifier cette situation perturbée, en fonction du mode de détection, autonome ou par le biais d'un autre opérateur.

Tableau 16 : information utilisée pour détecter la situation perturbée en fonction du mode de détection

		Information utilisée pour la détection			
		Evaluation de la régularité dans le terminus	Valeur du retard d'une rame de la perturbation	Identification simple de la rame à surveiller	Total
Mode de détection de la perturbation	autonome	1	5		6
	Information reçue d'un autre opérateur		1	2	3
	total	1	6	2	9

La détection autonome de la perturbation par le chef de départ s'appuie dans 1 situation sur 6 sur une information précise concernant la régularité et dans 5 situations sur 6 sur la valeur du retard d'une rame par rapport à l'horaire théorique. Par contre, lorsque la détection passe par un autre opérateur, dans 2 situations sur 3 l'information donnée est incomplète, elle ne donne d'indication que sur la rame à surveiller, sans préciser la valeur du retard ou l'état de la régularité. Cette information incomplète permet toutefois à l'opérateur d'entrer de manière précoce dans le traitement de la situation perturbée, qu'il complète par la suite, puisque lorsque la détection passe par un autre opérateur, la perturbation est détectée lorsqu'elle est encore loin du terminus.

L'information sur la valeur du retard d'une rame est une information très pertinente pour les opérateurs puisqu'ils l'utilisent très souvent pour évaluer la perturbation. Dans 6 situations sur

9, c'est cette information qui est utilisée. Elle doit donc être facilement accessible pour les opérateurs si l'on veut aider efficacement l'activité de détection.

2.1.5 Type d'informations utilisées et type d'épisode initial

Nous avons mis en relation le type d'informations utilisé pour la détection de la perturbation avec le type d'épisode initial (tableau 17).

Tableau 17 : type d'information utilisée pour la détection en fonction du type d'épisode

		Type d'épisode		
		simple	complexe	total
Type d'information utilisée pour la détection de la perturbation	Information sur la ponctualité dans la zone proche du terminus	2	0	2
	Information sur la régularité dans la zone proche du terminus	1	2	3
	Information sur la ponctualité dans la zone éloignée du terminus	0	4	4
	total	3	6	9

Nous distinguons les informations selon qu'elles portent sur l'une des deux dimensions du trafic, la ponctualité ou la régularité et selon quelle zone, proche ou éloignée du terminus, est concernée. Ainsi, les 3 épisodes initiaux "simples" sont détectés pour 2 d'entre eux grâce à une information sur la ponctualité et pour 1 épisode initial sur 3 en s'appuyant sur une information sur la régularité, mais toutes s'appuient sur une information portant sur la zone du terminus. Seuls 2 épisodes initiaux de type "complexe" sur 6 sont détectés grâce à une information sur la régularité dans la zone du terminus. Les 4 autres épisodes initiaux "complexes" sont détectés grâce à une information sur la ponctualité, dans une zone éloignée du terminus. Une information sur la régularité semble plus pertinente dans la zone du terminus alors qu'une information sur la ponctualité est pertinente sur toute la ligne.

Les épisodes initiaux permettent aux opérateurs d'entrer dans une logique de traitement de situation perturbée. Il semble donc important de favoriser la détection, pour permettre à l'opérateur d'entrer dans cette logique le plus tôt possible et d'être le plus efficace. C'est pourquoi nous devons aider les opérateurs à la détection des informations précoces sur l'état de la régularité, la ponctualité, dans la zone du terminus et dans les zones éloignées. En particulier, les outils d'aide doivent être utiles pour les épisodes de type "complexes" où plusieurs événements vont se succéder. Actuellement ces informations sont morcelées et doivent être "construites" par les opérateurs. Surtout en ce qui concerne l'état de la régularité puisque le document qui indique les horaires théoriques ne donne pas d'indications explicites sur l'intervalle prescrit.

2.2 Modalités de prise d'informations : linéaire ou alternante

2.2.1 L'anticipation

Nous distinguons deux types de prises d'informations utilisées par les opérateurs : la stratégie linéaire et la stratégie alternante. Nous nous sommes intéressée à la façon dont l'opérateur se représente l'évolution du processus.

Un premier indicateur consiste à identifier la position par rapport au terminus de chaque rame sur laquelle les opérateurs prennent de l'information. La prise d'informations peut porter sur des rames proches ou situées dans le terminus ou bien sur des rames éloignées du terminus. Nous avons construit, pour chaque épisode, un graphe représentant la position de chaque rame sur laquelle l'opérateur prend de l'information. Nous obtenons deux types de graphes qui traduisent deux types de prise d'informations :

- Une prise d'informations "linéaire", où toutes les prises d'informations portent sur des rames situées dans le terminus ou en sont très proches (au plus loin à la station précédente). La prise d'informations consiste à suivre les rames au fur et à mesure de leur arrivée dans la zone du terminus.
- Une prise d'informations "alternante", où les prises d'informations portent alternativement sur des rames proches et des rames encore éloignées du terminus. Ce type de prise d'informations permet de suivre à la fois les rames au départ au fur et à mesure et d'anticiper l'arrivée des rames encore en ligne sur la voie de réception.

2.2.2 L'amplitude de la prise d'informations

L'amplitude de la prise d'informations au cours d'un épisode se mesure en nombre de rames entre la première et la dernière rame sur laquelle les opérateurs prennent de l'information (tableau 18).

Tableau 18 : nombre de rames sur lesquelles l'opérateur prend de l'information par rapport au type de prise d'informations

		type de prise d'informations		
		linéaire	alternante	total
Nombre de rames sur lesquelles l'opérateur prend de l'information	Moins de 6 rames	13	3	16
	Entre 7 et 18 rames	1	6	7
	total	14	9	23

La prise d'informations "linéaire" porte sur un nombre moins important de rames que la prise d'informations "alternante". Dans 13 épisodes sur 14 traités avec une prise d'informations

"linéaire", les opérateurs prennent de l'information sur moins de 6 rames. Par contre, la prise d'informations "alternante", porte dans 6 épisodes sur 9 sur au moins 7 rames.

2.2.3 L'anticipation et la marge de manœuvre

Nous avons évalué l'anticipation en quantifiant le nombre de minutes séparant la prise d'informations sur une rame de l'heure de départ réelle de cette rame du terminus (tableau 19). Nous faisons l'hypothèse que la prise d'informations "alternante" permet une plus grande anticipation puisqu'elle porte sur des rames plus éloignées du terminus et qu'elle a une plus grande amplitude que la prise d'informations linéaire.

Tableau 19 : empan d'anticipation en fonction du type de prise d'informations

		type de prise d'informations		
		linéaire	alternante	total
Anticipation	Moins de 6 minutes	12	0	12
	Entre 7 minutes 30 et 9 minutes	2	2	4
	Plus de 13 minutes	0	7	7
	total	14	9	23

La prise d'informations "alternante" correspond à une anticipation plus grande de l'évolution du processus que la prise d'informations "linéaire". En effet, la majorité des épisodes, la prise d'informations "linéaire" correspond à une anticipation inférieure à 6 minutes avant le départ des rames, alors que la prise d'informations "alternante" permet d'anticiper le plus souvent au-delà de 13 minutes avant l'heure de départ.

Nous pouvons rapporter ces résultats à ceux de Mailles (1996), dans une situation de régulation de bus. Cet auteur met en évidence que si des opérateurs non professionnels parviennent à anticiper l'évolution de l'état de la ligne de bus, les performances des opérateurs diminuent fortement au-delà de 5 minutes. Nous voyons ici que des opérateurs professionnels sont capables d'anticiper l'état de la ligne de métro au-delà de 13 minutes.

Nous calculons la marge de manœuvre de l'opérateur à partir du nombre de rames restant à partir avant la rame sur laquelle porte la première prise d'informations. S'il reste 6 rames à partir avant la première rame sur laquelle l'opérateur prend de l'information, il a une marge de manœuvre de 6 rames pour réguler. Plus la première prise d'informations est réalisée tôt, plus le nombre de rames dont l'opérateur dispose pour agir est important. Plus le nombre de rames est important, plus l'opérateur pourra répartir les manœuvres de régulation sur un grand nombre de rames et lisser les effets de la perturbation.

Nous mettons en relation le nombre de rames dont dispose l'opérateur pour agir (sa marge de manœuvre) et le type de prise d'informations (tableau 20).

Tableau 20 : marge de manœuvre en fonction du type de prise d'informations

		type de prise d'informations		
		linéaire	alternante	total
Marge de manœuvre	aucune rame ¹⁸	12	3	15
	Au moins 3 rames	2	6	8
	total	14	9	23

La prise d'informations "alternante" correspond à une marge de manœuvre plus grande par rapport à la prise d'informations "linéaire". Dans 12 épisodes sur 14, la prise d'informations de type "linéaire" correspond à 0 rame, ce qui signifie que l'opérateur doit agir directement sur la rame au départ.

Dans 6 épisodes sur 9, la prise d'informations "alternante" permet une marge de manœuvre d'au moins 3 rames et dans la majorité des cas elle dépasse 8 rames. Selon la rame à partir de laquelle l'opérateur détecte la situation perturbée, les marges de manœuvres de régulation porteront sur les rames en amont et/ou en aval de cette première rame sur laquelle a porté la détection. L'action sur les rames en amont permet une plus grande souplesse, puisque si les rames en amont ne suffisent pas, l'opérateur peut continuer à réguler en intervenant sur les rames en aval, après le départ de la rame qui a fait l'objet de la première détection.

2.2.4 Lien entre anticipation et marge de manœuvre

Une prise d'informations de type linéaire correspond dans 11 épisodes sur 14 à une action immédiate, sur la même rame que celle concernée par la prise d'informations. C'est ce qui caractérise une faible marge de manœuvre. L'opérateur ne prend pas de recul, il est amené à agir tout de suite, dans le feu de l'action.

La prise d'informations "alternante" correspond à une action différée, puisque les opérateurs n'agissent pas tout de suite sur la première rame au départ (tableau 21).

Tableau 21 : nombre de rames entre la prise d'informations et la première rame sur laquelle l'opérateur agit, en fonction du type de prise d'informations

¹⁸ La rame sur laquelle l'opérateur prend de l'information est celle au départ, il doit agir tout de suite)

		type de prise d'informations		
		linéaire	alternante	total
Nombre maximum de rames entre la rame sur laquelle porte la prise d'informations et la première rame sur laquelle l'opérateur agit	Aucune (action sur la même rame)	11	1	12
	Au moins 2 rames	3	8	11
	total	14	9	23

La prise d'informations est de type "alternante" correspond dans 8 épisodes sur 9, à une action sur une rame au moins éloignée de deux rames. L'opérateur peut moduler son action et l'organiser.

L'anticipation et la marge de manœuvre en nombre de rames disponibles pour agir sont étroitement liées (tableau 22).

Tableau 22 : marge de manœuvre en fonction de l'anticipation

		anticipation			
		Moins de 6 minutes	Entre 7 minutes 30 et 9 minutes	Plus de 13 minutes	total
Marge de manœuvre	Inférieure ou égale à 1 rame	12	0	0	12
	Entre 2 et 4 rames	0	4	2	6
	Supérieure à 8 rames	0	0	5	5
	total	12	4	7	23

Le degré d'anticipation est lié à la marge de manœuvre de l'opérateur. Plus l'empan d'anticipation est important, plus le nombre de rames disponibles pour agir est important. Lorsque l'anticipation est supérieure à 13 minutes, l'opérateur peut disposer au moins de 8 rames pour agir (marge de manœuvre) et mieux structurer ses manœuvres de régulation.

2.2.5 Prise en compte des dimensions régularité et ponctualité

Les données issues de la littérature psycho-ergonomique et technique du domaine du transport présentées dans le chapitre 1 nous ont permis de caractériser le but de l'activité comme le maintien ou la restauration de l'équilibre de deux propriétés du trafic des rames sur la ligne : la régularité et la ponctualité. Nous analysons la façon dont ces deux dimensions sont prises en compte par les opérateurs professionnels observés (tableau 23), sachant que les résultats issus d'une situation de simulation avec des opérateurs non professionnels ont montré leurs difficultés à les prendre en compte (Mailles, 1996).

Tableau 23 : dimensions concernées en fonction du type de prise d'informations

Dimension du processus concernée par la prise d'informations		type de prise d'informations		
		linéaire	alternante	total
	Ponctualité	4	0	4
	Régularité	1	0	1
	Ponctualité et régularité	9	9	18
	total	14	9	23

Ces deux dimensions du trafic sont prises en compte dans la majorité des épisodes, aussi bien avec une prise d'informations linéaire (9 épisodes sur 14) qu'alternante (9 épisodes sur 9).

Nous remarquons que les 5 épisodes pour lesquels une seule dimension du trafic est prise en compte dans la prise d'informations sont ceux traités avec une prise d'informations "linéaire". Il semble donc que la prise d'informations "linéaire", caractérisée par une prise d'informations au coup par coup ne favorise pas la prise en compte des deux dimensions de la situation de régulation. Si nous détaillons de quel type de situation il s'agit, nous observons que ce sont des situations "simples" où les opérateurs ont procédé à une seule prise d'informations. Nous pouvons supposer qu'une seule prise d'informations a suffi pour prendre une décision d'action unique, par conte, nous ne savons pas pourquoi une seule dimension du trafic est prise en compte.

2.2.6 Lien entre la zone concernée et le type de prise d'informations

Si les modes de détection sont spécifiques de la zone où se trouve la perturbation, nous pouvons supposer l'existence d'une relation entre le type de prise d'informations mis en œuvre tout au long de la perturbation et la zone dans laquelle se trouvent les rames concernées par la prise d'informations. Nous avons catégorisé les moyens utilisés en fonction de la zone de la ligne sur laquelle ils permettent d'obtenir de l'information : soit sur la zone proche du terminus (écrans de visualisation, TCO), soit sur la zone éloignée du terminus (liaison téléphonique avec l'autre PML), soit sur toute la voie de réception (console de suivi). Le tableau 24 met en relation ces éléments avec le type de prise d'informations.

Tableau 24 : types de moyens de prise d'informations utilisés en fonction du type de prise d'informations

		type de prise d'informations		
		linéaire	alternante	total
moyens utilisés pour la prise d'informations	permettant de recueillir de l'information sur la zone proche du terminus	11	0	11
	permettant de recueillir de l'information sur les zones proches et éloignées du terminus	3	9	12
	total	14	9	23

Lorsque les opérateurs mettent en œuvre une prise d'informations de type linéaire, dans 11 épisodes sur 14, ils utilisent uniquement des moyens qui leur permettent de recueillir des informations sur la zone proche du terminus

Dans 3 épisodes sur 14, ils mettent en place une prise d'informations linéaire, avec des moyens qui leurs permettraient pourtant d'utiliser une prise d'informations "alternante". Dans ces 3 épisodes, cela signifierait que les opérateurs n'utilisent pas au maximum les possibilités des moyens de prise d'informations à leur disposition. Dans les 9 épisodes traités avec une prise d'informations "alternante", les opérateurs utilisent bien les moyens qui permettent d'obtenir des informations sur toute la voie de réception.

2.3 Schèmes et instruments d'évaluation de la ponctualité

2.3.1 Evaluer la ponctualité par le pointage des rames

Dans les verbalisations simultanées et les entretiens menés avec les opérateurs, nous trouvons la référence à une action appelée "pointage des rames" :

- *" là, il se passe quelque chose, je vais être obligé de prendre du retard. Parce que la 77 au pointage elle est prévue à 17 et au garde-temps elle est prévue à 16".*
- *" à un moment donné, on va avoir des trains toutes les 3 stations et puis on aura 8 stations sans train et là on va se dire qu'il y a un problème donc on va pointer cette rame, on va regarder combien elle a pris de retard ...on va calculer le retard qu'elle a et on va mettre le retard dans la machine".*
- *"Pour l'instant j'ai pas touché, j'attendais de voir combien de temps il allait me mettre" [opérateur 4], parlant de la rame 25 qui est à quai de départ*

Ce pointage consiste à évaluer si une rame pourra être à l'heure prévue pour son prochain départ. Pointer une rame consiste à comparer son heure de départ prévue et l'heure probable à

laquelle cette rame repartira. Le pointage consiste donc à comparer une heure théorique et une heure estimée, ce qui revient à évaluer l'état de la ponctualité d'une rame.

Le pointage s'exprime par une évaluation, chiffrée ou non, de la valeur du retard d'un train, c'est-à-dire de la possibilité pour un train d'assurer son départ à l'heure prévue. L'expression numérique de la valeur du retard exprimé par l'opérateur dans les verbalisations en situation, associée à une série de prises d'informations, permet de repérer le recours au pointage. Ce pointage permet d'évaluer le retard par rapport à l'horaire prévu à partir du calcul d'une heure possible de réexpédition de chaque rame. Il permet d'évaluer la ponctualité.

Le pointage peut être réalisé lorsque les rames sont encore en ligne ou lorsqu'elles sont déjà arrivées au terminus. Pour le pointage en ligne, nous distinguons deux types de pointage, "le pointage automatique" et "le pointage manuel". Ils se différencient par les outils que les opérateurs utilisent pour les mettre en œuvre. Nous appelons "pointage à quai de départ" le pointage réalisé lorsque les rames sont arrivées au terminus.

Nous recherchons de manière systématique dans les protocoles, les modalités observées du pointage des rames, qu'il soit automatique ou manuel. Nous décrivons comment les opérateurs réalisent les deux types de pointages, s'il existe une organisation invariante de cette activité, quels sont les moyens (instruments) qui leurs sont associés, quand ont-ils recours à l'un ou l'autre de ces pointages et pourquoi.

2.3.1.1 *L'importance quantitative et qualitative du pointage*

Pour évaluer ce que représente le pointage dans l'activité de prise d'informations, nous avons construit un indicateur permettant de caractériser quantitativement le pointage, pour chaque épisode. Cet indicateur exprime le pourcentage de rames pointées par rapport au nombre total de rames sur lesquelles l'opérateur prend de l'information.

Cet indicateur est calculé de la manière suivante :

$$\text{Indicateur Pointage 2} = \frac{\text{Nombre de rames pointées}}{\text{Nombre de rames sur lesquelles l'opérateur prend de l'information}} \times 100$$

Plus cet indicateur est important, plus la proportion de recours au pointage est importante par rapport aux autres modes de prise d'informations.

Nous le mettons en relation avec le type de prise d'informations mis en œuvre (tableau 25).

Tableau 25 : indicateur "pointage/nombre de rames sur lesquelles l'opérateur prend de l'information, en fonction du type de prise d'informations"

		type de prise d'informations		
		linéaire	alternante	total
Indicateur calculé "nombre de rames pointées/nombre de rames sur lesquelles porte la prise d'informations"	0 %	12	1	13
	Entre 10 % et 50 %	2	8	10
	total	14	9	23

Le pointage est plutôt utilisé avec une prise d'informations "alternante". Lorsqu'il s'applique, le pointage porte sur une plus grande proportion de rames pour les épisodes traités avec une prise d'informations "alternante", puisque dans 8 épisodes sur 23 il porte sur au moins 10 % des rames concernées par la prise d'informations (et jusqu'à 50 %). Parmi ces 8 épisodes, il y a 4 épisodes où le pointage concerne plus de 30 % des rames.

Il n'est pas utilisé dans 12 épisodes sur les 14 traités avec une prise d'informations "linéaire".

2.3.1.2 Les fonctions attribuées au pointage des rames

Le pointage, qu'il soit automatique, manuel ou à quai de départ a une fonction très importante, puisque c'est le résultat de ce calcul qui va permettre à l'opérateur d'évaluer l'état de la ponctualité et de décider s'il doit ou non modifier les horaires des prochains départs pour adapter l'offre de transport aux conditions réelles du trafic.

Par exemple, si l'heure proposée par le pointage automatique est plus précoce que celle prévue, c'est que les rames qui arrivent ont moins de retard par rapport à l'horaire théorique que celles qui partent du terminus. Si cette situation se prolonge, il faudra réduire le retard global de la ligne grâce aux manœuvres de régulation. Si l'heure proposée par le pointage est plus tardive que celle prévue, c'est que les rames qui arrivent sont plus en retard que celles qui quittent le terminus. Dans ce cas, il faudra sans doute augmenter l'écart à l'horaire prescrit, en mettant en œuvre des manœuvres de régulation.

Les verbalisations en situation et les entretiens menés avec les opérateurs permettent d'identifier les fonctions attribuées au pointage qu'il soit automatique ou manuel (tableau 26).

Tableau 26 : Les fonctions remplies par rapport au type de pointage

Fonctions	Pointage automatique	Pointage manuel	Pointage à quai de départ	Extrait d'entretien	Extrait de verbalisation en situation
calculer la valeur exacte du retard pris par une rame	Oui	Oui	Oui		<i>je vais être obligé de prendre du retard, la 57 est prévue à 17, son horaire prévu c'est 16, au pointage elle a 1 minute de retard [opérateur 1]</i>
valider l'hypothèse d'un retard	Oui	Oui	Oui		<i>A mon avis, la 90 a dû partir à l'heure à laquelle la 01 aurait du partir. On va attendre le pointage pour voir [opérateur 1]</i>
identifier la valeur de retard nécessaire à introduire par rapport à l'horaire prévu	Oui	Oui	Oui	<i>A un moment donné, on va pointer cette rame pour savoir quel est son retard et combien il faut "donner à manger à la machine" [opérateur 2]</i>	
vérifier si une rame a effectivement pris le retard annoncé par un des autres opérateurs	Oui	Oui	Oui	<i>Le chef de départ de l'autre côté il nous dit "tiens, fais gaffe, j'ai envoyé cette rame avec tant de retard", alors moi j'ai pris pour habitude de regarder et de pointer la rame à Voltaire [opérateur 3]</i>	
Combler un manque d'information	Oui	Oui	Oui		<i>lui, il m'a rien dit ..il faut aller à la pêche aux infos...(réalise le pointage)... elle est partie avec 3 [opérateur 1]</i>
Evaluer l'évolution du retard d'une rame	Oui si combiné avec pointage manuel	Oui si répété plusieurs fois	Oui s'il suit un ou plusieurs pointages réalisés en ligne	<i>Je préfère attendre et le pointer moi-même pour voir s'il prend du retard je pointe assez régulièrement, comme ça on voit qu'il prend du retard, je pointe toutes les 5-6 stations. [opérateur 3]</i>	

Le pointage a des fonctions à la fois tournées vers la compréhension de la situation (valider une hypothèse sur le retard d'une rame, combler un manque d'information, etc.) et vers l'action (évaluer le retard d'une rame ...) puisque c'est lui qui permet à l'opérateur de quantifier les besoins de manœuvres de régulation pour stabiliser la situation.

Le pointage automatique exprime l'état de la ponctualité pour une rame à un moment donné. Il ne permet pas un suivi des rames en termes d'évolution.

C'est pourquoi il doit être suivi ou précédé d'un pointage manuel pour permettre de construire une représentation de l'évolution de la ponctualité.

2.3.2 Un schème de pointage des rames

Nous faisons l'hypothèse qu'il existe un schème d'action instrumentée du pointage, qui serait commun au pointage automatique et manuel et des schèmes d'usages spécifiques de chaque type de pointage. Pour tester notre hypothèse, nous montrons qu'il existe une organisation invariante de l'activité de prise d'informations du pointage des rames commune aux deux types de pointage (automatique et manuel). Nous montrerons par la suite qu'il existe deux schèmes d'usages qui permettent de différencier les deux types de pointage *sur la base des instruments mis en œuvre par les opérateurs*.

Nous cherchons à repérer deux types d'invariants :

- des invariants qui se reproduisent dans plusieurs situations, chez des opérateurs différents,
- des invariants qui se reproduisent plusieurs fois au cours du traitement d'une situation, comme par exemple la répétition d'une séquence de prise d'informations identique, sur des rames différentes.

Nous avons donc recherché dans les protocoles la répétition de séquences de prises d'informations identiques, sur le plan de leur organisation temporelle. Nous avons fait l'hypothèse d'une organisation invariante du pointage pour évaluer la valeur du retard d'une rame à partir des verbalisations recueillies en situation et des entretiens menés avec les opérateurs, comme le montre l'extrait de protocole suivant :

- "Pointer c'est-à-dire regarder la pendule, top elle est sortie de voltaire, je prends l'heure, je marque 50 par exemple et de voltaire jusqu'à pont de sèvres je crois qu'il y a 40 minutes je crois, donc j'additionne les deux et je sais que je peux la renvoyer à 90 ça fait 30 je peux la renvoyer à 30. Si son heure (prévue) c'est 20, donc je sais qu'elle a 10 minutes de retard."

Nous avons observé dans l'activité des opérateurs la répétition de la séquence invariante de prise d'informations suivante, qui se répète dans cet ordre et quel que soit le type de pointage réalisé :

Séquence "pointage des rames"
• Prise d'informations sur l'heure prévue de réexpédition d'une rame,
• Prise d'informations sur l'heure possible de réexpédition de cette rame,
• Comparaison entre les heures proposée et prévue de réexpédition,
• Quantification du retard de la rame par rapport au retard actuel de la ligne.

Nous faisons l'hypothèse que cette séquence est sous-tendue par un **schème d'action instrumentée** qui guide la prise d'informations permettant l'établissement du diagnostic sur la

ponctualité et le guidage des manœuvres de régulation à engager. Ce schème d'action instrumentée est commun aux deux types de pointage.

Le tableau 27 représente la répétition de cette séquence d'activité, pour tous types de pointages confondus, par situation et par opérateur.

Tableau 27 : Séquences d'activité observées en fonction des situations et des opérateurs

situations	Opérateur 1			Opérateur 2		Opérateur 3		Opérateur 4	
	A	B	D	E	F	C	H	H'	I
Nombre de séquences	7	10	13	3	13	10	2	3	15

Tous les opérateurs disposent du schème de pointage comme outil d'évaluation de la ponctualité.

Pour aller plus loin, nous nous sommes intéressée à la mise en œuvre de ce schème, en analysant les rames sur lesquelles portent les pointages. Deux cas de figures se présentent :

- L'opérateur utilise plusieurs fois le pointage sur des rames différentes. A l'échelle d'une situation, cela lui permet de se construire une représentation de la ponctualité dans le temps. Nous l'avons observée au moins une fois pour toutes les situations et tous les opérateurs.
- L'opérateur pointe plusieurs fois la même rame. Cette répétition constitue une "séquence de pointage", qui comporte au minimum deux pointages d'une même rame et peut comporter des pointages manuels et automatiques. Elle correspond à la succession des pointages effectués sur une même rame, tout au long du traitement d'une situation. Elle permet de se construire une représentation de l'évolution de la ponctualité de cette rame dans le temps. Nous l'avons observée à 6 reprises, dans 5 situations différentes et chez les 4 opérateurs observés. L'extrait d'entretien suivant fait référence à une séquence de pointages sur une rame :

- "je préfère attendre et le pointer moi-même pour voir s'il prend du retard ou de l'avance. Je vais le pointer assez régulièrement et calculer son heure de réexpédition assez régulièrement ; comme ça si on voit qu'il prend du retard là il faudra suivre... Tout dépend la durée entre deux pointages ; s'il est rapproché on verra rien et plus il sera écarté, plus on verra la progression. Je pointe toutes les 5 - 6 stations".[opérateur 3].

Les opérateurs ont donc recours au schème de pointage de manière itérative sur une même rame lorsqu'ils souhaitent avoir une information sur **l'évolution** du retard d'une rame. Cette séquence de pointages leur permet d'anticiper les actions de régulation à mettre en œuvre et de "doser" leur intervention sur le trafic. Ce résultat traduit le fait que les opérateurs raisonnent

non seulement à partir de représentation d'état en pratiquant le pointage unique permettant de connaître la valeur du retard d'une rame à un moment donné mais également sur des représentations d'évolution, par la mise en œuvre du schème de pointage.

2.3.2.1 Répartition des différents pointages

Nous avons présenté le pointage automatique, le pointage manuel et le pointage à quai de départ. Nous avons annoncé un schème commun à ces types de pointage. Le tableau 28 représente la répartition du recours aux trois pointages pour chaque situation analysée.

Tableau 28 : nombre d'utilisations du pointage en fonction des situations et des opérateurs

Situations	opérateurs								Total	
	1			2		3		4		
	A	B	D	E	F	C	H	H'	I	
Pointage automatique	2	4	2	0	8	1	1	0	3	24
Pointage manuel	0	1	1	0	3	2	0	0	3	10
Pointage à quai de départ	4	6	7	4	7	4	4	3	9	48
Total	7	10	13	3	13	10	2	3	15	75

Nous observons 24 pointages automatiques, 10 pointages manuels et 48 pointages à quai de départ dans les 9 situations analysées.

Le pointage automatique est utilisé au moins une fois par chacun des Chefs de départ, soit 100% des opérateurs observés.

Tous les opérateurs utilisent également très fréquemment le pointage à quai de départ.

Par contre, le pointage manuel n'est pas toujours utilisé.

2.3.2.2 Lien entre l'utilisation des différents types de pointage

Nous faisons l'hypothèse que lorsque les opérateurs disposent du schème de pointage, ils le mettent en œuvre quelle que soit la position des rames (en ligne et au terminus). Pour vérifier cette hypothèse, nous mettons en relation l'utilisation de deux types de pointages portant sur les rames en ligne (tableau 29).

Tableau 29 : utilisation du pointage manuel en fonction de l'utilisation du pointage automatique

Utilisation du pointage automatique		Utilisation du pointage manuel		
		non	oui	total
	non	13	1	14
	oui	3	6	9
	total	16	7	23

Il existe un lien entre l'utilisation des deux pointages puisque dans 6 épisodes, lorsqu'il y a utilisation du pointage automatique il y a aussi utilisation du pointage manuel alors que dans 13 épisodes sur 24, aucun des deux pointages n'est utilisé.

Si nous détaillons le type d'épisode pour lequel aucun pointage n'est utilisé, nous nous apercevons qu'il s'agit d'épisodes traités avec une prise d'informations linéaire, ce qui est normal puisque la prise d'informations linéaire porte sur des rames situées dans le terminus qui ne peuvent plus faire l'objet d'un pointage.

Par contre, nous n'observons pas de lien entre l'utilisation des pointages en ligne et celle du pointage à quai de départ. Les opérateurs peuvent très bien réaliser un pointage à quai de départ qu'ils aient ou non pointé les rames en ligne.

Nous observons également que 5 des 6 épisodes pour lesquels les deux types de pointage sont utilisés sont traités avec une prise d'informations alternante, traduisant un lien entre cette prise d'informations et l'utilisation du pointage.

Le pointage peut être pratiqué alors que les rames sont encore éloignées du terminus (pointage manuel). Le pointage automatique, comme nous l'avons vu, est fixé en un point de la ligne. Il donne une information ponctuelle sur l'état du retard d'une rame lorsqu'elle est encore en ligne. Le pointage à quai de départ concerne les rames situées dans le terminus. Ces trois types de pointages portent sur des portions différentes de la ligne et sont complémentaires.

Le pointage a donc un rôle dans l'anticipation, car pour obtenir une représentation en termes d'évolution, les opérateurs sont amenés à renouveler le pointage de façon manuelle ou automatique, en ligne ou dans le terminus.

2.3.3 Les instruments du pointage automatique

Dans les protocoles, nous observons que tous les opérateurs utilisent deux artefacts pour réaliser le pointage automatique : la console de suivi et le garde-temps. L'information sur l'"heure possible de réexpédition du train", est prise sur la console de suivi. Elle est calculée par la console sur la base de son heure de passage à la station de pointage et du temps de parcours restant¹⁹. L'information sur l'heure prévue de réexpédition apparaît sur le garde-temps.

Le tableau 30 présente le nombre d'observations de l'utilisation conjointe de ces deux artefacts pour chaque situation et chaque opérateur.

¹⁹ La console de suivi prend en compte l'heure de passage de chaque train en un point donné de la voie de réception, à une dizaine de stations du terminus, soit environ 15 minutes avant l'arrivée ; puis, pour affiner, à 5 stations, soit environ 5 minutes avant l'arrivée. La console ajoute le temps de parcours restant jusqu'au terminus et le temps nécessaire à la manœuvre de retournement en terminus et propose une heure de réexpédition du train à partir du quai de départ.

Tableau 30 : Séquences de prise d'informations observées

situations	Opérateur								
	1			2		3		4	
	A	B	D	E	F	C	H	H'	I
Nombre de séquences	2	4	5	0	8	1	1	0	3

La console ne donne pas une valeur du retard de chaque rame par rapport à l'horaire théorique, mais indique une heure possible de réexpédition des trains. Pour se représenter l'état de la ponctualité, l'opérateur doit ensuite connaître la valeur du retard de la rame pointée.

L'utilisation du pointage automatique est soumise à une condition : que la rame à pointer soit dans la zone d'action de la console. Pour disposer de l'information donnée par la console sur l'heure possible de réexpédition, il faut que la rame ait été pointée à la station "rue de la Pompe". Dans ce cas, elle apparaît dans la liste à gauche sur l'écran de la console de suivi, accompagnée de l'heure possible de réexpédition.

Le pointage automatique est donc utilisé dans une zone où les rames concernées ont passé la station du pointage (station "rue de la Pompe") et ne sont pas encore arrivées au terminus. Avant et après cette "zone d'atteinte" du pointage automatique, la console ne donne aucune information sur ces rames.

Les opérateurs comparent l'heure possible de réexpédition proposée par la console et l'heure prévue de réexpédition, indiquée sur le garde-temps, qui tient compte des manœuvres de régulation précédentes. Si l'heure possible de réexpédition est plus tardive que l'heure prévue, la rame est en retard, il faut alors prendre des mesures de régulation. Si l'heure possible de réexpédition est plus précoce identique à l'heure prévue, la rame est à l'heure ou en avance.

Exemple : l'heure possible de réexpédition est 10h57mn 30

1. si l'heure prévue de réexpédition est 10h55mn00 ; la rame ne pourra assurer son départ à l'heure, l'opérateur doit prendre des mesures de régulation.
2. si l'heure prévue de réexpédition est 10h59mn00 alors la rame pourra effectuer son départ à l'heure.

Les verbalisations recueillies en situation pendant les observations confirment notre description :

- "On a le pointage (automatique) à Pompe et à Molitor, la 25 elle est prévue (par le pointage) à 01'40 et son heure normale, c'est 00'00, donc elle a 01'40 de retard et nous on a 6 (dans la machine départ)". [opérateur 1].

- *"Là, il se passe quelque chose, parce que la 77 au pointage, elle est prévue à 17 et à l'heure du garde-temps, elle est prévue à 16".[opérateur 2]*

L'instrument associé au pointage automatique est donc formé :

- Des artefacts "console de suivi" et "garde-temps" associés. La console de suivi est utilisée dans sa fonction d'aide à l'exploitation puisqu'elle propose une "heure possible de réexpédition", elle prend en charge une partie de l'activité cognitive des opérateurs. le garde-temps donne l'heure prévue, compte tenu des modifications antérieures.
- Du schème d'usage de la console de suivi et du garde-temps, qui consiste à comparer les heures prévues et possible de réexpédition.

Tous les opérateurs observés disposent de cet instrument et l'utilisent pour évaluer l'état de la ponctualité.

Le pointage automatique permet une économie cognitive, puisque l'opérateur n'a pas à construire lui-même l'information sur l'heure possible de réexpédition. Par contre, il est contraignant puisqu'il ne peut être utilisé qu'en un point précis de la ligne, relativement proche du terminus, ce qui laisse peu de marge de manœuvre pour agir en nombre de trains et en durée. Un deuxième critère amène les opérateurs à utiliser le pointage automatique, c'est lorsqu'il n'est pas urgent d'avoir une information précise sur la valeur du retard prise par une rame. Lorsqu'il peut attendre pour obtenir une information sur le retard d'une rame, l'opérateur adopte une stratégie économique, qui lui évite un certain nombre de recherches et de calculs, comme le montre cet extrait de verbalisation recueillie en situation :

- *"J'attends le pointage de la 44 qui va pas tarder et puis on verra... on va bientôt l'avoir puisque doncc'est après Pompe... elle a 2 minutes de retard" [opérateur 3].*

2.3.4 Les instruments du pointage manuel

Nous avons pu observer que les opérateurs pointaient également des rames lorsqu'elles n'étaient pas situées dans la zone d'atteinte du pointage automatique (c'est-à-dire après la station Rue de la Pompe et avant le terminus). Les opérateurs pointent des rames qui n'apparaissent pas encore sur la console dans la liste des rames avec "heure possible de réexpédition". Nous en avons déduit que les opérateurs réalisaient un pointage "manuel", qui comme le pointage automatique, consiste à comparer une heure possible et une heure prévue de réexpédition pour quantifier le retard du train. Les extraits suivants confirment l'existence de ce pointage manuel :

- *"On peut calculer l'heure de renvoi. Dans ce cas, il faut calculer combien de temps il va mettre pour arriver. Pour aller de telle station à telle station, on sait qu'il faut tant de temps donc en calculant je connais le retard que va avoir le train. La 1 elle est à Roosevelt, elle vient de partir en gros à 14:30 à Roosevelt donc ça fait 38, et son heure normale c'est 32 donc là c'est sûr qu'il y a du retard." [opérateur 3]*
- *"je trouve que la 27 il a vachement de retard, par rapport aux autres ...ça doit être lui qui est parti avec le train ..." [opérateur 3]*

Le pointage manuel est utilisé dans une classe de situation particulière, c'est-à-dire lorsque la rame à pointer n'est pas encore dans la zone d'atteinte du pointage automatique. Il peut aussi être réalisé après si l'opérateur souhaite vérifier le pointage automatique. Il peut être pratiqué en n'importe quel point de la ligne, ce qui le rend plus de souple que le pointage automatique en termes de localisation puisqu'il peut être réalisé plus précocement sur la ligne, mais il est moins économique sur le plan cognitif, puisqu'il demande plus de calculs de la part de l'opérateur.

Par exemple, si une rame est "décrochée", c'est-à-dire a un gros intervalle avec la rame précédente, sur la voie de réception, alors il devient nécessaire de quantifier précisément le retard de cette rame pour prendre des mesures de régulation :

- *"Le pointage se fait à Pompe mais en général on regarde avant, on voit si ça arrive régulièrement alors on s'inquiète pas. Le pointage, on anticipe si on voit que la rame est décrochée, on fait un pointage manuel et donc une prise de retard plus tôt et on étale le retard sur plus de trains." [opérateur 1]*

Le calcul de l'heure possible de réexpédition s'appuie sur les informations suivantes :

- La localisation de la rame pointée sur la voie de réception, réalisée en consultant la partie synoptique de la console de suivi, car c'est le seul outil qui donne à l'opérateur la localisation des rames sur presque toute la longueur de la voie de réception. La fonction de la console utilisée pour le pointage manuel est la fonction "localisation" qui permet de situer la rame à pointer pour calculer ensuite son temps de parcours restant. La fonction utilisée pour le pointage automatique est une fonction d'aide qui prend en charge une partie de l'activité et propose une heure de réexpédition.
- Le temps de parcours restant pour arriver au terminus depuis cette station, connu des opérateurs du PML ou déduite à partir du nombre de rames séparant la rame pointée de la rame au départ actuellement et de l'intervalle pratiqué entre les rames. En effet, si la rame pointée est à 5 rames de la rame au départ et que l'intervalle pratiqué est de 2

minutes, l'opérateur peut en déduire que la rame pointée arrivera dans 5 rames, soit 10 minutes environ.

- Le temps nécessaire pour réaliser la manœuvre de retournement en terminus. Cette information varie en fonction du type de manœuvre et du moment de la journée. La manœuvre en vigueur est indiquée sur le garde-temps. Les opérateurs nous ont indiqué que la manœuvre 1 (voir en annexe J la description des manœuvres de retournement en terminus) est la plus longue car c'est le même conducteur qui amène la rame de l'entrée à la sortie du terminus, il y a des risques de stationnement pendant la manœuvre. La manœuvre 2 est un peu plus courte car la rame passe de conducteur en conducteur et les risques de stationnement pendant la manœuvre sont moindres. La manœuvre zéro est la plus courte car la rame entre directement à quai de départ sans parcourir tout le terminus.

Pour réaliser cette prise d'informations, les opérateurs utilisent les artefacts suivants :

- la console de suivi (la localisation de la rame à pointer),
- les écrans de visualisation (identification de la rame au départ au moment du pointage),
- le garde-temps (identification de l'heure prévue de réexpédition de la rame à pointer et évaluation du nombre de rames séparant la rame au départ de la rame pointée).

Le tableau 31 présente le nombre d'utilisations conjointes de ces trois artefacts (console, écrans, garde-temps) pour chaque situation observée.

Tableau 31 : Séquence de pointage manuel

situations	Opérateur								
	1			2		3		4	
	A	B	D	E	F	C	H	H'	I
Nombre d'utilisation conjointe des trois artefacts	0	1	1	0	3	2	0	0	3

La séquence d'activité minimale de prise d'informations a été observée dans 5 situations sur 9 et au moins une fois pour chacun des opérateurs observés.

L'instrument utilisé par les opérateurs pour réaliser le pointage manuel est formé :

- de l'artefact "console de suivi" dans sa fonction de "localisation" qui permet d'identifier la position de la rame qui doit être pointée sur la voie de réception,
- de l'artefact "écran de visualisation" qui permet d'avoir une information complémentaire sur la rame actuellement au départ

- de l'artefact "garde-temps" qui permet d'identifier l'heure prévue de réexpédition de la rame, de connaître la manœuvre de retournement en terminus en cours et de quantifier le nombre de rames restant au départ avant la rame pointée. Notons qu'aucun des opérateurs observés ne consulte le tableau des temps de parcours, car chacun connaît les temps de parcours approximatifs entre chaque station et le terminus sur sa voie de réception.
- Et du schème qui consiste à comparer les heures prévues et possibles de réexpédition.

Parmi les situations analysées, nous avons observé la prise d'informations sur les trois artefacts, console, garde-temps et écrans, complétée par la prise d'informations sur d'autres artefacts.

- Dans 2 situations (situations D, opérateur 1 et situation I, opérateur 4), les opérateurs utilisent en plus des trois précédents artefacts (console, écrans, garde-temps), l'artefact "machine-départ". La machine-départ indique le départ en cours et donne une information redondante avec le garde-temps sur lequel l'opérateur suit les départs réalisés l'un après l'autre en pointant avec son stylo ou une règle. Nous supposons que l'opérateur prend cette information sur le départ en cours au moment du pointage, de manière à vérifier si la rame au départ est bien celle qu'il pense.
- Dans 2 situations, (situations F, opérateur 2 et situation C, opérateur 3), les opérateurs utilisent l'artefact "console de suivi", l'artefact "écrans" et l'artefact "garde-temps", avec en plus l'artefact "TCO". Ce dernier semble permettre à l'opérateur de confirmer une information sur la localisation des rames dans le terminus et vérifier qu'il y a bien une rame au départ.

2.3.5 Les instruments du pointage à quai de départ

Lorsque la rame est déjà arrivée au terminus, il n'y a plus de temps de parcours restant, donc il faut mettre en place un pointage à quai de départ pour évaluer la ponctualité.

Pour le pointage à quai de départ, l'évaluation de la ponctualité est réalisée par la quantification du retard au moment et sur le lieu du départ. Nous avons observé au total 48 pointages à quai de départ, qui se répartissent de la manière suivante selon les artefacts utilisés.

Le tableau 32 récapitule la répartition des artefacts utilisés pour le pointage à quai de départ, tous épisodes confondus.

Tableau 32 : répartition des artefacts utilisés pour le pointage à quai de départ

	Alarme départ	Ecrans et garde temps				Garde-temps et console de suivi	Ecrans et machine départ	total
		seuls	Complétés par la machine départ	Complétés par la console de suivi	Complétés par le TCO			
nombre	11	7	14	4	4	2	6	48
pourcentage	22,9	14,6	29,2	8,3	8,3	4,2	12,5	100%

- **L'alarme "départ" sur la machine-départ**

L'alarme "départ" est une des fonctions de l'artefact machine-départ. Elle se présente sous la forme d'un **signal sonore et visuel** qui indique au chef de départ que la rame au départ n'a pas quitté le quai à l'heure prévue. Cette alarme sonne sur la machine départ environ 20 secondes après l'heure prévue du départ. L'opérateur doit l'acquitter en touchant le pavé "alarme départ" sur l'écran tactile de la Machine-Départ. L'alarme départ a une **fonction "d'indicateur"** de l'état de la ponctualité, prévue par les concepteurs. Dans ce cas, l'artefact prend en charge une partie de l'activité cognitive puisque c'est la machine départ qui compare l'heure prévue de départ de la rame avec la réalisation ou non du départ effectif.

Deux cas de figure se présentent suite à une alarme départ :

- l'opérateur acquitte simplement l'alarme et prend ou non des mesures de régulation (3 alarmes).
- l'opérateur acquitte l'alarme et réalise lui-même une nouvelle évaluation de la ponctualité à quai de départ sur la même rame, pour décider des mesures de régulation à prendre. C'est ce que nous avons observé pour les 8 autres alarmes départ.

Nous pensons que l'opérateur attribue **deux fonctions à cette alarme** départ :

- Lorsque l'opérateur acquitte l'alarme et met en place des mesures de régulation (exemple : prise de retard sur le prochain train au départ), il l'utilise comme **"indicateur"** de l'état de la ponctualité du trafic pour la rame concernée.
- Lorsque l'opérateur ne prend pas de mesures de régulation, il utilise l'alarme départ comme "ressource" pour donner quelques secondes de plus au conducteur, sans avoir à reprendre du retard. En effet, l'alarme se déclenche une vingtaine de secondes après l'heure prévue de départ, ce qui est souvent suffisant pour que le conducteur soit en mesure de partir, sans avoir à augmenter le retard global.

L'instrument mobilisé pour 11 pointages à quai de départ est constitué de :

- L'artefact "alarme départ",

- Et du schème qui consiste à comparer les heures prévues et possibles de réexpédition.

Nous n'avons pas observé de relation entre le type de prise d'informations mis en œuvre et le traitement des alarmes départ.

- **Les écrans et le garde-temps**

Nous avons observé 29 pointages à quai de départ, soit 60,4 % effectués au moins avec les deux artefacts "écrans" et "garde-temps".

Nous observons 7 pointages à quai de départ qui s'appuient uniquement sur ces deux artefacts utilisés seuls, soit 14,6 %. L'écran consulté est celui du quai de départ, quai 3 ou quai 1 en fonction du prochain départ. L'écran permet à la fois de vérifier la présence d'un train à quai de départ, d'identifier si ce train est bien celui qui devrait y être grâce à son numéro de rame et surtout de vérifier la présence du conducteur dans ou à côté de la loge de conduite. Le garde-temps permet de valider que c'est le bon train qui se présente selon l'ordre prévu des rames au départ et de visualiser son heure de départ.

L'instrument utilisé par les opérateurs est constitué de :

- l'artefact "écrans des quais de départ"
- d'une partie de l'artefact garde-temps (dans sa fonction de présentation de l'ordre et des horaires des prochains trains au départ).
- Et du schème qui consiste à comparer les heures prévues et possibles de réexpédition.

- **Les écrans et le garde-temps complété par la machine-départ**

Parmi ces 29 pointages à quai de départ 14, soit 29,2 % s'appuient toujours sur les deux artefacts écrans et garde-temps, complétés par une prise d'informations sur la machine-départ (départ en cours). C'est l'instrument le plus utilisé, constitué :

- Des écrans de visualisation des quais de départ,
- Du garde-temps,
- De la machine-départ
- Et du schème qui consiste à comparer les heures prévues et possibles de réexpédition

Dans ce cas, la machine-départ permet de valider l'information, puisqu'elle affiche le numéro de rame et l'heure prévue du départ en cours. L'opérateur peut vérifier la concordance entre son garde-temps et la machine-départ.

- **Les écrans et le garde-temps complété par la console de suivi**

Nous observons 4 pointages à quai de départ soit 8,3 % réalisées avec les artefacts écrans, garde-temps et console de suivi. La console permet ici d'obtenir une information complémentaire sur la position des rames qui suivent la rame au départ dans le terminus. L'instrument mobilisé est constitué :

- des artefacts écrans,
- garde-temps,
- de la fonction "localisation" de la console de suivi
- Et du schème qui consiste à comparer les heures prévues et possibles de réexpédition

- **Les écrans et le garde-temps complété par le TCO**

Nous observons 4 autres pointages à quai de départ soit 8,3 % réalisés en utilisant le TCO à la place de la console de suivi pour localiser les rames dans le terminus. Dans ce cas, l'opérateur n'a pas d'informations sur les numéros de rames mais seulement sur leur position dans le terminus. L'instrument mobilisé est constitué de :

- l'artefact écrans de visualisation des quais,
- l'artefact garde-temps,
- l'artefact TCO
- Et du schème qui consiste à comparer les heures prévues et possibles de réexpédition.

- **Les écrans et la machine-départ**

Nous observons 14% des pointages à quai de départ réalisés avec les écrans (pour identifier la rame à quai de départ et surveiller son départ effectif) et la machine-départ (qui donne comme le garde-temps l'heure prévue de départ de la rame au départ). Le garde-temps permet de voir aussi les départ suivant alors que la machine-départ avance pas à pas et n'affiche que le départ en cours. Elle donne une vision ponctuelle alors que le garde-temps donne une vision globale des prochains départs (et aussi des départs réalisés).

L'instrument mobilisé est constitué de :

- l'artefact écrans de visualisation,
- l'artefact machine départ,
- Et du schème qui consiste à comparer les heures prévues et possibles de réexpédition.
- **Le garde-temps et la console de suivi**

Nous observons 4,8 % des pointages à quai de départ réalisés avec le garde-temps (pour identifier l'heure prévue de départ de la rame au départ) et la console de suivi (pour surveiller le départ effectif de cette rame). La console permet de voir la position des autres rames au terminus, sauf la rame au trottoir de manœuvre.

L'instrument mobilisé est constitué de :

- l'artefact garde-temps,
- l'artefact console de suivi,
- Et du schème qui consiste à comparer les heures prévues et possibles de réexpédition.

2.3.6 Utilisation des pointages et type de prise d'informations

Les deux pointages automatique et manuel concernent des rames qui sont encore en ligne, par opposition au pointage à quai de départ.

Nous pouvons donc les regrouper afin de mettre en relation l'utilisation de ces pointages en ligne avec le type de prise d'informations (tableau 33).

Tableau 33 : utilisation des pointages en ligne en fonction du type de prise d'informations

		type de prise d'informations		
		linéaire	alternante	total
Utilisation des deux types de pointage en ligne (automatique et manuel)	non	12	2	14
	oui	2	7	9
	total	14	9	23

La prise d'informations alternante s'observe dans 7 situations sur 9 conjointement avec l'utilisation du pointage des rames en ligne, contre 2 épisodes sur 14 pour la prise d'informations linéaire. Cette dernière est caractérisée par l'absence de recours au pointage en ligne dans 12 situations sur 14. Les pointages en ligne portent sur des rames encore éloignées du terminus, ils permettent une anticipation plus grande et un suivi plus précoces des rames.

Nous n'observons pas de relation entre le type de prise d'informations et le pointage à quai de départ, puisque celui-ci est très utilisé dans tous les cas pour évaluer le retard des rames qui

sont déjà dans le terminus. Le pointage à quai de départ est indépendant du type de stratégie de prise d'informations adoptée.

Nous pouvons expliquer ce résultat par le fait que les deux types de prise d'informations "linéaire" et "alternante" reposent sur le suivi de rames jusqu'au quai de départ. Seule la prise d'informations "alternante" s'intéresse aussi aux rames éloignées du terminus. Le seul moyen pour évaluer précisément le retard lorsque les rames sont déjà arrivées au terminus est le pointage à quai de départ. C'est un moyen de prise d'informations très utilisé, même s'il ne permet pas une grande anticipation à l'opérateur. Il permet de vérifier les effets d'une manœuvre ou de compléter le suivi d'une rame.

2.3.7 Autre cas : une information reçue d'un autre opérateur

Un autre moyen de se construire une représentation de la ponctualité c'est être prévenu par téléphone d'une anomalie entraînant un retard sur train, par un collègue tel que le chef de régulation du PCC ou le chef de départ de l'autre PML de la ligne ou par le sous-chef de terminus (situé sur le quai de départ). C'est un moyen d'évaluer la ponctualité qui ne dépend pas du chef de départ et peut survenir à n'importe quel moment, puisqu'elle ne dépend pas de l'opérateur. Ce mode de prise d'informations sur la ponctualité se déroule de la manière suivante :

le chef de départ reçoit un appel téléphonique
l'interlocuteur de l'opérateur observé signale la rame concernée, la nature du problème rencontré, éventuellement la cause et indique une valeur du retard obtenue, calculée à partir des informations dont il dispose.
le chef de départ acquitte l'information reçue.

La réception d'une information d'un autre opérateur à propos du retard d'une rame est observée dans 34,8 % soit 8 épisodes sur 23 et plutôt avec une prise d'informations "alternante" (tableau 34).

Tableau 34 : le recours à l'évaluation de la ponctualité par le signalement par un collègue en fonction du type de prise d'informations

		type de prise d'informations		
		linéaire	alternante	total
Réception d'une information reçue d'un autre opérateur	non	12	3	15
	oui	2	6	8
	total	14	9	23

Nous avons l'observée au cours de 6 épisodes sur 9 traités avec une prise d'informations alternante. L'information est transmise par des opérateurs chargés de réguler une autre partie de ligne, soit la voie d'expédition (le chef de départ de l'autre terminus), soit la partie médiane de la ligne entre les deux terminus (le chef de régulation au PCC). Ces interlocuteurs donnent

des informations sur les rames encore éloignées du terminus, qui caractérisent la prise d'informations de type "alternante".

Nous avons quantifié les échanges entre le PCC et le PML au cours du traitement des situations perturbées. Le chef de régulation du PCC s'adresse dans 60 % des situations au chef de départ du PML **qui va recevoir la rame concernée** par la perturbation. Le chef de régulation du PCC transmet la valeur du retard de la rame la plus retardée lorsqu'il a terminé de traiter une perturbation en ligne, de manière à permettre au chef de départ d'identifier la rame-cible avant laquelle il doit intervenir.

L'information reçue sert d'indicateur au chef de départ pour identifier la ou les rames à surveiller, sur la base d'une évaluation chiffrée. Elle constitue un signal pour attirer l'attention du chef de départ sur une rame à surveiller particulièrement. Le chef de départ est tributaire de son interlocuteur et des habitudes de communication entre les membres de l'équipe qui régule la ligne, comme l'exprime un chef de départ :

*- " On essaie de ne rien se cacher, on est là pour faire un boulot, autant bien s'entendre ...c'est surtout une aide. Si je peux, je lui téléphone. Ce que j'essaie de faire, c'est de **donner un maximum d'informations**. Je lui dis fais gaffe, telle rame est partie avec tel retard" [opérateur 1].*

2.4 Schèmes et instruments d'évaluation de la régularité

Après avoir présenté les instruments d'évaluation de la ponctualité du trafic, nous présentons ici les instruments d'évaluation de la régularité.

Nous avons peu d'éléments sur l'évaluation de la régularité lorsque les rames sont encore éloignées du terminus. Nous avons cependant retrouvé des extraits d'entretiens qui nous permettent de faire l'hypothèse que les opérateurs s'appuient sur des indices spatiaux à partir desquels ils infèrent un écart temporel entre les rames, auquel ils font référence dans leur discours :

*" La console de suivi... il y a plusieurs façons de s'en servir. **Chaque chef de départ a son petit truc**. Il y en a qui connaissent que **pour aller de telle station à pont de sèvres il faut 20 minutes**, ils connaissent les temps de parcours..." [opérateur 1].*

Tous les opérateurs interrogés parlent de ces indices, comme le montrent ces deux extraits :

*- " moi je regarde plutôt l'intervalle entre deux trains, je regarde s'il s'agrandit, si ça arrive bien, si c'est fluide. ...**toujours on regarde derrière si ça arrive bien ou ça arrive mal, s'il y a de grands intervalles ou si les trains très rapprochés**. Mais si les trains sont très loin les uns des autres on peut*

considérer qu'on devra reprendre du temps encore ; on regarde l'intervalle qu'il y a entre les trains, on regarde s'il s'agrandit ..." [opérateur 1].

- "si vous voulez, quand on a des trains toutes les 3 stations, ça fait "joli" c'est régulier, tandis qu'à un moment donné on va avoir des trains toutes les 3 stations puis à un moment on va avoir 8 stations sans train et là on va se dire "là il y a un problème", là il y a ce qu'on appelle un trou ... donc là ce sont les intervalles qui sont touchés c'est pas le retard." [opérateur2].

Nous allons donc nous intéresser à l'évaluation de la régularité dans la zone du terminus.

2.4.1 Le concept pragmatique de fluidité

Dans tous les entretiens, apparaît au moins une fois le terme de **fluidité**. Ce terme est utilisé lorsque les opérateurs font référence à la régularité des intervalles entre les rames, dans la zone du terminus. Ils utilisent souvent la métaphore de l'embouteillage autoroutier pour décrire le fait que les rames ne circulent pas bien dans cette zone d'étranglement que constitue le terminus. Certains opérateurs utilisent également la métaphore du flux sanguin pour évoquer la fluidité. Il ne s'agit donc pas seulement d'une évaluation d'un intervalle observé entre les rames mais du maintien de cet intervalle dans le temps.

Nous trouvons dans la littérature sur la régulation de trafic, la référence au terme de **fluidité** en tant **qu'objectif d'optimisation** de la circulation des véhicules circulant sur le réseau régulé (Dos Santos, 1985 ; Spérandio 1988 ; Joseph ,1993). Nous trouvons dans les verbalisations en cours d'activité et les entretiens, **l'expression de relations entre les rames circulant sur la ligne en termes de flux**, ce qui nous a permis de faire l'hypothèse que les opérateurs ont construit une conceptualisation de la situation s'appuyant sur un concept pragmatique qui leur permet de mettre en relation les indicateurs prélevés sur la situation et l'état de la régularité du trafic, c'est-à-dire se représenter le flux des rames dans la zone autour du terminus. Nous faisons donc l'hypothèse que le diagnostic des opérateurs sur l'état de la régularité repose sur l'utilisation de ce concept de fluidité, en qualité de **concept pragmatique**, qui permet d'exprimer un diagnostic en termes de flux entre l'entrée et la sortie du terminus, sur l'état du processus, ici la ligne de métro. Le concept pragmatique permet la caractérisation d'un aspect de la situation, ici la régularité. Dans notre cas, il semble qu'un élément clé de la capacité à réguler soit d'être capable d'évaluer si le trafic est fluide ou non sur la voie de réception. Les opérateurs doivent savoir poser un diagnostic sur l'état du trafic et c'est le concept de fluidité leur permet de poser ce diagnostic. La fluidité est liée au fait que les trains circulent sans à-coups ni stationnements inutiles. L'évaluation de la fluidité ne s'exprime pas en termes chiffrés mais en termes de tendance.

Nous avons identifié trois modalités traduisant l'état de la fluidité du trafic :

- **"ça tape"** signifie que les trains sont les uns derrière les autres, séparés par les signaux d'espacement. L'intervalle entre les rames est trop court. Les rames qui arrivent ont moins de retard que celles qui partent, provoquant un "embouteillage" dans la zone d'approche du terminus. Il y a des risques que les rames stationnent sous tunnel, ce que les opérateurs cherchent à éviter à tout prix. Du point de vue de l'action, le chef de départ peut diminuer les intervalles des prochains départ et de ce fait, le retard global de la ligne.
- **"ça tire"** signifie que les trains arrivant ont plus de retard que les trains qui partent du terminus. Les trains qui arrivent ne pourront assurer l'heure prévue de départ. Les intervalles entre les rames circulant dans la zone du terminus s'étirent. L'opérateur peut être amené à augmenter les intervalles des prochains départs, et de ce fait, augmenter le retard global de la ligne.
- **"c'est fluide"** signifie que les intervalles sont réguliers, les rames arrivent et quittent le terminus sans à-coups, il n'y a pas de paquets de rames avant ou après le terminus. Les rames traversent de manière régulière le goulot d'étranglement que constitue le terminus.

Nous pouvons représenter la structure du concept pragmatique dans la figure 5, en reprenant le formalisme utilisé par Samurçay (1994).

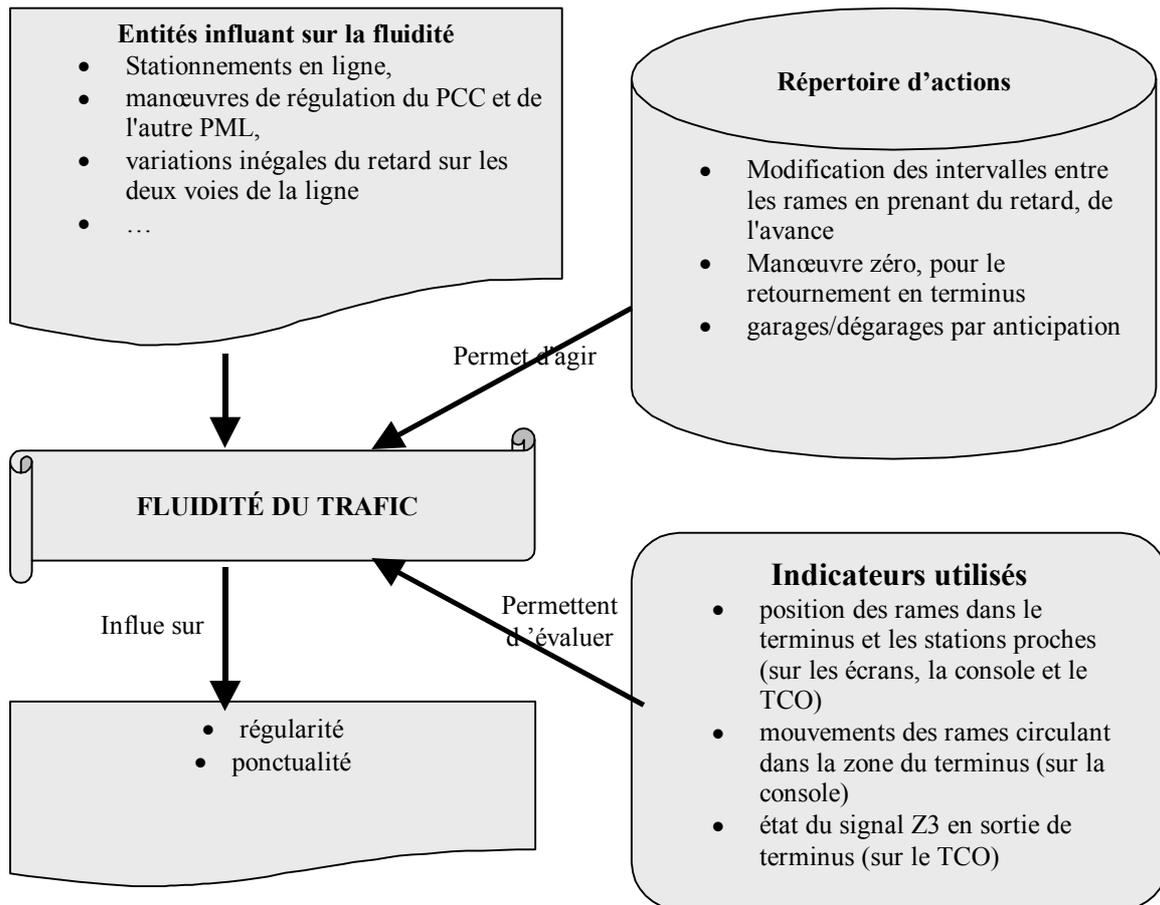


Figure 5 : représentation graphique du concept de fluidité

2.4.1.1 Un schème d'évaluation de la fluidité

L'analyse des verbalisations nous a permis de supposer l'existence d'une organisation invariante de l'évaluation de la fluidité, comme nous pouvons le voir dans cet extrait de verbalisation :

- Le problème c'est que j'ai un train à partir (r23) et ensuite je n'ai plus qu'un train quai central (dans le terminus) ! mon objectif c'est d'avoir 2-3 trains dans la gare, mais là j'ai un trou ... l'autre qui est là il n'est même pas à Exelmans, je suis obligé d'anticiper... Pour savoir si j'ai suffisamment de trains dans l'heure qui devrait, j'ai deux paramètres à suivre : le quai 3 qui va partir derrière le train qui arrive là (départ) et vérifier si en même temps les trains je les ai correctement à Sèvres (arrivée). Là ils sont un peu juste ça passera pas...

Elle se traduit par la séquence de prise d'informations suivante observées dans les protocoles :

Séquence "évaluation de la fluidité"	
•	Prise d'informations sur la position relative des rames (localisation, intervalle spatial) dans la zone précédant le terminus, dans le terminus et en sortie de terminus,
•	prise d'informations sur l'état du signal Z3 en sortie de terminus
•	comparaison entre les informations recueillies sur les rames en entrée, sortie et dans le terminus et l'état du signal de sortie.

Nous avons repéré dans chaque protocole la répétition de cette séquence d'activité (tableau 35).

Tableau 35 : nombre d'utilisations de l'évaluation de la fluidité, par situation et par opérateur

	Opérateur								
	1			2		3		4	
situations	A	B	D	E	F	C	H	H'	I
Nombre de séquences	0	3	5	8	11	10	4	6	11

L'évaluation de la fluidité est utilisée par tous les opérateurs plusieurs fois au cours de chaque situation, sauf la situation A. Il est possible que nous ne l'ayons pas observé dans cette situation étant donné que les critères utilisés pour identifier l'évaluation de la fluidité sont basés sur l'action observable et sur les verbalisations. Dans la situation A, nous avons observé des prises d'informations **reproduisant partiellement la séquence d'activité** caractérisant l'évaluation de la fluidité, mais comme aucune verbalisation ne vient confirmer ou infirmer qu'il s'agit bien d'une évaluation de la fluidité, il y a un certain nombre de prises d'informations que nous n'avons pas pu catégoriser comme telle dans la situation A.

2.4.1.2 Les instruments de l'évaluation de la fluidité

L'objectif des opérateurs est d'obtenir une information sur la fluidité du trafic, c'est-à-dire le flux des rames dans le terminus. L'instrument utilisé par tous les opérateurs, dans toutes les situations pour évaluer la régularité du trafic est donc constitué

- d'une part des artefacts console de suivi, des écrans de visualisation des quais de départ et du TCO ;
- d'autre part, du schème de mise en relation des informations fournies par les artefacts.

La console de suivi donne les numéros des rames dans la zone du terminus et surtout l'évolution des intervalles entre les rames, comme l'explique cet opérateur lors d'une observation :

*- " là l'intervalle de 1'50 apparemment ça passe bien, l'écoulement **au départ ça passe bien et à l'arrivée les trains arrivent à peu près directement.** donc on va stabiliser à 5 et on va voir suivant*

comment les trains arrivent, avec la console, si on voit que l'intervalle entre les rames augmente, ça dépend de comment les trains arrivent."

Le TCO donne la position des rames pour tous les circuits de voie (portions de ligne) compris dans la zone du terminus ainsi que l'état des signaux de manœuvre. Les écrans permettent d'affiner l'information sur la position des rames à quai de départ, puisque les opérateurs peuvent y voir si les rames sont totalement à quai et les conducteurs dans leur loge de conduite. Les opérateurs utilisent les fonctions complémentaires des trois artefacts pour constituer un instrument d'évaluation de la régularité. Chacun des artefacts pris isolément ne permet pas de construire une information complète sur la régularité. La console ne donne pas la position exacte des rames, le TCO ne donne pas les numéros de rames, et les écrans ne donnent pas d'informations sur plusieurs rames qui se suivent.

Le TCO est prévu pour ne donner aux opérateurs qu'une information sur l'état des CDV (occupés ou non par une rame), des signaux et des itinéraires (ouverts ou fermés). Le TCO dont dispose les opérateurs en terminus ne comporte pas d'indication sur les numéros de rames. Il est donc plus orienté de par sa conception, vers la tâche de gestion des manœuvres qui revient au chef des manœuvres. Pourtant les chefs de départ l'utilisent dans chaque situation pour évaluer la régularité, y compris l'indication sur l'état des signaux. Cet extrait de verbalisation en cours d'observation montre que l'opérateur utilise l'état du signal Z3, signal de sortie du terminus pour évaluer l'intervalle minimum à respecter entre la rame qui vient de partir et la prochaine rame au départ. L'opérateur explique que tant que la rame précédente n'est pas arrivée à la station suivante, le signal Z3 ne s'ouvre pas, ce qui signifie qu'il est inutile d'envoyer la rame suivante :

- "l'autre est à peine parti que l'heure de celui qui est à peine à quai arrive. donc c'est pas bon ... on peut pas les faire partir tant que le précédent n'est pas arrivé à Billancourt, les signaux s'ouvrent pas."

2.4.1.3 Les indicateurs utilisés par les opérateurs

Pour pouvoir associer des critères objectifs à l'expression verbale de l'état de la régularité, nous avons recueilli avec la méthode papier-crayon les informations désignées par les opérateurs lorsqu'ils parlaient de la régularité du trafic. Nous avons noté la position des rames dans la zone entourant le terminus, visible sur le TCO, la console de suivi et les écrans de visualisation à chaque fois que l'opérateur exprimait un état de la régularité. Ce recueil a été

possible uniquement lors des observations ouvertes car lors des observations systématiques, l'observateur devait remplir une autre grille de recueil de données²⁰.

Nous illustrons par les figures 6, 7, 8, les critères visuels utilisés par les opérateurs pour évaluer la régularité du trafic, associés à l'expression verbale qui leur correspond.

- **Les indicateurs caractéristiques d'une situation "fluide".**

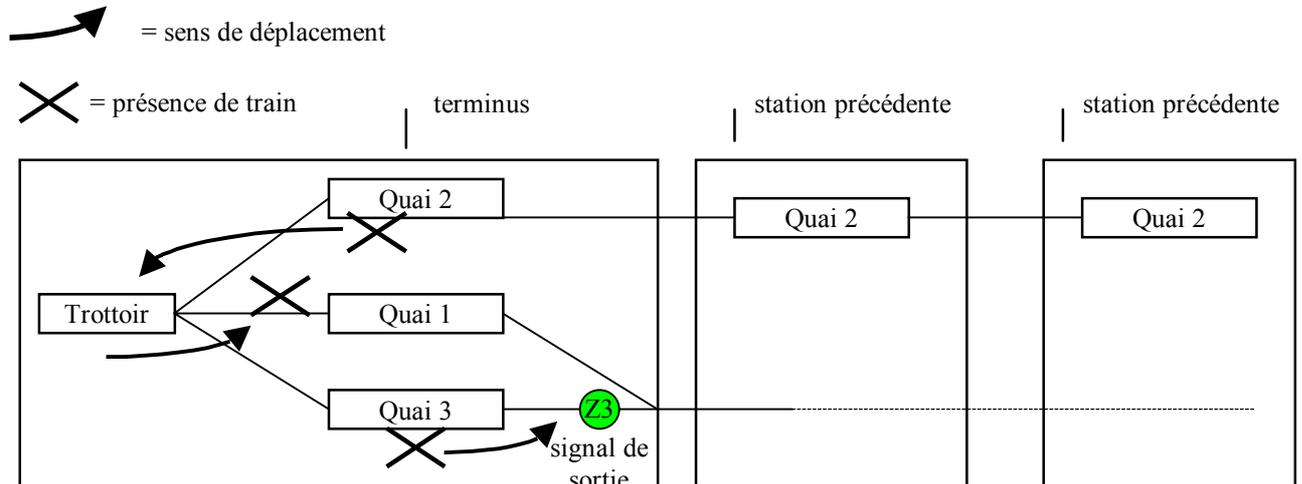


Figure 6 : un exemple de situation "fluide"

Pour l'opérateur, c'est une situation fluide car elle remplit les conditions suivantes :

- **état du signal de sortie de gare (visible sur le TCO) :** le signal Z3 de sortie est vert, ce qui donne une information sur le fait que l'itinéraire de sortie de gare est dégagé. L'opérateur peut en déduire que la rame ne risque pas de devoir stationner sous tunnel entre le terminus et la prochaine station, ce qui serait une dégradation de la fluidité et aurait un impact sur la régularité du trafic.

- **mouvement et position relative des rames dans la zone du terminus (visible sur la console de suivi, le TCO et les écrans) :** il y a un train à quai de départ (numéroté quai 3 sur

²⁰ Il n'était pas possible de filmer les images des écrans de visualisation des quais et de la console de suivi (le contraste aurait faussé la mise au point et l'éclairage). Le TCO est un synoptique sur fond noir, les rames sont représentées par de petites lumières orange très peu contrastées, dans une ambiance sombre, impossible à filmer sans éclairage artificiel supplémentaire. Ces outils sont situés sur des plans différents, il aurait fallu trois caméras différentes pour filmer les trois outils. La configuration des lieux, les caractéristiques des outils et la vitesse d'actualisation des informations fournies aux opérateurs imposent des limites méthodologiques à l'analyse de l'activité de régulation en terminus. Nous faisons l'inférence que si les opérateurs nous ont décrit certaines configurations des situations comme caractéristiques et permettant d'évaluer l'état de la régularité du trafic, ils utilisent également ces critères dans leur pratique habituelle. Nous avons donc recueilli des exemples en situation sur lesquels nous avons demandé aux opérateurs de verbaliser.

la figure), il y a un train qui vient de quitter le trottoir et entre au quai de départ (numéroté quai 1 sur la figure), il y a un train qui quitte le quai d'arrivée et se dirige vers le trottoir.

L'opérateur s'appuie sur des critères visuels de localisation des rames dans le terminus, et également sur le mouvement des rames en déplacement dans le terminus :

- "les trains arrivent régulièrement, ils repartent régulièrement, les conducteurs sont là, tout va bien là...ça va, l'écoulement des trains se fait à peu près bien, on n'a pas de trains qui stationnent à l'entrée de gare."

- **Les indicateurs associés à une situation où "ça tape"**

Par contre, une situation où la fluidité est dégradée est caractérisée par un signal Z3 vert pour le train quai 3, mais le train n°2 ne quitte pas le trottoir à temps pour aller vers le quai 1. Il empêche le train à quai d'arrivée (numéroté 3) d'aller au trottoir en ne dégageant pas l'itinéraire. Cette situation rompt la fluidité, les trains stationnent dans le terminus.

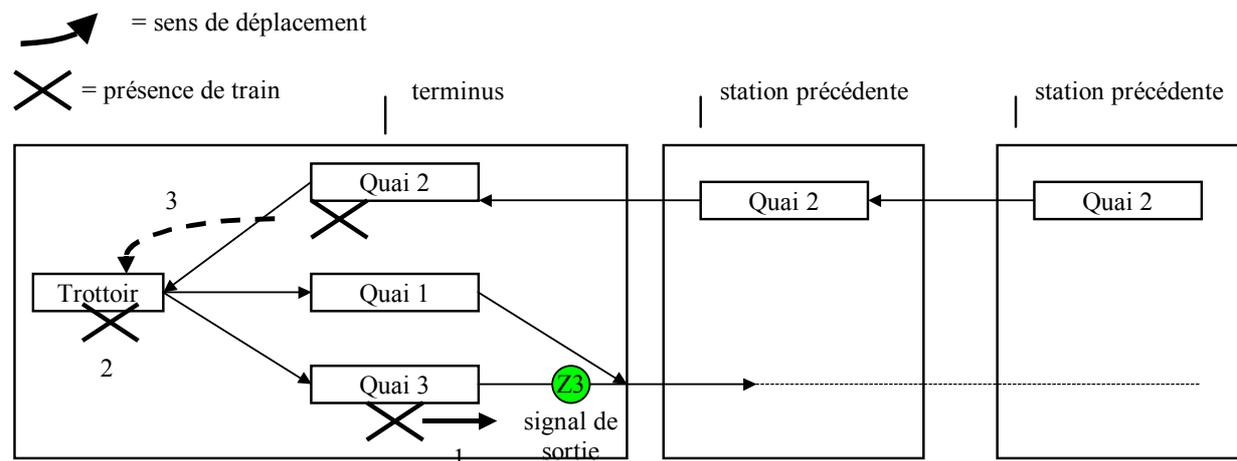


Figure 7 : un exemple de situation où "ça tape".

Les critères utilisés par l'opérateur pour évaluer l'état du trafic sont les mêmes que précédemment (état du signal de sortie permettant d'obtenir une information sur la position de la rame précédente sur le TCO, disponibilité de l'itinéraire de sortie de gare, sur le TCO localisation et mouvement des rames dans le terminus sur les écrans et la console).

- **Les indicateurs associés à une situation où "ça tire"**

Dans la figure suivante, on trouve un exemple de situation non acceptable, car la fluidité du trafic est également rompue : il n'y a plus de train en entrée de gare.

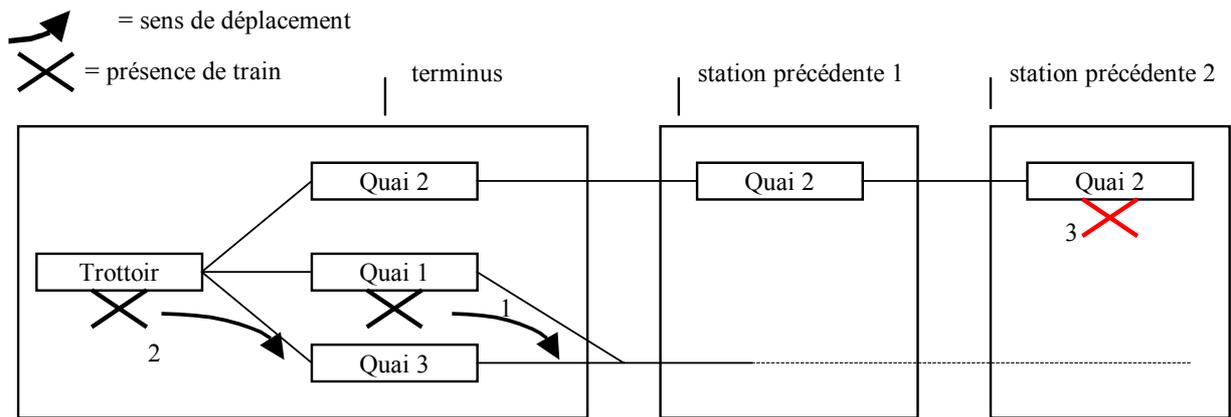


Figure 8 : un exemple où "ça tire"

Lorsque le train actuellement quai 1 va partir, le train au trottoir sera le prochain départ, et le train actuellement quai 2 de la station précédente 2 sera à peine à la station précédente 1 (d'après les temps de parcours). Il lui sera alors difficile d'être à quai de départ à son heure prévue, compte-tenu du temps de trajet entre les deux dernières stations et du temps de retournement au trottoir. L'opérateur fait référence à la localisation des rames (sur la console et le TCO), au temps de parcours entre les stations et au mouvement des rames dans le terminus (sur les écrans).

2.4.1.4 Lien avec le type de prise d'informations

L'évaluation de la régularité peut être mise en relation avec le type de prise d'informations (tableau 36).

Tableau 36 : usage de l'évaluation de la régularité en fonction du type de prise d'informations.

		type de prise d'informations		
		linéaire	alternante	total
Evaluation de la régularité à partir de la fluidité	non	4	0	4
	oui	10	9	19
	total	14	9	23

Les opérateurs utilisent dans la plupart des épisodes l'évaluation de la régularité en ayant recours au concept de fluidité, et ce, quelle que soit la stratégie de prise d'informations (linéaire ou alternante). Ce concept est donc central dans la pratique des chefs de départ.

2.5 Système d'instruments de la prise d'informations

Nous avons décrit les instruments de la prise d'informations pour la prise en compte de la ponctualité et de la régularité. Mais les instruments ne sont pas isolés, comme le dit Rabardel (1995). Ils peuvent former des systèmes correspondant à l'ensemble des instruments dont dispose l'opérateur, dont la complémentarité et la redondance des fonctions sont les caractéristiques (Rabardel, 1999).

Nous allons donc nous intéresser aux systèmes d'instruments constitués par les chefs de départ pour prendre en compte la régularité et la ponctualité du trafic.

Pour cela, nous mettrons en relation les instruments utilisés pour l'évaluation de la ponctualité et de la régularité et les fonctions qui leurs sont attribuées.

Concernant l'évaluation de la ponctualité, nous avons mis en évidence un invariant de l'activité à partir duquel nous avons inféré l'existence d'un schème de pointage des rames. Ce schème de pointage permet de constituer 11 instruments.

Pour l'évaluation de la régularité, nous avons observé une organisation invariante de l'activité à partir de laquelle nous avons inféré l'existence d'un schème d'évaluation de la régularité. Ce schème est associé par les opérateurs à des artefacts pour former un instrument d'évaluation de la régularité. Nous reprenons les instruments identifiés dans le tableau 37, inspiré de Vidal-Gomel (2001).

Tableau 37 : Les fonctions des instruments des chefs de départ

Les instruments	Les fonctions
Evaluation de la ponctualité	
1. Utilisation de la console de suivi ²¹ et du garde-temps	Localisation de la rame à pointer sur la voie de réception Calcul de la valeur exacte du retard d'une rame (<u>lorsque la rame est dans la zone d'atteinte du pointage automatique</u>) Identification de l'évolution du retard d'une rame (lorsque le pointage est utilisé en complément d'un pointage manuel ou lorsque l'opérateur tient compte des deux pointages automatiques successifs)
2. Utilisation de la console de suivi, des écrans de visualisation et du garde-temps	Localisation de la rame à pointer sur la voie de réception Calcul de la valeur exacte du retard d'une rame (<u>pour les trois-quarts de la voie de réception</u> , excepté les 5 dernières stations les plus éloignées ²²) Identification de l'évolution du retard d'une rame (si le pointage est répété)
3. Utilisation de la console de suivi, des écrans de visualisation, du garde-temps et de la machine-départ	Localisation de la rame à pointer sur la voie de réception Calcul de la valeur exacte du retard d'une rame (<u>pour les trois-quarts de la voie de réception</u> , excepté les 5 dernières stations les plus éloignées) Identification de l'évolution du retard d'une rame (si le pointage est répété)
4. Utilisation de la console de suivi, des écrans de visualisation, du garde-temps et du TCO	Localisation de la rame à pointer sur la voie de réception Calcul de la valeur exacte du retard d'une rame (<u>pour les trois-quarts de la voie de réception</u> , excepté les 5 dernières stations les plus éloignées) Identification de l'évolution du retard d'une rame (lorsque le pointage est répété)
5. Utilisation de l'alarme départ	Localisation de la rame à pointer sur la voie de réception Calcul de la valeur exacte du retard d'une rame (<u>lorsqu'elle est dans la zone du terminus ou à quai de départ</u>) Identification de l'évolution du retard d'une rame (lorsque le pointage est répété)
6. Utilisation des écrans de visualisation et du garde-temps	Localisation de la rame à pointer sur la voie de réception Calcul de la valeur exacte du retard d'une rame (<u>lorsqu'elle est dans la zone du terminus ou à quai de départ</u>) Identification de l'évolution du retard d'une rame (lorsque le pointage est répété)
7. Utilisation des écrans de visualisation, du garde-temps et de la machine départ	Localisation de la rame à pointer Calcul de la valeur exacte du retard d'une rame sur la voie de réception (<u>lorsqu'elle est dans la zone du terminus ou à quai de départ</u>) Identification de l'évolution du retard d'une rame (lorsque le pointage est répété)
8. Utilisation des écrans de visualisation, du garde-temps et de la console de suivi	Localisation de la rame à pointer sur la voie de réception Calcul de la valeur exacte du retard d'une rame (<u>lorsqu'elle est dans la zone du terminus ou à quai de départ</u>) Identification de l'évolution du retard d'une rame (lorsque le pointage est répété)
9. Utilisation des écrans de visualisation, du garde-temps et du TCO	Localisation de la rame à pointer sur la voie de réception Calcul de la valeur exacte du retard d'une rame (<u>lorsqu'elle est dans la zone du terminus ou à quai de départ</u>) Identification de l'évolution du retard d'une rame (lorsque le pointage est répété)
10. Utilisation du garde-temps et de la console de suivi ²³	Localisation de la rame à pointer sur la voie de réception Calcul de la valeur exacte du retard d'une rame (<u>lorsqu'elle est dans la zone du terminus ou à quai de départ</u>) Identification de l'évolution du retard d'une rame (lorsque le pointage est répété)
11. Utilisation des écrans et de la machine départ	Localisation de la rame à pointer sur la voie de réception Calcul de la valeur exacte du retard d'une rame (<u>lorsqu'elle est dans la zone du terminus ou à quai de départ</u>) Identification de l'évolution du retard d'une rame (lorsque le pointage est répété)

²¹ dans sa fonction évaluation automatique du retard, partie gauche de l'écran (annexe C)

²² Pour les dernières stations, l'opérateur doit appeler l'autre chef de départ situé dans l'autre terminus. Il n'y a pas d'instrument constitué permettant d'avoir l'information sur la fin de la ligne mais seulement l'artefact téléphone.

²³ dans la partie localisation des rames et non évaluation automatique du retard (partie droite de l'écran)

Instruments d'évaluation de la régularité	
Les instruments	Les fonctions
12. Utilisation de la console de suivi, des écrans de visualisation des quais de départ et du TCO	Localisation des rames sur la voie de réception Evaluation de l'intervalle entre les rames sur la voie de réception

Ce tableau nous permet d'appréhender la complémentarité et la redondance des fonctions des instruments utilisés par les chefs de départ pour évaluer la ponctualité et la régularité du trafic.

- La localisation des rames et l'évaluation du retard peuvent être réalisés avec tous les instruments ce qui traduit la **redondance** des fonctions entre les instruments,
- L'évaluation du retard d'une rame ne peut être réalisée en tout point de la voie de réception, mais le choix d'un instrument dépend en partie de la zone où se trouve la rame. Ce qui traduit la **complémentarité** des fonctions des instruments des chefs de départ. Les opérateurs vont utiliser préférentiellement l'instrument constitué avec la console de suivi (partie gauche de l'écran) et le garde-temps lorsque la rame sera dans la zone d'atteinte du pointage automatique, mais ils devront réaliser un pointage manuel avec l'un des outils le permettant lorsque la rame n'est pas dans cette zone. Pour l'évaluation de la régularité, nous n'avons mis en évidence qu'un seul instrument partagé par tous les opérateurs observés, mais complémentaire des instruments utilisés pour évaluer la ponctualité.

Comme nous l'avons dit dans le chapitre 2, redondance et complémentarité sont les caractéristiques des systèmes d'instruments (Rabardel, 1999), c'est pourquoi nous pouvons dire que les chefs de départ disposent d'un système d'instruments dont certains permettent l'évaluation de la ponctualité et d'autres la régularité. Pour cette dernière, l'instrument mis en évidence est lié au développement d'un concept pragmatique de fluidité.

2.6 Lien entre type d'épisode et type de prise d'informations

Nous analysons le lien entre un type d'épisode et un type de prise d'informations. Pour cela, nous comparons le type de prise d'informations utilisé et le type d'épisode (tableau 38).

Tableau 38 : lien entre type de prise d'informations et type d'épisode

		type d'épisode		
		simple	complexe	total
Type de prise d'informations	Linéaire	11	3	14
	Alternante	5	4	9
	total	16	7	23

- Les épisodes "simples" sont traités majoritairement avec une prise d'informations de type "linéaire" (11 épisodes sur 16). Lorsqu'il n'y a qu'un seul événement à traiter, les opérateurs ont tendance à agir au coup par coup.
- Les épisodes "complexes" sont traités avec une prise d'informations "alternante" dans 4 épisodes sur 7. Il y a cependant 3 épisodes complexes traités avec une prise d'informations "linéaire". La taille de notre échantillon ne permet pas d'avancer des résultats définitifs sur ce point.

Par contre nous pouvons souligner que lorsque les événements à traiter sont détectés très tôt et l'opérateur peut choisir d'engager une prise d'informations "alternante" ou "linéaire" selon son choix, par contre, lorsqu'ils sont détectés tardivement, l'opérateur sera obligé d'adopter une prise d'informations de type "linéaire".

3 INSTRUMENTS ET STRATEGIES D'ACTION

La première partie de ce chapitre était consacrée à l'analyse de la prise d'informations et des moyens qui lui sont associés. Nous présentons maintenant les caractéristiques de l'action et les moyens qui lui sont associés, avant de les mettre en relation avec le type de prise d'informations et de situation.

Pour analyser l'action, nous avons identifié pour chaque épisode la rame cible, c'est-à-dire la rame qui pose problème. Cette rame est la rame "butoir" avant le départ de laquelle il faut que l'opérateur ait traité le problème. En général, il s'agit de la rame la plus retardée. Nous l'avons identifiée grâce aux verbalisations des opérateurs et au garde-temps, ce qui nous a permis de nommer chaque épisode en fonction de la rame cible concernée.

Pour chaque épisode, nous avons identifié les rames sur lesquelles portent les actions de l'opérateur, pour chaque action, dans chaque épisode et la localisation de ces rames sur la ligne.

3.1 L'action : "linéaire" ou "alternante"

Chaque action peut porter sur une rame proche du terminus ou sur une rame éloignée. Nous pouvons distinguer deux types d'épisodes selon qu'ils sont traités en agissant uniquement sur des rames proches du terminus ou en agissant à la fois sur les rames proches et des rames éloignées du terminus.

Nous définissons les deux types d'action comme suit :

- **L'action "linéaire"** repose sur le suivi et l'action sur des rames au départ, au coup par coup. Il s'agit d'une action de proche en proche. Ce type d'action consiste à agir sur les rames qui sont dans le terminus et proches du départ, au fur et à mesure. La rame cible est peu éloignée du terminus
- **L'action "alternante"** repose sur le suivi et l'action sur une rame cible éloignée du terminus, jusqu'à son départ de ce terminus. L'action "alternante" ou répartie sur les rames intermédiaires entre la rame cible et la rame au départ. La rame cible est éloignée du terminus, l'action est répartie sur les rames qui précèdent la rame cible sur la voie de réception. Lorsque la rame cible se rapproche du terminus, le nombre de rames qui la sépare du départ diminue.

Pour les deux types d'action, lorsque la rame cible a quitté le terminus, dans la plupart des cas, le traitement de l'épisode est terminé. Il peut cependant arriver que l'opérateur continue à intervenir après le départ de la rame cible, pour ajuster son action.

3.1.1 Lien entre type d'action et type d'épisode

Nous commençons par identifier s'il existe un lien entre un type d'épisode (simple ou complexe) et un type d'action (linéaire ou alternante) mis en œuvre (tableau 39).

Tableau 39 : type d'action en fonction du type d'épisode

		type d'épisode		
		simple	complexe	total
Type d'action	linéaire	11	3	14
	alternante	5	4	9
	total	16	7	23

Les épisodes de type "simple", pour lesquels il n'y a qu'un seul événement à traiter, sont plutôt traités avec une action "linéaire", au coup par coup (11 épisodes sur 14). Il y a 5 épisodes simples sur 14 qui sont traités avec une action alternante. Pour les épisodes complexes, 4 sont traités avec une action "alternante" et 3 avec une action linéaire. Il s'agit d'une tendance moins marquée pour les épisodes complexes.

3.1.2 Nombre total de rames modifiées

Nous cherchons à identifier si l'action peut être caractérisée par une amplitude particulière, c'est pourquoi nous avons identifié le nombre de rames sur lesquelles les opérateurs interviennent, puis nous le mettons en relation avec le type d'action (tableau 40).

Tableau 40 : nombre de rames sur lesquelles les opérateurs interviennent en fonction du type d'action

		type d'action		
		linéaire	alternante	total
Nombre de rames sur lesquelles il y a intervention	Entre 1 et 2 rames	13	1	14
	Entre 5 et 15 rames	1	8	9
	total	14	9	23

Nous observons dans 13 épisodes sur 14 une action sur une ou deux rames au cours de chaque épisode, ceci confirme notre définition selon laquelle l'action "linéaire" est caractérisée par une action au coup par coup.

Nous observons une action portant sur un plus grand nombre de rames (au moins 5 rames et au maximum 15 dans 8 épisodes sur 9), avec l'action alternante, ce qui signifie une répartition des manœuvres sur un plus grand nombre de rames, donc un étalement des manœuvres. L'action "alternante" se traduit par une action qui porte sur les rames situées entre la rame cible, éloignées et les rames en amont qui doivent partir avant cette rame cible..

Nous mettrons en relation cet indicateur avec l'indice de prise de retard par rame dans les paragraphes suivants.

3.1.3 Rames utilisées par rapport aux rames disponibles pour agir

Plus la rame cible est éloignée, plus l'opérateur dispose d'un grand nombre de rames pour intervenir sur la ligne et réguler le problème de la rame cible.

Nous rappelons que les rames disponibles pour agir sont comptabilisées, sur la voie de réception, entre la rame cible (la plus éloignée, la dernière sur laquelle l'opérateur doit agir) et la rame actuellement au départ. Le nombre de rames disponibles correspond à la marge de manœuvre de l'opérateur. Ce nombre est différent pour chaque épisode, il varie entre 1 et 13 rames.

Nous calculons ensuite un ratio qui nous permet d'évaluer la proportion de rames utilisées pour agir par rapport au nombre de rames disponibles.

Nous avons calculé un ratio entre le nombre de rames utilisées et le nombre de rames disponibles en fonction du type d'action alternante ou linéaire (tableau 41).

Tableau 41 : nombre de rames utilisées pour agir par rapport au nombre de rames disponibles en fonction du type d'action

		type d'action		
		linéaire	alternante	total
Pourcentage de rames utilisées pour agir par rapport aux rames disponibles	100 %	11	3	14
	Entre 33 et 88 %	3	6	9
	total	14	9	23

L'action "linéaire" amène l'opérateur à utiliser toutes les rames disponibles (11 épisodes sur 14), car l'action de proche en proche consiste le plus souvent à agir sur la prochaine rame au départ. L'opérateur ne peut avoir de réserve, il doit utiliser la seule rame disponible pour agir. Dans 3 épisodes cependant, les opérateurs disposent d'un plus grand nombre de rames (3 maxi) et ne les utilisent pas toutes.

L'action "alternante" amène les opérateurs à n'utiliser qu'une partie des rames disponibles pour agir dans 6 épisodes sur 9 (entre un tiers et 88% des rames disponibles). Dans 3 épisodes sur 9, les opérateurs utilisent la totalité des rames disponibles pour réguler. Ce sont les épisodes où nous observons une phase d'ajustement des manœuvres de régulation.

Lorsque l'opérateur a le choix, il préfère utiliser une partie seulement des rames disponibles pour agir, de manière à conserver une "réserve" de rames au cas où il faudrait adapter les manœuvres et ajuster la régulation avant l'arrivée de la rame cible. C'est le cas dans 6 épisodes sur 9 traités avec une action alternante.

- "S'il reste 6 trains avant le train le plus retardé, je prends le retard sur 3 trains, ça donne une marge de manœuvre qui permet ensuite d'affiner si besoin est ; et d'avoir de la souplesse, si le retard du train le plus retardé ne s'aggrave pas, on laisse comme ça ; si le retard s'aggrave, on augmente la prise de retard"

Cette "réserve" permet d'éviter les dérives du retard car celui-ci est pris petit à petit, il est possible d'arrêter à tout moment son évolution. Par contre, lorsque l'opérateur utilise toutes les rames disponibles pour agir, nous pouvons supposer que c'est parce qu'il n'avait pas le choix (trop peu de rames pour avoir une réserve) ou parce que toutes les rames ont été nécessaires.

3.1.4 Nombre maximum de rames par intervention

A chaque fois que les opérateurs interviennent pour réguler, ils le font sur un nombre variable de rames. Ils peuvent modifier un ou plusieurs départs de rames. Plus le nombre de rames touchées est important, plus la manœuvre de régulation sera répartie et lissée, donc invisible pour le voyageur. Nous avons mis en relation le nombre maximum de rames concernées pour chaque intervention de l'opérateur avec le type d'action (tableau 42).

Tableau 42 : nombre maximum de rames par intervention en fonction du type d'action

		type d'action		
		linéaire	alternante	total
Nombre maximum de rames par intervention	1 rame	13	3	16
	Entre 3 et 9 rames	1	6	7
	total	14	9	23

L'action linéaire est caractérisée par une action peu répartie, qui porte le plus souvent sur une seule rame comme dans 13 épisodes sur 14, où les opérateurs agissent sur 1 rame maximum.

Par contre, dans les 9 épisodes traités avec une action alternante, l'action a une amplitude plus importante, puisque à chaque action, les opérateurs agissent dans 6 épisodes sur 9 sur un nombre variant de 3 à 9 rames, traduisant une plus grande répartition et un meilleur lissage des manœuvres.

3.2 Les instruments de l'activité de régulation

Les chefs de départ ont attiré notre attention sur l'importance des pratiques de régulation :

- " je crois que **chaque chef de départ a une façon de travailler**, c'est-à-dire que le centre [de formation] nous a appris d'une façon qui est très bien, mais en théorie elle est très bien.. mais sur notre ligne, on peut pas respecter cette théorie ; il faut essayer de **trouver un cocktail de tout ce qu'on nous a appris pour que ça puisse s'appliquer sur la ligne**. C'est-à-dire qu'on vous apprend à monter (le retard) de 5 secondes en 5 secondes pour prendre du retard et pour redescendre aussi. Mais si on fait ça, on compense [signifie ici réguler] toute la journée. Donc à midi j'arrive, je commence à rentrer du retard et ... on peut pas quoi, c'est ...si on prend du retard à midi, on sait très bien qu'à 15h plus rien ne

va rouler, quoi. Il faut essayer de trouver un compromis pour faire ce qu'ils nous ont appris et sur le terrain ce qu'il faut faire réellement."

Ce qui différencie une stratégie de régulation d'une autre n'est pas forcément le type de manœuvre utilisé mais la façon dont les opérateurs le mettent en œuvre. C'est moins le choix d'une manœuvre mais la manière de la "doser" qui importe, c'est-à-dire les usages que les opérateurs en font qui caractérise une stratégie.

Dans cette optique, nous considérons les manœuvres de régulation (prise de retard, prise d'avance, suppression de départ, modification de la phase de retournement en terminus...) comme des artefacts, et l'instrument de l'activité sera constitué des artefacts "manœuvres de régulation" et des schèmes d'usage de ces manœuvres.

Nous allons analyser plus précisément la façon dont les opérateurs mettent en œuvre les manœuvres de régulation, le type d'action choisi et les instruments qu'ils mobilisent.

3.2.1 Diversité des manœuvres utilisées et type d'action

Tout d'abord, nous analysons de manière globale la diversité des manœuvres utilisées en fonction du type d'action (tableau 43).

Tableau 43 : diversité des manœuvres en fonction du type d'action

		type d'action		
		linéaire	alternante	total
Diversité des manœuvres utilisées	Un seul type de manœuvre	8	1	9
	Manœuvres diversifiées	6	8	14
	total	14	9	23

D'une manière générale, l'action "linéaire" entraîne plus souvent le recours à un type unique de manœuvre (8 épisodes sur 14), même si dans les autres 6 épisodes, plusieurs manœuvres différentes sont utilisées pour traiter l'épisode.

L'action "alternante" s'observe le plus souvent avec des manœuvres différentes dans 8 épisodes sur 9. Cette dernière, permet à l'opérateur de mieux choisir les moyens qu'il associe à son action. Si l'opérateur dispose de plus de temps, il peut adapter les manœuvres de manière à les ajuster aux besoins de la situation.

3.2.2 Fonctions utilisées et type d'action

Nous avons identifié six fonctions remplies par les manœuvres de régulation selon les modifications qu'elles permettent. Chaque manœuvre de régulation remplit au moins une fonction, chaque fonction peut être remplie par des manœuvres différentes.

1. **Modification de l'heure de départ avec impact sur le retard global** : cette fonction permet de modifier l'heure de départ d'une ou plusieurs rames, pour rétablir des intervalles réguliers (amélioration de la régularité), mais elle modifie le retard global (dégrade ou améliore la ponctualité). Elle est réalisée grâce aux manœuvres de prise de retard ou de prise d'avance sur la machine-départ.
2. **Modification de l'heure de départ sans impact sur le retard global** : elle permet de modifier l'heure de départ d'une ou plusieurs rames sans avoir de conséquences sur le retard global. Elle est réalisée grâce à la machine départ, de deux manières : soit l'opérateur suspend la séquence départ engagée s'il voit sur ses écrans de visualisation que la rame est sur le point de partir mais qu'il manque juste quelques secondes, soit l'opérateur modifie manuellement l'heure de départ d'une ou plusieurs rames.
3. **Modification par ajustement de la manœuvre engagée** : suppression ou annulation des valeurs restant à appliquer. Cette fonction est caractéristique d'un ajustement de l'action par l'opérateur. Lorsqu'il considère que la manœuvre qu'il a programmée est trop importante ou qu'il a programmé une manœuvre qui se révèle inutile, il a la possibilité de supprimer les manœuvres qui n'ont pas encore été appliquées. Cette fonction permet d'agir sur le retard global en évitant une augmentation inutile. Elle est mise en pratique grâce à la machine-départ, en appuyant sur la touche "effacement des valeurs restantes" lorsqu'il s'agit de supprimer une partie de la prise de retard ou sur la touche "annulation" lorsque l'opérateur souhaite annuler une manœuvre complète.
4. **Modification de l'itinéraire des rames** : elle permet de modifier le lieu de départ ou d'arrivée d'une rame sans modification du retard global. Pour modifier le lieu du départ d'une rame, l'opérateur modifie le terminus de départ prévu (intermédiaire ou principal) en manipulant la machine départ. Elle permet par exemple à une rame de parcourir sans voyageurs la distance entre les terminus principal et intermédiaire, ce qui lui permettra de gagner du temps et de partir à l'heure prévue, mais du terminus intermédiaire au lieu de partir du terminus principal. Cette manœuvre ne modifie pas le retard global de la ligne. Pour modifier le lieu d'arrivée d'une rame, l'opérateur manipule la platine de commande des itinéraires et fait entrer une rame directement à quai de départ au lieu de lui faire parcourir tout le terminus (c'est la manœuvre zéro). Elle permet de gagner du temps et ne modifie pas le retard global de la ligne à condition que le trafic soit fluide.
5. **Modification de l'ordre des rames** : elle permet d'invertir l'ordre prévu de deux ou plusieurs rames par rapport à l'ordre prévu au garde-temps. Elle n'a pas d'impact sur le

retard global. Elle est utile lorsqu'une rame qui arrive sur la voie de réception est en retard et que la suivante (qui sort du garage par exemple) peut effectuer le départ à sa place. Il s'agit d'un déclassement. Elle est réalisée en attribuant une rame autre que celle prévue à un conducteur et en modifiant le garde-temps et l'heure prévue sur la machine-départ.

6. **Modification du nombre de départs** : elle consiste à supprimer ou ajouter manuellement une rame dans le flux prévu sur le garde-temps. Elle est réalisée en manipulant la machine-départ et a un impact sur le retard global.

Nous mettons en relation les fonctions utilisées et le type d'action (tableaux 44).

Tableau 44 : nombre d'épisodes au cours desquels chaque fonction de régulation est utilisée pour les deux types d'action

		type d'action		
		linéaire	alternante	total
Modification de l'heure de départ	avec impact sur le retard global	13	9	22
	sans impact sur le retard global	5	4	9
Ajustement		2	4	6
Modification d'itinéraire		1	3	4
Modification de l'ordre des rames		0	1	1
Modification du nombre de départs		0	1	1

- La fonction "modification de l'heure de départ AVEC impact sur le retard global" est utilisée dans 22 épisodes sur le total des 23 épisodes identifiés. Elle est réalisée par la manœuvre "prise de retard" dans la grande majorité des cas et parfois à la manœuvre de prise d'avance (2 fois). La prise de retard est la manœuvre la plus utilisée par tous les opérateurs, c'est pourquoi nous l'analyserons en détail.
- La fonction "modification de l'heure de départ SANS impact sur le retard global" est utilisée dans les deux types d'action, mais seulement dans 9 épisodes.
- La fonction d'ajustement est utilisée dans 6 épisodes, mais plus fréquemment lors de l'action "alternante" (4 épisodes sur 9) que "linéaire" (2 épisodes sur 14). En effet, les opérateurs ont la possibilité de revenir sur les manœuvres engagées mais non encore réalisées, uniquement s'ils les prévoient à l'avance, ce qui est plus difficile avec une action au coup par coup caractéristique de l'action linéaire.
- La fonction "modification d'itinéraire" est utilisée dans 4 épisodes sur 23, dont 3 traités avec l'action "alternante" et 1 traité avec l'action "linéaire". Il s'agit dans tous les cas d'une utilisation de la "manœuvre zéro", c'est-à-dire l'entrée directe d'une rame à quai de départ sans cheminer dans le terminus. Cette manœuvre de modification de l'itinéraire dans le terminus nécessite de disposer de temps pour la préparer, en raison

des contraintes techniques et organisationnelles des manœuvres de retournement en terminus.²⁴

- Les fonctions "modification de l'ordre des rames" et "modification du nombre de départs" sont peu utilisées (2 épisodes sur 23). Elles ne sont observées qu'une fois chacune, au cours d'épisodes traités avec une action "alternante", sans doute pour des raisons de contrainte temporelle. L'action "alternante" présente une anticipation plus importante qui permet de diversifier les types de manœuvres utilisés, contrairement à l'action "linéaire" qui nécessite une action immédiate.

3.2.3 Utilisation de la manœuvre "prise de retard"

La prise de retard est la manœuvre la plus souvent utilisée par les opérateurs. Elle consiste à retarder l'heure de départ d'une ou plusieurs rames, en utilisant la machine-départ. L'opérateur choisit la valeur de la prise de retard totale (multiple de 5 secondes) et le nombre de rames concernées. La machine répartit cette valeur totale en la divisant par le nombre de rames. La première rame sur laquelle porte la prise de retard est la prochaine rame au départ. Il n'y a pas de possibilité de programmation en prévision d'une manœuvre ultérieure.

Nous utilisons deux indicateurs pour analyser la prise de retard :

- la prise de retard pour une rame : on ramène la première valeur à la valeur portant sur une seule rame.
- la valeur moyenne de chaque action de prise de retard : pour chaque action de prise de retard (sur une ou plusieurs rames).

3.2.3.1 *Prise de retard moyenne par rame*

Pour compléter ce résultat, nous devons maintenant identifier si l'action "alternante" permet une action mieux lissée, qui devrait se traduire par une prise de retard pour chaque rame moins importante qu'avec une action linéaire (tableau 45).

²⁴ Les contraintes techniques nécessitent que le circuit de voie où se trouve l'aiguille soit libre de toute rame. Les contraintes d'organisation sont liées au type de manœuvre de retournement en vigueur. Il existe deux types d'organisation :

- soit le même conducteur arrive à quai d'arrivée, traverse le terminus et repart avec une rame (manœuvre 1)
- soit la rame est prise en charge par trois conducteurs différents : un l'emmène à quai d'arrivée, l'autre l'amène jusqu'au quai de départ et le troisième part en ligne (manœuvre 2). Cette manœuvre permet de gagner du temps. Elle est prévue et pratiquée à certaines heures de la journée. En cas de manœuvre zéro, ce relais entre conducteurs est perturbé et le chef de départ doit prévoir de réamorcer le rythme après la manœuvre zéro.

Tableau 45 : valeur moyenne de la prise de retard par rame en fonction du type d'action

		type d'action		
		linéaire	alternante	total
Valeur moyenne de la prise de retard par rame	Moins de 20 secondes	7	2	10
	Entre 20 et 40 secondes	1	4	5
	Plus de 40 secondes	6	1	8
	total	14	9	23

Nous n'observons pas ce phénomène par contre, nous observons :

- Avec l'action "linéaire", soit une petite, soit une grosse prise de retard. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait qu'avec une action linéaire, l'opérateur dispose de moins de possibilité pour répartir sa prise de retard. Soit il met en œuvre une seule petite modification (prise de retard inférieure à 20 secondes) ; soit il est obligé de mettre en œuvre une grosse modification sur une seule rame (supérieure à 40 secondes) car il doit agir tout de suite et sur peu de rames.
- Pour les épisodes traités avec l'action "alternante", une légère tendance se dégage, car dans 4 épisodes sur 9, la prise de retard par rame se situe entre 20 et 40 secondes. Il semblerait donc qu'avec une action alternante, l'opérateur peut mieux répartir sa prise de retard sur un grand nombre de rames. Il semble donc que l'action alternante permette une prise de retard peu importante par rame, puisqu'elle est dans la majorité des épisodes (7 épisodes sur 9), inférieure à 40 secondes par rame.

3.2.3.2 Valeur moyenne par action de prise de retard

Nous avons calculé un indicateur qui donne la valeur moyenne de chaque action de prise de retard de l'opérateur (tableau 46).

Tableau 46 : valeur moyenne d'une action de prise de retard en fonction du type d'action

		type d'action		
		linéaire	alternante	total
Valeur moyenne d'une action de prise de retard	Inférieure ou égale à 20 secondes	7	1	8
	Supérieure à 20 secondes et inférieure à 1 minute	4	2	6
	Egale ou supérieure à 1 minute	3	6	9
	total	14	9	23

Chaque action de prise de retard est inférieure ou égale à 20 secondes, avec une action de type "linéaire", dans 7 épisodes sur 14 soit 50 %. Cela signifie que l'action linéaire est caractérisée par de petites prises de retard, indépendamment du nombre de rames concernées. Par contre, avec l'action "alternante", la valeur moyenne d'une prise de retard est égale ou supérieure à 1 minute dans 6 épisodes sur 9 soit 66,6 % des épisodes.

3.2.3.3 Nombre de rames par prise de retard

Pour compléter ce premier résultat, nous devons identifier si l'action "alternante" permet de répartir cette prise de retard sur un plus grand nombre de rames que l'action "linéaire". Cela signifierait que l'action "alternante" permet une meilleure répartition du retard sur chacune des rames, puisqu'une prise de retard moins importante sur chaque rame perturbe moins la régularité des intervalles entre les rames. Pour cela, nous analysons le nombre de rames sur lequel porte chaque prise de retard (tableau 47).

Tableau 47 : nombre maximum de rame par prise de retard et type d'action

		type d'action		
		linéaire	alternante	total
Nombre maximum de rames par prise de retard	1 rame	13	3	16
	Entre 3 et 9 rames	1	6	7
	total	14	9	23

L'action "alternante" porte dans 6 épisodes sur 9 sur un nombre maximum allant de 3 à 9 rames, alors que l'action "linéaire" porte dans 13 épisodes sur 14 sur une seule rame maximum. L'action "alternante" permet donc une meilleure répartition des prises de retard en portant sur plusieurs rames à chaque manœuvre.

3.2.3.4 Valeur moyenne et nombre de rames par prise de retard

Nous croisons le nombre maximum de rames par prise de retard et la valeur moyenne de prise de retard par rame pour identifier s'il existe une relation entre l'ampleur de la manœuvre de prise de retard et le nombre de rames sur lequel elle porte (tableau 48).

Tableau 48 : nombre de rames par intervention, en fonction de la valeur moyenne de la prise de retard par rame

		Nombre maximum de rames par prise de retard		
		1 rame	Entre 2 et 9 rames	total
Valeur moyenne de la prise de retard par rame	Moins de 20 secondes	8	2	10
	Supérieure à 20 et inférieure à 40 secondes	2	4	6
	Supérieure à 40 secondes	6	1	7
	total	16	7	23

Ce tableau nous permet de définir trois grands types d'actions les plus fréquentes :

- L'action ponctuelle de faible ampleur : elle consiste à mettre en œuvre une prise de retard, de faible amplitude sur une seule rame (8 épisodes sur 23). Elle perturbe peu la régularité des intervalles.
- L'action ponctuelle de forte ampleur : elle consiste à mettre en œuvre une seule manœuvre de régulation de forte ampleur sur une seule rame (6 épisodes sur 23). Cette action

ponctuelle entraîne une forte modification de l'horaire (ponctualité) et de l'intervalle régularité).

- L'action par répartition : elle consiste à mettre en place une manœuvre d'ampleur moyenne, qui porte sur plusieurs rames (4 épisodes sur 23). Cette action permet de répartir la modification de l'horaire sur plusieurs rames et ainsi, d'étaler la prise de retard. Elle permet de moins perturber la régularité des intervalles.

Il reste 5 épisodes pour lesquels l'action n'est pas caractérisée selon ces trois grands types :

- 2 épisodes avec une action de faible ampleur portant sur un grand nombre de rames et qu'il est possible de rapprocher de l'action par répartition,
- 2 épisodes avec une action d'amplitude moyenne portant sur une seule rame, que l'on pourrait rapprocher de l'action ponctuelle,
- 1 épisode avec une action de forte amplitude portant sur plus de 2 rames, réalisée dans un contexte particulier nécessitant une action de régulation rapide et forte.

3.2.3.5 *Amplitude de l'action et type d'action*

Au cours d'un épisode, les opérateurs peuvent agir toujours de la même façon ou non. Si ce n'est pas le cas, ils peuvent utiliser une action par répartition puis une action ponctuelle de forte ou de faible amplitude par exemple. Dans ce cas, l'action est "évolutive".

Nous avons analysé la succession des actions au cours de chaque épisode où l'action est évolutive. Nous avons observé une organisation invariante des manœuvres au cours des 5 épisodes traités avec une action "évolutive" :

- L'opérateur choisit un type de manœuvre et l'applique (exemple : prise de retard sur une rame). Les premières manœuvres s'appuient sur une **première estimation des besoins** de régulation.
- Les manœuvres suivantes consistent à conserver la même manœuvre (prise de retard par exemple) en modifiant soit la valeur de la manœuvre, soit le nombre de rames concernées. L'opérateur se rend compte qu'il n'a pas assez des rames pour résorber le problème d'ici l'arrivée de la rame cible, il entreprend une autre vague de manœuvres, **en conservant la manœuvre choisie, mais en modifiant sa valeur**. L'opérateur augmente alors la prise de retard appliquée à chaque rame ou augmente le nombre de rames concernées par la manœuvre.

- Si l'augmentation de la valeur de la manœuvre appliquée ne suffit pas, l'opérateur **change de type de manœuvre** pour la vague suivante. Par exemple, s'il avait choisi la prise de retard, en agissant par répartition et qu'il estime que cela ne suffit pas après une modification de la valeur de cette prise de retard, il met en place une manœuvre zéro, de type action ponctuelle de forte amplitude.

Pour deux épisodes, la dernière manœuvre consiste à supprimer les mesures de régulation prises, car l'opérateur estime que la situation s'est améliorée et que ses manœuvres sont inutiles. Nous retrouvons là la fonction d'ajustement des manœuvres de régulation définie plus haut.

Nous mettons ensuite en relation le type d'action mis en œuvre et l'amplitude de celle-ci (tableau 49).

Tableau 49 : amplitude de l'action en fonction du type d'action

		type d'action		
		linéaire	alternante	total
Amplitude de l'action	Action évolutive au cours de l'épisode	1	4	5
	Action par répartition	1	3	4
	Action ponctuelle de forte amplitude	4	1	5
	Action ponctuelle de faible amplitude	8	1	9
	total	14	9	23

L'action "linéaire" se traduit par des manœuvres plutôt ponctuelles portant sur une seule rame de forte amplitude dans 4 épisodes et de faible amplitude dans 8 épisodes. Elle traduit une faible anticipation qui oblige l'opérateur à réguler au coup par coup.

L'action "alternante" s'accompagne dans 4 épisodes par une action évolutive et dans 3 épisodes par une action par répartition. Seule l'action de type "alternante" donne lieu dans 3 épisodes sur 9 à une action exclusivement par répartition, ce qui signifie la répétition de manœuvres de régulation portant sur plusieurs rames à la fois. C'est là l'exemple canonique de la régulation apprise en formation.

3.3 Evaluation de la performance des stratégies d'action

A propos des résultats de l'action, un type d'action est-il plus performant que l'autre pour traiter les épisodes et les situations perturbés ? Les opérateurs privilégient-ils une dimension du trafic plutôt que l'autre (régularité ou ponctualité) lorsqu'ils régulent ? Est-ce toujours la même quels que soient les opérateurs et quelles que soient les situations ?

Pour répondre à ces questions, nous utilisons 4 indicateurs :

- Le premier indicateur est la durée de stabilisation du retard et des intervalles après le traitement de chaque perturbation.
- Ensuite, deux indicateurs chiffrés (indice Retard et indice Intervalle), nous permettent de quantifier la performance pour le retard et pour les intervalles.
- Un quatrième indicateur que nous appelons "progression des intervalles" nous permet de mesurer si l'intervalle pratiqué à la fin de la perturbation est plus proche de l'intervalle théorique qu'il ne l'était en début de perturbation.

Ces indicateurs nous permettent de différencier trois niveaux de performance :

- Une mauvaise performance correspond à une dégradation de la qualité du service (la ponctualité et la régularité sont dégradées) ;
- Une performance moyenne traduit le maintien de la qualité du service offert aux voyageurs sur l'une des deux dimensions (régularité ou ponctualité),
- Une bonne performance traduit une amélioration sur l'une, l'autre ou les deux dimensions du trafic.

Nous mettons en relation ces indicateurs avec le type d'action mis en œuvre par les opérateurs.

3.3.1 La durée de la phase de stabilisation

La durée de la stabilisation obtenue après intervention de l'opérateur est un indicateur de la performance, que nous pouvons mettre en relation avec le type d'action (tableau 50).

Tableau 50 : durée de la stabilisation après le traitement de l'épisode perturbé, en fonction du type d'action mis en œuvre

		type d'action		
		linéaire	alternante	total
Durée de la stabilisation après la perturbation	Moins de 5 minutes	8	1	9
	Entre 5 et 10 minutes	3	1	4
	Plus de 10 minutes	3	7	10
	total	14	9	23

L'action "linéaire" permet dans la majorité des cas (8 épisodes sur 14 d'obtenir une stabilisation des intervalles et du retard inférieure à 5 minutes). Il s'agit dans 7 épisodes sur 8 d'épisodes simples, donc a priori plus faciles à traiter et pourtant la stabilisation est très courte (moins de 5 minutes). Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que l'action "linéaire" nécessite des actions répétées et ponctuelles, c'est une action au coup par coup. Dès que la situation se dégrade à nouveau, l'opérateur doit très vite ré-intervenir, d'où une durée de stabilisation plus courte.

L'action "alternante" permet de stabiliser la situation pour plus de 10 minutes dans la majorité des cas (7 épisodes sur 9). Sur ces 7 épisodes, 4 sont des épisodes simples et 3 sont des épisodes complexes. L'action "alternante" permet donc de stabiliser plus longtemps la ligne, que l'action linéaire, quel que soit le type d'épisode.

Il faut cependant relativiser cet indicateur, puisque la durée de la phase de stabilisation ne dépend pas entièrement de l'action de l'opérateur, qui ne maîtrise pas les événements qui peuvent survenir, comme dans tout environnement dynamique.

3.3.2 Les indicateurs de performance

Nous avons construit deux indicateurs globaux qui nous permettent de représenter l'évolution entre le début et la fin du traitement de la perturbation :

- concernant la ponctualité : l'indicateur mesure l'écart entre le retard à la fin et au début de l'épisode. C'est l'indice global de ponctualité ou **indice Retard**.
- concernant la régularité : l'indicateur mesure l'écart à l'intervalle prévu en début et en fin de traitement de l'épisode. C'est l'indice global de régularité ou **indice Intervalle**.

Dans une situation de régulation de trafic de bus, Mailles (1996) met en évidence que les sujets non professionnels ne parviennent à maintenir ni la régularité, ni la ponctualité sur la ligne qu'ils régulent. L'auteur s'attendait à ce qu'ils régulent en maintenant au moins l'une des deux dimensions en équilibre, mais ce n'est pas le cas. Elle observe que les opérateurs non professionnels n'arrivent à maintenir aucune des deux dimensions du trafic. Pour mettre en évidence ce résultat, elle calcule deux indices :

- l'un permet de représenter l'écart moyen à l'horaire prévu sous la forme de la valeur moyenne des écarts des bus avec leur horaire prévu, c'est **l'indice moyen de ponctualité**.
- l'autre permet de représenter l'écart moyen par rapport à l'intervalle prévu sous la forme d'une valeur moyenne des écarts entre les bus par rapport aux écarts prévus. C'est **l'indice moyen de régularité**.

L'indicateur d'écart moyen à l'horaire prévu ne nous semble pas pertinent dans notre situation pour mesurer le résultat de l'activité des opérateurs dans la mesure où en situation réelle, la valeur du retard en début de perturbation n'est pas toujours identique. Une situation perturbée peut débiter sur une base saine (sans retard initial) ou sur une base portant les séquelles d'une situation perturbée passée (avec du retard). C'est pourquoi nous n'utilisons que l'indicateur d'écart moyen à l'intervalle théorique.

Dans les paragraphes suivants, nous cherchons à identifier si les opérateurs expérimentés que nous observons parviennent à maintenir en équilibre les deux dimensions du trafic.

Nous calculons tous ces indices à partir des données recueillies sur le garde-temps rempli par les opérateurs pour évaluer les performances des sujets.

3.3.2.1 L'indice global de ponctualité ou Indice Retard

L'indicateur global qui nous permet de montrer que la ponctualité est une dimension du trafic particulièrement dégradée mesure, pour chaque épisode, l'écart à la ponctualité entre le début et la fin du traitement sur la base du retard global de la ligne par rapport à l'horaire prévu. Pour calculer cet indicateur, nous avons utilisé la formule suivante :

$$\text{Indice Global Ponctualité} = \text{retard fin de perturbation} - \text{retard initial début de perturbation}$$

Si l'indicateur est inférieur à zéro, cela signifie que l'opérateur a traité la perturbation et réduit le retard global de la ligne, donc amélioré la ponctualité du trafic. Si l'indicateur est égal à zéro, cela signifie que la situation est revenue à l'équilibre et que l'intervention de l'opérateur a au moins permis de maintenir l'écart à l'horaire prévu tel qu'il était avant la perturbation. La ponctualité est stabilisée. Si l'indicateur est supérieur à zéro, cela signifie que le retard global en fin de perturbation est plus important qu'en début de perturbation, c'est-à-dire que **l'écart à l'horaire prévu s'est agrandi. La ponctualité s'est dégradée**, malgré l'intervention de l'opérateur. La figure 9 présente la répartition des performances à l'indice Retard en fonction du type d'action, pour tous les épisodes observés.

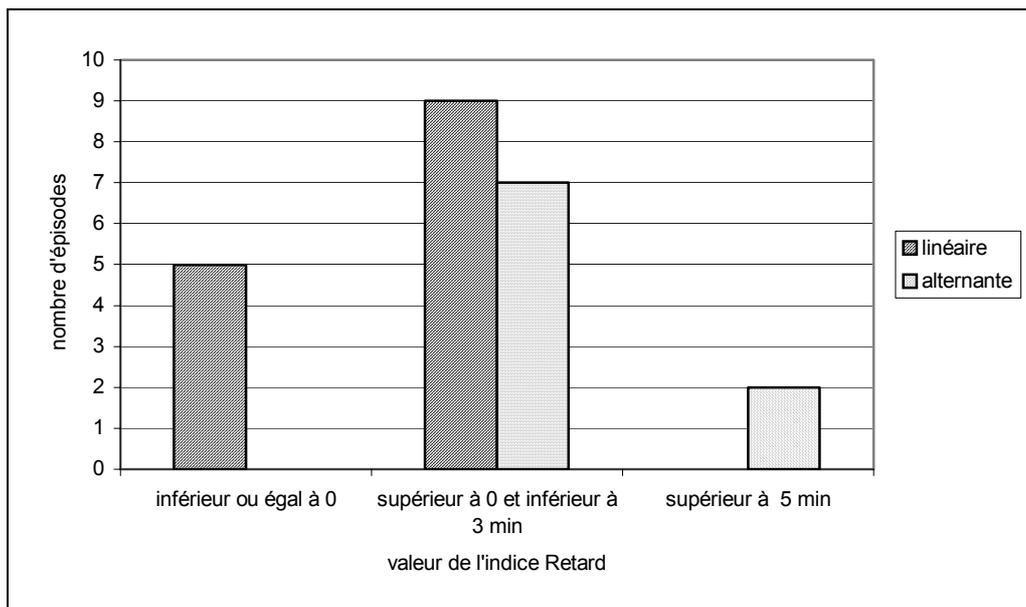


Figure 9 : performance calculée de l'indice Retard en fonction du type d'action

Nous ferons deux commentaires, l'un par rapport à la répartition globale des performances quel que soit le type d'action ; l'autre par rapport à la répartition des performances en fonction du type d'action.

- **Répartition globale des performances "ponctualité"**

Dans 5 épisodes sur 23 seulement, les opérateurs sont parvenus à maintenir ou améliorer la ponctualité du trafic. Cela signifie que la ligne n'est pas plus en retard à la fin de la perturbation qu'au début.

Dans 16 épisodes sur 23, le retard global a été augmenté de 3 minutes au maximum. Ces résultats peuvent paraître assez faibles, mais il est à mettre en relation avec la densité du trafic, puisque sur la ligne étudiée, circule en moyenne une rame toutes des 2 minutes 30 et 50 rames sont en ligne en même temps. Au regard de cette fréquence, un retard de 3 minutes sur toute la ligne est très faible.

Dans 2 épisodes seulement, le retard a été augmenté de plus de 5 minutes.

Nous pouvons donc affirmer que globalement, les opérateurs professionnels expérimentés, s'ils ne parviennent pas souvent à diminuer le retard, parviennent à limiter la dégradation du retard, c'est-à-dire à maintenir ou à peu dégrader la ponctualité du trafic, dans la majorité des épisodes observés.

Nous observons également que dans la majorité des épisodes, le retard global en fin d'épisode est plus important qu'au début (18 épisodes sur 23). Nous pouvons expliquer ce phénomène de deux manières :

D'une part, le constat d'un **déséquilibre trop grand entre le retard sur les deux voies** (celle de réception et celle d'expédition) obligerait les opérateurs à intervenir pour rééquilibrer le retard. Comme l'explique cet opérateur dans un extrait d'entretien : *"Lorsque le retard est plus important sur une voie à partir d'un terminus, les trains qui arrivent de l'autre terminus ont moins de retard, ils vont s'empiler en entrée du terminus. Lorsque le retard de l'autre PML est plus important que celui de notre PML, les trains sur la voie d'expédition vont s'entasser, il y aura trop de trains envoyés et pas assez de trains reçus"*. C'est un **phénomène de balancier** qui oblige l'un ou l'autre des terminus à intervenir et ainsi à augmenter le retard, pour des raisons structurelles liées au fonctionnement même d'une ligne de métro.

D'autre part, le type de manœuvre le plus fréquemment utilisé par les opérateurs, la prise de retard, permet, en retardant le départ d'une ou plusieurs rames, de rééquilibrer les intervalles, a

également pour conséquence d'augmenter le retard de la ligne. Il s'agit donc d'un phénomène lié à la nature même des manœuvres de régulation. Pour éviter cette irrégularité, la manœuvre de régulation la plus utilisée est la prise de retard qui consiste à retarder les départs des rames, ce qui permet de rééquilibrer les intervalles mais augmente le retard global de la ligne. Les extraits d'entretiens suivants illustrent notre hypothèse :

- même si on fait des prises de retard c'est d'essayer d'étaler le plus le retard pour éviter le phénomène d'attente sur les quais [opérateur 1]

- on peut avoir 10 minutes de retard et avoir l'intervalle [opérateur 1]

Ce phénomène d'augmentation structurelle du retard a une conséquence sur les conditions de travail des conducteurs et un coût financier pour l'entreprise. La dégradation de la ponctualité correspond à un allongement du temps de travail des conducteurs, qui terminent leur service plus tard que prévu lorsque la ligne est en retard. Pour l'entreprise, cette dégradation de la ponctualité se traduit par le paiement de ce temps supplémentaire aux conducteurs.

- Répartition des performances "ponctualité" en fonction du type d'action

Si nous mettons maintenant en relation la performance sur le plan de la ponctualité et le type de stratégie d'action utilisé, nous supposons que l'action "alternante" par sa meilleure anticipation et répartition des manœuvres sur plusieurs rames, devrait être plus efficace pour limiter l'augmentation du retard global de la ligne.

- l'action "linéaire", au coup par coup, permet dans 5 épisodes sur 14 d'obtenir un indice retard inférieur ou égal à 0, à savoir maintenir ou améliorer la ponctualité du trafic. La majorité des épisodes traités avec l'action "linéaire" (9 épisodes sur 14) permet de peu dégrader la ponctualité, puisque la prise de retard n'excède pas 3 minutes par épisode.
- l'action "alternante" permet dans 7 épisodes sur 9 de dégrader la ponctualité de moins de 3 minutes. Seuls 2 épisodes traités avec l'action "alternante" conduisent à un Indice Retard supérieur à 5 minutes. Mais il s'agit de 2 épisodes complexes, à l'issue desquels les opérateurs parviennent à stabiliser la situation pendant plus de 10 minutes.

Selon cette évaluation l'action linéaire pourrait sembler plus efficace. Notre hypothèse est donc infirmée puisqu'il semble que l'action linéaire, par le fait qu'elle s'accompagne d'actions ponctuelles, permettrait de mieux limiter l'augmentation du retard global.

Nous également pu estimer l'augmentation du retard s'il n'y avait eu aucune manœuvre de régulation et comparer l'augmentation réelle et l'augmentation estimée du retard, ce qui nous aurait donné une autre appréciation de la performance. Cet indicateur serait très précis dans

l'hypothèse où toute situation perturbée débute sur des bases saines, c'est-à-dire dans un contexte sans retard ni perturbation antérieurs. Comme le souligne Mailles (1996), la performance à la tâche de régulation est difficile à mesurer puisque les variations par rapport à l'horaire et l'intervalle prévus sont fortement dépendants de la situation régulée²⁵.

En situation réelle, ce type d'indicateur est difficile à mettre en œuvre puisque la plupart des situations commencent dans un contexte déjà modifié par le régulateur et il est très difficile de faire la part des choses entre les multiples facteurs influant la dégradation des situations. Nous pouvons cependant estimer avec quelque certitude que s'il n'y avait pas eu de manœuvre de régulation, le retard évoluerait par bonds successifs en fonction du retard de chaque rame, sans répartition régulière sur plusieurs rames comme c'est le cas grâce à l'intervention du chef de départ. La régularité des intervalles en aurait été également perturbée.

3.3.2.2 *L'indice global de régularité ou indice Intervalle*

Nous avons calculé un indice global de régularité qui permet d'évaluer la performance globale sur le plan de la régularité. Pour cela, nous comparons l'écart à l'intervalle prévu en début (avant traitement) et en fin d'épisode (en fin de traitement). Si l'écart à l'intervalle prévu est plus important en fin d'épisode, nous concluons à une dégradation de la régularité des intervalles et si l'écart à l'intervalle prévu est moins important en fin d'épisode, il s'agit d'une amélioration (tableau 51).

Tableau 51 : Indice global de régularité en fonction du type d'action

		type d'action		
		linéaire	alternante	total
Indice global de régularité ou Indice Intervalle	Dégradation de la régularité	4	0	4
	Amélioration de la régularité	10	9	19
	total	14	9	23

Nous observons une même tendance concernant la régularité pour les deux types d'action. La majorité des épisodes, qu'ils soient traités avec une action "linéaire" ou "alternante" donnent lieu à une stabilisation ou une amélioration de la régularité du trafic (19 épisodes sur 23). Les opérateurs s'efforcent donc de maintenir ou d'améliorer les intervalles entre les rames de manière à ce qu'ils soient le plus proche possible de l'intervalle prévu, entre le début et la fin du traitement de chaque épisode.

²⁵ Pour calculer un indice de performance, Mailles (1996) crée une performance fictive d'un sujet 0 n'ayant réalisé aucune action de régulation et qu'elle qualifie de performance minimale. Elle crée ensuite un indicateur de performance en divisant la performance de ses sujets par cette performance minimale.

Nous remarquons cependant que l'action "linéaire" est la seule à amener une dégradation de la régularité, dans 4 épisodes sur 14.

3.3.2.3 *L'indice de régularité ou écart moyen à l'intervalle prévu*

Après avoir analysé la régularité en début et fin d'épisode, nous allons nous intéresser à la performance moyenne tout au long de l'épisode. Pour cela nous utilisons l'indicateur calculé appelé Indice Intervalle qui représente **l'écart moyen entre l'intervalle prévu et réalisé** au cours de chaque perturbation. Cet indice s'appuie sur la différence entre l'intervalle moyen pratiqué (IMP ou Intervalle Réel Moyen dans le langage de l'entreprise) entre le début et la fin de la perturbation et l'intervalle moyen théorique (IMT ou Intervalle Notice Moyen dans le langage de l'entreprise), qui est l'intervalle moyen prévu au garde-temps pour la même période.

Nous calculons l'intervalle moyen pratiqué à partir des données issues du garde-temps qui nous donne en deux colonnes parallèles les horaires de départ théoriques et réels (notés par le chef de départ) à partir desquels nous calculons l'intervalle théorique entre les départs et l'intervalle réellement pratiqué entre les rames.

L'indice Régularité est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Indice moyen de régularité} = \text{Intervalle Moyen Pratiqué} - \text{Intervalle Moyen Théorique}$$

Cet indice permet d'évaluer l'écart à la régularité, puisque l'on considère que l'intervalle théorique moyen est le plus régulier possible. Plus l'indice est proche de zéro, plus la régularité est bonne. Si l'indicateur est supérieur à zéro, c'est que l'intervalle moyen pratiqué est plus grand que l'intervalle prévu. Si l'indicateur est inférieur à zéro, c'est que l'intervalle moyen pratiqué est inférieur à l'intervalle prévu.

La figure 10 présente la répartition de la valeur de l'indice Intervalle en fonction du type d'action, pour tous les épisodes observés.

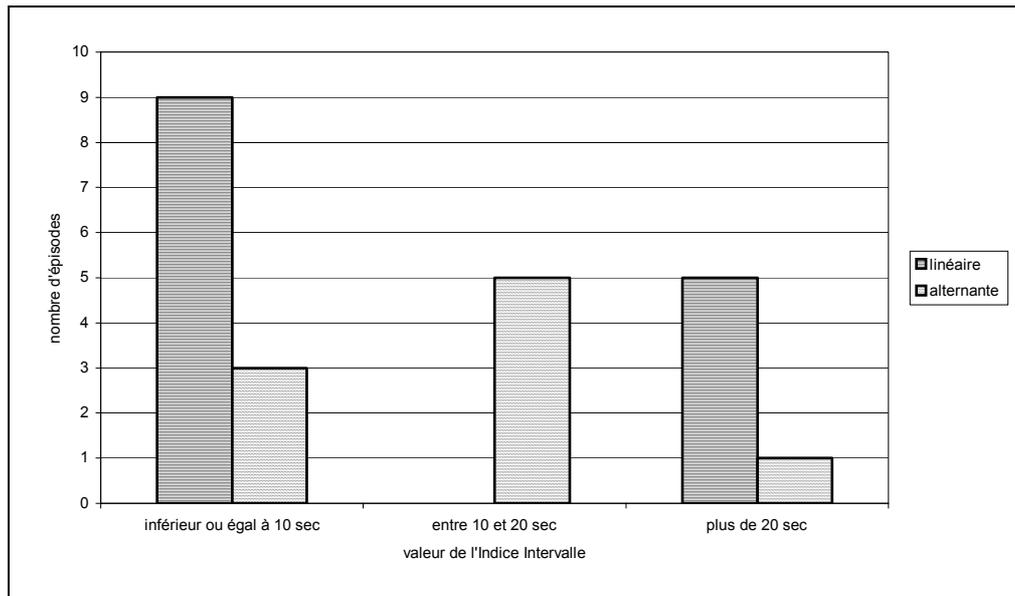


Figure 10 : répartition des performances pour l'indice Intervalle

Nous ferons deux commentaires comme pour l'indice Retard : l'un concernant la répartition globale des performances ; l'autre en fonction du type d'action.

- **Répartition globale des performances à l'indice "régularité"**

Indépendamment du type d'action ou d'épisode, dans 5 épisodes sur 23, les opérateurs parviennent à maintenir un intervalle inférieur ou égal à l'intervalle prévu.

Dans la majorité des épisodes, les opérateurs maintiennent un intervalle entre les rames supérieur à l'intervalle prévu mais qui ne dépasse pas 20 secondes au-dessus de cet intervalle théorique.

Cependant, 6 épisodes donnent lieu à des intervalles entre les rames au moins supérieurs de 20 secondes à l'intervalle prévu, soit 25% de l'effectif observé.

Dans la majorité des épisodes observés (17 épisodes sur 23), les opérateurs parviennent en situation perturbée, à pratiquer un intervalle relativement proche de l'intervalle prévu, puisqu'un écart de 20 secondes correspond au maximum à un écart de 16,7 % par rapport à l'intervalle prévu.

Ces résultats peuvent être rapportés à ceux identifiés par Mailles (1996) en simulation :

- Les opérateurs non professionnels obtenaient une performance très faible sur le plan du maintien de la régularité, puisque l'indice de régularité variait de 0,84 à 10. Les performances montraient même une dégradation par rapport à une

situation qui ne serait pas régulée, pour toutes les situations où l'indice était supérieur à 1.

- Les opérateurs professionnels que nous avons observés en situation réelle, obtiennent une bien meilleure performance concernant le maintien de la régularité puisque l'indice régularité varie entre 0 et 0,45 (avec 50% de l'échantillon où l'indice est égal à 0,1).

- **Répartition des performances "régularité" en fonction du type d'action**

La stratégie "linéaire" permet soit de pratiquer un intervalle très proche de l'intervalle prévu, qui ne s'en éloigne de pas plus de 10 secondes (dans 9 épisodes sur 14), soit très éloigné, c'est-à-dire supérieur de 20 secondes à l'intervalle prévu (dans 5 épisodes sur 14). L'opérateur qui met en œuvre ce type d'action "linéaire" peut donc choisir de rester très proche de l'intervalle prévu, si la seule action mise en œuvre suffit, soit de s'en écarter beaucoup, s'il attend trop pour intervenir. Mais il agit toujours par une action ponctuelle. Nous avons vu que l'action "linéaire" était caractérisée par une **action ponctuelle**. Cela signifie que les opérateurs mettent en œuvre des manœuvres au coup par coup entraînant soit :

- De petites modifications sur une seule rame (action ponctuelle de faible amplitude), traduisant un faible écart à l'intervalle prévu. Ce sont les 5 épisodes où l'indice Intervalle est inférieur ou égal à zéro,
- De grosses modifications sur une seule rame (action ponctuelle de forte amplitude), traduisant un fort écart à l'intervalle prévu. Ce sont les 5 épisodes sur 14 où l'indice Intervalle est supérieur à 20 secondes.

L'action "linéaire" peut donc donner soit une bonne soit une mauvaise performance à l'indice Intervalle. L'opérateur peut tomber juste du premier coup ou bien devoir réévaluer son action.

L'action "alternante" permet de rester très proche de l'intervalle prévu dans 3 épisodes sur 9 (inférieur ou égal à 10 secondes) ou de rester proche de l'intervalle prévu (entre 10 et 20 secondes d'écart seulement) dans une majorité d'épisodes (5 sur 9). C'est un type d'action qui donne des résultats plus prévisibles et meilleurs que l'action "linéaire".

3.3.3 Le maintien en équilibre de la ponctualité et de la régularité

Nous avons pu montrer dans la première partie du chapitre que les opérateurs construisaient une représentation du trafic s'appuyant que les deux dimensions ponctualité et régularité dans la majorité des épisodes analysés. Nous souhaitons maintenant identifier si les opérateurs agissent préférentiellement sur l'une de ces deux dimensions ou s'ils agissent sur les deux.

Si les opérateurs privilégient l'une des deux dimensions du trafic, la régularité ou la ponctualité, nous devrions trouver en bonne performance sur l'une des dimensions et une mauvaise sur l'autre. Si les opérateurs tentent de maintenir les deux dimensions en équilibre, nous devrions trouver la majorité des épisodes avec une performance moyenne sur les deux dimensions.

Pour cela, nous recherchons une relation entre les performances obtenues pour les deux indices calculés, Retard et Intervalles (tableau 52).

Tableau 52 : mise en relation des performances des indices Intervalles et Retard

		Indice "retard"			
		Inférieur ou égal à 0	Entre 0 et 3 minutes	Supérieur à 5 minutes	total
Indice "intervalle"	Inférieur ou égal à 10 secondes	5	7	0	12
	Entre 10 et 20 secondes	0	3	2	5
	Supérieur à 20 secondes	0	6	0	6
	total	5	16	2	23

Il n'y a aucun épisode où la performance de l'indice Retard (ou Intervalle) serait très bonne et celle de l'indice Intervalle (ou Retard) très mauvaise (cases inférieure gauche et supérieure droite du tableau). Nous n'avons pas d'épisodes pour lesquels les deux dimensions sont très dégradées (case inférieure droite du tableau).

Dans 9 épisodes sur 23, la dimension ponctualité est privilégiée (performance moyenne pour l'indice Retard).

Dans 7 épisodes sur 23, la dimension régularité est privilégiée seule (bonne performance pour l'indice Intervalle).

Dans 5 épisodes sur 23, les deux indices calculés ont une bonne performance.

Dans 2 épisodes sur 23, la performance est moyenne pour la régularité et mauvaise pour la ponctualité

Nous n'observons pas de privilège absolu concernant une dimension ou l'autre du trafic, tout dépend des situations rencontrées. Les extraits d'entretien suivants illustrent cette tendance :

- ... l'objectif c'est de tenir l'intervalle notice, donc celui du garde temps tout en ayant une prise de retard minimum, même si on prend du retard et on essaie qu'il y ait un intervalle correct et ne pas faire ce qu'on appelle l'accordéon [opérateur 1]

- je pense qu'avoir du 2'15" régulier c'est beaucoup plus "joli" que monter et faire 3 minutes, 3 minutes, 3... je trouve que c'est plus logique d'avoir... je trouve que la régularité entre les rames c'est important ... [opérateur 1]

3.3.3.1 Dimension du trafic maintenue en équilibre et type d'épisode

A partir du tableau précédent, nous traduisons les performances obtenues pour les deux indices Retard et Intervalle, en termes de dimension du trafic privilégiée.

Nous avons observé :

- 9 épisodes obtenant de bonnes performances pour la ponctualité,
- 7 épisodes obtenant de bonnes performances pour la régularité,
- 5 épisodes obtenant de bonnes performances pour les deux dimensions du trafic,
- 2 épisodes obtenant des performances moyenne ou mauvaise pour les deux dimensions du trafic.

Nous analysons cet échantillon en séparant les épisodes selon leur type (simple ou complexe) que nous mettons en relation avec la dimension du trafic privilégiée (tableau 53).

Tableau 53 : dimension du trafic privilégiée en fonction du type d'épisode

		type d'épisode		
		simple	complexe	total
Dimension du trafic maintenue en équilibre	Ponctualité	7	2	9
	Régularité	5	2	7
	Régularité et ponctualité	4	1	5
	Ni ponctualité, ni régularité	0	2	2
	total	16	7	23

Nous pouvons dire que les opérateurs professionnels expérimentés, contrairement aux opérateurs non professionnels observés par Mailles (1996), maintiennent en équilibre au moins l'une des deux dimensions du trafic dans la majorité des épisodes (16 épisodes sur 23). Les épisodes où seule la ponctualité du trafic est maintenue en équilibre sont des épisodes simples (7 épisodes sur 16 simples) tout comme les épisodes où la régularité du trafic est maintenue en équilibre (5 épisodes sur 16). Ce qui peut s'expliquer par le fait que les épisodes simples sont plus faciles à traiter et à maîtriser. Ces mêmes opérateurs maintiennent les deux

dimensions du trafic en équilibre lorsque les conditions le permettent, à savoir plutôt pour les épisodes simples (4 épisodes sur 16).

Par contre, nous ne pouvons dégager de résultat significatif en ce qui concerne les épisodes complexes, sans doute à cause de la taille de notre échantillon.

3.3.3.2 Dimension du trafic maintenue en équilibre et type d'action

Nous venons de voir qu'il est plus facile de maintenir les deux dimensions du trafic en équilibre dans les épisodes simples, nous allons maintenant identifier s'il est possible de le relier au type d'action mis en œuvre (tableau 54).

Tableau 54 : dimension du trafic maintenue en équilibre en fonction du type d'action

		type d'action		
		linéaire	alternante	total
Dimension du trafic maintenue en équilibre	Ponctualité	5	4	9
	Régularité	4	3	7
	Régularité et ponctualité	5	0	5
	Ni l'une, ni l'autre dimension	0	2	2
	total	14	9	23

Nous observons simplement que les 5 épisodes où les deux dimensions du trafic sont maintenues en équilibre, sont traités avec une action linéaire. Par contre, aucun épisode traité avec une action alternante ne comporte le maintien des deux dimensions du trafic en équilibre. Les deux épisodes où aucune dimension du trafic n'est maintenue en équilibre sont traités avec une action "alternante".

3.3.3.3 Présence d'une phase de diminution du retard et type d'épisode

Dans la majorité des épisodes, la ponctualité est dégradée, ce que traduit la performance évaluée par l'indice Retard. Parmi les épisodes observés, certains comportent des phases où l'on peut noter une amélioration de la ponctualité en cours de traitement, qui ne se traduit pas toujours pas une amélioration de la ponctualité à la fin de l'épisode.

Nous mettons en relation la présence d'une phase de diminution du retard global avec le type d'épisode (tableau 55).

Tableau 55: phase de diminution du retard en fonction du type d'épisode

		Type d'épisode		
		simple	complexe	total
Présence d'une phase de diminution du retard	Non	14	3	17
	Oui	2	4	6
	total	16	7	23

Il y a plus de phase de diminution du retard lors du traitement d'épisodes complexes, que lors des épisodes simples. Nous pouvons expliquer ceci par le fait qu'un épisode complexe est caractérisé par une longue durée. D'après les opérateurs, la diminution du retard n'est envisageable que sous certaines conditions : *" lorsqu'ils arrivent très bien, c'est qu'ils ont 2 fois moins de retard que prévu...mais on ne diminue pas le retard n'importe comment... il faut vérifier à long terme si ça va durer pour éviter de faire « l'accordéon » avec les intervalles"*. Cette vue à long terme n'est possible que si l'épisode est suffisamment long, d'où la présence de cette phase de diminution pour 4 épisodes complexes sur 7.

Nous n'observons pas de différence significative en ce qui concerne la diminution du retard et le type d'action.

3.3.3.4 Les moyens mis en œuvre pour diminuer le retard

La diminution du retard peut être mise en œuvre de deux manières :

- Soit l'opérateur pratique un intervalle inférieur à l'intervalle théorique
- Soit l'opérateur met en place des manœuvres et en suite les ajuste en supprimant ce qu'il considère comme superflu

Pour intervenir sur le retard, il faut savoir qu'il est plus facile de retarder un train que d'avancer son heure de départ car on ne sait jamais si le train va conserver son avance ou non. Il est nécessaire, avant de diminuer le retard, d'envisager si les trains pourront assurer l'intervalle réduit et si les rames sur la voie de réception ne risquent pas de stationner en tunnel. Si l'opérateur estime que l'intervalle pourra être tenu, il peut diminuer le retard. Si l'opérateur estime que les trains auront du mal à assurer le nouvel intervalle et qu'il faudra reprendre du retard ensuite, il ne le fait pas. Dans ce cas, le chef de départ préfère prendre du retard et ensuite effacer les valeurs restantes plutôt que diminuer les intervalles.

Nous mettons en relation le moyen utilisé pour diminuer le retard et le type d'épisode (tableau 56).

Tableau 56 : moyen utilisé pour diminuer le retard en fonction du type d'épisode

		type d'épisode		
		simple	complexe	total
Moyen utilisé pour diminuer le retard	Effacement des valeurs restantes	2	0	2
	Intervalle inférieur à l'intervalle prévu	2	2	4
	total	4	2	6

L'affinage par l'utilisation de "l'effacement des valeurs restantes" s'observe dans les épisodes complexes, où nous avons pu constater la présence d'un "ajustement" en fin d'épisode par l'utilisation de la manœuvre "suppression des valeurs restantes". La mise en œuvre d'un intervalle inférieur à l'intervalle prévu est utilisée dans les épisodes simples et complexes (4 épisodes sur 6).

4 LES STRATEGIES GLOBALES DE REGULATION

Nous avons caractérisé les types d'épisodes traités par les opérateurs. Nous avons mis en évidence des organisations invariantes de l'activité de régulation sur le plan de la prise d'informations et de l'action. Nous avons également mis en évidence l'existence d'instruments spécifiques des types de prise d'informations et d'action mis en œuvre par les opérateurs. Nous allons maintenant mettre en relation ces résultats de manière à répondre aux questions suivantes : existe-t-il un schème d'action instrumenté de régulation ? Ce schème est-il partagé par les opérateurs expérimentés observés ? Dépend-il de classes de situations ?

Pour répondre à ces questions, nous examinerons les liens entre les types d'épisodes, de prise d'informations et d'action.

4.1 Au niveau d'analyse des épisodes

4.1.1 Lien entre type de prise d'informations et type d'action

Nous faisons l'hypothèse d'un lien entre le type de prise d'informations et le type d'action mis en œuvre (tableau 57).

Tableau 57 : type de prise d'informations en fonction du type d'action

		Type de prise d'informations		
		linéaire	alternante	total
type d'action	linéaire	13	1	14
	alternante	1	8	9
	total	14	9	23

Nous observons un fort lien entre le type de prise d'informations et le type d'action mis en œuvre puisque 13 épisodes sur 14 traités avec une prise d'informations "linéaire" le sont

également avec une action "linéaire". Nous observons la même tendance avec les 8 épisodes sur 9 traités avec une prise d'informations "alternante", également traités avec une action de type "alternante".

Lorsque les opérateurs mettent en œuvre une prise d'informations "linéaire", pour traiter un épisode perturbé, ils mettent également en œuvre une action de type "linéaire" comme pour la prise d'informations et l'action "alternante". Ce lien très fort entre un type de prise d'informations et d'action nous permet de caractériser deux grandes stratégies : linéaire et alternante.

Ces stratégies reposent sur la mise en place d'une organisation de l'activité que nous retrouvons de manière systématique à la fois dans plusieurs épisodes traités par un même opérateur et dans plusieurs épisodes traités par des opérateurs différents.

4.1.2 Lien entre le type de stratégie et le type d'épisode

Nous avons caractérisé la prise d'informations et l'action selon deux modalités. Nous avons montré un fort lien entre le type de prise d'informations et le type d'action mis en œuvre, ce qui nous permet de définir deux grandes stratégies de régulation :

- une stratégie "linéaire" qui associe une prise d'informations et une action de type "linéaire, observée dans 13 épisodes sur 23 épisodes analysés.
- une stratégie "alternante" qui associe une prise d'informations et une action de type "alternantes", observées dans 8 épisodes analysés

Seuls 2 épisodes sur 23 épisodes analysés sont traités avec une prise d'informations différente du type d'action.

Nous mettons en relation ces stratégies globales avec le type d'épisode, de manière à identifier si le type de stratégie adoptée par les opérateurs est lié au type d'épisode, c'est-à-dire aux classes de situations (tableau 58).

Tableau 58 : type de stratégie globale en fonction du type d'épisode

		Stratégie globale de régulation			
		linéaire	alternante	mixte	total
Type d'épisode	Simple	10	4	2	16
	Complexe	3	4	0	7
	total	13	8	1	23

Nous pouvons simplement observer les épisodes "simples" sont plutôt traités avec une stratégie globale de type linéaire dans 10 épisodes simples sur 16.

Nous ne pouvons rien conclure en ce qui concerne les épisodes complexes. Nous pouvons supposer que la stratégie "alternante" peut sembler plus difficile à mettre en œuvre et n'est pas toujours possible si l'opérateur ne détecte pas la perturbation assez tôt pour avoir le choix de sa stratégie. Il doit alors adopter la stratégie la plus facile à mettre en œuvre dans l'urgence, c'est-à-dire l'action au coup par coup, l'action "linéaire".

4.1.3 Lien entre le type de stratégie et les opérateurs

Nous proposons d'examiner la stratégie utilisée pour traiter chaque épisode selon l'opérateur.

Nous n'observons pas de lien systématique entre un type de stratégie et un opérateur, c'est pourquoi nous ne pouvons conclure à l'existence d'un schème de régulation à ce niveau d'analyse. Nous pouvons seulement souligner les points suivants :

L'opérateur 1 utilise la stratégie "linéaire" pour les épisodes "simples" et la stratégie "alternante" pour les épisodes "complexes" dans 3 épisodes chacune.

L'opérateur 4 utilise plus souvent la stratégie "linéaire" et le plus souvent (6 épisodes sur 8), il la met en œuvre pour traiter des épisodes "simples". Nous pouvons supposer qu'il a construit des classes de situations, mais seul le lien épisode "simple"-action "linéaire" peut être observé.

Nous n'observons pas de relation systématique entre le type d'épisode et la stratégie utilisée pour les opérateurs 2 et 3.

Il est difficile de conclure étant donné la taille et la répartition de l'échantillon d'épisodes dont nous disposons pour chaque opérateur (tous ne traitent pas les deux types d'épisodes). Il serait souhaitable d'étendre l'analyse à un échantillon plus large d'épisodes, et d'opérateurs et surtout de développer une analyse sur des opérateurs d'expérience différente, afin de mettre en évidence un processus développemental.

4.2 Au niveau d'analyse des situations

Dans cette thèse, nous avons proposé deux niveaux d'analyse pour les données issues de l'observation des chefs de départ : celui des épisodes constitutifs des situations perturbées et celui des situations perturbées elles-mêmes. Nous cherchons à savoir, comme pour le niveau des épisodes, s'il existe un lien entre le type de situation, de prise d'informations et d'action.

Nous distinguons trois types de situations :

- les situations simples ne comportent que des épisodes simples,
- les situations complexes ne comportent que des épisodes complexes,
- les situations mixtes comportent les deux types d'épisodes.

De même au niveau de la stratégie globale de traitement de chaque situation :

- une stratégie linéaire est caractérisée par une prise d'informations et une action de type linéaire, pour tous les épisodes constitutifs de la situation,
- une stratégie alternante est caractérisée par une prise d'informations et une action alternante pour tous les épisodes constitutifs de la situation,
- une stratégie mixte comporte des prises d'informations et des actions des deux types.

4.2.1 Relation entre type de prise d'informations et type d'action

Il s'agit de mettre en évidence la relation entre un type de prise d'informations et un type d'action, au niveau des situations (tableau 59).

Tableau 59 : type de prise d'informations en fonction du type d'action

		Type de prise d'informations			
		linéaire	alternante	mixte	total
Type d'action	Linéaire	2	0	0	2
	Alternante	0	4	0	4
	Mixte	2	1	0	3
	total	4	5	0	9

Nous pouvons seulement observer 4 situations traitées avec une prise d'informations et une action alternante. Le niveau d'analyse des situations n'est pas assez précis pour nous permettre de conclure sur un lien systématique entre un type de prise d'informations et d'action, ce qui souligne la pertinence d'une analyse au niveau des épisodes pour le PML.

4.2.2 Relation entre type de situation et type d'action

Les situations "simples" sont traitées exclusivement avec une prise d'informations de type "linéaire". Par contre, il est difficile de conclure pour les situations complexes.

Pour la relation entre un type de situation et un type d'action, nous retrouvons au niveau des situations, la même tendance que celle observée pour les épisodes. Deux situations de type "simple" sur 3 sont traitées avec une action "linéaire". Les 3 situations complexes sont traitées avec une action "alternante". Nous trouvons les situations de type "mixte", c'est-à-dire comportant à la fois des épisodes simples et complexes traités avec une action de type mixte ou alternante. L'action de type mixte signifie que l'opérateur a utilisé les deux types d'action

au cours du traitement de la situation perturbée. Ce résultat confirme l'intérêt d'une analyse au niveau des épisodes, plus fin que celui des situations.

5 SYNTHÈSE

Dans ce chapitre, nous avons caractérisé l'activité des chefs de départ autour de deux types d'épisodes et trois types de situations :

- des épisodes simples ou complexes, caractérisés par le nombre d'événements à traiter, la durée, la tendance de l'offre de transport, le contexte où survient l'épisode et le retard maximum à absorber pour la rame la plus retardée,
- des situations simples, complexes ou mixtes caractérisées selon le type d'épisodes qu'elles comportent.

Ces types d'épisodes et de situation nous permettent de dégager deux niveaux d'analyse, celui des situations et celui des épisodes. La plupart des recherches s'intéressent au niveau des situations, à l'exception de Filippi (1994). L'épisode étant une unité d'action significative pour les opérateurs, il nous a semblé pertinent de rechercher des invariants au niveau des épisodes avant de les rechercher au niveau des situations.

Nous avons soulevé plusieurs questions concernant les stratégies des chefs de départ. Nous avons montré l'existence de grandes deux stratégies de régulation partagées par les opérateurs observés, dont la mise en œuvre dépend de la classe de situation, simple ou complexe, dans laquelle ils se trouvent. Ces deux stratégies traduisent l'existence d'une relation systématique entre le type de prise d'informations et d'action mises en œuvre ainsi que l'usage de moyens d'action spécifiques.

Nous avons également identifié le recours à un **concept pragmatique**, le concept de fluidité qui permet aux opérateurs de se représenter l'état de cette ligne sur le plan de la régularité.

Dans un premier temps, nous avons examiné la première question posée, concernant les types de prise d'informations et d'action et les instruments et les instruments mobilisés par les opérateurs en situation perturbée. Nous avons identifié deux types de prise d'informations, alternante ou linéaire. La prise d'informations "alternante" porte sur un nombre total de rames plus important que la prise d'informations linéaire. Elle a également une amplitude plus grande et permet à la fois, une plus grande anticipation et une marge de manœuvre plus importante pour l'opérateur.

Nous avons montré que les deux dimensions du trafic, la ponctualité et la régularité sont prises en compte quel que soit le type de prise d'informations mis en œuvre.

Il existe des instruments associés aux deux types de prise d'informations dont certains sont spécifiques d'un type de prise d'informations. Le pointage, qu'il soit automatique ou manuel est caractéristique de la prise d'informations alternante puisqu'il permet le suivi de rames éloignées du terminus. Le pointage manuel complète le pointage automatique, nécessaire mais non suffisant pour les opérateurs. La réception d'une information reçue d'un autre opérateur s'observe également plutôt avec une prise d'informations alternante. Nous avons ainsi décrit une partie du système d'instruments des chefs de départ.

Ces moyens de prise d'informations caractéristiques de la prise d'informations alternante permettent le suivi des rames éloignées du terminus. L'évaluation directe de la ponctualité à quai de départ, comme l'évaluation de la régularité sont mises en œuvre dans les deux types de prise d'informations. Ces deux moyens permettent plutôt de recueillir de l'information sur les rames situées près du terminus. La prise d'informations alternante consiste à compléter la prise d'informations sur les rames proches du terminus, caractéristiques de la prise d'informations linéaire, par le suivi des rames éloignées. La prise d'informations alternante s'accompagne d'un nombre plus diversifié de moyens que la prise d'informations linéaire. La prise d'informations alternante est plutôt mise en œuvre pour traiter les épisodes complexes et la prise d'informations linéaire pour traiter les épisodes simples.

Dans un deuxième temps, nous avons répondu à la question sur les modalités de l'action et les instruments qui lui sont associés pour agir. Comme pour la prise d'informations, il existe deux types d'action, l'action "linéaire" et l'action "alternante". L'action "alternante" a une amplitude plus forte que l'action linéaire et mieux répartie sur chaque manœuvre de régulation. L'action "alternante" donne lieu à la création d'une "réserve" de rames pour agir qui permet à l'opérateur d'ajuster son action. Les moyens d'action utilisés sont plus diversifiés avec l'action "alternante". Si nous n'avons pu mettre en évidence de différence entre les fonctions des outils utilisés, nous avons constaté une différence entre les deux stratégies d'action sur le plan de l'usage des manœuvres de régulation. L'action "linéaire" donne lieu à des actions de faible amplitude, sur peu de rames à la fois. L'action "linéaire" se traduit par des actions ponctuelles soit de faible amplitude soit de forte amplitude, qui révèle une stratégie au coup par coup. L'action "alternante" donne plutôt lieu à une action de forte amplitude, répartie sur un plus grand nombre de rames, traduisant une plus grande anticipation. L'action "alternante" se traduit par une répartition entre des actions ponctuelles et réparties sur plusieurs rames, de

façon évolutive. Un mécanisme commun d'évolution des actions est apparu dans ce cas, où des phases successives consistent tout d'abord à modifier la valeur de la manœuvre, en conservant la même manœuvre de régulation puis ensuite à modifier le type de manœuvre.

Dans un troisième temps, nous avons mis en relation les différents types de prise d'informations et d'action pour identifier des stratégies de régulation que nous avons comparées sur le plan de la performance. Nous avons défini deux grandes stratégies de régulation, dont les performances diffèrent. Il apparaît qu'une prise d'informations "alternante" favorise la mise en oeuvre d'une action "alternante" et la prise d'informations "linéaire" une action "linéaire". La phase de stabilisation après le traitement d'un épisode perturbé est plus longue avec une action "alternante", mais par contre, le retard global augmente moins en moyenne avec une stratégie "linéaire".

Ces stratégies sont mises en œuvre en fonction du type d'épisode à traiter, dans certaines classes de situations caractéristiques du point de vue des opérateurs.

Les épisodes de type "simple" donnent plutôt lieu à une prise d'informations "linéaire" qui favorise la mise en œuvre d'une action de même type. De même, les épisodes de type "complexe" sont plutôt traités avec une prise d'informations et une action "alternante". Chacune de ces stratégies se caractérisant par des instruments spécifiques. Les deux dimensions du trafic sont prises en compte ensemble surtout dans les épisodes simples, car il est plus facile dans ce cas de conjuguer les contraintes des deux dimensions que pour les épisodes complexes, au cours desquels, seule l'une des deux dimensions peut être favorisée.

Cependant pour la question de la relation entre type de stratégie et opérateurs, nous observons une variabilité entre les 4 opérateurs observés qui utilisent tous les deux stratégies mises en évidence. Des analyses sur un échantillon de situations plus important et une comparaison entre opérateurs de niveaux d'expérience différents permettraient d'approfondir cette question.

Dans un dernier temps, nous avons examiné la question de la généralisation, au niveau des situations, des invariants de l'activité observés pour les épisodes. Nous avons constaté que si certains invariants pouvaient être observés au niveau des situations, il n'est pas toujours possible de pousser l'analyse aussi loin qu'avec le niveau des épisodes. Ce niveau d'analyse par épisode s'avère indispensable pour analyser avec précision l'activité de régulation.

En conclusion, ces données ont permis de dégager des éléments d'analyse de l'activité de régulation utiles pour l'évolution des outils mis à disposition des opérateurs. Il s'agit de :

- La difficulté de détecter précocement les perturbations situées loin du terminus sur la voie de réception,
- La nécessité de disposer le plus tôt possible de l'information sur le retard des rames,
- La nécessité pour les opérateurs de construire une représentation à deux dimensions portant à la fois sur la ponctualité et la régularité du trafic, dans la zone proche et dans celle éloignée du terminus.
- Le fait que les outils actuels ne donnent qu'une information sur l'une ou l'autre dimension, et sur l'une ou l'autre zone.
- L'absence de référence au concept de fluidité, qui semble être une dimension importante du processus permettant d'évaluer l'état de la régularité de la ligne dans la zone du terminus.
- L'impossibilité pour l'opérateur d'évaluer les résultats de sa propre action sur la voie d'expédition,
- L'impossibilité de programmer des actions de régulation,
- L'impossibilité pour l'opérateur de connaître la performance de sa stratégie de régulation, en fonction des situations.

Ces éléments d'analyse seront repris dans le chapitre 7, en regard des questions que nous a posé l'entreprise et auxquelles nous répondrons en proposant des évolutions pour les outils des réflexions organisationnelles pour la régulation.

Dans le chapitre suivant, nous analyserons l'activité de régulation des chefs de régulation du PCC, chargés de réguler les rames lorsqu'elles sont en ligne.

CHAPITRE 6

LES STRATEGIES DE REGULATION ET LES INSTRUMENTS DES REGULATEURS DU PCC

En introduction de cette thèse, nous posons la question de la caractérisation de l'activité de régulation, tout en constatant l'existence de différentes tâches de régulation, dépendant de l'organisation du travail instaurée sur notre terrain d'observation. Nous posons également d'autres questions portant sur la mise en évidence :

- d'invariants de l'activité en situation perturbée, sur le plan de la prise d'informations et de l'action,
- d'instruments spécifiques mobilisés par les opérateurs pendant le traitement des situations perturbées. Comment les opérateurs agissent sur l'objet de leur activité, avec quels instruments ?
- de stratégies de régulation équivalentes ou non entre elles sur le plan de la performance

Ce chapitre est consacré à la mise en évidence des stratégies des opérateurs chargés de la régulation au PCC, les chefs de régulation.

La tâche de régulation telle qu'elle est définie à l'attention des chefs de régulation consiste à la fois à identifier et supprimer les causes d'une perturbation et à limiter les effets de cette perturbation sur le trafic, pour assurer la qualité du service aux voyageurs. L'entreprise comptabilise les situations perturbées sur la base de la durée de l'interruption du trafic. L'interruption de trafic correspond à la période au cours de laquelle les rames ne circulent plus sur une portion ou sur la totalité de la ligne suite à un événement dont les conséquences sont traitées par le chef de régulation. Mais l'activité de traitement des situations perturbées ne peut se réduire à la période où le trafic est interrompu. La durée totale de traitement correspond à la période comprise entre la détection de la situation perturbée, son traitement par l'opérateur et la clôture, sanctionnée par un retour du trafic à la normale.

Pour étudier les situations perturbées, nous nous intéressons donc, non seulement à ce qui se passe pendant la durée de l'interruption, mais également à l'activité qui a lieu pendant toute la durée du traitement de la situation. A l'intérieur de cette activité, nous différencions deux tâches dans le traitement des perturbations :

- La première tâche concerne le diagnostic causal, elle s'articule autour de la recherche de la cause de la perturbation et la suppression de cette cause, une fois qu'elle est identifiée.
- La seconde tâche consiste à minimiser les conséquences de la perturbation sur la qualité du service offert aux voyageurs, ce que nous appelons la gestion du trafic résiduel autour de la perturbation. Cette régulation du trafic résiduel est mise en œuvre en parallèle avec

la recherche de la cause de la perturbation et peut se prolonger après la reprise du trafic sur la ligne.

Le traitement d'une situation perturbée par le chef de régulation au PCC peut être schématisée comme le présente la figure 11 :

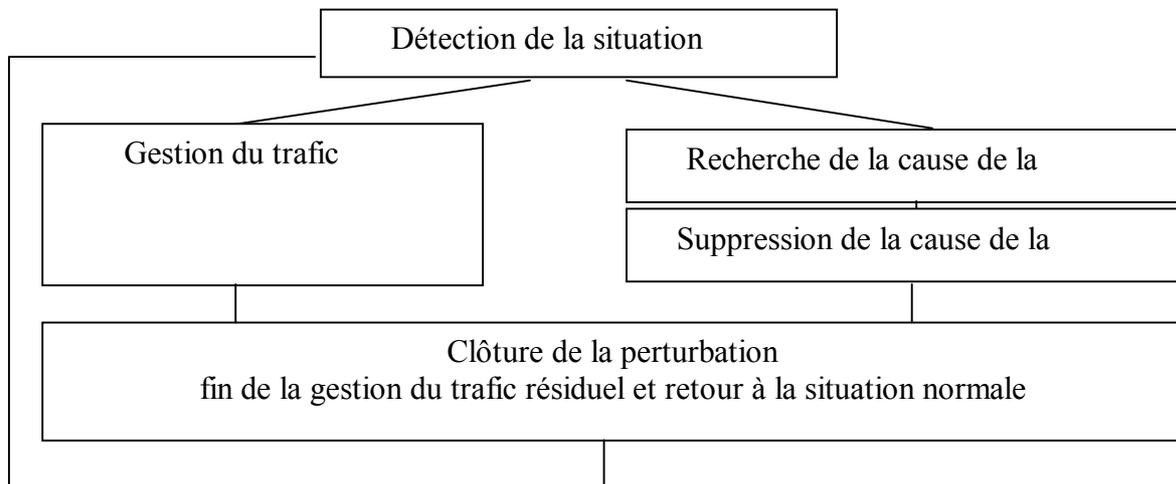


Figure 11 : représentation du déroulement du traitement d'une situation perturbée

Nous proposons d'organiser les résultats autour de ces deux tâches de régulation en situations perturbées. Nous présentons tout d'abord la caractérisation des situations perturbées à partir des entretiens et de l'analyse de l'activité, puis nous décrivons l'activité liée au diagnostic causal qui comporte l'identification et la suppression de la cause de la perturbation, pour terminer par l'analyse de l'activité de gestion du trafic résiduel.

1 CARACTERISATION DES SITUATIONS PERTURBEES

1.1 A partir des entretiens

1.1.1 Dimensions de différenciation des situations

Nous avons identifié sept dimensions qui entrent dans la différenciation des situations perturbées du point de vue des chefs de régulation (Zanarelli, 1999).

- Connaissance de la cause de l'incident (et pas seulement la nature)
 - lorsque la cause est connue : la procédure à appliquer peut être plus facilement identifiée (si elle existe)
 - lorsque la cause est inconnue, cela implique de faire des recherches qui rallongent la durée de traitement de la situation.

Lorsque le chef de régulation détecte une perturbation, il est renseigné sur la nature de l'incident. L'identification de la cause d'un stationnement ou d'un retard doit être réalisée pour appliquer la procédure la plus adéquate. Si la durée d'identification de la cause prend beaucoup de temps, elle allonge la durée de traitement de la perturbation.

- Zone d'influence et d'interruption du trafic
 - localisée (dans une sous-section électrique), ce qui permet de délimiter spatialement l'interruption de trafic. La zone est bien cernée.
 - non localisée ou très large (plusieurs stations ou sous-sections électriques). Il faut chercher à la réduire le plus possible.
 - "dynamique", il peut s'agir des cas de personnes se déplaçant sur les voies ou de trains se déplaçant en marche lente suite à une avarie.
- Répétition d'un même évènement dans le temps
 - certains incidents peuvent survenir une seule fois
 - d'autres incidents peuvent survenir plusieurs fois en un laps de temps réduit et annoncer une dégradation de la situation.

Une disjonction d'intensité (DI) dure quelques secondes, si elle se répète trois fois, elle entraîne un incident ligne (IL). Il en est de même pour les freins de secours actionnés par malveillance ou les voyageurs qui retiennent les portes pour les empêcher de se fermer.

Par contre, un déclenchement intempestif des AEAU²⁶ n'a pas de répercussions sur le trafic. Dans ce cas, après trois déclenchements intempestifs, le chef de régulation demande au conducteur de désactiver le pilotage automatique et de repartir en conduite manuelle.

- Durée du stationnement d'un train c'est-à-dire le retard au redémarrage du train entraîné par le stationnement :
 - inférieur à 5 minutes
 - de 5 à 10 minutes
 - à partir de 10 minutes et sans limite supérieure de temps
- Mise en place d'un service provisoire sur la ligne

²⁶ AEAU = dispositif en cabine qui arrête le train automatiquement en cas de franchissement de signal fermé

- le SP peut intervenir sur un train ou deux comme mesure compensatoire ponctuelle : pour rattraper un intervalle trop grand sur une voie
- le SP peut intervenir en un point pour une durée indéterminée pour exploiter en deux parties lorsque le trafic est interrompu. Si l'interruption est proche d'un terminus, on met en place un seul SP, si l'interruption est entre deux SP, on peut en utiliser deux.

Lorsque le chef de régulation décide de mettre en place un SP, il doit prendre en compte le temps nécessaire à la réalisation de la manœuvre. Le chef de régulation n'interrompt pas un SP lorsque la première partie de la procédure est engagée (changement de loge et évacuation des voyageurs). Un retournement en ligne comporte une évacuation de voyageurs en station, la mise en place des appareils de voie et dure 4 minutes environ. Pour le premier train il faut compter 5 minutes. Lorsqu'un SP est mis en place pour $\frac{3}{4}$ d'heure ou 1 heure, le chef de régulation va chercher à accélérer le changement de voie en postant un chef de secteur pour aider à la manœuvre par exemple.

- Nécessité de faire appel à des "cercles d'intervenants" plus ou moins élargis
 - la perturbation est gérée par le chef de régulation et le conducteur de la rame concernée par l'incident. Par exemple, une avarie « matériel » et le conducteur peut faire repartir seul le train.
 - le chef de régulation fait appel en plus à des gradés de ligne ou des agents de station, aux services techniques, le contremaître-visiteur... Par exemple, un train a une avarie grave et ne peut repartir sans être poussé par un train de secours. Il faut aviser les services techniques.
 - le chef de régulation fait appel à des intervenants extérieurs (pompiers, police...).
- Mise en place d'une information voyageurs
 - pour les incidents visibles pour les voyageurs, inférieurs à 5 minutes il ne fait pas d'information voyageurs.
 - à partir d'une interruption de trafic de 5 minutes, le chef de régulation-informateur passe l'information aux centres de liaisons et aux stations.

C'est la combinaison de ces 7 dimensions qui permet d'évaluer le degré de perturbation d'une situation. Elles sont modulées par d'autres critères qui permettent de pondérer la catégorisation des situations.

1.1.2 Facteurs de pondération

Ces dimensions sont modulées par 3 principaux facteurs qui font basculer ou non une situation, dans une catégorie plus perturbée, selon la manière dont ils s'instancient :

- la ligne où survient la perturbation
 - le moment où survient la perturbation
 - la présence de trains sous tunnel
 - le mode de manifestation de l'événement : arrêt du trafic ou ralentissement.
- La ligne où survient l'incident introduit des contraintes à prendre en compte :
 - sur les lignes à fourches, ne pas oublier le respect des cycles d'alternance des trains concernant les terminus
 - sur les lignes longues, le retard risque de s'accroître au fil des stations et le nombre de train en ligne est important donc, en cas de stationnement on pose les DSO sur toutes les stations puis on les enlève au fur et à mesure.
 - sur les lignes où l'intervalle est très court aux heures de pointe, le temps de réponse aux incidents est très court
 - si le nombre de stations est égal ou inférieur au nombre de trains en ligne. En cas de stationnement, le risque de train stationnant sous tunnel est accru.
 - Le "moment" où survient la perturbation est liée à l'intervalle et au nombre de trains en circulation :
 - aux heures creuses (englobe les week-ends et la nuit), les intervalles sont grands et il y a moins de trains en ligne donc plus de stations entre deux trains. En cas de stationnement la marge de manœuvre est plus grande car les trains ne "*s'empilent*" pas tout de suite les uns derrière les autres. La pression temporelle est moindre.
 - en heures de pointe, l'intervalle est plus court et le nombre de trains en ligne est important ce qui réduit la marge de manœuvre et augmente la pression temporelle.

Un même événement qui survient aux heures de pointe aura des répercussions sur plus de trains qu'aux heures creuses. L'intervalle est réduit, les trains sont séparés par moins de stations. Un même événement provoquera une perturbation petite ou moyenne aux heures creuses et une grosse perturbation aux heures de pointe.

- La présence de trains sous tunnel.

C'est un facteur aggravant de la perturbation, car il entraîne des contraintes et des risques supplémentaires à gérer. Avoir des trains arrêtés sous tunnel implique des risques d'évacuation spontanée des voyageurs. A cela s'ajoute la complexité de la gestion d'une évacuation en interstation même réalisée à la demande du chef de régulation.

- Le mode de manifestation de la perturbation
 - interruption du trafic (fréquent) : les chefs de régulation semblent préférer une coupure franche du trafic à une marche ralentie à cause d'une avarie (matériel ou signalisation) car : "*c'est bien localisé*", "*on peut utiliser les services provisoires et exploiter la plus grande partie possible de ligne*", "*pour les voyageurs, ils voient que les trains ne circulent pas et prennent des correspondances et continuent leur trajet*".
 - marche ralentie (moins fréquent) : pour 3 chefs de régulation, une marche ralentie sur une portion de ligne (pour cause de problème lié à la signalisation par exemple) est plus difficile à traiter qu'une coupure franche du trafic.

1.2 A partir de l'analyse de l'activité

1.2.1 Deux sous-tâches dans le traitement d'une perturbation

Nous avons identifié deux sous tâches dans le traitement des perturbations au PCC qui se différencient par l'objet sur lequel elles portent :

Une sous tâche concerne le suivi de la rame à l'origine de la perturbation. C'est la rame directement concernée par la cause de la perturbation. La première phase est le cœur du traitement de la perturbation, puisqu'il s'agit pour l'opérateur de supprimer la cause de la perturbation pour rétablir le trafic.

Une autre sous tâche concerne le suivi des rames situées en amont et en aval du lieu de la perturbation. Il s'agit de la gestion du trafic résiduel autour de la perturbation.

En raison de la structure des situations traitées, nous avons construit des indicateurs spécifiques distincts pour analyser le traitement de la cause de la perturbation et la gestion du trafic résiduel. Nous organiserons la présentation des résultats autour de ces deux sous tâches.

1.2.2 Caractérisation des situations

Nous avons décrit les critères de différenciation des situations issus des entretiens auprès des opérateurs. Il s'agit des critères exprimés permettant selon eux de caractériser les situations rencontrées. Nous allons reprendre les critères pour lesquels nous disposons de l'information objective pour chaque situation observée, de manière à les caractériser. Il s'agit :

- De la zone de la perturbation, qui est fixe,
- Du symptôme de la perturbation, qui est toujours un arrêt momentané du trafic sur la ligne.

Le critère connaissance de la cause de la perturbation ne peut être utilisé en raison de la taille de notre échantillon de situations : 9 situations avec cause connue et 1 avec cause inconnue (les caractéristiques des situations analysées sont présentées dans l'annexe K).

1.2.2.1 *Durée totale de la perturbation et localisation de la perturbation*

Nous cherchons à vérifier s'il existe une relation entre la localisation et la durée totale de la perturbation (tableau 60).

Tableau 60 : durée totale et localisation de la perturbation

		Durée totale			
		Moins de 5 minutes	Entre 6 et 10 minutes	Plus 10 minutes	total
Retard en début d'épisode	Pas de retard ou retard faible	1	1	0	2
	Retard moyen ou important	0	2	6	8
	total	1	3	6	10

Les perturbations qui ont lieu près d'un terminus (de réception ou d'expédition) ont une durée plus longue que celles qui se produisent en milieu de ligne. Nous pouvons supposer que les zones de terminus sont des zones plus difficiles à gérer car ce sont des goulots d'étranglement où les rames doivent circuler le plus régulièrement possible, tout en respectant les heures de départ prévues.

1.2.2.2 *Durée totale de la perturbation et période de l'offre de transport*

Nous avons mis en relation la durée totale de la perturbation et la période de l'offre de transport dans le tableau 61.

Tableau 61 : durée totale de la perturbation en fonction de la période de l'offre de transport

		Durée totale			
		Moins de 5 minutes	Entre 6 et 10 minutes	Plus de 10 minutes	total
Période de l'offre de transport	Transition	0	0	5	5
	Heures creuses	0	1	1	2
	Heures de pointe	1	2	0	3
	total	1	3	6	10

Ce critère est discriminant puisqu'il permet de mettre en évidence que les perturbations survenant pendant les périodes de transition durent plus de 10 minutes dans les 5 cas observés. Par contre, ce critère ne permet pas de discriminer les perturbations survenant en heures creuses et en heures de pointe. Nous pouvons expliquer ce phénomène par le fait que les périodes de transition de l'offre de transport sont des périodes instables. Au cours de ces périodes, l'offre de transport varie, soit parce qu'elle augmente, avant les heures de pointe, soit parce qu'elle diminue après les heures de pointe. Nous pouvons supposer que ces périodes d'instabilité structurelle de l'offre de transport sont une des causes de la durée de traitement des perturbations. Pour les **heures de pointe et les heures creuses**, soit l'offre de transport est dense, soit elle ne l'est pas, mais elle est **stable**, ce qui facilite le traitement des situations perturbées.

Nous retrouvons les mêmes résultats si nous comparons la durée de l'interruption de trafic et la période de l'offre de transport.

1.2.2.3 Rames stationnant sous tunnel et période de l'offre de transport

Le tableau 62 met en relation la période de l'offre de transport et la présence d'une rame stationnant sous tunnel, de manière à vérifier s'il existe un impact de la période sur la présence de rame sous tunnel.

Tableau 62 : présence de rame stationnant sous tunnel en fonction de la période de l'offre de transport

		Période de l'offre de transport			
		Heures creuses	transition	Heures de pointe	total
Présence de rames sous tunnel derrière le lieu du stationnement	Non	2	2	0	4
	Oui	0	3	3	6
	Total	2	5	3	10

Nous observons que la présence de rame(s) stationnant sous tunnel derrière la rame immobilisée par la perturbation est plus fréquente lorsque la perturbation survient en période

de transition (où l'offre de transport est instable), et en période de pointe (où l'offre de transport est la plus dense).

1.2.2.4 Rames stationnant sous tunnel et valeur de l'intervalle entre les rames

Nous pouvons supposer que la présence de rames stationnant sous tunnel est favorisée lorsque l'intervalle entre les rames est faible, ce que montre le tableau 63.

Tableau 63 : présence de rame stationnant sous tunnel en fonction de l'intervalle entre les rames

		Valeur de l'intervalle		
		long	court	total
Présence de rames sous tunnel derrière le lieu du stationnement	Non	3	1	4
	Oui	1	5	6
	Total	4	6	10

Nous retrouvons la même tendance que précédemment, à savoir qu'un intervalle réduit (observé en période de pointe ou de transition), augmente la fréquence de stationnement sous tunnel lors de l'arrêt du trafic. En effet, plus il y a de rames en ligne, plus il y a de chances que l'une d'elle stationne sous tunnel en cas d'interruption du trafic.

1.2.2.5 Rames stationnant sous tunnel et durée totale de la perturbation

Nous mettons en relation la présence de rames stationnant sous tunnel et la durée des perturbations dans le tableau 64.

Tableau 64 : présence de rames stationnant sous tunnel en fonction de la durée totale de la perturbation

		Durée totale de la perturbation			total
		Moins de 5 minutes	Entre 6 et 10 minutes	Plus de 10 minutes	
Présence de rames sous tunnel derrière le lieu du stationnement	Non	0	1	3	4
	Oui	1	2	3	6
	Total	1	3	6	10

Ce critère est discriminant pour les situations puisque l'on observe plus souvent des rames stationnant sous tunnel dans les situations longues.

1.2.3 Composition des situations

Nous avons catégorisé les situations observées sur la base des critères identifiés lors des entretiens. Nous avons pu mettre en évidence que :

- les situations longues ont lieu près des terminus, ont lieu le plus souvent pendant les périodes de transition où l'offre de transport est instable,

- la présence de rame stationnant sous tunnel est plus fréquente lorsque l'intervalle entre les rames est réduit et pendant les périodes de transition où l'offre de transport est instable.
- La présence de rames stationnant sous tunnel est plus fréquente dans les situations longues.

Nous pouvons identifier deux types de situations dans notre échantillon de situations catégorisées comme moyennement perturbées d'après la typologie des opérateurs :

- **les situations simples** : plutôt courtes, sans rame stationnant sous tunnel, elles surviennent pendant les périodes où l'offre de transport est stable, plutôt en milieu de ligne.
- **les situations complexes** : plutôt longues, comportant des rames stationnant sous tunnel, survenant pendant les périodes de transition où l'offre de transport est instable, et l'intervalle entre les rames est réduit. Elles ont lieu plutôt près des terminus.

2 LA DETECTION DES SITUATIONS PERTURBEES

2.1 Deux modes de détection

Nous avons identifié deux modes de détection des situations perturbées, l'un s'appuyant sur la prise autonome d'informations par le chef de régulation, l'autre dépendant de l'information fournie par les conducteurs. Nous souhaitons savoir s'ils sont spécifiques d'un type de situation (tableau 65).

Tableau 65 : mode de détection en fonction du type de perturbation

		Type de situation		
		simple	complexe	Total
Mode de détection de la perturbation	Information reçue d'un conducteur	5	3	8
	Alarme ou information issue du TCO	0	2	2
	total	5	5	10

Les chefs de régulation identifient les situations perturbées dans 8 cas sur 10 grâce aux conducteurs. En ce sens, les conducteurs sont une source très importante d'informations pour les chefs de régulation, sur lesquels ils s'appuient pour "voir" ce qui se passe sur la ligne. Les chefs de régulation sont de ce fait très dépendants des intervenants sur le terrain pour identifier les perturbations, contrairement aux chefs de départ qui, comme nous l'avons vu précédemment, détectent le plus souvent de manière autonome les situations perturbées. Les situations simples sont signalées par les conducteurs. Les moyens de communications entre les conducteurs et le chef de régulation sont particulièrement importants pour assurer la

qualité de la régulation et la sécurité sur la ligne. C'est pourquoi nous pensons qu'il est nécessaire de leur accorder une attention particulière dans la conception des salles et des outils de régulation. Nous reviendrons sur ce point dans les recommandations ergonomiques.

Les situations complexes sont identifiées par des modes plus variés que les situations simples. Les situations complexes sont identifiées grâce aux outils dont disposent le chef de régulation, en particulier, le TCO.

Le tableau 66 nous permet d'identifier que les perturbations comportant des coupures de courant, sont détectées grâce aux alarmes sur le TCO.

Tableau 66 : mode de détection en fonction de la présence d'une coupure de courant

		Présence d'une coupure de courant		
		non	oui	Total
Mode de détection de la perturbation	Information reçue d'un conducteur	8	0	8
	Alarme ou information issue du TCO	0	2	2
	total	8	2	10

L'alarme de coupure de courant est sonore et visuelle. Une sonnerie retentit, la barre traction représentant l'alimentation en énergie électrique de traction sur le TCO s'allume au rouge et tous les DSO s'allument en même temps sur le pupitre. L'opérateur doit acquiescer l'alarme sonore et se déplacer pour confirmer la coupure de courant en manipulant des boutons tourner-pousser au TCO. Il indique ainsi sa prise en compte de la coupure, partielle ou totale de l'alimentation sur la ligne. Ces manipulations permettent de mettre la ligne en sécurité pour éviter toute remise intempestive de courant en cas de personnes sur les voies. Après seulement, commence la recherche de la cause de la perturbation.

2.2 Les informations utilisées

Nous cherchons à identifier les indices utilisés par les opérateurs pour détecter les situations perturbées (tableau 67).

Tableau 67 : type d'information utilisée en fonction du mode de détection

		Information utilisée pour détecter la perturbation		
		Localisation et nature du problème	Numéro de rame, localisation et nature du problème	Total
Mode de détection de la perturbation	Information reçue d'un conducteur	0	8	8
	Alarme ou information issue du TCO	2	0	2
	total	2	8	10

Dans deux situations, les opérateurs détectaient la perturbation grâce à une alarme ou une information sur le TCO. Il s'agit des perturbations comportant des coupures de courant. Les

alarmes de coupure de courant sont différenciées selon leur mode de manifestation : disjonction d'alarme²⁷, disjonction d'intensité²⁸, incident ligne²⁹. Nous pouvons remarquer que si la détection s'appuie dans toutes les situations au moins sur la nature et la localisation du problème, seule l'information reçue des conducteurs permet d'identifier le numéro de la rame concernée. En effet, dans ces cas, il y a toujours une seule rame qui peut avoir un problème et être à l'origine du dysfonctionnement. Mais toutes les coupures de courant ne sont pas initiées par les conducteurs. Les alarmes ne permettent pas d'identifier la station concernée par la cause de la perturbation. Il peut s'agir d'une borne d'alarme de quai dont on a tiré la poignée. Dans ce cas, l'information donnée n'est pas précise, elle informe le chef de régulation sur la zone concernée, à savoir la section électrique où se trouve la borne d'alarme. Cette information est à construire lors du diagnostic.

3 LE DIAGNOSTIC : RECHERCHER LA CAUSE DE LA PERTURBATION

3.1 La recherche de la cause

La détection permet d'identifier la nature de la perturbation, mais l'opérateur doit ensuite identifier la cause de cette perturbation, pour la supprimer et en limiter les conséquences pour les voyageurs. Pour cela, il met en œuvre une prise d'informations lui permettant de construire le diagnostic causal sur la situation.

3.1.1 Diagnostic délégué au terrain ou réalisé par l'opérateur

Il existe deux possibilités pour la recherche de la cause de la perturbation :

- Soit le chef de régulation réalise lui-même le diagnostic sur la cause de la perturbation grâce aux outils dont il dispose dans la salle du PCC,

²⁷ Disjonction d'alarme : coupure de courant due à l'actionnement d'un rupteur d'alarme, dispositif situé en ligne, dans les tunnels, sur les quais et dans les stations, qui permet de couper le courant rapidement en tirant sur une poignée. Une lampe témoin violette appelé "avertisseur d'alarme" s'allume sur le TCO pour signaler la coupure à partir de ce dispositif et donne une indication sur la sous-section électrique concernée. La barre traction de la section s'allume, les boutons d'alimentation clignotent ou s'allument au rouge, tous les DSO s'allument et l'alarme sonore retentit.

²⁸ Disjonction d'intensité : il s'agit d'une micro-coupure de l'alimentation sur une partie de la ligne. La barre traction du TCO s'allume au rouge et l'alarme sonore retentit moins d'une seconde.

²⁹ Incident ligne : coupure de courant générale sur toute ou partie de la ligne qui apparaît au chef de régulation sous la forme de l'allumage de la barre traction du TCO, une alarme sonore retentit et les boutons d'alimentation clignotent. Un incident ligne peut survenir soit à la suite de 3 disjonctions d'intensité consécutives en moins de 5 secondes, soit à cause d'une anomalie plus en amont dans l'alimentation électrique.

- Soit il supervise la recherche d'indices sur le terrain en guidant les opérateurs qui sont sur place.

Le choix de la réalisation du diagnostic ne semble pas lié au type de situation simple ou complexe. Cependant, nous supposons que si les situations complexes sont aussi celles au cours desquelles il y a une coupure de courant, dans ce cas, seul le chef de régulation au PCC a une vue globale et peut intervenir sur l'alimentation électrique de la ligne. Les conducteurs peuvent identifier une coupure de courant qui les concernent directement, ils ont une vue partielle, limitée à la section d'alimentation dans laquelle ils circulent. Nous mettons donc en relation la présence d'une coupure de courant avec la réalisation du diagnostic sur la cause de la perturbation (tableau 68).

Tableau 68 : réalisation du diagnostic en fonction de la présence d'une coupure de courant

		Présence d'une coupure de courant		
		non	oui	Total
Diagnostic	Réalisé par le chef de régulation	1	2	3
	Délégué à un intervenant du terrain	7	0	7
	total	8	2	10

Pour les deux situations observées avec coupure de courant, c'est le chef de régulation, qui réalise le diagnostic sur la cause de la perturbation. Lorsqu'il n'y a pas de coupure de courant, c'est le terrain qui doit mener le recueil d'informations, guidé par le chef de régulation qui lui, dirige l'investigation.

La mise en relation du mode de détection de la perturbation et de la réalisation du diagnostic va dans le sens de ce premier résultat (tableau 69).

Tableau 69 : mode de détection en fonction de la réalisation du diagnostic

		Mode de détection de la perturbation		
		Alarme ou information issue du TCO	Information reçue d'un autre opérateur	Total
Diagnostic	Réalisé par le chef de régulation	2	1	3
	Délégué à un intervenant du terrain	0	7	7
	total	2	8	10

Lorsque c'est un conducteur qui informe de la présence d'une perturbation, dans la majorité des situations, c'est aussi par lui que passe le chef de régulation pour réaliser le diagnostic. Le conducteur qui a détecté la perturbation est sur place, il peut récupérer les informations pertinentes pour le diagnostic.

C'est également dans les deux situations observées comportant une coupure de courant que le chef de régulation détecte lui-même la perturbation.

3.1.2 Lien entre la réalisation du diagnostic et sa durée

Nous cherchons à identifier la relation entre le mode de réalisation du diagnostic et l'impact sur la durée du diagnostic. Nous pouvons supposer que lorsque le diagnostic est délégué au terrain, c'est-à-dire lorsque le chef de régulation doit demander aux intervenants sur place de lui transmettre les informations sur la situation, le diagnostic est plus long que lorsqu'il peut être réalisé directement à partir du PCC. Pour cela, nous mesurons la durée du diagnostic grâce au délai écoulé entre le début de la perturbation et la connaissance de la cause de la perturbation (tableau 70).

Tableau 70 : délai de réalisation du diagnostic en fonction de la personne qui le réalise

		Délai entre le début de la perturbation et la connaissance de la cause			
		Moins de 2 minutes	Plus de 2 minutes et moins de 5 minutes	Plus de 5 minutes	Total
Diagnostic	Réalisé par le chef de régulation	2	1	0	3
	Délégué à un intervenant du terrain	0	6	1	7
	total	2	7	1	10

Le diagnostic est plus long lorsque le chef de régulation doit le réaliser de manière indirecte, en guidant les recherches sur le terrain. Nous pouvons expliquer ce phénomène par la nécessité pour le chef de régulation de faire appel à des intermédiaires. Les temps de déplacement, de recueil et de transmission des informations au PCC sont des facteurs qui vont influencer la durée du diagnostic. C'est une des caractéristiques de ce type de situations où la relation entre l'opérateur et le système qu'il régule est médiatisée par d'autres opérateurs.

La présence d'intermédiaires entre le chef de régulation et le système devrait avoir pour conséquences un allongement de la durée de l'interruption de trafic par rapport à la durée totale de la perturbation, lorsque le diagnostic est délégué au terrain. Ce qui est bien le cas (tableau 71).

Tableau 71 : réalisation du diagnostic et proportion de l'interruption par rapport à la durée totale

		proportion d'interruption du trafic par rapport à la durée totale de la perturbation (en %)		
		Inférieure à 50%	Supérieure à 50%	Total
Diagnostic	Réalisé par le chef de régulation	3	0	3
	Délégué à un intervenant du terrain	4	3	7
	total	7	3	10

Cependant, en raison de la complexité de la situation, il est aussi possible que la nature même de la perturbation ait une influence sur la durée du diagnostic, au même titre que les moyens employés pour identifier la cause de la perturbation.

3.1.3 Une organisation invariante de la recherche de la cause

Nous avons analysé la manière dont le chef de régulation recherche ou fait rechercher les informations nécessaires à l'identification de la cause de la perturbation. Nous avons relevé dans les protocoles quelles étaient les personnes contactées par le chef de régulation, l'ordre, la position et le statut des personnes contactées et les moyens utilisés.

Nous observons pour les 10 situations analysées que le chef de régulation réalise le diagnostic ou le fasse réaliser, une première **organisation invariante** de la recherche de la cause de la perturbation, qui s'appuie sur la séquence d'activité suivante :

Séquence "recherche de la cause"
<ul style="list-style-type: none"> • Localisation des rames situées dans la zone de la perturbation,
<ul style="list-style-type: none"> • Appel vers le conducteur de la rame directement concernée par la perturbation,
<ul style="list-style-type: none"> • Appel vers les rames en amont et en aval de la perturbation, dans la zone de la perturbation (soit le chef de régulation nomme les rames individuellement par leur numéro, soit fait un appel global par zone entre deux stations),
<ul style="list-style-type: none"> • Appel des rames sur la voie opposée, dans la zone de la perturbation,

Cette organisation invariante des communications avec le terrain s'appuie sur la localisation des rames par rapport à la perturbation.

Cette activité nécessite le recours à :

- l'artefact TCO qui donne la position et les numéros de chaque rame en circulation et permet de sélectionner les interlocuteurs, de vérifier leur localisation
- les artefacts THF et téléphone qui permettent de joindre ces interlocuteurs.

Nous avons observé une évolution dans la recherche d'informations :

- **Première phase**

La recherche d'informations se fait de proche en proche. Elle est basée sur la proximité physique des intervenants avec la perturbation. Le chef de régulation interroge les conducteurs les plus proches du lieu de la perturbation, dans les stations ou interstations en amont et en aval mais aussi le conducteur dans la même station, sur la voie opposée.

Nous trouvons dans les autoconfrontations, des éléments qui traduisent le recours à ce mode de recherche : *"la première chose qu'on cherche à faire c'est savoir d'où ça vient, donc on*

*contacte les **personnes qui sont dans le secteur** et qui peuvent donner des informations. Mais on appelle d'abord les conducteurs car ce sont les **plus proches du terrain**".*

Lorsque cette première séquence d'activité permet d'établir le diagnostic, le chef de régulation passe à la suppression de la cause (observé dans 3 situations perturbées sur 10).

- **Deuxième phase**

Si cette première phase ne permet pas d'établir le diagnostic, le chef de régulation doit élargir ses recherches et déléguer le diagnostic au terrain. C'est ce que nous avons observé dans les 7 situations où le diagnostic est délégué au terrain.

Le chef de régulation met en œuvre des appels vers les intervenants de la ligne qui ne sont pas sur place mais peuvent soit se déplacer, soit envoyer d'autres personnes susceptibles d'établir le diagnostic. Il s'agit d'une **recherche élargie**, car les appels sont orientés par les connaissances qu'a le chef de régulation des fonctions des autres intervenants de la ligne qui seront capables de rechercher la cause de la perturbation.

En premier lieu, le chef de régulation appelle le chef de départ situé dans l'un des PML de la ligne, car c'est grâce à lui qu'il peut contacter une partie des personnes à envoyer sur place (sous-chef de terminus, contremaître-visiteur, conducteur...) :

*- "là, j'appelle le PML pour qu'il envoie le sous-chef sur le train qui arrive, comme ça lui **il fera une visite de matériel et il me dira s'il y a quelque chose de grave, s'il faut garer le train**".*

- "là, j'appelle la station car il y a des stations où il y a un pupitre qui permet d'identifier quel est le rupteur d'alarme qui est actionné. Si c'est dans leur secteur, ils me diront tout de suite où il est. Mais c'est aussi parce qu'ils en ont un qu'ils peuvent actionner eux-mêmes et dans ce cas, ils me disent tout de suite, que c'est de chez eux que ça vient".

Cette recherche s'applique lorsque les indices immédiats n'ont pas permis d'établir la cause de la perturbation. La recherche d'informations élargie s'appuie sur les personnes capables de trouver rapidement l'information manquante, en se rendant sur place ou les personnes disposant des connaissances nécessaires pour proposer et tester les hypothèses émises sur la cause de la perturbation.

Par exemple, lorsque le chef de régulation n'obtient pas assez d'informations pour poser un diagnostic clair lors d'une coupure de courant, il interroge l'agent du PCE³⁰ pour avoir des informations complémentaires sur l'alimentation en énergie électrique de traction. Il peut aussi

³⁰ PCE = poste de commandement électrique qui gère l'alimentation générale du réseau et la transformation du courant fourni par EDF en courant utilisable par le métro.

contacter le chef de départ et lui demander d'envoyer le sous-chef de terminus sur place faire le diagnostic lorsque le conducteur d'une rame ne peut l'établir avec son livre de procédures.

Nous avons interrogé les chefs de régulation sur le chef de départ qu'ils contactent afin d'identifier une relation entre la localisation de la perturbation et le chef de départ contacté. Lors des entretiens, les opérateurs ont découpé la ligne en trois parties et différencié le PML d'expédition d'où part la rame, du PML de réception, où arrive la rame (tableau 72).

Tableau 72 : PML contacté en fonction de la zone de la ligne où se trouve la perturbation

		PML contacté			
		Sur voie d'expédition	Sur voie de réception	aucun	Total
Zone concernée par la perturbation	Proche du terminus d'expédition de la rame	2	0	0	2
	Proche du terminus de réception	0	6	1	7
	Milieu de ligne	0	0	1	1
	total	2	6	2	10

Lorsque la perturbation est proche du terminus qui vient d'expédier la rame impliquée dans la perturbation, c'est le PML d'expédition qui est contacté. De même, lorsque la perturbation a lieu près du terminus de réception ou en milieu de ligne, c'est le PML de réception qui est contacté.

Nous avons donc observé **deux organisations invariantes** de l'activité :

- la première que nous appellerons "**recherche de proximité**",
- la seconde que nous appellerons "**recherche élargie**", qui inclut la première séquence et qui la complète par des appels vers des intervenants qui ne sont pas encore sur place.

Cette organisation invariante de l'activité de recherche de la cause de la perturbation s'appuie sur une représentation des situations perturbées qui suppose que les rames situées dans le secteur de la perturbation sont de bonnes sources d'informations. Les chefs de régulation mettent en place une recherche des indices immédiats sur la situation qui permettent de reconnaître une situation habituelle. La situation étant dynamique, il est nécessaire de saisir toute information susceptible d'éclairer le diagnostic avant que cette situation évolue. Les opérateurs du PCC disposent d'un schème qui guide leur recherche, s'appuyant sur une représentation des situations perturbées habituelles.

Lorsque ces différents appels ont permis de recueillir assez d'informations pour identifier la cause de la perturbation, le chef de régulation passe à la suppression de la cause.

3.1.4 Un schème d'action instrumentée

Nous avons vu que la première séquence d'activité, appelée "**recherche de proximité**" s'appuie sur l'identification des numéros de rames concernées directement ou indirectement par la perturbation et sur la recherche d'informations auprès des personnes sur le terrain.

Pour cette séquence, les opérateurs disposent de deux instruments redondants constitués :

- Soit des artefacts TCO et THF,
- Soit du téléphone trafic³¹ (situé en tête de chaque quai, à chaque station de la ligne). Lorsque le THF ne fonctionne pas, il est remplacé par le téléphone trafic.
- Et du schème d'utilisation "regarder le TCO dès la détection d'une situation perturbée pour identifier la localisation des rames, appeler les rames par THF en les nommant par leur numéro".

Le schème mis en œuvre consiste à localiser les rames sur le TCO et sélectionner la station du téléphone trafic où se trouve la rame à contacter, puis appuyer sur le bouton d'appel. L'opérateur du PCC utilise alors un autre instrument, formé de l'artefact TCO et du téléphone trafic. Cette redondance des fonctions entre les artefacts va dans le sens de l'existence d'un système d'instruments, au sens où le définit Rabardel (1995). En effet, si l'on retire un artefact de la situation et que l'action n'est pas empêchée, c'est bien parce qu'il y a redondance des fonctions de plusieurs instruments. Il s'agit là d'une partie du système d'instruments des chefs de régulation.

La seconde séquence d'activité, appelée "**recherche élargie**" s'appuie sur un instrument composé :

- des artefacts TCO, THF et le téléphone direct³² avec les autres intervenants (PML),

³¹ Le téléphone trafic est un des outils de téléphonie, situé sur le pupitre de commande du chef de régulation. Il est composé d'un haut-parleur et d'un micro et les touches du pupitre qui servent aussi à la commande des Départs sur Ordre représentant chaque station permettent de sélectionner la station que l'on veut appeler. Sur le terrain, on trouve un combiné en tête de chaque quai, à chaque station, en liaison directe avec le PCC. Il permet aux conducteurs d'appeler ou d'être joint lorsque le THF de leur rame ne fonctionne plus.

³² Le téléphone direct est un des outils de téléphonie, composé d'un combiné et d'une platine comportant des touches préprogrammées permettant de joindre directement les interlocuteurs du chef de régulation.

- du schème d'utilisation de ces artefacts "identifier la localisation de la perturbation, les rames concernées et le PML à contacter en fonction de la localisation de la perturbation puis appeler ce dernier en appuyant sur le bouton du téléphone ".

3.1.4.1 *Lien entre la réalisation du diagnostic et la recherche de la cause*

Nous mettons en relation la séquence invariante observée pour la recherche de la cause avec la personne qui réalise le diagnostic (tableau 73).

Tableau 73 : recherche de la cause et réalisation du diagnostic

		Séquence d'activité pour la recherche de la cause		
		Recherche de proximité puis recherche élargie	Recherche de proximité	Total
Diagnostic	Délégué à un intervenant du terrain	2	5	7
	Réalisé par le chef de régulation	3	0	3
	total	5	5	10

Dans 7 situations, le diagnostic est délégué au terrain par le chef de régulation. Il ne le réalise donc pas directement à partir des outils dont il dispose au PCC.

Sur ces 7 situations, la recherche de la cause s'appuie sur une recherche élargie pour 2 d'entre elles. Dans ces 2 situations, une première recherche en interrogeant les conducteurs reste infructueuse, le chef de régulation a recours à la recherche élargie. C'est soit le chef de départ qui permet de faire remonter l'information sur la cause de la perturbation (1 situation), soit cette cause reste non identifiée et la perturbation se termine sans savoir quelle en était la cause (1 situation).

Dans 3 situations, le diagnostic est réalisé par le chef de régulation avec une recherche élargie. C'est lui qui identifie sur son TCO, dans 2 des 3 situations, que c'est l'actionnement d'un rupteur d'alarme qui a causé la coupure de courant. Le chef de régulation fait appel aux intervenants du terrain en utilisant la téléphonie, pour rechercher la personne qui a actionné le rupteur d'alarme. C'est lui qui organise les recherches qui l'amènent à identifier l'agent de la RATP qui est intervenu pour protéger des voyageurs en situation dangereuse.

Dans les 5 situations où la recherche de proximité permet d'identifier la cause de la perturbation, ce sont les conducteurs qui ont fait remonter l'information concernant la cause de la perturbation, sans que le chef de régulation organise la recherche.

La recherche de proximité est donc très liée aux indices disponibles à pied d'œuvre et identifiés très rapidement par les conducteurs, premiers témoins sur le terrain.

3.1.4.2 Lien entre la recherche de la cause et le type de situation

Nous mettons ensuite en relation la séquence d'activité observée et le type de situation (tableau 74).

Tableau 74 : séquence d'activité observée pour la recherche de la cause et type de situation

		Type de situation		
		simple	complexe	Total
Séquence d'activité observée pour rechercher la cause de la perturbation	Recherche de proximité	3	2	5
	Recherche de proximité puis recherche élargie	2	3	5
	total	5	5	10

Nous ne pouvons pas statuer sur ce point, mais nous pensons que les opérateurs ont plus souvent recours à la recherche élargie pour les situations complexes que pour les situations simples, ces dernières étant plutôt caractérisées par une identification de la cause basée sur la recherche de proximité. En effet, si la recherche élargie n'apparaît que lorsque la recherche de proximité n'a pas permis d'identifier la cause de la perturbation en se fondant sur les indices disponibles en premier lieu, c'est que la situation traitée est plus complexe qu'il n'y paraît. La recherche élargie est mise en œuvre lorsque le chef de régulation se rend compte qu'il n'est pas dans une classe de situation simple, aisément identifiable, d'où le recours aux intervenants capables de pousser plus avant les recherches.

Une analyse sur un échantillon de situations plus important permettrait d'apporter une réponse plus fiable ainsi que le croisement avec le critère de présence d'une coupure de courant.

3.2 La suppression de la cause de la perturbation

Une fois que la cause de la perturbation est identifiée, le chef de régulation passe à la phase de suppression de cette cause, dans le but de rétablir le trafic normal. Le chef de régulation dispose d'une panoplie d'actions qui vont consister soit à agir directement sur la ligne, comme par exemple la manipulation de l'alimentation électrique, soit à agir par l'intermédiaire d'autres personnes qui elles sont sur le terrain.

Par exemple, le chef de régulation peut demander au chef de départ dans l'un des terminus de changer la rame qui vient d'être impliquée dans une perturbation causée par un problème de matériel roulant.

D'après les documents de formation, le chef de régulation intervient directement pour toute perturbation impliquant une coupure de courant ou non, pour laquelle il y a interruption du trafic. C'est lui qui doit donner son feu vert pour la reprise du trafic parce qu'il :

- dispose des commandes à distance (c'est le cas pour les coupures de courant),
- est en contact avec les interlocuteurs habilités à autoriser la reprise (par exemple l'officier de police judiciaire en cas d'accident grave de voyageur),
- centralise l'information sur les conditions de reprise du trafic (par ses contacts téléphoniques et THF).

3.2.1 Intervention du chef de régulation

Nous commençons par identifier si le chef de régulation intervient ou non dans la suppression de la cause de la perturbation (tableau 75).

Tableau 75 : intervention du chef de régulation pour supprimer la cause en fonction du type de situation

		Type de situation		
		simple	complexe	Total
Intervention du chef de régulation pour supprimer la cause de la perturbation	non	3	1	4
	oui	2	4	6
	total	5	5	10

Le chef de régulation intervient directement plus souvent pour supprimer la cause de la perturbation dans les situations complexes que dans les situations simples. Deux des 4 situations complexes où le chef de régulation intervient directement pour supprimer la cause de la perturbation comportent une coupure de courant.

Nous pouvons expliquer ce résultat par le fait que les conducteurs et les intervenants de terrain n'ont pas accès à certaines interventions qui doivent être réalisées à partir du PCC. En particulier, dans les deux situations avec coupure de courant, lorsque la cause est supprimée et le rupteur d'alarme est remis en place sur le terrain, c'est le chef de régulation qui doit réalimenter la section électrique à partir des commandes d'alimentation au TCO. C'est le chef de régulation qui a la dernière main, c'est son action qui valide et permet la reprise du trafic.

Cependant, dans 6 situations sur 10, c'est un conducteur qui permet la suppression effective de la cause de la perturbation, que le chef de régulation intervienne ou non pour aider à supprimer la cause (tableau 76).

Tableau 76 : intervention du chef de régulation et suppression de la cause de la perturbation

		Agent qui a effectivement supprimé la cause de la perturbation				
		Chef de régulation	Chef de départ	Conducteur	Personne	Total
Intervention du chef de régulation pour supprimer la cause de la perturbation	non	0	0	3	1	4
	oui	1	1	3	1	6
	total	1	1	6	2	10

Ce résultat montre le rôle des conducteurs à la fois dans l'aide au diagnostic et dans la résolution des perturbations, puisque ce sont eux les premiers sur place, ils ont la possibilité d'intervenir très vite. Cela signifie également qu'ils sont très exposés lors des situations perturbées.

3.2.2 Intervention du chef de régulation et type de recherche de la cause

Nous cherchons maintenant à identifier si l'intervention du chef de régulation est liée à un type de recherche de la cause (tableau 77).

Tableau 77 : intervention du chef de régulation en fonction du type de recherche de la cause

		Séquence d'activité observée pour rechercher la cause de la perturbation		
		Recherche de proximité	Recherche de proximité puis recherche élargie	Total
Intervention du chef de régulation pour supprimer la cause de la perturbation	non	4	0	4
	oui	1	5	6
	total	5	5	10

Le chef de régulation intervient plutôt pour supprimer la cause de la perturbation dans les situations où il y a eu une recherche de cette cause "élargie". Nous pouvons expliquer ce phénomène par le fait que lorsque la recherche de proximité a suffi pour établir le diagnostic causal, c'est le conducteur lui-même qui est en mesure de supprimer la cause de la perturbation. Par exemple, lorsqu'un frein de secours est actionné par un voyageur qui a raté sa station de métro, le conducteur n'a qu'à réarmer le frein de secours et repartir, il n'a pas besoin de l'intervention du chef de régulation, ni pour établir le diagnostic, ni pour supprimer la cause de la perturbation.

Nous identifions deux stratégies qualifiées comme suit :

- **Stratégie "non interventionniste"** observée dans 4 situations sur 10 : le chef de régulation met en place une recherche de proximité et n'intervient pas dans la suppression de la cause. Dans les situations traitées avec une stratégie non interventionniste, le chef de régulation a un statut de superviseur qui valide l'application de procédures appliquées par

les intervenants de proximité. Sa tâche consiste à vérifier que la résolution de la perturbation suit le déroulement prévu et habituel.

- **Stratégie "interventionniste"** observée dans 5 situations sur 10 : le chef de régulation met en place une recherche élargie et intervient dans la suppression de la cause de la perturbation. Dans les situations traitées avec une stratégie interventionniste, le chef de régulation est amené à coordonner les actions menées sur le terrain car il est le seul à disposer d'une vision d'ensemble qui lui permet de créer un réseau d'intervenants adapté à la situation. De plus, il dispose de l'accès à l'alimentation électrique de la ligne et il est le seul à pouvoir décider en dernier lieu de remettre le courant ou non dans une section ou une sous-section, à la suite d'une coupure de courant.

Reste une situation où le chef de régulation identifie la cause par une recherche de proximité et intervient aussi dans la suppression de la cause. Il s'agit d'une situation où c'est un autre conducteur que celui directement impliqué qui permet l'identification de la cause et ce dernier n'est pas joignable par THF, donc le chef de régulation est obligé d'intervenir lui-même pour aider à supprimer la cause.

3.2.3 Intervention du chef de régulation et réalisation du diagnostic

Le chef de régulation intervient-il plus souvent pour supprimer la cause dans les situations où c'est lui qui a réalisé directement le diagnostic ? Nous cherchons maintenant à savoir s'il y a un lien entre l'intervention du chef de régulation pour supprimer la cause et la réalisation du diagnostic (tableau 78).

Tableau 78 : intervention du chef de régulation en fonction de la réalisation du diagnostic

		Diagnostic		
		Délégué à un intervenant du terrain	Réalisé par le chef de régulation	Total
Intervention du chef de régulation pour supprimer la cause de la perturbation	non	4	0	4
	oui	3	3	6
	total	7	3	10

Dans les 3 situations où le diagnostic est réalisé directement par le chef de régulation, celui-ci intervient aussi pour supprimer la cause. Par contre, lorsque le diagnostic est réalisé par les intervenants du terrain, dans 4 situations sur 7, le chef de régulation n'est pas intervenu pour supprimer la cause. Nous pouvons supposer que lorsque l'intervenant du terrain a identifié la cause de la perturbation, il est à même de prendre les mesures immédiates pour la supprimer, ce que l'on observe dans 4 situations contre 3 où ça n'est pas le cas.

Ce qui est confirmé par le tableau suivant (tableau 79) :

Tableau 79 : réalisation du diagnostic en fonction du type de stratégie

		Diagnostic		
		Délégué à un intervenant du terrain	Réalisé par le chef de régulation	Total
Type de stratégie	Interventionniste	2	3	5
	Non interventionniste	5	0	5
	total	7	3	10

Dans 5 situations sur 7 où le diagnostic est délégué au terrain, la stratégie adoptée est non interventionniste, ce qui signifie que le chef de régulation supervise à la fois la réalisation du diagnostic et la suppression de la cause, sans intervenir directement.

3.2.4 Type d'action entreprise pour supprimer la cause

Lorsque le chef de régulation intervient, nous examinons le lien entre le type d'action et le type de situation (tableau 80).

Tableau 80 : action du chef de régulation en fonction du type de situation

		Type de situation		
		simple	complexe	Total
Action du chef de régulation	aucune	4	1	5
	Demande/réalise la remise du courant	0	2	2
	Fait dégager la rame	1	2	3
	total	5	5	10

Les chefs de régulation ne font aucune intervention dans 4 situations simples sur 5. Par contre, ils interviennent dans 4 situations complexes sur 5. Les actions de suppression de la cause mises en œuvre par le chef de régulation traduisent l'objectif final de reprise du trafic. Elles sont orientées vers le rétablissement du flux des rames, soit par l'évacuation de la rame concernée (amener la rame à rejoindre le terminus et l'enlever de la circulation), soit en facilitant la remise du courant qui permettra de reprendre le trafic. Lorsque le chef de régulation n'intervient pas, c'est que les personnes sur le terrain sont capables de supprimer directement la cause et n'ont pas besoin d'une directive issue du PCC. En particulier, lors d'un stationnement suite à l'actionnement d'un frein de secours par un voyageur s'il n'y a pas besoin d'une intervention extérieure (telle que les secours), le conducteur est habilité à réarmer son frein de secours et doit rendre compte au chef de régulation qui autorise alors la reprise du trafic.

3.2.5 Suppression de la cause et mesures de surveillance

Le chef de régulation intervient dans certaines situations pour supprimer la cause. Il peut également prendre des mesures de surveillance après la fin de la perturbation pour s'assurer que la cause de la perturbation est bien supprimée et qu'elle ne risque pas de se renouveler.

Nous mettons en relation l'intervention du chef de régulation pour supprimer la cause et les éventuelles mesures de surveillance qu'il peut décider de mettre en place pour assurer un suivi (tableau 81).

Tableau 81 : interventions du chef de régulation pour la suppression de la cause en fonction des mesures de surveillance

		Intervention du chef de régulation pour supprimer la cause de la perturbation		
		non	oui	total
mesures de surveillance	Aucune intervention	3	1	4
	Demande à un agent de se rendre à pied d'œuvre	1	5	6
	Total	4	6	10

Dans 3 situations sur les 4 où le chef de régulation n'intervient pas pour supprimer la cause, il ne met pas non plus en place de mesure de surveillance particulière. Le chef de régulation estime que la cause ne risque pas d'avoir de conséquences ultérieures et sa suppression est définitive.

Dans une situation, il demande à l'un des intervenants d'effectuer une surveillance pour s'assurer de la disparition des symptômes de la perturbation, car il n'a pas identifié la cause avant la disparition du dégagement de fumée. Il choisit pourtant de mettre en place une surveillance pour éviter que la perturbation se renouvelle.

C'est aussi ce qui se passe lorsque le chef de régulation, après être intervenu pour supprimer la cause (6 situations sur 10) demande à un agent de se rendre sur place. Il s'agit de l'organisation d'une visite technique sur la rame, un changement du matériel roulant, l'envoi d'un agent sur place pour surveiller les voies. Ces interventions permettent au chef de régulation de s'assurer qu'il n'y a pas de risque de "récidive" de la perturbation.

3.2.6 Suppression de la cause et délai d'identification

Nous cherchons à identifier s'il existe une relation entre le délai qui sépare la connaissance la cause et sa suppression et la personne qui est intervenue effectivement pour supprimer la cause (tableau 82).

Tableau 82 : écart entre connaissance et suppression de la cause en fonction de la personne qui supprime la cause

		Intervenant qui a effectivement supprimé la cause de la perturbation				
		Conducteur	Chef de régulation	Chef de départ (PML)	Personne	Total
Ecart entre connaissance par le PCC et suppression de la cause de la perturbation	Pas de cause identifiée	0	0	0	2	1
	Cause connue par le PCC avant sa suppression	2	1	1	0	5
	Cause connue par le PCC après sa suppression	4	0	0	0	4
	total	6	1	1	2	10

Dans 4 situations sur 6 où c'est le conducteur qui identifie la cause, le chef de régulation prend connaissance de la cause après sa suppression. C'est un résultat qui va dans le sens d'une priorité accordée à la reprise du trafic, du côté des conducteurs comme de celui des chefs de régulation. En effet, le conducteur identifie et supprime la cause de la perturbation, puis ensuite, il rend compte au chef de régulation. Cela ne retarde pas la reprise du trafic, les informations sur la cause transmises au PCC par le conducteur permettent simplement d'établir le rapport journalier, mais ne conditionnent pas la reprise du trafic.

Dans 4 situations, la cause est connue avant sa suppression, car le chef de régulation participe à l'identification de cette cause et est partie prenante du diagnostic.

Pour 2 situations, il n'y a pas de cause identifiée.

3.3 Evaluation de la performance

Nous avons décrit les deux stratégies mises en œuvre pour identifier et supprimer la cause d'une perturbation. Nous savons que l'une des difficultés dans l'analyse de ce type d'activité de régulation de trafic est l'évaluation de la qualité de la régulation. Nous avons essayé de construire des indicateurs qui nous permettent d'évaluer la performance du traitement des situations perturbées.

Nous rappelons que la tâche de régulation, telle que nous l'avons définie pour le chef de régulation, consiste à identifier les perturbations et leurs causes, supprimer ces causes en limitant les effets sur le trafic et rétablir une situation conforme au plan de transport théorique.

Nous pouvons donc estimer que la qualité de la régulation peut se mesurer à la rapidité :

- d'identification de la (ou des) cause(s) de perturbation,

- du rétablissement du trafic après une interruption.

Ces deux objectifs de la tâche de régulation correspondent pour le chef de régulation au maintien en équilibre de la ponctualité (un train qui stationne prend du retard) et de la régularité (un train qui stationne modifie l'intervalle avec les trains précédents et suivants).

Nous avons construit trois indicateurs, que nous mettons en relation avec la stratégie de recherche de la cause de la perturbation :

- Le délai entre le début et l'identification de la cause de la perturbation,
- Le délai entre l'identification de la cause et la reprise du trafic,
- La proportion d'interruption du trafic par rapport à la durée totale de la perturbation.

3.3.1 Délai entre début de la perturbation et identification de la cause

La performance d'une stratégie peut être évaluée par le délai entre le début de la perturbation, et l'identification de la cause de la perturbation. En effet, nous supposons qu'une stratégie plus performante est liée à une identification rapide de la cause de la perturbation (tableau 83).

Tableau 83 : délai entre début et identification de la cause et type de stratégie de recherche

		Délai entre le début de la perturbation et l'identification de la cause			
		Moins d'1 minute 30	Entre 3 et 6 minutes	Pas de cause identifiée	Total
Type de stratégie de recherche de la cause	Interventionniste	3	0	2	5
	Non interventionniste	0	5	0	5
	Total	3	5	2	10

Dans 3 situations sur 5, la stratégie "interventionniste" s'accompagne d'une identification de la cause en moins d'1 minute 30, alors que les 5 situations traitées avec une stratégie "non interventionniste" s'observent avec une identification de la cause qui nécessite entre 3 et 6 minutes. Nous supposons que ce phénomène est du au fait que l'opérateur "interventionniste" peut identifier et supprimer la cause de la perturbation directement à partir des outils dont il dispose au PCC, sans intermédiaire.

Il reste deux situations pour lesquelles il n'y a pas d'identification de la cause, parce que dans les deux situations le symptôme a disparu avant d'identifier la cause (la fumée signalée a disparu, l'odeur de brûlé aussi), et le trafic rétabli.

3.3.2 Délai entre identification de la cause et reprise du trafic

La performance d'une stratégie peut également être évaluée par rapport au rétablissement du trafic suite à l'identification de la cause de la perturbation. Plus le trafic est vite rétabli, plus l'opérateur a été efficace (tableau 84).

Tableau 84 : délai de rétablissement du trafic

		Délai entre l'identification de la cause et le rétablissement du trafic			
		Moins de 2 minutes 30	Plus de 3 minutes	Pas de cause identifiée	Total
Type de stratégie de recherche de la cause	Interventionniste	0	3	2	5
	Non interventionniste	5	0	0	5
	Total	5	3	2	10

Dans 5 situations traitées avec une identification et une suppression de la cause non interventionniste, le trafic est rétabli moins de 2 minutes 30 après l'identification de la cause de la perturbation. Nous avons identifié que la stratégie non interventionniste correspondait à des situations où le diagnostic était réalisé par des agents sur le terrain. Il s'agit le plus souvent des conducteurs, qui sont à même d'intervenir sur place pour réarmer un frein de secours actionné dans une voiture de leur rame. Dans ce cas, la reprise du trafic est très rapide puisque toute l'action est réalisée par le même opérateur.

Dans 3 situations traitées avec une stratégie interventionniste, la reprise du trafic a lieu plus de 3 minutes après l'identification de la cause. Deux situations d'entre elles comportent une coupure de courant, ce qui nécessite une intervention sur le terrain (remettre en place les rupteurs d'alarme) et au PCC (remise sous tension de la section concernée). La gestion des situations comportant une coupure de courant implique des procédures particulières, la reprise du trafic est plus longue. La troisième situation nécessite une intervention sur le matériel une fois que l'on a identifié la cause de la perturbation, car le conducteur ne parvient pas à redémarrer son train.

3.3.3 Proportion de l'interruption de trafic par rapport à la durée totale

Le traitement d'une perturbation ne peut se réduire à la période d'interruption du trafic, soit parce qu'il n'y a pas toujours une interruption du trafic, soit parce que l'activité de traitement du chef de régulation déborde la période d'interruption. Nous avons donc calculé la proportion d'interruption de trafic par rapport à la durée totale de la perturbation. Nous supposons que plus la stratégie de l'opérateur est efficace, plus l'interruption de trafic sera courte par rapport à la durée totale de traitement de la perturbation.

Nous avons mis en relation la proportion d'interruption de trafic avec le type de stratégie (tableau 85).

Tableau 85 : pourcentage d'interruption du trafic en fonction du type de stratégie

		Pourcentage d'interruption de trafic par rapport à la durée totale de la perturbation		
		Inférieur à 30%	Entre 40 et 75%	Total
Type de stratégie de recherche de la cause	Interventionniste	3	2	5
	Non interventionniste	1	4	5
	Total	4	6	10

Dans 3 situations avec une recherche/suppression de la cause de type "interventionniste" sur 5, l'interruption du trafic représente moins de 30 % de la durée totale de la perturbation. Ceci ne nous permet pas de conclure sur la supériorité de la stratégie interventionniste en matière de rétablissement du trafic.

Dans 4 situations traitées avec une stratégie non interventionniste, l'interruption de trafic représente entre 40 et 75% du temps de traitement de la perturbation. Nous supposons qu'avec une stratégie non interventionniste, les délais dus à l'intervention d'intermédiaires peuvent allonger la durée d'interruption.

4 LA GESTION DU TRAFIC RESIDUEL

Le traitement d'une situation perturbée par le chef de régulation au PCC s'articule autour de deux tâches principales, l'identification et la suppression de la cause de la perturbation et la gestion du trafic résiduel. Cette dernière consiste à limiter les conséquences d'une perturbation sur le trafic, de manière à maintenir pour les voyageurs une qualité de service acceptable. La gestion du trafic résiduel se traduit par la mise en œuvre de manœuvres de régulation destinées à maintenir des intervalles réguliers entre les rames, priorité sur le plan commercial. C'est donc par ce moyen que le chef de régulation maintient en équilibre la dimension régularité du trafic.

Pour agir sur la régularité, le chef de régulation dispose de plusieurs manœuvres, dont le domaine d'action varie :

- **Action sur le temps d'arrêt en station.** Cette manœuvre consiste à retenir une rame en station en prolongeant volontairement la durée de son arrêt en station. L'ordre est donné au conducteur grâce à un signal installé en bout de quai, que le chef de régulation allume à partir de son pupitre de commande. Ce signal, 3 points lumineux clignotants en triangle, donne en s'éteignant l'autorisation au conducteur de quitter la station. Il s'agit du Départ

sur ordre ou DSO. Ce DSO est la manœuvre la plus utilisée pour rééquilibrer les intervalles entre les rames, c'est la manœuvre de gestion du trafic résiduel que nous avons observée le plus souvent dans notre échantillon, c'est pourquoi nous l'analysons particulièrement.

- **Action sur l'itinéraire**, qui consiste à modifier l'itinéraire d'une rame de manière à lui faire faire un demi-tour en ligne et la renvoyer dans l'autre sens sur la voie opposée, en utilisant les installations situées en certains points de la ligne. Cette manœuvre permet de rééquilibrer le nombre de rames sur les deux voies et de combler un intervalle trop important entre deux trains. Il s'agit de la manœuvre dite du "service provisoire" ou SP. Cette manœuvre est souvent utilisée, mais nous ne l'avons pas observée dans notre échantillon de situations.
- **Action sur le nombre de rames circulant sur la ligne**. Cette manœuvre consiste à demander au chef de départ situé dans le PML en amont d'une perturbation, de cesser d'envoyer des rames en ligne ou de garer certaines rames pour éviter un engorgement autour de la zone de la perturbation.
- **Action sur le type de course**, qui consiste à envoyer une rame sans voyageurs et sans arrêt en station, d'un point à l'autre de la ligne. Cette manœuvre permet de retirer du trafic une rame qui pose problème et risque de déséquilibrer les intervalles entre les rames. Cette manœuvre est appelée Haut le pied, elle est utilisée à la fois pour supprimer la cause d'une perturbation (une rame dont le matériel roulant pose problème), et pour régulariser les intervalles. Elle ne fait pas partie de notre échantillon, bien qu'elle soit courante.

4.1 Rôle dans le traitement des perturbations

Avant de décrire la gestion du trafic résiduel, nous souhaitons identifier si cette activité a un lien avec la complexité des situations traitées.

4.1.1 Délai entre la reprise du trafic et la fin de la perturbation

La gestion du trafic résiduel est mise en œuvre tout au long du traitement de la perturbation, y compris après la reprise du trafic pour revenir à des intervalles réguliers. Plus le trafic a été perturbé par la perturbation, plus la gestion du trafic résiduel est importante et se prolonge après la reprise du trafic.

Ce qui différencie l'importance quantitative du trafic résiduel dans le traitement des situations, c'est le temps consacré à celle-ci après la reprise du trafic. Nous avons donc quantifié la gestion du trafic résiduel en mesurant le délai entre la reprise du trafic et la fin du traitement de la perturbation. Nous la mettons en relation avec le type de situation (tableau 86).

Tableau 86 : délai entre reprise du trafic et fin de la perturbation en fonction du type de situation.

		Type de situation		
		simple	complexe	Total
Délai entre la reprise du trafic et la fin du traitement de la perturbation	Moins de 3 minutes	5	0	5
	Entre 5 et 20 minutes	0	5	5
	Total	5	5	10

Les situations complexes nécessitent un plus grand délai entre la reprise du trafic et la fin de la perturbation (entre 5 et 20 minutes pour les 5 situations complexes). Cela signifie que les situations complexes nécessitent plus de régulation du trafic résiduel pour revenir à un état stable que les situations simples. Pour ces dernières, dans les 5 situations observées, la fin du traitement de la perturbation intervient moins de 3 minutes après la reprise du trafic.

4.1.2 Nombre de voies concernées

Le chef de régulation doit gérer le trafic sur les deux voies de la ligne de métro. La gestion du trafic résiduel au cours d'une perturbation, en parallèle à la recherche et la suppression de la cause de la perturbation peut porter sur une seule voie ou sur les deux.

Par définition, gérer le trafic résiduel sur deux voies nécessite plus d'attention pour le chef de régulation que sur une seule voie, puisqu'il faut surveiller plus de rames, circulant dans deux sens différents. Nous cherchons à identifier si la gestion du trafic résiduel portant sur l'une ou les deux voies est à relier au type de situation (tableau 87).

Tableau 87 : nombre de voies concernées par la gestion du trafic résiduel et type de situation

		Type de situation		
		simple	complexe	Total
Nombre de voies concernées par la régulation du trafic résiduel	1 voie	4	2	6
	2 voies	1	3	4
	total	5	5	10

Les situations simples sont traitées le plus souvent avec une régulation du trafic résiduel sur une seule voie (4 situations sur 5). Nous en déduisons qu'une régulation du trafic sur une seule voie peut simplifier le traitement d'une situation perturbée. Pour les situations complexes, la tendance est moins marquée, sans doute en raison de la taille de l'échantillon, mais une situation peut être rendue complexe par de nombreux autres facteurs.

4.2 Les instruments de la gestion du trafic résiduel

Après avoir évalué l'importance de la gestion du trafic résiduel, nous nous intéressons à son déroulement proprement dit au cours du traitement de la perturbation et aux moyens qui lui sont associés.

Après la reprise du trafic, l'activité est orientée vers le retour des intervalles à la normale. L'activité de gestion du trafic résiduel consiste pour le chef de régulation du PCC à maintenir la régularité des intervalles ou éviter sa dégradation (pendant l'interruption de trafic), puis à la rétablir après la reprise du trafic. Le DSO³³, est l'artefact le plus utilisé pour intervenir sur les intervalles entre les rames. Pour cela, le chef de régulation dispose d'un moyen facile à mettre en place, c'est l'action sur le temps d'arrêt en station.

Nous avons observé une organisation invariante de cette activité de retenue des rames en station, qui nous permet d'inférer l'existence d'un schème de gestion du trafic résiduel. Ce schème d'action est instrumenté, comme nous allons le voir, grâce à l'artefact DSO. Nous allons donc analyser spécifiquement cet artefact et l'usage qui en est fait par les opérateurs.

4.2.1 Délai d'intervention

La gestion du trafic résiduel commence dès le début du traitement de la perturbation. Nous avons identifié la première action concernant le trafic résiduel pour chacune des perturbations, qui est, dans toutes les situations observées, l'arrêt en station d'une rame en amont ou en aval du lieu de la perturbation, par le biais du DSO.

Nous l'avons mis en relation avec le type de situations, de manière à identifier une relation entre le temps de mise en place de la régulation du trafic résiduel et le type de situation traitée (tableau 88).

Tableau 88 : délai de mise en place du premier DSO en fonction du type de situation

		Type de situation		
		simple	complexe	Total
Délai de mise en place du premier DSO	Allumage automatique	0	3	3
	Moins d'une minute	3	2	5
	Plus d'une minute	2	0	2
	total	5	5	10

Dans les situations complexes, la première action de régulation du trafic résiduel intervient très rapidement, soit de manière automatique (pour les 2 situations avec coupure de courant),

³³ Nous rappelons que le Départ Sur ordre ou DSO permet au chef de régulation de retenir les rames en station

soit de manière manuelle. Seules deux situations simples donnent lieu à une intervention plus tardive sur la régulation du trafic résiduel. Ce délai de réponse peut s'expliquer par l'absence d'urgence dans les deux situations simples observées : elles ont eu lieu en période creuse, l'intervalle est long, il n'y a pas de rames stationnant sous tunnel derrière la perturbation.

Le délai de mise en place de la régulation du trafic résiduel dépend également de l'intervalle pratiqué, puisque les chefs de régulation ne les allument que s'il y a présence de rames en amont et/ou en aval de la perturbation.

4.2.2 Un schème d'action instrumentée

Les autoconfrontations menées avec les opérateurs nous ont permis de supposer l'existence d'une organisation invariante de l'activité de gestion du trafic résiduel :

- "C'est en fonction du temps de stationnement et du moment où ça se passe. Pour éviter derrière que les trains entrent sous tunnel avec voyageurs, on met les DSO derrière et devant c'est au fur et à mesure que l'incident se prolonge... si ça se prolonge, on peut taper un peu plus loin. Plus l'incident se prolonge, plus on va taper loin et plus on pourra retenir de trains. Plus le nombre de trains retenus sera important et plus on aura préservé un intervalle assez régulier".

Nous avons donc recherché dans l'activité les traces de cette organisation invariante, puisque nous disposions de l'identification de toutes les rames sur lesquelles l'opérateur agit et du type d'action qui est mis en œuvre. Cela nous a permis de mettre en évidence une organisation invariante de l'activité de gestion des rames autour de la perturbation.

Nous avons construit pour chaque situation, à chaque moment de la perturbation, une représentation graphique de la position, du numéro de toutes les rames concernées par la perturbation et de celles concernées par la gestion du trafic résiduel.

Nous avons pu ainsi observer la reproduction de la séquence d'activité suivante :

- **Au début de la perturbation**, les opérateurs retiennent les rames en amont et en aval de la perturbation, en commençant par les rames les plus proches. La première rame retenue en station est située autant de fois dans la première station en amont qu'en aval.
- **Pendant la perturbation**, plus le temps passe et plus les rames retenues en station sont éloignées vers l'amont et vers l'aval. L'opérateur suit un mouvement de "tâche d'huile". Plus la perturbation est longue, plus le nombre de rames immobilisées est important. Le nombre de rames immobilisées est à son maximum juste avant la reprise du trafic.

- **A la reprise du trafic**, ce sont les rames placées juste en aval du lieu de la perturbation que les opérateurs libèrent en premier. Les rames placées en amont ne seront libérées que lorsque la rame la plus retardée (celle directement impliquée dans la perturbation) aura quitté son stationnement. Les rames en amont sont libérées en commençant par la rame train juste en amont de la perturbation.

Cette organisation invariante de l'activité s'appuie sur l'utilisation de l'artefact DSO pour retenir les rames en station. Tous les opérateurs, dans les 10 situations observées utilisent le DSO c'est pourquoi nous interprétons cette séquence d'activité comme un schème d'action instrumenté. Les opérateurs mobilisent l'instrument formé de l'artefact DSO et du schème de mise en place du trafic résiduel. La verbalisation suivante va dans le sens de notre interprétation en terme de schème :

- "... si on a beaucoup de trains on procède comme ça : c'est 1 minute, on retient un train de plus, 2, 3 minutes etc. on ajoute une rame en amont et en aval à chaque minute supplémentaire... on essaie de ne pas retenir au-delà de 5 minutes une rame en aval".

Les opérateurs nous ont expliqué lors des autoconfrontations qu'ils avaient pour objectif de retenir le plus grand nombre de rames possible pendant l'interruption de trafic, de manière à "figer" la situation pour éviter que les intervalles entre les rames se dégradent.

L'objet de l'activité est constitué de la dimension "régularité" du trafic, c'est-à-dire la régularité des intervalles entre les rames. Le but est d'éviter que les intervalles entre les rames deviennent irréguliers du fait de l'interruption du trafic, c'est-à-dire maintenir la régularité. Les rames en aval de la perturbation ne doivent pas creuser l'intervalle avec la rame qui stationne et les rames en amont ne doivent pas se retrouver trop proches les unes des autres du fait de l'arrêt du trafic. Le moyen c'est de retenir les rames à la fois en amont et en aval, tout au long de l'interruption de trafic.

Après la reprise du trafic, l'objectif est de rétablir, si besoin est, la régularité des intervalles pour revenir à une situation normale. Pour cela, les opérateurs libèrent peu à peu les rames en éteignant les DSO (tableau 89).

Tableau 89 : évolution des DSO après la reprise du trafic, en fonction du type de situation

		Type de situation		
		simple	complexe	Total
Evolution des DSO après reprise du trafic	Augmentation du nombre de DSO allumés	0	1	1
	Diminution du nombre de DSO allumés	5	4	9
	total	5	5	10

La tendance est à la diminution du nombre de rames retenues en station, puisque dans 9 situations sur 10, dès la reprise du trafic, le nombre de DSO diminue, ce qui confirme la séquence d'activité décrite précédemment. Pour une seule situation, l'opérateur retient une rame supplémentaire en station, après la reprise du trafic.

Les indicateurs utilisés pour libérer les rames du DSO sont exprimés par les opérateurs, soit en termes temporels "*je retiens le train 1 minute*", soit en termes spatio-temporels "*j'attends que le train précédent ait quitté la station en aval*". La deuxième méthode est la plus souvent utilisée d'après les opérateurs car en situation perturbée, lorsqu'il y a beaucoup de rames à retenir, il est plus facile de s'appuyer sur le TCO et sur le déplacement des rames que sur l'horloge. La durée de retenue des trains en station est également modulée par la connaissance des temps de parcours entre les stations. Cette méthode a aussi pour avantage de ne pas libérer trop tôt les rames et risquer de les faire stationner sous tunnel.

4.2.3 Choix de la gestion du trafic résiduel

Il existe une règle non écrite selon laquelle il vaut mieux choisir des stations de correspondance pour immobiliser les rames, ce qui permet aux voyageurs de poursuivre leur trajet en prenant d'éventuelles correspondances. Mais l'application de cette règle n'est pas systématique :

- "tu vois, c'est pas une grande station à part la correspondance avec la 8... mais parfois c'est bien aussi de retenir... enfin c'est pas bien pour les voyageurs parce que c'est mieux de les retenir dans les stations de correspondance, mais parfois c'est bien aussi de retenir même dans une petite station, plus on va faire de retenue sur un nombre important de trains et mieux ça va passer après"

Plus la perturbation est longue, plus le nombre de rames retenues en station est important, cependant, l'usage de l'artefact DSO ne peut se prolonger trop longtemps :

- "Là, c'est 8h47, ça fait déjà 3' que ça stationne, faudrait pas que ça dure trop. On essaie de pas retenir les rames plus de 5 minutes en station parce que sinon, les voyageurs..."

D'autres raisons interviennent également dans le choix d'utiliser d'autres manœuvres de régulation, comme la proximité d'un terminus ou d'installation de service provisoire permettant de régulariser les intervalles en jouant sur le nombre de rames en ligne ou leur itinéraire.

Au début de ce paragraphe, nous avons décrit les différents moyens pour agir sur le trafic résiduel : action sur le temps de stationnement, le nombre de rames en ligne, l'itinéraire, le type de course. Nous pensons qu'il y a une progression dans l'utilisation de ces différents moyens mais nous n'avons pas pu l'observer.

Nous supposons cependant que lorsque l'action sur le temps de stationnement ne permet plus de gérer le trafic résiduel car la perturbation se prolonge, les opérateurs interviennent sur l'itinéraire des rames, en utilisant le service provisoire par exemple ou l'action sur le nombre de rames en ligne, en ayant recours au garage de certaines rames.

Les extraits issus de l'autoconfrontation vont dans le sens d'une organisation invariante du choix des manœuvres de régulation du trafic résiduel :

*- "Ce qui se passe, c'est que **si ça devait durer un peu plus longtemps**, là c'est encore 3 minutes, **on verra pour garer**. Pour débloquer la voie 1, on va garer à Mairie de Montreuil et faire avancer les trains au moins jusqu'au terminus. **Soit on les gare, soit on essaie de tourner devant la perturbation**. Par exemple, là à Nation. **On aurait pu tourner à Nation, un train de voie 1 à voie 2**. Ca aurait désengorgé mais ça n'aurait pas débloqué Nation/Mairie de Montreuil. Ca permettait aux trains d'avancer au moins jusqu'à Nation mais après pour débloquer nation/Mairie de Montreuil, il faut soit garer à Porte de Montreuil, soit les garer à Mairie de Montreuil."*

Il serait intéressant de développer l'analyse sur un plus grand nombre de situations perturbées de longue durée, de manière à observer l'évolution du choix des manœuvres de régulation du trafic résiduel.

4.2.4 Les rames stationnant sous tunnel

Une rame qui stationne sous tunnel est une rame qui est immobilisée entre deux stations, par respect de la signalisation d'espacement qui régleme l'écart entre les rames. Cette rame peut être amenée à stationner en dehors d'une station à cause d'une coupure de courant ou parce que la rame précédente est immobilisée dans la prochaine station ; elle occupe le circuit de voie et empêche les autres d'avancer.

Nous allons nous intéresser particulièrement aux situations comportant des rames stationnant sous tunnel. Dans 6 situations sur 10, il y a au moins une rame qui stationne sous tunnel avec des voyageurs lors de l'interruption de trafic.

Nous cherchons à savoir si une rame qui stationne sous tunnel est liée aux caractéristiques des situations :

*- "S'il n'a pas avisé tout de suite, ... si le train a pris un peu de retard au préalable, ça peut expliquer que le train de derrière est aux signaux et donc **il peut se trouver sous tunnel si le train précédent stationne.**"*

Ou si c'est plutôt la conséquence d'un type de traitement des situations perturbées, comme l'indique cet autre extrait d'autoconfrontation :

*- "Le train qui risque d'arriver sous tunnel le premier c'est le train de derrière celui qui stationne. Mais **il faut éviter que les trains de derrière stationnent sous tunnel** ...en principe, l'intervalle nous permet de retenir, mais si je n'ai pas le temps de mettre un DSO assez rapidement **pour empêcher un train de rentrer sous tunnel** alors c'est le train qui suit le train retardé qui est le plus difficile à.... **c'est celui qui risque d'être sous tunnel** car c'est pour lui qu'on a le moins de temps pour intervenir."*

4.2.5 La détection des rames stationnant sous tunnel

Les chefs de régulation identifient les rames stationnant sous tunnel grâce au TCO qui donne la position des rames en ligne. La détection est très rapide, en début de perturbation, puisque lorsque la perturbation est signalée ou détectée, le chef de régulation la situe sur la ligne en consultant le TCO. Là, il peut voir quelle rame est immobilisée et immédiatement derrière elle, s'il y a une autre rame qui n'est pas en station. un balayage du TCO permet de repérer les autres rames en cas de coupure de courant. L'identification de la présence de rames stationnant sous tunnel dépend donc de la rapidité de localisation du lieu de la perturbation.

Nous noterons cependant que le TCO donne une représentation déformée de la ligne, qui peut parfois prêter à confusion :

-"Là, on a l'impression qu'on a un train sous tunnel alors qu'il n'y en a pas. C'est une erreur, on a un train qui est vraiment à quai à St Philippe, bien qu'il soit affiché comme s'il était parti. C'est classique, c'est connu ça. Moi, je suis titulaire, je le sais, donc je m'y laisse moins piéger, logiquement je m'y laisse plus piéger mais le type qui connaît pas..."

Dans ce cas, l'ambiguïté de l'information va dans le sens positif, puisqu'il n'y a effectivement pas de rame sous tunnel. Cependant, le TCO étant le seul moyen actuel de détecter la présence de rame stationnant sous tunnel, sa fiabilité doit être assurée pour permettre aux opérateurs de

ne pas perdre de temps à vérifier ou valider la véracité d'une information. Un opérateur débutant ou non habitué à réguler la ligne peut risquer de perdre du temps à traiter ce stationnement sous tunnel alors qu'il n'y en a pas et passer à côté d'événements plus importants.

4.2.6 Le traitement des rames stationnant sous tunnel

Lors des autoconfrontations, les opérateurs évoquent les contraintes qu'impliquent le stationnement sous tunnel du point de vue de la complexité de traitement des situations, comme le montre cet extrait :

- "Même si ça dure 5 minutes, si j'ai un voyageur qui tire un frein de secours et saute sur les voies, je suis obligé d'évacuer tout le train et je pars pour 30 minutes, en heures de pointe 30 à 40 minutes d'évacuation. Alors que si je peux le bloquer dès le départ en station, je me préserve des répercussions. Mais parfois c'est un peu trop tard."

L'opérateur 1 confirme cette source d'incertitude et la difficulté de maîtriser la durée de la perturbation en cas de complication :

- "Dans un premier temps il faut y penser, surtout éviter de mettre des trains sous tunnel avec des voyageurs... parce qu'on sait jamais ce qui peut se passer par la suite, si on demande une coupure de courant pour visite du matériel etc. On maîtrise les voyageurs, parce que le problème c'est qu'un train qui stationne... si un train s'engage derrière avec voyageurs, ça peut durer une minute et c'est pas trop gênant mais si ça dure ¼ d'heure je vais avoir à gérer l'évacuation".

Les conséquences du stationnement sous tunnel pendant une perturbation sont donc triples :

- Un train sous tunnel est une source d'inconfort pour les voyageurs et le conducteur mais aussi un risque au niveau sécuritaire. C'est une **source d'incertitude** pour le chef de régulation quant au comportement des voyageurs.
- Des risques d'évacuation spontanée qui entraîne des personnes sur les voies susceptibles de circuler vers une zone où le courant n'est pas interrompu, la mise en danger de ces personnes si le courant n'est pas coupé dans la portion concernée
- La nécessité d'avoir du personnel disponible sur place pour prendre en charge les voyageurs, sachant que toute évacuation entamée doit être menée jusqu'au bout.

La présence de rame stationnant sous tunnel est une **source potentielle de complexité** des situations car elle entraîne des **risques** d'évacuation spontanée des voyageurs sur les voies, elle a un impact commercial négatif. Pour traiter les stationnements sous tunnel et éviter que

le risque potentiel ne se transforme en problème réel, les opérateurs mettent en place des **actions à la fois préventives et correctives**.

Nous n'avons pas observé de relation systématique entre la position du premier DSO placé par le chef de régulation et la présence d'une rame stationnant sous tunnel. Nous pouvons expliquer ce résultat par le fait que les opérateurs mettent en place deux types d'action, préventive et corrective, pour traiter ce phénomène. Ces actions ne sont pas toujours efficaces pour éviter le stationnement sous tunnel, mais elles permettent au moins de limiter les conséquences d'un tel stationnement.

4.2.6.1 *L'action préventive*

L'action préventive consiste à éviter qu'une rame quitte une station sans être sûr qu'elle pourra atteindre la suivante. Pour cela, le chef de régulation met en place, dès la détection de la perturbation, le premier DSO juste en amont du lieu de la perturbation, comme l'expliquent l'opérateur 2 et 3 lors des autoconfrontations :

- "tu vois c'est la 84 qui a un frein de secours, donc je lui mets un DSO derrière à Ranelagh, pour éviter que la rame suivante s'engage sous tunnel avec voyageurs et le premier DSO en partant de la gauche c'est pour la rame suivante, pour quand elle va arriver, qu'elle ne s'engage pas également sous tunnel."

- "tout de suite je mets le DSO derrière pour éviter que les trains s'engagent sous tunnel en interstation et comme on sait jamais combien de temps ça va durer et si un train est sous tunnel on sait jamais ce qui peut se passer".

Nous avons observé cette action dans 5 situations sur 10, mais elle n'est pas toujours efficace, car dans certains cas, elle arrive trop tard, la rame a déjà quitté la station.

4.2.6.2 *L'action corrective*

L'action corrective consiste à prendre des mesures pour limiter les risques occasionnés par le stationnement sous tunnel.

- La première action corrective, la plus fréquente, consiste à prévenir de façon nominative le conducteur de la rame stationnant sous tunnel et à lui demander de faire une annonce à ses voyageurs. C'est ce que nous avons observé dans 4 situations sur les 6 comportant une rame sous tunnel.
- La deuxième action corrective nécessite la proximité d'une installation permettant de faire passer une rame d'une voie sur l'autre, c'est-à-dire un service provisoire (SP). Elle

nécessite aussi qu'il n'y ait pas de coupure de courant. Elle consiste à faire passer la rame en station la plus proche du SP sur l'autre voie, pour permettre à la rame sous tunnel d'entrer en station. Cette manœuvre permet de rééquilibrer le nombre de rames sur les deux voies, et de supprimer le stationnement sous tunnel. Nous l'avons observée une fois.

- La troisième action corrective envisagée par les opérateurs nécessite du temps et des conditions particulières. Elle implique qu'il n'y ait pas de coupure de courant. Elle consiste à tenter une manœuvre dite de "dégagement de quai". La rame précédant celle qui stationne sous tunnel est en station. Le chef de régulation demande au conducteur d'évacuer les voyageurs à quai et de s'avancer, à vide, hors de la station. La rame suivante peut alors occuper la station. La rame qui stationne sous tunnel est sans voyageurs, ce qui permet de limiter les risques de complication. Nous l'avons également observée une fois.

4.2.7 Facteurs favorisant le stationnement sous tunnel

Nous avons analysé comment les chefs de régulation traitent les situations comportant des rames stationnant sous tunnel, mais nous cherchons également à identifier les facteurs qui favorisent le stationnement de rames sous tunnel en cas de perturbation. Pour cela, nous avons d'abord mis en relation la présence de rame sous tunnel avec les périodes de l'offre de transport où surviennent les perturbations (tableau 90).

Tableau 90 : présence de rames stationnant sous tunnel en fonction des périodes de l'offre de transport

		Période de l'offre de transport			
		Heures creuses	Période de transition	Heures de pointe	total
Présence de rames stationnant sous tunnel	Non	2	2	0	4
	Oui	0	3	3	6
	Total	2	5	3	10

Les périodes de pointe et de transition augmentent la probabilité de rames stationnant sous tunnel en cas de perturbation, puisque les 6 situations avec stationnement sous tunnel sont survenues à ces périodes.

Les situations de transition précédant les heures de pointe correspondent à une augmentation du nombre de trains en ligne, et une diminution des intervalles. Plus il y a de rames en ligne, plus l'intervalle entre elles est court et plus il y a de risques qu'une interruption de trafic entraîne un stationnement sous tunnel, car les rames se suivent de près.

Pendant ces périodes de transition, les intervalles sont irréguliers puisque l'on modifie le nombre de rames en ligne; C'est aussi un facteur favorisant le stationnement sous tunnel.

L'opérateur 3 nous signale dans une autoconfrontation une autre cause susceptible de contribuer au stationnement sous tunnel, c'est l'encombrement de la zone du terminus. Lorsque la manœuvre de retournement en terminus est ralentie (pour une raison ou une autre), le trafic est moins fluide à l'approche des terminus. Les rames sont amenées à s'entasser dans les stations précédant le terminus, la moindre interruption du trafic peut entraîner des stationnements sous tunnel. Nous avons testé cette hypothèse sur notre échantillon de situations sans pouvoir y apporter une confirmation puisque 3 des 6 situations observées comportant une rame stationnant sous tunnel ont lieu près de terminus de réception.

4.2.8 Impact sur la durée de l'interruption de trafic

Nous cherchons à savoir si la présence d'une rame stationnant sous tunnel est un facteur qui intervient sur la volonté des opérateurs de diminuer la durée de l'interruption de trafic (tableau 91).

Tableau 91 : durée de l'interruption de trafic en fonction de la présence de rame stationnant sous tunnel

		Durée de l'interruption de trafic			
		Entre 1 et 3 minutes	Entre 3 et 5 minutes	Plus de 5 minutes	total
Présence de rames sous tunnel derrière la rame stationnant	Non	1	1	2	4
	Oui	4	2	0	6
	Total	5	3	2	10

Six situations sur 10 avec une rame stationnant sous tunnel comportent une interruption du trafic plus courte que les situations sans rame sous tunnel. Nous pouvons interpréter comme un effet de l'action de l'opérateur, qui cherche d'autant plus à réduire la durée de l'interruption qu'il y a une rame stationnant sous tunnel. Nous ne pouvons pas valider cette hypothèse en nous appuyant sur les autoconfrontations, car la durée de l'interruption peut être attribuée à d'autres éléments.

5 SYNTHÈSE

Dans ce chapitre, nous avons étudié les stratégies des chefs de régulation du PCC.

Nous avons caractérisé les situations à partir d'entretiens et d'une analyse de l'activité, ce qui nous a permis de différencier deux types de situations :

- **les situations simples** : plutôt courtes, sans rame stationnant sous tunnel, elles surviennent pendant les périodes où l'offre de transport est stable, plutôt en milieu de ligne.

- **les situations complexes** : plutôt longues, comportant des rames stationnant sous tunnel, survenant pendant les périodes de transition où l'offre de transport est instable, et l'intervalle entre les rames est réduit. Elles ont lieu plutôt près des terminus.

Nous avons découpé et analysé la tâche de régulation de trafic telle qu'elle est organisée au PCC, en deux sous-tâches :

- la recherche et la suppression de la cause de la perturbation ou diagnostic causal,
- la gestion du trafic résiduel autour de la perturbation.

Nous cherchions à mettre en évidence :

- **des invariants de l'activité** en situation perturbée, sur le plan de la prise d'informations et de l'action,
- **la mobilisation d'instruments spécifiques** associés à l'activité pendant le traitement des situations perturbées,
- **l'existence de stratégies de régulation** équivalentes ou non entre elles sur le plan de la performance.

Dans un premier temps, nous avons mis en évidence une organisation invariante de la recherche de la cause de la perturbation qui s'appuie sur une séquence d'activité que nous appelons "recherche de proximité". Elle consiste à identifier et contacter systématiquement les intervenants localisés dans la zone de la perturbation. Une deuxième séquence d'activité appelée "recherche élargie" s'observe dans certaines situations. Elle comporte la première séquence et la complète par une recherche centrée sur les fonctions des intervenants et non plus sur leur localisation. La séquence de recherche "de proximité" est plutôt observée dans les situations où la recherche de la cause est déléguée au intervenants de terrain et supervisée par le PCC, et dans les situations simples. La recherche "élargie" est plutôt mise en œuvre lorsque le chef de régulation réalise directement la recherche de la cause, et dans les situations complexes. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que la recherche élargie n'est mise en œuvre que lorsque la recherche de proximité n'a pas permis d'identifier la cause de la perturbation, donc lorsque la situation devient complexe.

Ces organisations invariantes de l'activité nous ont permis d'inférer l'existence d'un schème d'action instrumenté partagé par tous les opérateurs observés. Nous avons décrit les instruments sur lesquels s'appuie la recherche de la cause.

Nous avons caractérisé l'activité de suppression de la cause de la perturbation, en fonction du type de situation. Il apparaît que les chefs de régulation interviennent plus directement pour supprimer la cause dans les situations complexes, qui ont nécessité une recherche "élargie" et dont la recherche de la cause a été réalisée directement par le chef de régulation que dans les situations simples. En effet, pour les situations simples, les intervenants de terrain rendent compte de leurs actions au chef de régulation et traitent directement la cause avec laquelle ils sont en contact direct. C'est pourquoi la cause de la perturbation est connue par le chef de régulation après sa suppression lorsque c'est un intervenant de terrain qui réalise le diagnostic.

De même, il apparaît que les chefs de régulation du PCC mettent plus souvent en œuvre des mesures de surveillance se prolongeant après la fin de la perturbation lorsqu'ils sont intervenus directement pour supprimer la cause. Ces mesures leur permettent d'assurer un suivi à long terme se prolongeant après leur intervention.

Nous avons deux grandes stratégies de recherche et suppression de la cause de la perturbation : interventionniste et non interventionniste.

- **La stratégie interventionniste** est utilisée lorsqu'une recherche de la cause "élargie" a été mise en œuvre et que le chef de régulation intervient directement pour supprimer la cause de la perturbation.
- **La stratégie non interventionniste** est plutôt utilisée avec une recherche "de proximité" et lorsque le chef de régulation n'est pas intervenu directement pour supprimer cette cause.

Dans un troisième temps, nous nous sommes intéressée à la gestion du trafic résiduel, activité menée en parallèle avec le traitement de la perturbation proprement dite.

Nous avons mis en évidence une organisation invariante de l'activité de gestion du trafic résiduel au cours du traitement des situations perturbées, que nous retrouvons chez tous les opérateurs observés. Elle consiste à retenir les rames en station en amont et en aval du lieu de la perturbation, puis à les libérer de manière progressive dans un ordre précis. Nous en avons déduit un schème d'action qui s'appuie sur un instrument composé des artefacts TCO et DSO et du schème de retenue/libération progressive des rames en station.

A partir de l'analyse des autoconfrontations, nous faisons l'hypothèse de l'existence d'une organisation invariante de l'activité à un niveau plus global, dans l'évolution du choix des manœuvres de régulation du trafic résiduel. Nous n'avons pas pu étudier cette progression sur notre échantillon de situations, mais il serait intéressant de développer l'analyse sur un échantillon plus large de situations variées.

Nous avons analysé le cas des rames stationnant sous tunnel dans la gestion du trafic résiduel car c'est un élément de complexité des situations qui amène les opérateurs à les traiter de manière spécifique. Nous avons identifié des actions préventives et correctives mises en œuvre par les chefs de régulation pour traiter ces rames, ainsi que les facteurs susceptibles de favoriser le stationnement sous tunnel en cas de perturbation.

Ce chapitre nous a permis d'analyser en détail une deuxième tâche de régulation complémentaire de celle réalisée en terminus, qui nous amène à caractériser plus précisément la tâche globale sous laquelle sont regroupées les activités de régulation de trafic. Nous avons mis en évidence des organisations invariantes de l'activité qui peuvent être interprétées en termes de schèmes d'action instrumentée, permettant ainsi d'orienter la conception des outils d'aide à la régulation.

Ces résultats nous ont permis de dégager des éléments d'analyse utiles pour l'évolution des outils mis à disposition des opérateurs. Nous les rappelons ici :

- La difficulté de détecter précocement les perturbations,
- L'impossibilité fréquente d'éviter le stationnement des rames sous tunnel,
- La nécessité d'identifier et de traiter rapidement le stationnement des rames sous tunnel,
- La dépendance du chef de régulation vis à vis des intervenants du terrain, concernant l'identification de la cause de la perturbation et sa suppression,
- L'impossibilité pour l'opérateur d'évaluer les résultats de sa propre action par des critères objectifs,
- L'impossibilité de programmer des actions de régulation,
- L'impossibilité pour l'opérateur de connaître la performance de sa stratégie de régulation, en fonction des situations.

Ces éléments d'analyse feront également l'objet d'une discussion dans le chapitre suivant, en regard des questions posées par l'entreprise et auxquelles nous répondrons dans le chapitre 7.

PARTIE 4

APPORTS A LA CONCEPTION ET DISCUSSION

INTRODUCTION

Nous avons présenté dans cette thèse l'analyse de l'activité de deux métiers chargés de réguler une ligne de métro dans le but de contribuer à la connaissance des situations de gestion d'environnements dynamiques tout en intégrant la dimension instrumentale de l'activité.

Nous posons les questions suivantes :

- Comment est constituée/construite l'activité individuelle pour contribuer à la régulation, existe-t-il des organisations invariantes de l'activité de régulation en situation perturbée ?
- Quels instruments ou systèmes d'instruments sont constitués par les opérateurs et support des activités représentatives et d'action, pour leur permettre de se représenter et d'agir sur l'objet de leur activité ? Comment les outils permettent une telle construction de la représentation et de la stratégie d'action des intervenants de la régulation ?

Pour répondre à ces questions, nous avons analysé deux situations de régulation de trafic ferroviaire sur le réseau du métro parisien.

Ces questions théoriques débouchaient sur des questions pratiques :

- Quelles sont les pratiques réelles de régulation en situation perturbée ?
- Comment spécifier les aides à la régulation pour qu'elles permettent une plus grande efficacité de la régulation ?
- Comment accompagner la réorganisation de cette activité ?

Nous avons organisé nos résultats autour de deux chapitres présentant les stratégies de régulation et les instruments des chefs de départ du PML et des chefs de régulation situés au PCC. La dernière partie de cette thèse s'articule autour de deux chapitres :

- Une présentation des retombées de notre travail sur le plan pratique, pour les situations de travail analysées, qui permettra de répondre aux questions posées par l'entreprise.
- Une conclusion sous forme de résumé de nos résultats et un point sur les apports et les limites de cette recherche ainsi que les questions qui restent ouvertes sur le plan théorique et méthodologique.

CHAPITRE 7

SPECIFICATIONS ERGONOMIQUES POUR LA CONCEPTION ET L'ORGANISATION DU TRAVAIL

L'objectif appliqué de notre recherche était l'apport de connaissances sur les pratiques de régulation et la contribution à la conception des situations de travail et des outils de régulation. Les attentes de l'entreprise concernant notre étude étaient de trois ordres :

- **Définir les situations perturbées** : il s'agissait d'apporter des connaissances complémentaires aux approches techniques maîtrisées par l'entreprise.
- **Comprendre, évaluer et assurer le suivi de la régulation** : il s'agissait d'apporter des connaissances sur les pratiques réelles de régulation en situations perturbées sur les deux acteurs principaux de la régulation, le chef de régulation au PCC et le chef de départ au PML. Les attentes concernaient la hiérarchisation de l'urgence et le traitement des informations par les opérateurs.
- **Accompagner la régulation et ses évolutions** : il s'agissait de produire des éléments d'aide à la décision en matière d'organisation de la régulation.

Nous avons répondu à ces attentes de trois façons, en proposant :

- des préconisations qui ont été mises en œuvre dans le développement d'un prototype d'outil d'aide à la régulation destiné aux chefs de régulation,
- des principes de conception d'outils d'aide, basés sur le fonctionnement cognitif des opérateurs,
- des recommandations pour l'organisation du travail et l'évolution de la régulation.

Nous organisons donc ce chapitre en 3 grandes parties.

Dans un premier temps, nous présentons l'intégration des résultats de notre étude dans la démarche de conception d'un outil d'aide à la régulation appelé SART³⁴.

Dans un second temps, nous répondrons aux trois questions de l'entreprise, en nous appuyant sur les résultats de l'analyse de l'activité.

Dans un troisième temps, nous présentons des principes directeurs concernant la conception d'outils d'aide à la régulation, pour les chefs de régulation et de départ.

³⁴ SART est l'acronyme de Système d'Aide à la Régulation du Trafic

1 APPLICATION PRATIQUE A LA CONCEPTION D'UN OUTIL D'AIDE A LA REGULATION

Nous avons formulé des préconisations qui ont été intégrées dans la démarche de conception d'un outil d'aide à la régulation destiné aux chefs de régulation.

L'outil, appelé SAGIM, s'intègre dans un projet nommé SART (Brézillon *et al.*, 1997). SART est un projet franco-brésilien mené par la RATP, le Laboratoire d'Informatique de Paris 6 (LIP6), l'entreprise Métro-Rio et l'Université Fédérale de Rio de Janeiro.

Le but de cette collaboration était de concevoir et réaliser un outil d'aide à la régulation du trafic sur une ligne de métro. L'approche ergonomique que nous avons menée à la RATP a été intégrée pour concevoir l'outil SAGIM.

1.1 Historique du projet SART

SART se présente sous la forme d'un système informatique multi-experts, composé d'un agent de communication (chargé de l'interface avec l'utilisateur et de la gestion des communications entre les différents agents informatiques), d'un agent configurateur de ligne, d'un simulateur de trafic et d'un Système d'Aide à la Gestion d'Incident sur une ligne de Métro (SAGIM). Ce dernier agent est plus particulièrement lié à nos recherches.

Les premiers échanges entre l'équipe informatique et nous-mêmes (Zanarelli, Saker, Pasquier ; 1999) ont permis d'identifier :

- un objectif commun : la conception d'outils d'aide à la régulation,
- un objet d'étude commun : le traitement de situations perturbées,
- une similarité entre les grandes lignes de résultats produits : l'identification d'invariants dans les pratiques de régulation en situation perturbées,
- des attentes de l'équipe projet concernant les méthodes d'accès au raisonnement des opérateurs.

L'approche ergonomique a donc été intégrée dans le projet SART, puisqu'elle dispose d'outils permettant d'accéder aux raisonnements et aux logiques de traitement des situations des opérateurs du PCC. L'objectif de cette collaboration était d'intégrer des connaissances techniques sur la régulation et des connaissances sur l'activité des opérateurs. Nous sommes intervenue dans une phase où les spécifications architecturales du logiciel étaient déjà définies

(Brézillon *et al.*, 1997). Toutefois nous avons essayé de combler ce décalage en travaillant ensemble sur la définition de l'agent SAGIM (gestionnaire d'incident) et sur le rapprochement entre les concepts utilisés en ergonomie et en intelligence artificielle. Cette étude a abouti à un modèle de connaissance spécifique, adapté aux connaissances sur la gestion d'incident et sur l'organisation de ces connaissances dans les différentes bases de données (base de cas et base de schèmes).

SAGIM a un statut de prototype (Zanarelli, Pasquier ; 2000). A ce jour, il est utilisé pour tester de nouvelles solutions d'intelligence artificielle pour l'aide à la gestion de trafic en situation perturbée. Ce prototype n'est pas une fin en soi, il précède le développement industriel d'un outil basé sur les pratiques réelles des opérateurs. Ce statut de projet de recherche était un atout, puisqu'il a permis de développer des solutions originales, sans la pression des délais de mise en service inhérente à un projet industriel. Les solutions produites ont été intégrées dans un système d'aide à la décision dont l'originalité est qu'il se démarque des systèmes experts de première génération au sens où sa conception tente de replacer l'opérateur humain au centre du système de décision.

1.2 Le module SAGIM

SAGIM est "l'expert en gestion des incidents" de SART. Il est chargé de stocker les incidents rencontrés, les éléments pertinents du contexte et les stratégies appliquées pour le résoudre. Les éléments ainsi enregistrés sont réutilisés par un module de raisonnement à Partir de Cas, classique en Intelligence Artificielle.

Ce mode de raisonnement est de type analogie : étant donné un enregistrement des cas précédemment rencontrés (avec leur question, leur contexte et la méthode appliquée pour résoudre le problème) et un problème courant, le but est de proposer des solutions en adaptant celles des cas précédemment rencontrés jugés similaires.

En parallèle, SAGIM construit petit à petit une structure de données contenant l'ensemble des procédures et stratégies appliquées. Ces structures appelées graphes contextuels organisent les différentes méthodes connues en fonction du contexte d'application possible (Pasquier, 2002).

1.3 Préconisations pour la conception de SAGIM

Nous avons proposé des préconisations concernant l'organisation de la base qui contient les stratégies de gestion d'incidents/perturbations.

Nous les présentons ci-dessous accompagné de la façon dont elles ont été prises en compte lors de la conception (Pasquier, Zanarelli ; 2001).

1.3.1 Gérer procédures et stratégies

Le système doit être capable de gérer les deux formes de connaissances sur la résolution d'incidents (procédures et stratégies) et pouvoir compléter ses connaissances grâce à des cycles d'apprentissage. Cette préconisation a été prise en compte sous la forme de deux bases distinctes, l'une comportant les procédures officielles, l'autre comportant les stratégies de résolution des opérateurs et par le développement d'un algorithme d'acquisition incrémentale de connaissances.

1.3.2 Intégrer les classes de situations

Le système doit être capable d'intégrer les classes de situations des opérateurs. Nous avons préconisé l'intégration de ces classes de situations dans le gestionnaire d'incidents, dans la mesure où elles sont basées sur les indices qu'utilisent les opérateurs lors du traitement des perturbations et sont complémentaires des classifications existantes issues de bases de données techniques. D'un point de vue technique, les classes de situation sont interprétées en tant qu'éléments du contexte de l'action, critères qui déterminent en partie le choix d'une stratégie ou d'un type de raisonnement. Elles interviennent ainsi dans la structuration de la base de cas du gestionnaire d'incident. Ces éléments principaux du contexte interviennent également dans la structuration de la base de cas selon leur importance, dans un ordre décroissant. On obtient alors des graphes contextuels qui permettent de représenter différentes stratégies applicables pour la résolution d'un même incident, en tenant compte du contexte (et donc des classes de situations).

1.3.3 S'adapter au niveau de connaissance de l'opérateur

Le système doit être capable de s'adapter aux connaissances de l'opérateur qui l'interroge. Pour une utilisation en formation ou pour un retour d'expérience, il s'agit de fournir à l'opérateur un support assez riche pour lui permettre d'accéder à nouveau aux conditions de déroulement de la situation. Un opérateur très expérimenté n'ayant pas besoin du même niveau de détail qu'un opérateur débutant, le système doit pouvoir proposer plusieurs niveaux d'accès lorsqu'il présente les stratégies utilisées pour traiter une situation perturbée. Cette préconisation a été intégrée sous la forme d'une structuration des actions en macro-actions et

en activités, allant de la description d'une action globale jusqu'à la description d'une action minimale.

Exemple : pour le traitement d'une perturbation comportant la nécessité de faire pousser une rame avariée par une autre pour l'évacuer. L'opérateur interroge le système et peut obtenir une réponse générale de type "évacuer le train avarié", puis il peut cliquer sur ces macro-actions pour avoir plus de détails (si le train est à quai, ou pas, comment évacuer un train, etc.).

1.3.4 Restituer des stratégies différentes de résolution

Assurer la restitution des stratégies en situation de formation est une des originalités du système. Il doit être capable de proposer des stratégies de résolution compatibles à la fois avec les procédures prescrites et la logique des opérateurs. Techniquement, les résultats de l'étude ergonomique ont été intégrés dans le système grâce à une structuration des connaissances sous forme de graphes contextuels. Ces graphes représentent une succession temporelle d'actions et d'interrogations du contexte, c'est-à-dire de la situation. Ils permettent de choisir/adapter la résolution d'un incident en fonction de cette situation. Le graphe représente une séquence d'actions qui peuvent être exécutées dans des ordres différents. Il prend en compte la succession temporelle des actions ainsi que les séquences parallèles. Il met en avant les éléments du contexte permettant d'adapter la réponse à la situation réelle.

1.3.5 Récupérer des informations sur le traitement des situations

Comme tout système à base de connaissances, celles-ci sont organisées dans des bases de données, qui dans ce cas particulier, ne séparent pas le contexte de la connaissance. Le problème majeur de tout système de ce type est l'alimentation des bases de données retraçant l'expérience des chefs de régulation. L'alimentation de la base de données dans la phase de test a été réalisée par le concepteur du système. Pour cela, il a suivi en temps réel le traitement des perturbations et a alimenté le système en saisissant les données à partir des rapports et des commentaires des chefs de régulation. Après un test grandeur nature de 5 mois et la saisie de 1000 perturbations, l'évolution de la base sur le plan quantitatif montre une progression linéaire constante de la base avec une tendance à la stabilisation. Il y a toujours un certain nombre d'événements originaux, soit par leur contexte, soit par la stratégie appliquée (Pasquier, 2002).

2 COMPRENDRE LA REGULATION

1.4 Définir les situations perturbées : les classes de situations

Pour répondre à cette première question de l'entreprise, nous avons identifié des dimensions et des facteurs de pondération permettant de caractériser les situations du point de vue des opérateurs chargés de la régulation.

Les dimensions permettent de classer les perturbations en grandes catégories et les facteurs de pondération permettent de moduler le classement selon de degré de dégradation de l'offre de transport.

Pour le PML, les dimensions sont au nombre de 3 et les facteurs de pondération au nombre de 6, dont le détail a été présenté dans le chapitre 5.

Pour le PCC, il y a 7 dimensions de différenciation et 3 facteurs de pondération, présentés dans le chapitre 6.

Ces éléments sont disponibles dans la plupart des compte-rendus existants de traitement de situations perturbées rédigés par les opérateurs.

Nous avons proposé une **méthode graphique de comparaison des situations perturbées**, utilisant ces éléments pour une analyse a posteriori. Cette représentation graphique donne un « profil de situation ». Pour obtenir un profil de situation, il faut reporter sur chaque axe du schéma la valeur prise par la dimension considérée. Ensuite, il suffit de relier les points obtenus entre eux, ce qui donne le profil de la situation perturbée observée, selon les critères identifiés grâce aux entretiens. Chaque situation a un "profil" particulier, les situations comparables ont le même "profil". La représentation de plusieurs situations permet de dégager des types de situations de la moins perturbée à la plus perturbée. Plus l'on s'éloigne du centre de la figure, plus la situation est perturbée. Cette représentation graphique permet une analyse visuelle rapide et permet des comparaisons entre situations sur la base du profil obtenu. C'est une évaluation qualitative qui peut compléter les évaluations quantitatives existantes. Elle peut être utilisée en situation pédagogique pour montrer aux formés quelles sont les caractéristiques des situations qu'ils rencontrent, aussi bien au PCC qu'au PML.

La figure 12 donne un exemple de profil tracé pour une situation perturbée au PCC.

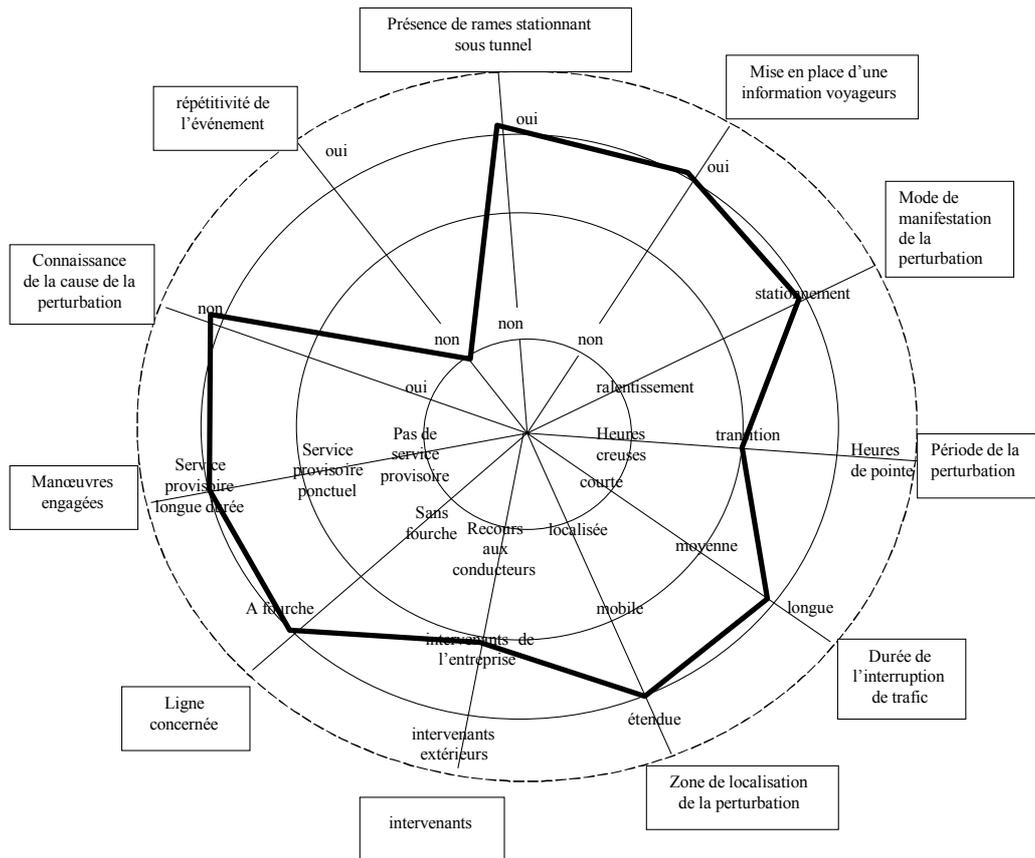


Figure 12 : méthode graphique de représentation du profil des situations perturbées

1.5 Evaluer et assurer le suivi de la régulation

1.5.1 Les indicateurs de performance

La deuxième question qui nous était posée concernait l'évaluation et le suivi des résultats de la régulation. Nous avons vu dans le chapitre 3 qu'il existe déjà des indicateurs permettant de quantifier l'impact des situations perturbées sur le trafic, en termes de "tours non effectués" ou de retard moyen à l'heure de pointe (du matin et du soir). Nous avons souligné le fait que ces indicateurs tel que le "retard horaire" (c'est-à-dire l'écart entre l'horaire prévu et celui réalisé) sont considérés comme pertinent par l'entreprise (Charenton, Scuotto ; 1998). Nos indicateurs sont donc construits sur les mêmes bases que ceux existants pour rester en cohérence avec les habitudes de l'entreprise.

Nous avons élaboré des indicateurs complémentaires permettant d'évaluer la performance de la régulation, à savoir les effets de la régulation sur le trafic.

- **Au PML**, nous avons élaboré 4 indicateurs que nous mettons en relation avec les deux dimensions du trafic, la régularité et la ponctualité :

- La durée de stabilisation du retard et des intervalles après le traitement de chaque perturbation,
 - L'indice Retard, qui permet de mesurer l'écart entre le retard à la fin et au début de l'épisode. C'est l'indice global de ponctualité, pour chaque situation perturbée.
 - L'indice Intervalle, nous permet de mesurer l'écart à l'intervalle prévu en début et en fin de traitement de l'épisode. C'est l'indice global de régularité.
 - La "progression des intervalles" nous permet de mesurer si l'intervalle pratiqué à la fin de la perturbation est plus proche de l'intervalle théorique qu'il ne l'était en début de perturbation.
- **Au PCC**, nous avons construit trois indicateurs, que nous mettons en relation avec la stratégie de recherche de la cause de la perturbation :
 - Le délai entre le début et l'identification de la cause de la perturbation,
 - Le délai entre l'identification de la cause et la reprise du trafic,
 - La proportion d'interruption du trafic par rapport à la durée totale de la perturbation.

Ces indicateurs nous permettent de différencier trois niveaux de performance :

- Une mauvaise performance correspond à une dégradation de la qualité du service (la ponctualité et la régularité sont dégradées) ;
- Une performance moyenne traduit le maintien de la qualité du service offert aux voyageurs sur l'une des deux dimensions (régularité ou ponctualité),
- Une bonne performance traduit une amélioration sur l'une, l'autre ou les deux dimensions du trafic.

Nous proposons **d'utiliser ces indicateurs en complément de ceux déjà existants** au niveau de la journée d'exploitation, pour des analyses précises des situations perturbées (au PCC) et des épisodes (au PML). L'utilisation de ces indicateurs nécessite de savoir identifier (par des bornes de début et de fin) chaque situation perturbée ainsi que les épisodes qui les composent, dans une journée d'exploitation.

Au PML, les données ayant servi à établir ces indicateurs sont déjà disponibles, puisque nous avons nous-mêmes utilisé le garde-temps existant annoté rempli par les chefs de départ.

Pour le PCC, les données nécessaires peuvent être facilement recueillies puisqu'il s'agit d'événements facilement repérables dans le déroulement d'une perturbation.

Ces indicateurs pourraient être utiles en temps réel aux chefs de départs, qui ne disposent pas d'outils d'aide à l'évaluation de l'impact immédiat de leur stratégie de régulation sur le trafic.

1.5.2 Assurer le suivi par une démarche de Retour d'Expérience

La méthode d'analyse de l'activité que nous avons employée permet d'objectiver les traces de l'action et à ce titre, c'est un déterminant de la fiabilité du système de production du transport. L'analyse de l'activité ne porte pas sur des cas isolés, puisque nous avons travaillé sur des événements de base survenant fréquemment (Zanarelli, 2000). Cette étude constitue un retour d'expérience centré sur l'activité des opérateurs, complémentaire des retours d'expérience techniques déjà en vigueur dans l'entreprise.

Nous pensons qu'il est envisageable dans la situation étudiée, de mettre en place un retour d'expérience centré sur l'activité des opérateurs en s'appuyant sur des principes simples :

1. Travailler sur des incidents de base qui surviennent fréquemment et non plus seulement sur les cas extrêmes (déraillements, incendies...).
2. Réaliser des analyses cliniques, c'est-à-dire qualitatives, sur quelques cas « de référence »,
3. Proposer une matrice-type de rapport journalier qui prenne en compte le point de vue de l'activité et non plus le point de vue seulement technique, de manière à garder trace de la résolution des perturbations courantes,
4. Pratiquer l'autoconfrontation sur la base des données existantes actuellement. Il s'agit d'une méthode consistant à faire commenter aux opérateurs leur propre activité, à partir de traces tel que le garde-temps des chefs de départ, sur lequel ils consignent leurs actions sur l'offre de transport.
5. Mettre en place, à plus long terme, des "campagnes" de recueil systématique de données sur l'activité pendant certaines périodes, pour constituer un corpus de situations pour le retour d'expérience. Ces situations décrites le plus complètement possible grâce à l'analyse de l'activité pourraient aussi alimenter les scénarios de formation sur simulateur, comme l'a réalisé Pastré (1999) dans une situation de contrôle de processus.

1.6 Accompagner la régulation : principes directeurs

La troisième question posée par l'entreprise concernait l'organisation et la conception des situations de régulation.

Ce type de tâche de régulation de trafic est organisé selon un schéma où un opérateur est chargé de la régulation et doit diriger les opérations depuis un PC (centralisé ou non) et coopérer avec des agents situés à d'autres endroits, via un système de communication (Brabant, 1998). Cette organisation peut évoluer.

Dans ce paragraphe, nous proposons des principes généraux pour accompagner l'évolution de la régulation et de son organisation. Ils concernent surtout le travail collectif que nous n'avons pas spécifiquement étudié dans notre recherche, c'est pourquoi ces recommandations sont présentées sous forme de principes directeurs. Nous consacrerons spécifiquement les paragraphes 3.1 et 3.2 de ce chapitre aux préconisations pour les outils d'aide à la régulation.

1.6.1 Deux scénarios organisationnels

Depuis les années 60, la politique d'organisation de la régulation du métro traverse des phases alternées de centralisation et de décentralisation.

En 1987, Foot soulignait l'importance de l'éclatement spatial du collectif de ligne chargé de réguler la ligne de métro dans la réalisation de la production et surtout dans la structuration de l'organisation du travail. Dès 1967, les projets de réorganisation de la régulation prévoyaient le rapatriement au PCC de toutes les commandes d'itinéraires, la programmation des départs et la régulation en ligne. Dans cette perspective, le poste de manœuvre local (PML), en terminus devenait totalement subalterne (Foot, *ibid.*).

De 1978 à 1984, un projet de réforme envisageait un retour à la prépondérance du PML, avec en parallèle, le développement des consoles de suivi donnant aux chefs de départs les informations sur la situations des rames sur la voie de réception.

Aujourd'hui, la réorganisation de la régulation est à nouveau à l'ordre du jour, dont nous avons les principes découvert au travers de l'analyse du cahier des charges fonctionnel destiné à la réorganisation de la régulation sur une des lignes du réseau. Le projet prévoit un regroupement en un même lieu des opérateurs du PCC et du terminus. Cette réorganisation implique deux changements fondamentaux par rapport à l'organisation actuelle³⁵ :

- l'éclatement du PCC qui réunit actuellement en un lieu central la régulation de toutes les lignes,

³⁵ Jusqu'en novembre 2001, date à laquelle le nouveau PC de la ligne 4 a été mis en service

- le rapprochement entre chefs de régulation et de départ qui sont actuellement situés en des lieux différents.

Nous avons donc envisagé deux scénarios pour la régulation, l'un conservant un PCC centralisé, l'autre présentant une salle de régulation par ligne, décentralisée. Nous présentons ces deux scénarios et les éléments d'aide à la décision dont nous disposons d'après notre analyse de l'activité au PCC et au PML.

1.6.2 Les atouts d'un PC Centralisé

Lors de notre étude, nous avons observé à l'intérieur du PCC une organisation collective du travail qui se traduit par :

- de nombreux déplacements des opérateurs entre les postes.
- la prise en charge de communications sur le poste d'un collègue sans rupture du suivi, y compris en cours de situation perturbée.
- de nombreux échanges entre les chefs de régulation pour s'informer mutuellement des communications/interventions réalisées sur le poste d'un collègue en son absence.
- une écoute mutuelle flottante entre les différents pupitres permettant la réaction rapide en cas d'incident et l'entraide immédiate en cas de besoin.
- une organisation particulière de la gestion du THF en cas d'absence de l'un des deux chefs de régulation sur un pupitre : le chef de régulation pose le combiné du THF sur la base "attente" du pupitre téléphonique et sélectionne toutes les sous-sections du THF pour pouvoir répondre sans avoir à se déplacer.
- une écoute du THF orientée vers la reconnaissance de certains types d'expressions, liées aux situations d'urgence, par exemple : "coupez le courant".
- de nombreux échanges de vérification des actions réalisés pendant le traitement des incidents, permettant un "contrôle collectif", une boucle de régulation de l'activité dans les situations pouvant prêter à oubli ou confusion.
- de nombreux échanges entre les chefs de régulation sur le thème de leur activité, de situations traitées ou de commentaires sur le déroulement d'une situation. Ces échanges permettent la construction d'un savoir collectif et le développement des compétences individuelles de régulation.

Ces stratégies collectives ont un triple rôle :

1. améliorer l'efficacité du traitement des situations par un maillage des interventions entre les chefs de régulation
2. assurer la sécurité du traitement des incidents, diminuer les risques d'erreur de procédures, les oublis, par la mise en place d'un "auto-contrôle collectif de l'activité"
3. maintenir et développer les compétences des chefs de régulation en :
 - * complétant le savoir acquis lors de la formation,
 - * multipliant les opportunités de suivre et/ou traiter des incidents,
 - * partageant les points de vue sur le travail,
 - * maintenant la connaissance des particularités de plusieurs lignes

Les atouts d'un PCC tel qu'il est organisé actuellement reposent sur l'existence d'un collectif de travail qui se forme en cas de besoin, pour traiter les grosses perturbations. Par contre, elle souligne la coupure structurelle entre la régulation (par le PCC) et la réalisation concrète du transport (dans le PML), source de dysfonctionnements dans la production (Foot, 1987).

1.6.3 Les conditions de réussite d'un PC décentralisé

L'éclatement du PCC pour aller vers un regroupement des fonctions de régulation et de gestion des départs correspond à la délocalisation du chef de régulation et entraîne une double conséquence pour le PCC :

- La suppression de la coopération entre chefs de régulation et du traitement collectif des gros incidents (3-4 personnes) et des incidents moyens (2 personnes) telle qu'on l'observe actuellement et qui a un rôle très important pour l'efficacité et la performance.
- L'ouverture de nouvelles possibilités de coopération entre chef de régulation et chef de départ, mais également entre les chefs de départs.

Nous pensons que le rapprochement des régulateurs de la ligne et du terminus en un seul lieu peut être un atout pour favoriser l'harmonisation des stratégies de régulation telles que nous les avons observées au PML et au PCC, en contribuant à réduire le fossé entre régulation en ligne et gestion des départs pour la prise en compte conjointe de la régularité et de la ponctualité. Cependant, plusieurs conditions doivent être remplies pour assurer la cohésion entre régulation en ligne et en terminus et éviter une remise en cause de la fonction même du chef de départ, risque déjà souligné par Foot (1991).

Ces conditions sont :

- L'implication précoce des opérateurs pour réfléchir à l'organisation du travail et aux outils, comme l'ont fait par exemple Kolski et Waroux (1992) dans une situation de conception d'un synoptique de conduite de réseau gazier.
- La définition précise des modalités de la coopération entre les opérateurs régulant le terminus et la ligne, puisque comme nous l'avons vu, les logiques et stratégies de régulation ne sont pas les mêmes. Il y aura certainement lors du traitement des perturbations, un remodelage complet des relations entre le régulateur chargé de la ligne et celui des terminus qui ne sera pas à négliger.
- La connaissance partagée et réciproque des stratégies utilisées pour prendre en compte la régularité et la ponctualité pour une régulation "globale" de la ligne.
- La redéfinition précise de coopération entre les gestionnaires de terminus (anciennement "chefs de départ"). Actuellement, les deux chefs de départ d'une ligne semblent communiquer relativement souvent et cette coopération entre les terminus sera certainement modifiée du fait de la présence du chef de régulation.
- La facilitation de l'émergence d'un nouveau collectif entre régulateurs du PCC et du PML regroupés en un seul point. Elle devra entre autres, se donner les moyens de remplacer le collectif existant entre les agents du PCC lors de la résolution collective des perturbations.
- La prise en compte des particularités des lignes et les contraintes structurelles du réseau. Par exemple, le cahier des charges fonctionnel du nouveau PC L4 prévoyait une régulation de la ligne "en boucle", les deux voies étant considérées comme un même système continu. Un tel mode d'exploitation peut-il être mis en place sur des lignes à fourche où les rames se séparent pour aller dans des directions différentes, avec une fréquence particulière ?

Dans leur rapport d'expertise, Dechaud *et al.* (1999) soulignaient également la disparition du lien entre chef de départ et conducteurs lors du rapprochement entre régulation de ligne et régulation de terminus. Ces auteurs posaient la question de la régulation à distance, qui devient alors **supervision**. Tout comme le soulignaient déjà Cellier et Mariné (1988) dans une situation de régulation de bus, un changement technologique de ce type doit être analysé non seulement au niveau de l'équipement technique mais aussi organisationnel. Une telle

réorganisation modifie donc à la fois les moyens techniques, l'organisation du travail et la tâche même de régulation (Norman, 1993).

3 OUTILLER LA REGULATION

Nous allons maintenant aborder spécifiquement les questions concernant les outils d'aide à la régulation en consacrant un premier paragraphe aux outils des chefs de départ et un second paragraphe à ceux des chefs de régulation.

1.7 Concevoir des outils pour les chefs de départ

L'analyse de l'activité au PML nous a permis de dégager des points d'analyse des outils existants que nous avons présentés dans le chapitre 5. Dans ce paragraphe, nous proposons, pour chacun des points soulevés, des préconisations d'évolution des outils d'aide à la régulation des chefs de départ.

1.7.1 Faciliter la détection précoce des perturbations

Nous avons mis en évidence les points suivants :

- une relation entre la localisation de la perturbation et les moyens utilisés pour la détecter, ce qui signifie que les modes de détection sont spécifiques du lieu où se trouve la perturbation.
- l'information sur la valeur du retard d'une rame est une information très pertinente pour évaluer la perturbation.
- les chefs de départ ont des difficultés à détecter précocement les perturbations situées loin du terminus sur la voie de réception avec la console de suivi telle qu'elle est proposée actuellement.

Nous préconisons donc pour la conception des outils de :

- développer les aides qui favorisent la détection des perturbations éloignées du terminus, pour permettre une meilleure anticipation.
- compléter l'outil existant qu'est la console de suivi ou de développer un nouvel outil qui permette au chef de départ de chaque terminus de disposer d'une représentation complète de la voie de réception permettant la localisation des rames depuis l'autre terminus.

- développer un outil d'aide à l'évaluation précise du retard des rames fondée sur le principe du pointage des rames.

1.7.2 Prendre en compte la ponctualité et la régularité

Nous avons montré que le trafic était caractérisé par deux dimensions, la ponctualité et la régularité. Nous avons également souligné la nécessité pour les opérateurs du PML de construire une représentation à deux dimensions portant à la fois sur la ponctualité et la régularité du trafic, dans la zone proche et dans celle éloignée du terminus.

Les outils actuels des chefs de départ ne donnent de l'information que sur l'une ou l'autre dimension du trafic sur la ponctualité ou sur la régularité, dans une zone ou l'autre de la ligne. Actuellement, seul le garde-temps permet de représenter conjointement la régularité et la ponctualité, pour les horaires théoriques, sur un document à deux dimensions, que les chefs de départ complètent au fur et à mesure par les horaires réels (tableau 92).

Tableau 92 : dimension du trafic représentée par les outils de régulation du chef de départ

Outils	Dimension du trafic représentée	
	Ponctualité (horaires)	Régularité (intervalles)
Console de suivi	Pour les 10 prochaines rames au départ	Pour les rames en ligne sauf les dernières stations près du terminus opposé
TCO	non	Pour les rames situées dans les 5 dernières stations
Garde-temps	Information théorique a priori et réelle a posteriori	Information indirecte à déduire des horaires de départ Information théorique a priori et réelle a posteriori
Ecrans de visualisation des quais	Information indirecte de type "présence/absence de rame à quai de départ"	non

Nous avons montré dans le chapitre 5 (paragraphe 2.2.5) que les chefs de départ prenaient en compte ces deux dimensions du trafic pour réguler. Ils construisent une représentation à deux dimensions grâce au système d'instruments qu'ils ont élaboré sur la base des artefacts (outils) dont ils disposent (chapitre 5, paragraphes 2.3 et 2.4). Nous avons vu également qu'une des difficultés de la régulation de trafic réside dans la prise en compte de ces deux dimensions du trafic et dans leur maintien en équilibre (Mailles, 1996).

Nous pensons donc qu'il est indispensable d'aider les chefs de départ à construire cette double représentation en leur proposant des outils facilitant la prise en compte et le maintien en équilibre des deux dimensions du trafic, pour toute la voie de réception qu'ils ont à gérer.

Pour cela, deux pistes possibles :

- le pointage des rames,

- le recours au concept de fluidité.

1.7.2.1 *La ponctualité : développer le pointage des rames*

Une perturbation se manifestant le plus souvent par un retard, le chef de départ doit disposer le plus tôt possible de l'information précise sur le retard de la (ou des) rame(s) concernée par la perturbation. Pour cela, les chefs de départ ont constitué un instrument sur la base des outils existants, qui est le "pointage des rames". Cet instrument de pointage sur la base de l'artefact console de suivi permet une plus grande anticipation que le pointage automatique, qui est fixe et peu souple. L'instrument constitué par les chefs de départ est souple (il peut être mis en œuvre en n'importe quel endroit de la ligne), permet une économie cognitive et une représentation en termes d'évolution lorsqu'il est utilisé plusieurs fois sur la même rame (chapitre 5, paragraphe 2.3.2).

Nous préconisons donc de **développer un outil d'aide facilitant l'anticipation** et qui soit **plus souple que le pointage automatique**. Cet outil pourrait s'inspirer de l'instrument développé par les opérateurs. En exploitant les avantages du pointage manuel et précis réalisé par les chefs de départ, nous pourrions proposer des pointages automatiques à la demande sur l'écran de suivi. Par exemple : en sélectionnant un train et les stations auxquelles l'opérateur souhaite pointer une rame, pour avoir la possibilité de calculer l'heure de réexpédition possible d'un train plusieurs fois le long de la ligne. Cela permettrait un suivi en termes d'évolution et non plus en terme d'état, en un point donné. Ce serait plus proche des modes de fonctionnement des opérateurs.

1.7.2.2 *La régularité : exploiter le concept de fluidité*

L'analyse de l'activité nous a montré le recours au concept de "fluidité" par les chefs de départ. Nous avons observé de manière informelle un jeune chef de départ en formation guidé par un collègue plus expérimenté. Ce jeune opérateur demandait régulièrement à son collègue si la situation "allait bien" et à quel moment il pouvait valider une manœuvre de prise de retard. Après discussion, il est apparu que si ce jeune formé disposait déjà de la notion de fluidité, en revanche, il n'avait clairement pas encore acquis les indicateurs lui permettant d'évaluer précisément cette fluidité du trafic.

Ce concept de fluidité si présent dans l'activité des chefs de départ est absent des documents techniques et de formation, dans lesquels on ne trouve mention que des concepts techniques de régularité (intervalles égaux entre les trains) et de ponctualité (respect des horaires prévus).

Nous proposons donc de prendre en compte, ce concept de fluidité dans la formation des chefs de départs, en complément des concepts purement techniques, par la construction de scénarios favorisant l'acquisition de ce concept, la façon de l'évaluer et ses conséquences pour la gestion du trafic. Des exemples de mise en œuvre d'acquisition de concepts pragmatiques en formation peuvent être trouvés dans la littérature portant sur le contrôle de processus (Pastré, 1994 ; Samurçay et Pastré, 1995).

L'identification des connaissances et des stratégies opératoires chez les opérateurs expérimentés s'appuyant sur des situations caractéristiques pourrait également être utilisée comme outil dans les formations pratiques pour le développement de savoir-faire adaptatifs (Bourdon et Weill-Fassina, 1994).

1.7.3 Favoriser le lissage de l'action

L'analyse des stratégies de régulation nous a permis d'identifier deux grands types de stratégies de régulation ayant des effets différents sur le trafic. La stratégie "alternante" permet de répartir les manœuvres de régulation sur un grand nombre de rames. Cette meilleure répartition de l'action de régulation permet de lisser les conséquences des perturbations sur la ligne et de conserver un équilibre entre régularité et ponctualité. Nous avons vu les difficultés des opérateurs à conserver un équilibre pour ces deux dimensions du trafic, même si les performances des opérateurs professionnels restent très bonnes par rapport aux sujets non professionnels. Nous avons également souligné l'impossibilité de programmer des actions de régulation.

Nous préconisons donc le développement d'outils de régulation permettant une prise en compte conjointe de ces deux dimensions du trafic. Une plus grande anticipation par une prise en compte de la régularité et de la ponctualité, donnant lieu à un meilleur lissage de leur action sur le trafic.

1.7.4 Favoriser une régulation globale de la ligne

La ligne est régulée par deux terminus. Il est donc important d'anticiper les conséquences de la mise en œuvre d'une stratégie de régulation sur les deux voies et non pas sur une seule. Les deux chefs de départ peuvent ne pas appliquer la même stratégie et un déséquilibre peut apparaître sur la ligne. Par exemple, lorsqu'un chef de départ adopte une stratégie privilégie la régularité plutôt que la ponctualité (par choix ou par obligation), le déséquilibre du retard sur les deux voies entraîne de l'irrégularité des intervalles, ce qui va amener l'autre chef de départ

à une augmentation du retard, accentuant ce déséquilibre. Nous pensons qu'il est important de donner la possibilité aux chefs de départ de connaître le retard sur les deux voies, pour éviter des actions contradictoires pouvant être préjudiciables à la ligne dans son ensemble. Cela contribuerait à donner les moyens aux opérateurs des PML d'assurer l'équilibre des deux dimensions du trafic, sur les deux voies.

1.7.5 Connaître les résultats de son action

Nous avons souligné dans le chapitre 5 la difficulté pour les chefs de départ d'évaluer les résultats de leur propre action sur la voie d'expédition, c'est-à-dire d'évaluer la performance de leur stratégie de régulation en fonction des situations.

Nous avons proposé des indicateurs de performance tels que l'indice Retard, l'indice Intervalle, la durée de la phase de stabilisation après une perturbation. Nous pensons que cette information pourrait être utile aux chefs de départ pour comprendre et ajuster leur stratégie. Elle pourrait être intégrée dans un outil utilisé en temps réel par les chefs de départ.

1.8 Concevoir des outils pour les chefs de régulation

Comme pour le PML, nous proposons des principes quant à l'évolution des outils d'aide à la régulation. Ces résultats nous ont permis de dégager des éléments d'analyse utiles pour l'évolution des outils mis à disposition des opérateurs. Nous les reprenons ici en proposant des préconisations ergonomiques.

1.8.1 Aider la gestion du trafic résiduel

Pendant le traitement d'une situation perturbée, nous avons vu qu'il y avait deux sous-tâches, la recherche / suppression de la cause de la perturbation et la gestion du trafic résiduel. Nous avons mis en évidence l'existence d'un schème de gestion des DSO qui constitue la première activité de gestion du trafic résiduel. L'application de ce schème dépend de la classe de situation identifiée par l'opérateur.

Nous proposons d'utiliser cet invariant de l'activité pour concevoir une fonction d'un outil d'aide à la régulation s'appuyant sur ces classes de situations et qui prenne en charge automatiquement l'allumage progressif des DSO sur la ligne dès le déclenchement d'une perturbation, avec une simple validation du chef de régulation. Ainsi, il aurait plus de temps pour se consacrer à l'autre tâche de recherche de la cause de la perturbation. Une condition indispensable à cette fonction est de laisser le choix au régulateur de l'activer ou non.

A noter que l'automatisation des DSO était prévue au cahier des charges fonctionnel du nouveau PC de la ligne 4 au moment où nous l'avons consulté, mais n'a pas été réalisée pour des raisons techniques.

1.8.2 Aider l'identification et la gestion des rames stationnant sous tunnel

Nous avons souligné deux points dans le chapitre 6 (paragraphe 4.2.4, 4.2.5 et 4.2.6) :

- L'impossibilité fréquente d'éviter le stationnement des rames sous tunnel,
- La nécessité d'identifier et de traiter rapidement le stationnement des rames sous tunnel,

Pour le chef de régulation, la gestion des trains stationnant sous tunnel est un élément très important pour assurer la qualité de service. Il nous semble important de lui donner les moyens :

- de faciliter l'identification des risques potentiels de trains sous tunnel,
- d'assister l'identification rapide de la présence de trains sous tunnel en cas de stationnement.

Pour cela, nous proposons de développer un outil construit sur le modèle des outils d'aide à la détection/résolution de conflits dans le domaine du transport aérien (Carlier et Hoc, 1999). Un tel système devrait être capable de repérer les portions de lignes considérées comme station et tunnel et de détecter les risques potentiels de trains sous tunnel en cas de stationnement et/ou de prévenir très précocement les opérateurs en cas de stationnement inopiné.

De même, nous pensons qu'il pourrait être pertinent de coupler une alarme sur les rames stationnant sous tunnel avec la fonction d'allumage des DSO en cas de stationnement inopiné d'une rame.

Ce que l'on y gagnerait :

- une amélioration de la sécurité des voyageurs et des agents par une détection précoce des risques de stationnement sous tunnel. En particulier pour prévenir les risques d'évacuation spontanée dans un incident et pour informer les voyageurs.
- une amélioration de la performance, en gagnant du temps lors de l'identification du problème, l'opérateur peut se consacrer à une autre partie de la perturbation, surtout pendant les heures de pointe.
- une amélioration de la qualité de service en limitant le temps de stationnement en tunnel.

1.8.3 La fiabilité des communications

Dans le chapitre 6, nous avons souligné la dépendance du chef de régulation vis à vis des intervenants du terrain, concernant l'identification de la cause de la perturbation et sa suppression. L'outil le plus utilisé est le THF, qui permet au chef de régulation de compléter l'information sur la localisation de la perturbation (vue sur le TCO), par des informations sur la nature de la perturbation et les numéros des rames concernées, qui lui permettent de mettre en œuvre la recherche de la cause de cette perturbation. Le THF est l'outil qui donne ses "yeux" au chef de régulation. A ce titre, nous préconisons une **fiabilisation des outils de communication** avec le terrain, que ce soit le THF, la téléphonie, le téléphone trafic ou plus tard, la radiotéléphonie. Cette amélioration des outils de communication doit s'accompagner d'une fiabilisation des réseaux d'interlocuteurs impliqués, ceux-ci devant en plus d'être joignables, être présents, et disposer d'un rôle bien défini dans le processus de traitement des situations perturbées.

1.8.4 Connaître les résultats de son action

Comme pour les chefs de départ, une des difficultés de la tâche de régulation est pour les chefs de régulation l'évaluation par des critères objectifs des résultats de leur propre action. Nous avons donc proposé des indicateurs spécifiques aux chefs de régulation qui pourraient être utilisés par les opérateurs pour évaluer la performance de la stratégie de régulation qu'ils ont choisie :

- Délai entre le début de la perturbation et l'identification de la cause,
- Délai entre identification de la cause et reprise du trafic,
- Proportion de l'interruption de trafic par rapport à la durée totale de la perturbation.

4 SYNTHÈSE

Nous avons organisé ce chapitre en 3 grandes parties.

La première proposait l'intégration des résultats de notre étude dans la démarche de conception d'un outil d'aide à la régulation appelé SAGIM, dont nous avons proposé les grandes lignes dans ce chapitre.

L'outil ainsi conçu est capable de garder trace à la fois les procédures prescrites et les stratégies des opérateurs, de s'adapter au niveau de connaissances de l'opérateur, de comparer

et de restituer des stratégies différentes de résolution des situations perturbées, et des récupérer des informations sur le traitement des perturbations. L'annexe L présente un tableau récapitulatif des capacités actuelles et potentielles de SAGIM.

La seconde partie de ce chapitre nous a permis de répondre aux 3 questions de l'entreprise concernant la régulation des situations perturbées, en nous appuyant sur les résultats de l'analyse de l'activité :

- **La définition des situations perturbées.** Nous avons proposé une méthode graphique permettant de définir un profil de situation utilisable en situation pédagogique pour une analyse rapide des perturbations.
- **L'évaluation et le suivi du traitement des perturbations,** nous avons rappelé les indicateurs de performance élaborés lors de notre analyse de l'activité et nous avons proposé de les utiliser en compléments de ceux existant dans l'entreprise.
- **Le retour d'expérience.** Nous avons également proposé la mise en place d'une démarche de retour d'expérience centrée sur l'activité s'appuyant sur les indicateurs utilisés lors de notre analyse, de l'élaboration d'un guide de rédaction du rapport journalier des chefs de régulation et la mise en place de campagnes systématiques de recueil de données sur l'activité.

Nous avons également envisagé l'évolution future de la régulation en comparant deux scénarios possibles. Nous avons souligné les atouts d'un PC centralisé tel qu'il l'est actuellement, en particulier concernant l'existence d'un collectif de travail et les inconvénients d'une telle organisation (exemple : la coupure entre la régulation et la réalisation du transport). Nous avons donné les conditions qui nous semblent indispensables à la réussite d'une décentralisation de la régulation, à savoir : i) l'implication précoce des opérateurs, ii) la définition précise des modalités de coopération entre les régulateurs de ligne et de terminus et entre les gestionnaires de terminus, iii) la connaissance réciproque des stratégies de prise en compte de la régularité et de la ponctualité pour une régulation "globale de la ligne, iiiii) la facilitation de l'émergence d'un nouveau collectif de régulation, iiiiii) la prise de conscience par les décideurs que c'est non seulement les moyens techniques, mais aussi l'organisation et la nature même de la tâche de régulation qui doit être envisagée dans un tel projet.

La troisième et dernière partie de ce chapitre présentait des principes directeurs pour la conception d'outils d'aide à la régulation, à destination des chefs de régulation et de départ.

Nous avons proposé des préconisations pour faciliter la détection des perturbations, la prise en compte des deux dimensions du trafic grâce à des outils adaptés, le lissage de l'action et la connaissance des effets de la régulation pour les chefs de départ.

Nous avons préconisé l'amélioration des outils de gestion du trafic résiduel pour les chefs de régulation en s'appuyant sur un schème de gestion des DSO construit par les opérateurs ainsi que le développement d'outils tournés vers la gestion des rames sous tunnel et la fiabilisation des communications entre le régulateur et les intervenants du terrain.

L'exposé des apports théoriques et méthodologiques de ce travail fera l'objet du chapitre suivant qui constituera la conclusion de cette thèse.

CHAPITRE 8

SYNTHESE ET DISCUSSION

L'objectif de cette thèse était de caractériser l'activité de régulation dans une situation de régulation de métro. Ce travail de recherche s'inscrivait dans un double objectif d'apports de connaissances et d'aide à la conception. L'origine de ce travail trouvait sa source dans une demande d'entreprise concernant :

- L'apport de connaissances sur les pratiques de régulation du trafic d'une ligne de métro en situation perturbée, du point de vue des opérateurs chargés de la régulation,
- L'apport de principes de conception d'outils d'aide à la régulation adapté aux deux types d'intervenants chargé de la régulation d'une ligne,
- L'apport d'éléments d'aide à la décision pour l'évolution de la fonction régulation.

Cette demande rejoignait notre questionnement sur les types de situations traités par les opérateurs, les types stratégies de prise d'informations et d'action et sur la constitution d'instruments par les opérateurs pendant l'activité et la dépendance des stratégies de prise d'informations et d'action par rapport aux situations ou aux opérateurs.

Pour répondre à ces questions, nous avons donc réalisé une analyse de l'activité de deux types d'opérateurs chargés de la régulation d'une ligne de métro, de manière à mettre en évidence :

- la manière dont l'activité de régulation est constituée. A savoir : les organisations invariantes de l'activité de régulation en situation perturbée, les différents types de situations, pour plusieurs opérateurs, dans deux tâches de régulation complémentaires.
- les instruments ou systèmes d'instruments constitués par les opérateurs et support des activités représentatives et d'action, qui leur permettent de se représenter et d'agir sur l'objet de leur activité.

Pour répondre à ces questions, nous avons eu recours aux champs théoriques de la psychologie cognitive et de l'ergonomie et en particulier :

- La gestion d'environnements dynamiques, dont la régulation de trafic (Cellier, de Keyser, Valot ; 1996) fait partie,
- L'approche instrumentale de Rabardel (1995),
- Les conceptualisations pragmatiques développées par Pastré (1999b).

Ce chapitre présente donc une synthèse des résultats pour les deux pôles de la régulation observés avant d'examiner ces résultats au regard de la littérature. Nous évoquerons ensuite les apports, limites et difficultés rencontrés dans la réalisation de cette thèse.

1 SYNTHÈSE DES RESULTATS

1.1 Le contexte

Ce travail trouve son origine dans un double questionnement pratique et théorique concernant l'activité de régulation de trafic, tâche appartenant à la gestion d'environnements dynamiques.

Nos questions pratiques portaient sur la définition des situations perturbées, aux moyens de comprendre et d'évaluer l'activité de régulation et à l'évolution future de l'organisation de ce type de tâche.

Nos questions théoriques s'articulaient autour des stratégies de régulation, des instruments constitués par les opérateurs et des organisateurs de l'activité mobilisés dans ce type de situations.

Pour répondre à ces questions, nous avons analysé une situation réelle de régulation de trafic ferroviaire en utilisant la méthode d'analyse ergonomique de l'activité.

Nous avons combiné différentes méthodes pour recueillir nos données : des entretiens, des observations (avec des enregistrements audiovisuels) et de l'autoconfrontation.

Nous avons réalisé une analyse quantitative et qualitative des données et le croisement des méthodes de recueil nous a permis de compenser les inconvénients propres de chacune des méthodes prises isolément.

Nous avons donc observé successivement deux pôles chargés de la régulation d'une même ligne de métro : les chefs de départ en terminus (ou PML) et les chefs de régulation au PCC. Nous reprendrons cette structure pour la synthèse des résultats des paragraphes suivants.

1.2 Les stratégies et instruments des chefs de départ

La première étape de ce travail, élaborée sur la base d'entretiens puis de l'analyse de l'activité des chefs de départ, nous a permis de mettre en évidence les caractéristiques des situations rencontrées. Nous avons ainsi montré l'existence d'une typologie de situations fondée sur deux types de critères : les dimensions de différenciation et les facteurs de pondération. Nous avons différencié deux niveaux d'analyse des données recueillies au PML, celui des situations proprement dites et celui des épisodes, plus pertinent pour décrire l'activité de régulation en terminus.

Nous avons mis en évidence les modes de détection des situations perturbées s'appuyant sur des informations prise sur le processus ou données par d'autres intervenants. Nous avons montré que les chefs de départ mettaient en œuvre deux types de stratégies de prise d'informations :

- l'une qualifiée de "linéaire", portant sur des rames situées proches du terminus ou dans le terminus, se traduisant par un suivi au fur et à mesure de leur arrivée,
- l'autre nommée "alternante", portant alternativement sur des rames proches puis éloignées du terminus, indiquant un suivi anticipant l'évolution de l'état du processus.

Nous avons également mis en évidence la façon dont les chefs de départ prenaient en compte les deux dimensions caractéristiques du trafic, à savoir la ponctualité et la régularité. Nous avons pu ainsi observer que les chefs de départ expérimentés disposent d'un instrument constitué leur permettant d'évaluer la ponctualité de la ligne qu'ils régulent. Le pointage des rames (automatique, manuel ou à quai de départ est l'instrument mobilisé pour prendre en compte la ponctualité, s'appuie sur un schème d'action instrumenté partagé par tous les opérateurs observés. Les chefs de départ disposent également d'un concept pragmatique qu'ils ont élaboré pour évaluer la régularité du trafic. Il s'agit du concept de fluidité, auquel est associé une organisation invariante de l'activité.

Nous avons ensuite mis en évidence deux types de stratégies d'action que nous avons qualifiées de la même manière que les stratégies de prise d'informations. Ainsi, les chefs de départ interviennent sur la ligne soit avec une stratégie "linéaire", c'est-à-dire au coup par coup, soit avec une stratégie "alternante", reposant sur et l'orientation de l'action guidée par le suivi d'une rame encore éloignée du terminus.

Nous avons également construit des indicateurs permettant d'évaluer la performance de ces stratégies, en terme de maintien en équilibre des deux dimensions du trafic. Ce qui nous a permis de montrer que les opérateurs expérimentés parvenaient à maintenir au moins une dimension du trafic en équilibre.

Un dernier résultat issu de notre étude au PML est la mise en évidence de deux grandes stratégies de régulation, puisque nous avons observé un lien très fort entre la prise d'informations et le type d'action mis en œuvre par les chefs de départ.

1.3 Les stratégies et instruments des chefs de régulation

La deuxième partie de cette thèse concerne l'analyse de l'activité des chefs de régulation au PCC. Nous avons observé l'activité de traitement des situations perturbées en utilisant, comme pour les chefs de départ, l'enregistrement vidéo et le recueil des traces de l'activité auquel nous avons pu ajouter l'autoconfrontation sur la base d'un montage vidéo.

Comme pour les chefs de départ, nous avons caractérisé une typologie des situations traitées qui s'appuie sur des dimensions de différenciation et des facteurs de pondération.

Nous avons différencié deux sous-tâches qui ont structuré notre analyse dans le traitement d'une perturbation par les chefs de régulation :

- l'une porte sur la recherche et la suppression de la cause de la perturbation,
- l'autre porte sur la gestion du trafic résiduel autour de la perturbation.

Nous avons différencié deux modes de détection des situations perturbées qui nous ont permis de voir que les chefs de régulation détectaient beaucoup moins fréquemment les perturbations de manière autonome que les chefs de départ et qu'ils dépendaient énormément de la qualité et des moyens de communication avec le terrain.

Nous avons ensuite différencié **deux organisations invariantes** de l'activité pour la recherche de la cause de la perturbation :

- la première appelée "**recherche de proximité**",
- la seconde appelée "**recherche élargie**", qui inclut la première et la complète par des appels vers des intervenants qui ne sont pas encore sur place.

Nous avons identifié les instruments associés à ces deux types de recherche de la cause de la perturbation.

Les résultats portent sur la caractérisation de la suppression de la cause de la perturbation, pour laquelle nous avons pu différencier deux stratégies :

- l'une interventionniste,
- l'autre non interventionniste.

Nous avons ensuite élaboré des indicateurs de performance de manière à évaluer la qualité de la régulation du PCC, pour l'identification et la suppression de la cause de la perturbation.

En ce qui concerne la régulation du trafic résiduel, nous avons mis en évidence une organisation invariante de l'activité, sous-tendue par un schème d'action instrumenté. Nous avons identifié les instruments mobilisés par les opérateurs pour réguler le trafic résiduel, et souligné les caractéristiques de l'identification et du traitement des rames stationnant sous tunnel en cas de perturbation.

2 DISCUSSION

Dans les paragraphes suivants, nous revenons sur les résultats issus de ce travail de recherche afin de les mettre en perspective avec la littérature. Nous organisons la discussion des résultats autour des 3 thèmes. Nous reviendrons tout d'abord sur les activités de gestion d'environnements dynamiques, avant de nous intéresser aux instruments de l'activité et à la conceptualisation pragmatique.

2.1 Stratégies de gestion d'environnements dynamiques et régulation de trafic

2.1.1 Définir les situations perturbées

Concernant la définition d'une typologie de situations perturbées pour le PCC, nos résultats valident et complètent ceux de Dos Santos (1985) et de Filippi, (1994).

Pour Dos Santos (1985), les types de situations traités par les régulateurs se différencient sur la base de la présence ou non d'une coupure de courant. Cet auteur ne les met pas en relation avec des stratégies adoptées par les opérateurs pour les gérer. Dans son analyse, l'auteur ne considère que les mouvements de regard des régulateurs "pendant les heures de pointe", sans les mettre en relation avec les deux types de situations qu'il a défini auparavant. Nous avons réalisé cette mise en relation et nous avons montré qu'il était possible de caractériser plus finement les situations, en particulier pour le PML où nous avons pu identifier le niveau d'analyse des épisodes, plus fin que celui des situations.

Filippi (1994) différencie les situations perturbées en fonction de la connaissance de l'origine des perturbations. Cet auteur souligne dans sa conclusion la nécessité d'un affinage de la typologie des situations par une étude plus poussée, afin d'organiser les outils d'aide en fonction du type de perturbation à traiter.

Sur ce point, nos résultats complètent ceux de Filippi (*ibid.*), puisque nous avons caractérisé les situations perturbées selon des critères différents au PCC et au PML. Ces critères (présentés dans les chapitres 5 et 6) ont permis de différencier des stratégies de régulation qui complètent les typologies proposées par Filippi (*ibid.*), car elles dépendent de la répartition des tâches de régulation.

2.1.2 La détection des situations perturbées

Pour Cellier et Mariné (1988), les opérateurs expérimentés travaillent plus avec une détection autonome des situations, qu'à partir des alarmes (contrairement aux opérateurs novices). Nos résultats nuancent ce point. Nous pensons que l'expérience n'est pas le seul critère qui détermine le mode de détection des perturbations. Si l'on compare, toutes choses égales par ailleurs, le mode de détection dans les deux situations complémentaires de régulation que nous avons observé, le chef de départ au PML détecte beaucoup plus souvent tout seul les perturbations que le chef de régulation du PCC (chapitre 5, paragraphe 2.1 et chapitre 6, paragraphe 2). L'organisation de la tâche et les instruments dont disposent les opérateurs pour réguler vont également influencer sur le mode de détection des perturbations.

Selon Filippi (1994), *"le traitement d'une perturbation ne consiste pas à diagnostiquer un problème puis à suivre un plan préétabli, mais plutôt à définir la situation au fur et à mesure de leurs actions, des actions des autres intervenants et des événements qui surviennent"*. Nos résultats vont dans ce sens puisque nous avons observé que la caractérisation des perturbations repose sur la détermination à la fois de la nature mais aussi de la cause de cette perturbation. Toutefois, nous avons vu que le chef de régulation n'attend pas l'identification de la cause pour agir sur le trafic, comme le souligne Hoc (1996).

2.1.3 L'objet de l'activité

En ce qui concerne l'objet de l'activité, nos résultats rejoignent à la fois ceux de l'approche technique (Froloff, Rizzi et Saporito ; 1989) et psychologique (Cellier et Mariné, 1988 ; Cellier, 1991 ; Mailles, 1996) selon lesquelles les deux dimensions du trafic prises en compte par les opérateurs sont la régularité et la ponctualité.

Sur ce point, nos résultats complètent ceux de Cellier (1991) et Mailles (1996) qui ont étudié la régulation de trafic de bus. Cellier (1991) a montré que les opérateurs professionnels en situation de simulation accordaient plus d'importance à la dimension régularité qu'à la ponctualité. Les opérateurs observés ne parvenaient pas toujours à prendre en compte les deux

dimensions du trafic pour les maintenir en équilibre. Comme l'ont fait remarquer Cellier (1991) et Mailles (1996), si le respect de la ponctualité entraîne forcément celui de la régularité (puisque les horaires théoriques sont conçus avec des intervalles réguliers), le respect de la régularité peut être mis en œuvre alors que toute la ligne est en retard.

Nous avons montré que la dimension du trafic privilégiée ne dépend pas uniquement du champ d'expérience, mais également du type de situation traitée (simple ou complexe), du type de prise d'informations et d'action de régulation mis en œuvre (alternantes ou linéaires). Les opérateurs professionnels observés ont une très bonne connaissance du processus et ils semblent avoir intégré les effets directs et indirects des actions de régulation (Van Daele et Carpinelli, 1996).

2.1.4 L'action sur le processus

Pour ce qui est du déclenchement de l'action, Mariné et Cellier (1988) ont identifié trois sortes de déterminants des choix d'action : l'amplitude de la perturbation, la localisation sur la ligne, l'intervalle entre les véhicules. Le critère prépondérant pour déclencher une action chez les opérateurs expérimentés est la dégradation de l'intervalle entre les bus.

Nos résultats nous permettent de valider ces critères en y ajoutant le contexte dans lequel survient la perturbation (il y a déjà du retard sur la ligne ou non), la période de l'offre de transport (heures de pointe ou non), la valeur du retard de la rame la plus retardée.

Concernant les manœuvres de régulation utilisées, Mailles (1996) différencie les manœuvres à caractère temporel des manœuvres à caractère spatial, sur la base de la nature du paramètre à modifier. Nous pouvons faire un parallèle avec les manœuvres utilisées pour réguler une ligne de métro :

- la modification de l'heure de départ par prise d'avance ou de retard est une manœuvre de type temporel,
- la mise en place d'un Haut le pied est une manœuvre à caractère spatial, tout comme la modification du type de manœuvre de retournement en terminus...

Mailles (*ibid.*) met en évidence que les opérateurs non professionnels utilisent plutôt des manœuvres à caractère temporel. Nos résultats montrent que :

- Au PCC, les opérateurs utilisent plutôt des manœuvres à caractère spatial (Haut le pied, arrêt prolongé volontaire en station...),

- Au PML, les opérateurs utilisent plutôt des manœuvres à caractère temporel puisque la fonction la plus utilisée par les chefs de départ est la compensation d'horaires (prise de retard ou d'avance sur l'horaire de départ d'une rame), les manœuvres à caractère spatial étant peu utilisées (chapitre 5, paragraphe 3.2.2).

Mariné *et al.* (1988) ont montré que les régulateurs expérimentés d'une ligne de bus anticipent à partir de la localisation de la perturbation, de l'espacement entre les bus et tiennent compte de l'évolution de la situation régulée. Ces auteurs ont également montré que les opérateurs observés n'agissent pas au coup par coup.

Nos résultats sont contradictoires avec ceux de ces auteurs puisque nous avons observé que dans certaines circonstances, les opérateurs adoptaient une stratégie "linéaire" consistant précisément à agir au coup par coup et pas seulement, comme le dit Daniellou (1986) "*lorsqu'ils sont amenés à traiter plusieurs problèmes simultanément*". Dans notre situation c'est la localisation de la situation perturbée qui amène l'opérateur à adopter une stratégie au coup par coup. Mariné, Cellier et Valax (1988) mettent en évidence une régulation "par anticipation" qui intervient avant qu'une perturbation soit installée et qui s'observe surtout chez les opérateurs expérimentés. Nos résultats vont dans ce sens, puisque nous avons caractérisé une stratégie utilisée par les opérateurs du PML que nous avons appelé "stratégie alternante" qui leur permet d'agir jusqu'à 35 minutes avant l'arrivée de la rame au terminus. Ce qui signifie une anticipation de plus d'une demi-heure des conséquences effectives de la perturbation. Cette anticipation donne au chef de départ une marge de manœuvre importante en nombre de rames dont il dispose pour agir (chapitre 5, paragraphe 2.2.3, 2.2.4 et 2.2.5).

Dans un domaine plus éloigné de contrôle de processus, Decortis (1993) montre que certains opérateurs expérimentés parviennent à maîtriser un incident, alors que 4 minutes après le début de celui-ci, ils n'ont toujours pas identifié l'origine précise de l'incident. En parallèle, ces opérateurs ont déjà pris des mesures pour stabiliser la situation, en adoptant une stratégie : i) évaluant quelles actions seront efficaces pour réduire l'incident et prévenir sa propagation, ii) contrôlant les paramètres les uns après les autres. Nous retrouvons ce type de stratégie chez les chefs de régulation au PCC puisque nous avons vu dans le chapitre 6, paragraphe 3.3.1 que l'identification de la cause de la perturbation pouvait survenir jusqu'à 6 minutes après le début de la perturbation sans que le traitement en soit retardé. Les chefs de régulation parviennent à mener de front la recherche des origines du problème et la stabilisation du processus qu'est la ligne de métro. Senach (1984) montrait d'ailleurs que les opérateurs régulant une ligne de métro avaient tendance à réaliser un diagnostic minimum

permettant l'action, qui par son incomplétude nécessitait ensuite une succession d'ajustements de l'action (Hoc et Amalberti, 1994).

2.1.5 La performance

Nous avons observé une différence de performance très visible entre les opérateurs professionnels en situation réelle et les opérateurs non professionnels observés en simulation par Mailles (1996), surtout en ce qui concerne le maintien de la régularité du trafic. Nous avons construit des indicateurs de performance afin d'évaluer la qualité de la régulation du trafic pour les chefs de départ qui sont comparables aux indicateurs utilisés par Mailles (*ibid.*).

Nous avons précédemment que les opérateurs professionnels parvenaient à maintenir en équilibre au moins l'une des deux dimensions du trafic, c'est-à-dire au moins à maintenir la situation telle qu'elle est, contrairement aux non professionnels qui ont dégradé la situation de la ligne régulée.

Mailles (1996) met en évidence que des opérateurs non professionnels placés en situation de simulation dynamique n'ont pu maintenir aucune des deux dimensions du trafic en équilibre (ponctualité et régularité). Elle en conclut que les opérateurs observés ont des difficultés à anticiper les effets de l'action sur le trafic, reprenant ainsi la distinction initiée par Bainbridge (1988) entre anticipation de l'évolution du processus et anticipation des effets de l'action. Une explication de ces résultats est la non connaissance du processus par ces opérateurs non professionnels.

La situation que nous avons étudiée était une situation de régulation réelle de métro, avec des opérateurs professionnels. Nos résultats complètent et affinent ceux obtenus en situation de simulation, que ce soit avec des opérateurs expérimentés ou des sujets non professionnels. Sur le point de la dimension du trafic privilégiée et contrairement aux opérateurs non professionnels, les opérateurs expérimentés parviennent à maintenir en équilibre au moins l'une des deux dimensions du trafic. Ils disposent d'une très bonne connaissance du processus et sont capables d'anticiper les effets de l'action sur le trafic. Nos résultats vont dans le sens de ceux identifiées par Roth et Woods (1988) dans une situation simulée de contrôle de centrale électrique, selon lesquels les opérateurs expérimentés ont une meilleure anticipation des actions à mettre en œuvre et de leurs effets.

2.2 Les instruments de l'activité

Nous avons choisi dans ce travail de mettre en relation les stratégies de gestion d'environnement dynamique avec l'analyse des instruments. Dans cette perspective, nous pouvons citer la recherche de Vidal-Gomel (2001) qui a opérationnalisé cette approche dans une perspective développementale, dans une situation non dynamique. Dans notre cas, il s'agit d'une situation dynamique étudiée dans une perspective de conception.

Analyser la régulation en termes d'instruments nous a permis de réinterpréter les stratégies observées et de montrer les différents usages d'un même artefact. Pour cela, nous avons recherché des invariants dans l'activité des opérateurs que nous avons mis en relation avec l'utilisation des artefacts de la régulation.

Au PML, nous avons mis en évidence l'existence d'un invariant de prise d'informations, que nous avons appelé "pointage des rames", que l'on retrouve chez tous les opérateurs observés. Cet invariant se répète en portant soit sur plusieurs rames différentes, soit sur la même rame, tout au long du traitement des situations perturbées. La fonction de cet invariant est d'évaluer la ponctualité des rames sur la voie de réception. Il permet au chef de départ de quantifier précisément la valeur du retard d'une rame.

Nous avons ensuite supposé que cet invariant était sous-tendu par un schème d'action instrumenté, ce qui nous a amené à le mettre en relation avec les artefacts utilisés par les opérateurs. Nous avons observé que cet invariant pouvait porter sur plusieurs endroits de la ligne sur la voie de réception, et qu'à ce moment, les artefacts utilisés variaient. Ainsi, pour le pointage des rames, nous avons pu observer différents instruments constitués sur la base de la console de suivi, initialement prévue par les concepteurs pour pointer les rames sur la voie de réception en un seul point de la ligne. Les opérateurs ont élargi l'utilisation de cette console à un pointage plus souple, en plusieurs lieux de la ligne. Nous avons pu montrer que les usages d'un même artefact varient en fonction des conditions dans lesquelles l'opérateur se trouve, en particulier en fonction de la localisation de la perturbation sur la ligne. Nous avons également pu montrer qu'un même schème peut être associé à différents artefacts, rejoignant le point de vue de Rabardel (1999), selon lequel un même schème d'utilisation peut s'appliquer à une multiplicité d'artefacts. De même, nous avons pu mettre en évidence plusieurs instruments pour réaliser une même fonction, à savoir l'évaluation de la ponctualité, qui varient en fonction des situations, ici la localisation de la rame à pointer. Les opérateurs disposent donc de différents instruments pour réaliser une même fonction, ce qui peut être qualifié de

redondance des fonctions entre plusieurs instruments. Ils disposent également d'instruments complémentaires pour réaliser les fonctions de prise en compte de la régularité et de la ponctualité. La redondance permet plus souplesse d'utilisation et la complémentarité permet de prendre la mesure des deux dimensions du trafic. Elles sont les caractéristiques des systèmes d'instruments tels que les décrit Rabardel (*ibid.*).

Concernant les opérateurs du PCC, nous avons pu montrer l'existence d'une organisation invariante de la recherche de la cause de la perturbation sous-tendue par un schème qui, associé à différents artefacts constitue un instrument des chefs de régulation. Nous avons mis en évidence une partie d'un système d'instruments concernant la recherche de la cause de la perturbation, puisque les chefs de régulations utilisent deux artefacts différents pour réaliser une même fonction.

Une autre partie du système d'instruments des chefs de régulation a été décrite dans le chapitre 6, elle concerne la gestion du trafic résiduel. Nous avons mis en évidence une organisation invariante de l'activité de gestion des DSO sous-tendue par un schème d'action instrumenté grâce à l'artefact DSO. Cet instrument permet d'agir sur la régularité du trafic.

Une interprétation de la gestion du trafic résiduel en termes d'instruments nous a permis de proposer des principes de conception, sur la base des schèmes inférés, ce que nous avons fait dans le cadre du projet SART de conception d'un système d'aide à la régulation (chapitre 7, paragraphe 1).

2.3 La conceptualisation pragmatique

Concernant la régularité du trafic, nos résultats rejoignent ceux de Cellier (1991) qui affirme que la prise en compte de la régularité s'appuie sur une analyse par l'opérateur de l'évolution de plusieurs bus et non d'un seul. Cependant, il l'interprète en termes de règles sous-jacentes à la prise en compte et au traitement des perturbations, ainsi qu'en termes de patterns situationnels, c'est-à-dire de configurations de la ligne comparées à une configuration standard (Cellier et Mariné ; 1988). Si nos résultats rejoignent ceux de Mariné et Cellier (*ibid.*) concernant la prise en compte de la régularité, nous interprétons nos résultats selon une autre optique, rejoignant le point de vue de Samurçay et Pastré (1995), selon lequel les opérateurs ne font pas qu'appliquer des règles d'action mais conceptualisent leur situation de travail autour d'invariants.

Nous avons observé que les opérateurs du PML prenaient en compte la régularité du trafic en évaluant la fluidité de celui-ci. La fluidité du trafic correspond à l'expression de relations en termes de flux entre les rames circulant sur la ligne, ce qui nous a permis de faire l'hypothèse que les opérateurs ont construit une conceptualisation de la situation s'appuyant sur un concept pragmatique. Ce concept pragmatique leur permet de mettre en relation les indicateurs prélevés sur la situation et l'état de la régularité du trafic, c'est-à-dire se représenter le flux des rames dans la zone autour du terminus. Cette représentation leur permet d'évaluer précisément la régularité et d'identifier le moment d'agir. Dans ce sens, nous rejoignons les résultats de Samurçay et Hoc (1988), selon lesquels les opérateurs supervisant un haut-fourneau utilisaient des descripteurs leur permettant de décrire le fonctionnement du haut-fourneau selon une de ses dimensions essentielles. C'est le diagnostic sur l'état présent du système et son évolution qui permet à l'opérateur l'action et les règles d'action pertinentes par rapport à la situation. C'est ce que nous avons pu inférer en interrogeant un régulateur débutant, puisque ce dernier nous indiquait qu'il voyait bien que la situation devait être régulée mais il ne savait sur quels critères évaluer les besoins de régulation et le meilleur moment pour agir. Comme dans le cas du Haut-fourneau, nous avons identifié un descripteur (ici la fluidité) qui rend compte de l'une des deux dimensions essentielles du processus (ici la régularité).

Nos résultats sont cohérents avec ceux mis en évidence dans deux situations de conduite de processus, la conduite de presse à injecter et la conduite de Haut-fourneau et une situation de diagnostic de panne réinterprétées en termes de concepts pragmatiques :

- Le **concept de "burrage"** (Pastré, 1994) développé par les opérateurs conduisant une presse à injecter est un terme qui rend compte de l'action et du développement d'une pratique commune. Il permet d'évaluer le bon déroulement du processus d'injection.
- Le **concept "d'état thermique"** (Samurçay et Pastré, 1995) dans la conduite de haut-fourneau s'appuie sur le développement de relations entre les variables de température de fonte, une variable calculée et des indicateurs chimiques. Il permet d'évaluer la bonne marche du haut-fourneau.
- Les **concepts de "continuité et le sens de distribution de l'énergie électrique"** (Vidal-Gomel, 2001), dans le diagnostic de panne électrique. Ils permettent la schématisation du réseau électrique en termes de flux.

L'intérêt pratique d'une interprétation en termes de concept pragmatique est double :

- proposer d'utiliser ce concept pour concevoir les formations étant donné que les concepts ainsi décrits constituent des représentations externes du fonctionnement du processus qu'il est possible de partager et de transmettre (Samurçay et Pastré 1995). Préconisation que nous avons formulée dans le chapitre 7.
- Proposer d'utiliser les concepts pragmatiques pour concevoir des outils d'aide basé sur les conceptualisations des opérateurs, comme l'a fait Samurçay (1994) dans une situation de supervision de haut-fourneau.

3 APPORTS ET LIMITES

3.1 Les apports méthodologiques

3.1.1 Analyser une situation réelle de régulation

Un des objectifs de la recherche en psychologie et en ergonomie est la recherche de la validité écologique des situations étudiées (Hoc et Bes ; 1994). Une des difficultés de l'analyse est la prise en compte de la complexité des situations et dans le cas de la simulation, le chercheur doit pouvoir reproduire et contrôler les situations, ce qui passe par la réduction du nombre des dimensions prises en compte (Eyrolle, Mariné, Mailles ; 1996).

Un des atouts de notre démarche était de disposer de deux situations réelles complexes dans lesquelles nous avons pu garder une grande partie de la complexité, même si pour les besoins de l'analyse, nous avons choisi d'isoler certaines dimensions de la situation telles que la tâche de gestion des couples conducteurs/numéro de rames par les chefs de départ au PML. Un autre avantage de cette situation est l'absence de besoin de formation des opérateurs qui sont déjà experts de leur propre système (Hoc et Bes, *ibid.*).

Notre étude souhait répondre à un objectif de recherche d'une validité écologique permettant de créer des connaissances applicables en situation réelle (comme nous avons pu le voir dans le chapitre 7). Ainsi, ce travail mené sur le terrain, en accordant une place prépondérante à l'analyse du travail réel, apporte des connaissances obtenues en situation complexe non simulée, ce qui est un atout souligné par Hoc (1990).

3.1.2 Comparer deux tâches de régulation d'un même processus

D'un point de vue méthodologique pour l'analyse des situations de régulation, cette thèse a mis en évidence l'intérêt d'étudier l'activité de régulation du point de vue des deux métiers régulant le même système en deux lieux différents.

Ce choix méthodologique de comparer deux tâches de régulation d'un même processus, nous permet d'augmenter la validité externe des nos résultats (Cellier, Escribe, Eyrolle ; 1990). En effet, notre étude a été menée sur deux types de situations appartenant toutes deux à la classe des situations de régulation de trafic ferroviaire. Ainsi, de nombreux facteurs de la situation sont stables pour les deux situations étudiées : la ligne de métro, les périodes analysées, l'environnement et surtout, la tâche globale. Comme l'indiquent ces auteurs, il est nécessaire de s'intéresser à la tâche à remplir lorsque l'on veut définir une classe d'équivalence de situation. Ainsi, dans notre situation comme dans l'exemple cité par Cellier *et al.* (*ibid.*), le poste de régulation de trafic étudié peut être regroupé sous les tâches de gestion d'environnements dynamiques, mais aussi et plus précisément, le contrôle de mobiles en mouvement, dans un contexte ferroviaire. L'intérêt de notre étude est donc d'étudier deux situations appartenant à une même classe d'équivalence, ce qui nous permet d'augmenter le degré de généralisation des résultats obtenus, comme le souligne Veyrac (1998), puisque nous disposons de deux terrains complémentaires réalisant une même tâche.

3.1.3 Différencier deux niveaux d'analyse

Notre recherche a également mis l'accent sur la nécessité de différencier deux niveaux d'analyse selon leur pertinence pour les opérateurs chargés de la régulation : celui des situations pour les chefs de régulation au PCC et celui des épisodes pour les chefs de départ en terminus. Le recueil simultané des données en deux lieux différents n'a pas permis d'obtenir des données exploitables sur le plan de la quantité et de la qualité des échanges. Nous n'avons recueilli qu'une seule communication téléphonique échangée entre le PCC et le PML en une demi-journée d'observation.

Nous avons pu toutefois analyser deux points de vue de régulation sur une même ligne de métro, dépendant de l'organisation du travail et de la répartition des tâches. En ce sens, nous répondons aux perspectives évoquées par Filippi (1994) selon lesquelles : "*les futures recherches devraient s'attacher à développer le recueil de données ...portant sur l'activité de plusieurs agents, mais avec des agents qui ne sont pas situés dans un même lieu*".

3.1.4 Une méthode de recueil de données spécifique

Filippi (1994) souligne trois points à la fin de sa thèse concernant l'étude d'une situation de régulation de trafic ferroviaire : i) la nécessité de compléter le recueil de données par les événements que les opérateurs prennent en compte ainsi que les traces de l'activité, ii) la nécessité d'observer l'activité d'opérateurs régulant la même ligne situés en des lieux différents, iii) l'intérêt de pouvoir proposer des préconisations et des principes d'organisation dans le cadre d'un projet précis de conception.

Nous avons mis en œuvre une méthodologie de recueil qui permet de répondre à ces 3 préconisations :

- Nous avons étudié une situation réelle de régulation de trafic, ce qui nous a permis de disposer d'une situation plus dynamique, avec des exigences d'anticipation de l'évolution du processus beaucoup plus fortes qu'en simulation (Van Daele et Carpinelli, 1996). Cette situation réelle a également permis au PCC des enregistrements audiovisuels du synoptique de ligne dans la partie concernée par la perturbation, du pupitre de commande et le recueil des rapports journaliers des chefs de régulation. Toutes ces traces de l'activité réelle ont permis de replacer les opérateurs dans un contexte assez réaliste lors de l'autoconfrontation. Au PML le garde-temps annoté par les chefs de départ nous a donné la trace la plus complète possible des actions sur le processus. Nous avons donc enrichi la méthode d'autoconfrontation utilisée par Filippi qui a étudié une situation très similaire de la nôtre.
- Nous avons analysé l'activité de plusieurs agents chargés de la régulation situés en des lieux différents, répondant ainsi à la deuxième remarque méthodologique.
- Nous avons réalisé ce travail dans le cadre d'un projet de conception d'un outil d'aide à la régulation, ce qui a permis de valider nos propositions de conception.

Au cours de cette thèse, nous nous sommes aussi attachée à l'élaboration d'une méthode de recueil de données adaptée à l'activité étudiée. C'est pourquoi nous avons croisé les méthodes en combinant entretiens, analyse de l'activité par observations avec support vidéo et autoconfrontation, à chaque fois que cela a été possible. En particulier, concernant l'autoconfrontation avec les régulateurs du PCC, pour laquelle nous avons associé plusieurs supports complémentaires visant la reconstitution d'une situation la plus écologique possible. Cette méthode, grâce à un montage vidéo issu de deux caméras a permis aux opérateurs de disposer à la fois de la visualisation de l'état de la ligne de métro, pour les portions de TCO

sur lesquelles intervient le chef de régulation et de leurs actions sur le pupitre de régulation. Nous l'avons complété par un support papier (le rapport journalier), qui présente un compte rendu de l'incident traité du point de vue des résultats de l'action et de la procédure suivie.

En ce sens, cette méthodologie répond également aux perspectives évoquées par Filippi (1994) : *"il serait nécessaire d'obtenir des données précises non seulement sur le comportement des acteurs mais aussi sur les événements qu'ils prennent en compte et les traces de leur activité. Il serait souhaitable de procéder à des enregistrements audiovisuels des écrans informatiques et du synoptique"*.

Cet auteur souligne également la nécessité de l'amélioration des entretiens d'autoconfrontation, qu'elle a réalisé sur la base de la retranscription de ses propres films : *"...l'amélioration des entretiens d'autoconfrontation dépend en partie des moyens techniques, si l'on fournit à l'opérateur un film assez riche pour resituer ses représentations en situation"*.

3.2 Concevoir autour des invariants du sujet Les résultats que nous avons présentés nous permettent de discuter un certain nombre de points concernant les apports de ce travail de thèse.

Nous avons vu que le niveau d'analyse des situations doit être construit avec les opérateurs pour être pertinent par rapport à leur activité. Les classes de situations doivent reposer sur un découpage qui est celui de l'activité puisque la « situation » se construit dans l'action. Dans la situation étudiée, après réorganisation, chef de départ et de régulation doivent travailler ensemble, pas de prise en compte de ces niveaux différents d'entrée dans les situations)

Nous avons aussi vu que l'activité est doublement déterminée, à la fois par les opérateurs (leur niveau d'expérience) comme l'ont étudié d'autres auteurs sur la régulation de bus et par les caractéristiques des situations rencontrées.

Nous avons également mis en évidence que l'activité s'articule autour d'invariants propres aux opérateurs : tels que les systèmes d'instruments, le processus de genèse instrumentale, des schèmes d'action instrumentée, les concepts pragmatiques. Sur cette base, il nous a été possible de proposer des principes pouvant servir de base à la conception non centrés sur la tâche, mais sur les invariants du sujet.

Pour une généralisation à **d'autres situations** de gestion d'environnements dynamiques, nous retiendrons également :

- **La double détermination de l'activité** par l'opérateur (telle que l'on montré Cellier et Mariné en simulation) et par la situation,
- **L'importance de la dimension anticipative** de l'activité puisque nous avons vu que des outils conçus comme étant réactifs ne permettent pas de choisir la stratégie alors que des outils anticipatifs ont fait l'objet d'une genèse de la part des opérateurs permettent économie cognitive et le choix d'une stratégie adaptée.

3.2.1 Systèmes d'instruments

L'évaluation de la ponctualité et de la régularité du trafic peuvent être réalisées par différents instruments aux fonctions **complémentaires** (évaluation directe /indirecte de l'état du trafic) et **redondantes** (pointages pour l'évaluation de la ponctualité). Ces instruments sont partagés par les opérateurs expérimentés, ils peuvent donc servir de base commune pour l'élaboration d'artefacts à vocation instrumentale.

3.2.2 Genèses instrumentales

Nous en avons repéré les traces à partir de l'analyse des instruments élaborés par les opérateurs en situation.

- Exemple : les instruments « pointage » manuel et à quai de départ construits par les opérateurs du terminus.

Nous avons vu que les outils actuels dont disposent les opérateurs sont de type **réactif** alors que les « instruments » qu'ils mobilisent sont plutôt **anticipatifs**. Ceci montre l'importance de la dimension anticipative de l'activité de régulation est assez prégnante pour amener les opérateurs à élaborer leur propres instruments « anticipatifs » sur la base d'artefacts « réactifs ». Un même artefact peut être associé à des schèmes différents pour constituer de nouveaux instruments qui pourraient être intégrés dans la conception future.

3.2.3 Schèmes d'action instrumentée

Ils permettent de mener une réflexion pour alimenter la conception des outils autour des schèmes des sujets et des invariants opératoires.

Dans ce cadre, la conception n'est plus seulement fondée sur la dynamique de la tâche, comme ça a été le cas dans la situation étudiée où seule une partie de la dynamique de la situation a été automatisée.

L'automatisation a d'ailleurs mené à l'abandon de l'artefact qui n'a pu être institué en instrument par les opérateurs.

3.2.4 Concepts pragmatiques

Ils ont été élaborés par les opérateurs pour évaluer l'état d'une dimension du processus à partir d'une variable.

Le concept pragmatique de fluidité que nous avons identifié est **fonctionnel pour un domaine d'activité** (la régulation des zones de terminus) et s'inscrit dans le réseau de concepts techniques (régularité et ponctualité).

Il a une fonction d'outil cognitif puisqu'il permet d'inférer l'état du processus de manière indirecte. Il est transmis et peut être montré par les opérateurs et peut donc être utilisé pour l'élaboration de scénarios de formation visant l'acquisition de ce concept ou pour la conception d'artefacts visant à faciliter l'évaluation de la régularité.

3.3 Difficultés et limites

Une des difficultés d'analyse des situations dynamique tient à la multiplicité des variables du processus et leur interaction (Eyrolle, Mariné, Mailles ; 1996). Nous avons également souligné le caractère aléatoire du recueil des données dans ce type de situations. Sur la ligne de métro étudiée, il y a eu, en 1998, 1806 événements perturbés consignés dans la base de données statistiques du métro. Si l'on considère qu'une journée d'exploitation est de 20 heures, reproduite 365 jours par an, on peut estimer qu'il survient une perturbation toutes les 4 heures environ sur la ligne que nous avons observée.

Comme Filippi (1994), dans son étude de la régulation du trafic RER, nous avons choisi d'observer des situations moyennement perturbées, composées d'événements courants et qui sont susceptible de survenir quotidiennement. Nous suivons cet auteur lorsqu'elle suppose que l'analyse de l'activité dans ces situations moyennement perturbées donne des éléments de compréhension des situations plus complexes.

Les situations dynamiques sont rarement répétitives et comportent souvent des événements imprévus (Amalberti et Hoc, 1998).

Nous avons donc retrouvé les principales difficultés de l'étude de ce type d'activité, à savoir :

- le recueil d'un échantillon de situations perturbées suffisant pour être analysé. Mais on peut s'interroger sur la pertinence de réaliser une analyse superficielle d'un grand nombre d'opérateurs par rapport à une analyse en profondeur de l'activité d'un petit nombre d'opérateurs. Comme le disent Hoc et Amalberti (1999) : "*sous prétexte d'une plus grande représentativité de l'échantillon étudié, l'analyste peut être conduit à passer à côté de ce qui constitue fondamentalement l'activité*".
- la complexité des situations très perturbées où l'activité collective rend extrêmement difficile l'analyse du travail. Le choix d'étudier des situations moyennement perturbées, les contraintes techniques d'implantation des caméras et les difficultés du recueil de données nous ont amenée à nous centrer sur le traitement individuel des perturbations, aussi bien au PCC qu'au PML. La caractéristique éminemment collective de l'activité de régulation n'a donc pas été traitée dans cette recherche.

4 QUESTIONS OUVERTES

Cette thèse constitue une analyse d'une situation de gestion d'environnements dynamiques particulière puisqu'elle s'est intéressée à la gestion de trafic ferroviaire urbain. Les environnements dynamiques sont un domaine d'étude très vaste, déjà explorés par bien des auteurs, mais l'interprétation de résultats dans ce domaine à la lumière de l'approche instrumentale et de la conceptualisation pragmatique nous a ouvert des pistes intéressantes pour l'aide à la conception des outils et des situations de travail.

Il nous semble toutefois nécessaire d'approfondir certains points que nous avons évoqués dans ce travail de recherche.

Pour conclure, nous évoquerons donc les questions qui restent ouvertes suite à cette thèse.

4.1 Prolonger l'analyse des invariants du sujet

En nous appuyant sur les données dont nous disposons, nous pensons qu'une analyse systématique des invariants des sujets pourrait être poussée plus loin.

Par exemple, au PCC, n'y aurait-il pas un concept pragmatique « caché » de type « continuité du voyage » ? Ce concept serait le pendant du concept de fluidité du Terminus et intégrerait une dimension commerciale dans la régulation.

4.2 Analyser l'activité collective de régulation

Nous avons très souvent observé un traitement collectif des situations perturbées, surtout au PCC, en cas d'augmentation de la charge de travail. Ce traitement collectif s'articule autour :

- D'une répartition des réceptions de communications entre le chef d'incident (chef de régulation responsable du traitement de la perturbation) et ses assesseurs (les autres chefs de régulation qui viennent l'aider) permettant d'optimiser la construction de la représentation de la situation dès le déclenchement de l'incident. Les communications au THF sont réceptionnées par le chef de régulation-chef d'incident et les communications téléphoniques par les assesseurs. Cette répartition permet au chef d'incident d'être en contact direct et permanent avec le terrain et de recevoir au moment opportun les informations des autres intervenants qui ne sont pas sur le train. Les assesseurs "stockent" les informations pour les fournir dès que cela devient pertinent au chef d'incident. Les risques de pertes d'informations par non réponse du chef d'incident diminuent.
- D'une répartition des communications pour diffuser les informations sur l'état de la situation auprès des divers interlocuteurs, qui permet de gagner du temps et d'informer le plus d'intervenants possible dans un délai réduit.
- De l'entretien de la polyvalence sur les postes par une connaissance des spécificités de plusieurs lignes (au moins celles qui sont dans la même salle, c'est-à-dire 5 ou 6 autres lignes que la sienne pour ceux qui sont titulaires).

4.3 Analyser l'évolution conjointe des systèmes d'instruments et de l'organisation du travail

Nous l'avons évoqué au cours de ce travail, la régulation est une tâche dont l'organisation évolue au cours de l'histoire. Hier centralisée, aujourd'hui décentralisée, les techniques associées évoluent également. Nous avons étudié deux situations de régulation d'une même ligne et nous avons montré une partie des systèmes d'instruments des opérateurs. Nous pensons qu'un approfondissement de l'analyse des systèmes d'instruments et de leur évolution en fonction de la modification de l'organisation du travail serait intéressant. Une telle étude permettrait de comprendre comment les opérateurs s'approprient les artefacts et la nouvelle organisation afin de faire évoluer leurs pratiques de régulation dans un contexte

organisationnel et technique nouveau. Analyser les instruments des chefs de dépôts et des chefs de régulation nous a permis de considérer la situation de régulation comme un ensemble, sans isoler l'organisation du travail de la technique. Une étude des nouvelles organisations de la régulation permettrait de compléter ces connaissances.

4.4 Initier une analyse développementale des compétences de régulation

Nous avons vu au travers de l'analyse de l'activité que les compétences auxquelles fait appel la régulation sont complexes et nécessitent un long développement qui va au-delà de l'acquisition des procédures de travail.

Pour l'avenir, en s'appuyant sur les potentialités du terrain observé, une **analyse des contenus de formation** pourrait contribuer à l'élaboration de scénarios de formation et de méthodologie plus centrés sur l'activité.

Une **analyse développementale** des instruments et des concepts en suivant l'acquisition des compétences de régulation d'opérateurs en formation. L'observation de micro-genèses au moins doit être possible, même si les opérateurs eux mêmes soulignent la longueur d'apprentissage de ce type d'activité. La recherche de différences inter-individuelles sur un échantillon plus large d'opérateurs d'expérience différent et de parcours différents permettrait également d'étudier le développement des compétences de régulation.

Comme l'a fait Vidal-Gomel (2001) dans une situation de maintenance de systèmes électriques en basse tension, une étude visant à caractériser les compétences des opérateurs chargés de la régulation sur le long terme permettrait de proposer des situations de formation qui pourraient favoriser le développement des compétences des régulateurs. Pour ce faire, une analyse auprès d'opérateurs d'expérience variable pourrait être mise en œuvre, d'autant plus que l'entreprise ayant accueilli notre étude dispose de nombreuses situations de régulation (RER, métro automatique, régulation centralisée, ou décentralisée), dont les compétences techniques sont reconnues dans le monde entier.

Les réponses à ces différentes questions pourraient s'organiser autour d'une étude de la situation de régulation modifiée par regroupement des opérateurs chargés des deux tâches observées en un seul lieu et une modification des artefacts. Une réorganisation a été réalisée en 2001, lors de la mise en service d'un PC décentralisé de régulation d'une ligne de métro.

Nous pourrions aborder l'impact des changements organisationnels et techniques sur les activités respectives des chefs de départ et de régulation dont nous avons montré que les invariants conceptuels, les niveaux de traitement des situations et les instruments sont différents. Un nouveau collectif a ainsi été créé, dont on sait qu'il a émergé par le regroupement en un même lieu des régulateurs du PCC et des terminus pour une ligne et dont les tâches et les outils ont été modifiés. Les impacts organisationnels et techniques pourraient être étudiés sur le collectif de régulation ainsi créé.

BIBLIOGRAPHIE

- Alengry, P., Tayssier, F.O. (1991). Analysis of some cognitive process in nuclear power control room. In Y. Queinnec, F. Daniellou (Eds.). *Designing for every one*. London, Taylor & Francis.
- Amalberti, R. (1996). *La conduite de systèmes à risques*. PUF, Le Travail Humain.
- Amalberti, R. & Barriquault, C. (1999). Fondements et limites du retour d'expérience (Bases and limits of experience feedback). *Annales des Ponts*, 91, 67-75.
- Amalberti, R., Hoc, J-M. (1998). Analyse des activités cognitives en situation dynamique : pour quels buts ? Comment ? *Le Travail Humain*, 61-3, 209-234.
- Ashtiani, A. , Costes, M. (1994). "Systèmes d'information voyageur du métro parisien en cas de trafic perturbé. Pour une meilleure collaboration du PCC et des centres de liaison". DESS ergonomie Université Paris V.
- Audignon, L., Besse, T. (2000). "Facteurs humains et fiabilité". Etude de l'incident du 17 avril 1999 sur la ligne 2 du métro parisien. DESS Analyse Pluridisciplinaire des Situations de Travail, Université de Provence, Aix-Marseille I.
- Bainbridge, L. (1978). The process controller. In W.T. Singleton (Ed.) *The Study of real skills. Vol. 1 : the analysis of practical skills*. St Leonardgate, MTP, 236-263.
- Bainbridge, L. (1980-1981). Le contrôleur de processus. *Bulletin de Psychologie*, n°34, 813-832.
- Bainbridge, L. (1988). Types of representation. In L.P. Goodstein, H.B.Andersen, S.E. Olsen(Eds.), *Tasks, Error and Mental Models*, London, Taylor & Francis, 71-91.
- Bainbridge, L. (1993). Planning the training of a complex skill. *Le Travail Humain*, 56, 2/3, 211-232.
- Béguin, P. (1994). *Travailler avec la CAO en ingénierie industrielle : de l'individuel au collectif dans les activités avec instruments*. Thèse de doctorat en ergonomie. Paris, CNAM.
- Bertrand, Weill-Fassina, A.(1993). Formes des représentations fonctionnelles et contrôle des actions dans le diagnostic de panne. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel, D. Dubois (Eds.) : *Représentations pour l'action*. Octarès Editions, Toulouse. 247-269.
- Bisseret, A. (1995). Représentation et décision experte. *Psychologie cognitive de la décision chez les aiguilleurs du ciel*. Toulouse, Octarès.
- Bisseret, A., Sébillotte, S., Falzon, P. (1999). *Techniques pratiques pour l'étude des activités expertes*. Toulouse, Octarès.
- Borzeix, A. (1997). Un agent 1000 pattes pour une gare 1000 feuilles. In D. Bayart, A. Borzeix, M. Lacoste, J. Theureau (Eds.). *Les traversées de la gare. La méthode des trajets pour analyser l'information-voyageurs*. RATP-rapport de recherche n°119, 7-24.
- Boudes, N., Cellier, J-M. (1998). Etude du champ d'anticipation dans le contrôle de trafic aérien. *Le travail humain*, 61-1, 29-50.
- Bourdon, F., Mageau, E. (1991). Transmission of information about unexpected events in train traffic control. In Y. Queinnec, F. Daniellou (Eds.). *Designing for every one*. London, Taylor & Francis.
- Bourdon, F., Weill-Fassina, A. (1994). Réseau et processus de coopération dans la gestion du trafic ferroviaire. *Le Travail Humain*, 57-4, 271-287.
- Brabant, S. (1998). Mais où est le 140 ? In A. Trognon, K. Kotulski (Eds.) *Communication interactive dans les groupes de travail*. Presses Universitaires de Nancy. Collection Langage-Cognition-Interaction, 103-121.
- Bressolle, M-C., Decortis, F., Pavard, B., Salembier, P. (1996). Traitements cognitifs et organisationnels des micro-incidents dans le domaine du contrôle aérien : analyse des boucles de régulation formelles et informelles. In G. de Terssac & E. Friedberg (Eds.). "Coopération et conception". Toulouse, Octarès. 267-287.
- Brézillon, P., Gentile, C., Saker, I. et Secron, M. (1997). SART : A system for supporting operators with contextual knowledge. *First International and Interdisciplinary Conference On Modelling and Using Context (CONTEXT'97)*, 209-222, Federal University of Rio de Janeiro.

- Carlier, X., Hoc J-M. (1999). Role of a common frame of reference in cognitive cooperation. Sharing tasks in Air traffic control. Proceedings of CSAPC'99, Villeneuve d'Ascq, 21-24 september 1999.
- Carling, E. (1999). Timing and its relation to strategies in controlling dynamic systems. Proceedings of CSAPC'99, Villeneuve d'Ascq, 21-24 september 1999.
- Caruso, (1992).
- Cellier, J-M., Mariné, C. (1988). Analyse des règles utilisées par les opérateurs lors du traitement des perturbations. Le cas de la régulation du trafic de bus. Rapport final.
- Cellier, J-M. (1991). Jalons pour une psychologie cognitive du travail. Eléments d'analyse de la dimension temporelle des activités. Thèse d'état sur travaux. Université Toulouse Le Mirail.
- Cellier, J-M. (1996). Exigences et gestion temporelle dans les environnements dynamiques. In J-M. Cellier, V. de Keyser, C. Valot (Eds.). La gestion du temps dans les environnements dynamiques. PUF. Paris.
- Cellier, J-M., de Keyser, V., Valot, C. (1996). La gestion du temps dans les environnements dynamiques. PUF. Paris.
- Cellier, J-M., Escribe, Ch., Eyrolle, H. (1990). Classes de situations et généralisation des résultats en psychologie du travail. *Le Travail Humain*, 53-4, 293-302.
- Chabaud, C. (1990). Tâches attendues et obligations implicites. In M. Dadoy, C. Henry, B. Hillau, G. de Terssac, J.F. Troussier, A. Weill-Fassina. Les analyses du travail, enjeux et formes. CEREQ, Collection des Etudes, n°54, 174-182.
- Chailloux, K. (1994). Apports de l'ergonomie à la conception des produits destinés au grand public. Un exemple : les programmeurs de chauffage. Actes du XXIXe congrès de la SELF, Paris.
- Conein, B., Jacopin, E. (1994). Action située et cognition. Le savoir en place. *Sociologie du travail*, 4-94, 475-500.
- Daniellou, F., Boel, M., Dessors, D., Laville, A., Teiger, C., Villatte, R. (1983). L'activité des opérateurs de conduite dans une salle de contrôle de processus automatisé. CNAM, collection ergonomie et neurophysiologie du travail, n°75.
- Darfel, R., Filippi, G., Grosjean, M., Heath, C., Joseph, I., Luff, P., Theureau, J. (1993). Régulation du trafic et information voyageurs au PCC de la ligne A du RER. RATP-Réseau 2000, n°80.
- Decortis, F. (1988). Dimension temporelle de l'activité cognitive lors de démarrages de systèmes complexes. *Le Travail Humain*, 51, 2, 125-138.
- Decortis, F. (1993). Operator strategies in a dynamic environment in relation to an operator model. *Ergonomics*, 36, 11, 1291-1304.
- Decortis, F. (1996). Références temporelles utilisées lors des arrêts d'un haut fourneau. In J-M. Cellier, V. de Keyser, C. Valot (Eds.). La gestion du temps dans les environnements dynamiques. PUF. Paris. p222-243.
- Decortis F., Cacciabue, PC. (1991). Modélisation cognitive et de l'activité. In R. Amalberti, M. de Montmollin, J. Theureau (Eds.) Modèles en analyse du travail. Mardaga, Bruxelles. 85-118.
- De la Garza, C., Weill-Fassina, A. (1995). Les modalités de gestion collective des risques ferroviaires sur les chantiers d'entretiens des voies. *Recherche, Transport, Sécurité*, 49, 73-84.
- Dessaigue, MF. (1989). Adaptation d'outils et de diagnostics pour la conception d'une salle de contrôle. Actes du congrès de la SELF. 239-245
- Doniol-Shaw, G., Froment, N. (1996). Evolution des systèmes, évolution de l'organisation du travail : l'exemple du projet ASTREE de contrôle-commande des circulations ferroviaires appliqué aux lignes à grande vitesse. In JC. Spérandio, (s/d). L'ergonomie face aux changements technologiques et organisationnels du travail humain. Octarès, Toulouse.
- Dos Santos, N. (1985). Analyse ergonomique du travail des opérateurs de conduite d'une salle de contrôle du trafic d'une ligne de métro. Une approche anthropotechnologique. Thèse d'ergonomie, CNAM, Paris.
- Duvenci-langa, S. (1997). Evolution de l'activité et des compétences en situation d'automatisation : le cas des machines-outils. Thèse de doctorat d'ergonomie. Paris, CNAM.
- Edwards, E. , Lees, F.P.(1974). The human operator in process control. London, Taylor & Francis.
- Eyrolle, H., Mariné, C., Mailles, S. (1996). La simulation des environnements dynamiques : intérêts et

- limites. In J-M. Cellier, V. de Keyser, C. Valot (Eds.). La gestion du temps dans les environnements dynamiques. PUF. Paris. p103-121.
- Falzon, P. (1996). Travail et vidéo. Journées du GDR "langage et travail".
- Faverge, J-M. (1966). L'analyse du travail en termes de régulation. In J-M. Faverge et al (Eds.). *L'ergonomie des processus industriels*. Université Libre de Bruxelles, 33-60.
- Ferreira, M.C. (1995). Complexité en ergonomie : de quoi parle-t-on ? Quelques éléments théoriques sur la notion de complexité. Document non publié.
- Filippi, G. (1994). La construction collective de la régulation du trafic du RER. Etude ergonomique dans une perspective de conception de situations d'aide à la coopération. Thèse de doctorat en ergonomie. Université Paris Nord.
- Foot, R. (1987). L'introduction de nouvelles techniques productives au sein des réseaux ferré urbain et routier de la RATP de 1945 à 1986. CRMSI, service des études, de la recherche et de la technologie. DA n°85-35.
- Foot, R. (1991). De l'écriture de la production à l'écriture du travail : un processus d'informatisation dans un terminus de métro. GIP Mutations Industrielles, Paris. Cahier de recherche n°54, ISSN n°0986-4466.
- Foraste, B. (1986). Projet de système expert d'aide à l'exploitation des lignes d'autobus. Note technique INRETS.
- Galinier, V. (1996). Apports de l'ergonomie à la conception d'instruments : concevoir autour des schèmes d'utilisation. Un exemple dans le domaine du transport routier. Thèse de doctorat en ergonomie. CNAM, Paris.
- Grosjean, M. (1992). L'informateur au PCC, transporteur ou stratège ? Rapport d'étude RATP/Ministère de la recherche et de la technologie.
- Guérin, F., Laville, A., Daniellou, F., Duraffourg, J., Kerguelen, A. (1991). Comprendre le travail pour le transformer. La pratique de l'ergonomie. Editions de l'ANACT.
- Guillevic, G. (1990). L'appropriation cognitive de l'outil : condition de la fiabilité dans des situations de transferts de technologies. In J. Leplat, G. de Terssac (Eds.). Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes. Toulouse, Octarès. 141-158.
- Heath, C., Luff, P. (1994). Activité distribuée et organisation de l'interaction. *Sociologie du travail*, 4/94, 523-544.
- Hoc, J-M. (1988). L'organisation des connaissances pour la résolution de problème : vers une formalisation du concept de schéma. In C. Bonnet, J-M. Hoc, G. Tiberghien (Eds.). *Psychologie, Intelligence Artificielle et Automatique*. Mardaga, Bruxelles, 37-45.
- Hoc, J-M. (1989a). La conduite d'un processus continu à long délai de réponse : une activité de diagnostic. *Le Travail Humain*. vol 52, 289-315.
- Hoc, J-M. (1989b). Strategies in controlling a continuous process with long response latencies : needs for computer support to diagnosis. *International Journal of Man-Machine Studies*. 30, 47-67.
- Hoc, J-M. (1990). Psychologie et ergonomie cognitive du raisonnement. CIRILLE, 4^{ème} université d'été " Méthodes de Raisonnement en Intelligence Artificielle ", Lyon, 9-12 juillet 1990.
- Hoc, J-M. (1991). Some dimensions of a cognitive typology of process control situations. 2nd Workshop on Cognitive Process in complex tasks, Eindhoven, 23-25 avril 1991.
- Hoc, J-M. (1991b). Effets de l'expertise des opérateurs et de la complexité de la situation dans la conduite d'un processus continu à long délai de réponse : le haut fourneau. *Le Travail Humain*. vol 54, n°4, 225-249.
- Hoc, J-M. (1992). Psychologie cognitive de la planification. PUG, Grenoble.
- Hoc, J-M. (1993). Some dimensions of a cognitive typology of process control situations. *Ergonomics*, 36, 11, 1445-1455.
- Hoc, J-M. (1993). Conditions méthodologiques d'une recherche fondamentale en psychologie ergonomique et validité des résultats. *Le Travail Humain*, 56-2/3, 171-184.
- Hoc, J-M. (1996). Supervision et contrôle de processus. La cognition en situation dynamique. PUG, Grenoble.
- Hoc, J-M, Amalberti, R. (1994). Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques.

Psychologie Française, 39, 2, 177-192.

Hoc, J-M, Amalberti, R. (1999). Analyse des activités cognitives en situation dynamique : d'un cadre théorique à une méthode. *Le Travail Humain*, 62-2, 97-129.

Hoc, J-M, Amalberti, R., Boreham, N. (1995). Human Operator expertise in diagnosis, decision making and time management. In J-M. Hoc, P.C. Cacciabue, E. Hollnagel (Eds.). *Expertise and technology. Cognition and human-computer cooperation*. Hillsdale, N-J, Lawrence Erlbaum Associates. 19-42

Hoc, J-M., Amalberti, R., Plee, G. (1996). Ergonomie de la conduite des processus industriels. Gestion des tâches en temps partagé et vitesse de processus : expérimentation en situation simulée. Note scientifique et technique de l'INRS, n° NS0141.

Hoc, J-M. , Bes M-O. (1994). Ergonomie de la conduite de processus industriels. 2- bilan des recherches expérimentales menées dans des situations simulées de "micro-mondes dynamiques". Les notes scientifiques et techniques de l'INRS, n°109.

Hoc, J-M., Plee, J. (1996). Ergonomie de la conduite des processus industriels. Délais de réponse, planification et facteurs de coûts en situation dynamique. Note scientifique et technique de l'INRS, n° NS0138.

Hoc ; J-M., Samurçay, R. (1990). Spécification et évaluation expérimentale d'aides logicielles à la planification dans la conduite d'un processus continu à long délai de réponse : le haut fourneau. Rapport final, contrat MRT-HTT « ergonomie et productivité ». N° 88.D0818.

Hoc ; J-M., Samurçay, R. (1992). An ergonomic approach to knowledge representation. *Reliability Engineering and System Safety*, 36,217-230.

Hollnagel, E., Mancini, G., Woods, D.D. (1988). *Cognitive engineering in complex dynamic worlds*. Academic Press, Londres.

Huchon C., Zanarelli C. (1995). Evaluation ergonomique d'un outil informatisé d'aide à la régulation du trafic de bus RATP : l'introduction d'Altaïr. Mémoire de DESS d'Ergonomie Cognitive, Paris 8.

Huchon C., Zanarelli C. (1996). La régulation de trafic de bus : effets de l'introduction d'un nouvel outil sur l'activité des conducteurs et des régulateurs. Actes du XXXIe congrès de la SELF, Bruxelles, 11-13 septembre.

Janet, E. (1980). Analyse des communications du chef de régulation en situation d'incident. Rapport INRIA n°CM8004R04.

Jeffroi, F. , Sagar, M. (1991). Analysis of work activity and design of intelligent support system for process control. In Y. Queinnec, F. Daniellou (Eds.). *Designing for every one*. London, Taylor & Francis.

Joseph, I. (1993). Attention distribuée et attention focalisée. Les protocoles de la coopération au PCC de la ligne A du RER. In R. Darfel, G. Filippi, M. Grosjean, C. Heath, I. Joseph, P.Luff, J. Theureau (Eds.). *Régulation du trafic et information des voyageurs au PCC de la ligne A du RER*. RATP. Réseau 2000.

Keyser, V. de (1982). Les activités mentales dans les processus de production fortement automatisés. *Le Travail Humain*.vol 45, n°2, 331-339.

Keyser, V. de, (1988). De la contingence à la complexité : l'évolution des idées dans l'étude des processus continus. *Le travail Humain*, vol 51, n°1, 1-18.

Keyser, V. de (1990). Fiabilité humaine et la gestion du temps dans les systèmes complexes. In J. Leplat, G de Terssac, (Eds.). *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*. Marseille. Octarès.

Keyser, V. de (1994). *Le temps dans la recherche en ergonomie. Développements récents et perspectives*. Actes du colloque IAE.Toronto.

Keyser, de V., Samurçay, R. (1998). Théories de l'activité, action située et simulateurs. Chapitre introductif au numéro spécial *Le Travail Humain*, 61-4, 305-312.

Kerguelen, A. (1998). Quels outils concevoir pour aider au relevé d'observations sur le terrain ? Actes du XXXIIIe congrès de la SELF, Paris.

Kolski, C. , Waroux, D. (1992). Une expérience de conception, de réalisation et d'évaluation par des conducteurs de leur propre synoptique de conduite de réseau gazier. *Le travail Humain*, 55, 4, 371-388.

- Lafferrerie, A., Dufoir, A., Gauvin, J.C., Mhamdi, A., Ouni, R. (1992). Analyse des communications sur les avaries dans le métro parisien. Actes du XXVIIe congrès de la SELF, Lille.
- Lambert, I. (1993). La sécurité dans le métro : quel système technique, organisationnel pour assister la coopération ? In F. Six, X. Vaxevanoglou (Eds.) Les aspects collectifs du travail. Actes du congrès de la SELF. Octarés, colloques. 143-150.
- Lamonde, F. (1992). La détermination progressive de l'activité des conducteurs de train : contribution à l'analyse de la fiabilité d'un système ferroviaire. Thèse de doctorat d'ergonomie. Université Paris Nord.
- Laville, V. (1999). La régulation du métro en tant que gestion d'environnement instable. Mémoire de Maîtrise, Université de Picardie Jules Verne.
- Laville, V., Zanarelli, C. (2000). La communication comme indicateur structurant de l'activité : illustration dans une situation de régulation de métro. *Actes du 35^e Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française*, Toulouse 20-22 septembre 2000.
- Lecot, S. (1994). L'informatisation du rapport journalier des chefs de régulation du PCC métro. DESS d'ergonomie, Université Paris V.
- Leplat, J. (1971). Planification de l'action et régulation d'un système complexe. *Bulletin de Psychologie*, 298, 533-538.
- Leplat, J. (1985a). Les Représentations fonctionnelles dans le travail. *Psychologie Française*, n°30, 3/4, 269-275.
- Leplat, J. (1985b). *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*. Armand Colin, Collection U.
- Leplat, J., (1995). A propos des compétences incorporées. *Education Permanente*, n°123, 101-114.
- Leplat, J., (1997). Champs de l'activité dans le contrôle de processus dynamique ou quel processus est contrôlé ? In J. Leplat. Regards sur l'activité en situation de travail. Contribution à la psychologie ergonomique. PUF, Paris. 111-139.
- Lévy, E. (1999). L'inscription des voyageurs dans la production du transport urbain. Le cas de la RATP-BUS. Les enjeux d'une modernisation au service du public. Thèse de doctorat de l'Ecole Polytechnique. Sciences de l'homme et de la société, spécialité : sciences de gestion.
- Mailles, S. (1996). Les représentations analogiques comme support de l'anticipation dans les environnements dynamiques. Etude d'une tâche simulée de régulation de trafic de bus.
- Malaise, N. (1991). La supervision des processus continus. *Performances Humaines et Techniques*, n°53-54, 8-14.
- Mariné, C., Cellier, J-M. (1988a). Expérience professionnelle et gestion des communications dans une tâche de régulation de trafic. *Psychologie et Education*, 8, 2, 21-39.
- Mariné, C., Cellier, J-M. (1988b). Méthodologie d'extraction des connaissances : comparaison de protocoles verbaux débutants-experts. *Actes du colloque Ergo IA*. Biarritz.
- Mariné, C., Cellier, J-M., Valax, MF. (1988). Dimensions de l'expertise dans une tâche de régulation de trafic : règles de traitement et profondeur du champ spatio-temporel. *Psychologie Française*. 33-3, 151-160.
- Minguy, J.L. (1995). Concevoir pour aider à l'action située. Le travail en passerelle de navire de pêche : rôle de la carte de pêche comme représentation. Thèse de doctorat en ergonomie. CNAM, Paris.
- Navarro, C. (1991). Une analyse cognitive de l'interaction dans les activités de travail. *Le Travail Humain*, 54, 2, 113-127.
- Norman, D.A. (1993). Les artefacts cognitifs. In B. Conein, N. Dodier, L. Thévenot (Eds.). *Les objets dans l'action : de la maison au laboratoire*. Paris. Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales.
- Ochanine, D.A. (1978). Le rôle des images opératives dans la régulation des activités de travail. *Psychologie et Education*, n°2, 63-72.
- Ochanine, D.A. (1981). *L'image opérative*. Compte-rendu du séminaire en hommage aux travaux d'Ochanine. Université Paris I, Département d'ergonomie et d'écologie humaine.
- Pasquier, L. (2000). Modélisation de raisonnements tenus en contexte et application aux agents d'aide à la gestion d'incidents de SART, Rapport interne LIP6 n° 2000-010, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), Paris, France.

- Pasquier, L. (2002). Modélisation des raisonnements tenus en contexte. Application à la gestion d'incidents sur une ligne de métro. Thèse de doctorat en Informatique. Université Pierre et Marie Curie.
- Pasquier, L., Zanarelli, C. (2001). Utilisation de recommandations d'ergonomie dans le développement d'un outil d'aide à la régulation de trafic du métro. Jean Charlet (Coord.), Ingénierie des Connaissances (IC 2001), Grenoble, 2001, pp. 197-213.
- Pastré, P. (1994). Le rôle des schèmes et des concepts dans la formation des compétences. *Performances Humaines et Techniques*, N°71, 21-28.
- Pastré, P. (1999a). L'ingénierie didactique professionnelle. In P. Carré, P. Caspar (Eds.). *Traité des sciences et des techniques de la formation*. Dunod. 403-417.
- Pastré, P. (1999b). La conceptualisation dans l'action : bilan et nouvelles perspectives. *Education Permanente*, n°139-2, 13-35.
- Pastré, P. (1999c). Travail et Compétences : un point de vue de didacticien. *Formation-Emploi*, n°67, 125.
- Queinnec, Y., Daniellou, F. (1991). Designing for every one. Proceedings of the 11th congress of the International Ergonomics Association. London, Taylor & Francis.
- Rabardel, P. (1993a). Représentations dans des situations d'activités instrumentées. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel, D. Dubois (Eds.), *Représentations pour l'action*. Toulouse. Octarès.
- Rabardel, P. (1993b). Microgenèse et fonctionnalité des représentations dans une activité avec instruments. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel, D. Dubois (Eds.) *Représentations pour l'action*. Toulouse. Octarès.
- Rabardel, P. (1995). Les Hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains. A. Colin, Paris.
- Rabardel, P., (1999). Le langage comme instrument ? Eléments pour une théorie instrumentale élargie. In Y. Clot (Ed.) *Avec Vygotski*. Paris, La Dispute. 241-265.
- Rabardel, P., Rogalski, J., Béguin, P. (1996). Les processus de coopération à l'articulation entre modalités organisationnelles et activités individuelles. In G. de Terssac, E. Friedberg (Eds.). "Coopération et conception". Octarès, Toulouse. 289-306.
- Rasmussen, J. (1986). Information processing and Human-machine interaction. An approach to cognitive engineering. North-Holland.
- Rasmussen, J. (1991). Technologies de l'information et analyse de l'activité cognitive. In R. Amalberti, M. de Montmollin, J. Theureau (Eds.). *Modèles en analyse du travail*. Bruxelles, Mardaga.
- Reason, J. (1988). Cognitive aids in process environments : prostheses or tools ? In G. Mancini, D. D. Woods et E. Hollnagel (Eds.). *Cognitive engineering in complex dynamic worlds*. Academic Press. London.
- Richard, JF. (1980). Anticipation et activités cognitives. In J. Requin (Ed.). *Anticipation et comportement*. Editions du CNRS.
- Rogalski, J. (1994). Formation aux activités collectives. *Le Travail Humain*, 57, 4, 367-386.
- Rogalski, J., Samurçay, R. (1993). Analyzing communication in complex distributed decision-making. *Ergonomics*, 36, 11, 1329-1343.
- Roth, E. M., Woods, D. D. (1988). Aiding human performance. I : cognitive analysis. *Le travail Humain*, 51, 39-64.
- Rousseau, C. (1989). Utilisation de techniques audio-visuelles dans l'analyse d'une activité de chantier. Actes du XXVe congrès de la SELF, Lyon. 217-224.
- Samurçay, R. (1987). Plans et schémas de programme. *Psychologie Française*, n°32-4, 261-266.
- Samurçay, R. (1992). Des modèles d'opérateurs au modèle de référence : outil de formation pour la supervision d'un processus continu à long délai de réponse. Actes du colloque ergo IA.
- Samurçay, R. (1994). Conception des outils pour le développement des compétences : résolution de problèmes pour la recherche en ergonomie et pour l'ingénierie. Actes du 29^e congrès de la SELF. Paris. 21, 22, 23 septembre.
- Samurçay, R., Hoc, J.M. (1991). Modelling operator knowledge and strategies for the design of computer support to process control. In Y. Queinnec, F. Daniellou (Eds.). *Designing for every one*.

London, Taylor & Francis.

Samurçay, R., Delsart, F. (1994). Collective activities in dynamic environment management : functioning and efficiency. *Le Travail Humain*, volt 57, n°3. 251-270.

Samurçay, R., Hoc, J-M. (1996). Causal versus topographical support for diagnosis in a dynamic situation. *Le Travail Humain*, 59, n°1, 45-68.

Samurçay, R., Pastré, P. (1995). La conceptualisation des situations de travail dans la formation des compétences. *Education Permanente*, 123-2, 13-31.

Samurçay, R., Pastré, P. (1998). L'ergonomie et la didactique. L'émergence d'un nouveau champ de recherche : didactique professionnelle. Actes des Deuxièmes Journées Recherche et Ergonomie, Toulouse, 9-10-11 février 1998..

Samurçay, R., Rogalski, J. (1992). Formation aux activités de gestion d'environnements dynamiques : concepts et méthodes. *Education Permanente*, 111, 227-242.

Sébillotte, S. (1993). Schémas d'action acquis par l'expérience dans les représentations mentales des opérateurs : leurs utilisations et la construction de nouveaux schémas. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel, D. Dubois (Eds.) *Représentations pour l'action*. Toulouse. Octarès

Senach, B. (1984). Assistance automatisée à la résolution d'incidents dans les systèmes dynamiques. Réduction de l'espace problème et routines cognitives. Thèse de troisième cycle en ergonomie. Université Paris V.

Spérandio, J.C.(1988). Ergonomie du travail mental. PUF.

Spérandio, J.C. (1993). L'Ergonomie du contrôle de processus. In J.C. Spérandio (Ed.) *L'ergonomie dans la conception des projets informatiques*. Toulouse, Octarès.

Van Daele, A., Carpinelli, F. (1996). Anticipation de l'action et anticipation du processus : l'influence de la situation. In J-M. Cellier, V. de Keyser, C. Valot (Eds.). *La gestion du temps dans les environnements dynamiques*. PUF, Paris. 201-220.

Vergnaud, G. (1985). Concepts et schèmes dans la théorie opératoire de la représentation. *Psychologie Française*, n°30-3/4, 245-251.

Vergnaud, G. (1991). La théorie des champs conceptuels. *Recherche en Didactique des Mathématiques*. 10, n ° 2-3, 133-170.

Vergnaud, G. (1995). Introduction au dossier « Compétences ». *Performances Humaines et Techniques*, n° 75-76, 7-12.

Vergnaud, G. (1999). Le développement cognitif de l'adulte. In P. Carré, P. Caspar (Eds.). *Traité des sciences et des techniques de la formation*. Dunod. 189-203.

Vidal-Gomel, C. (2001). Le développement des compétences pour la gestion des risques professionnels. Le domaine de la maintenance des systèmes électriques. Thèse de doctorat de psychologie des processus cognitifs, mention psychologie ergonomique. Université Paris VIII-Saint-Denis.

Weill-Fassina, A. (1990). L'analyse des aspects cognitifs du travail. In M. Dadoy, G. de Terssac, B. Hillau, J-F. Troussier. *Les analyses du travail, enjeux et formes*. Ministère de la recherche, CEREP, collection des "Etudes", n°54, 193-198.

Wisner, A. (1989-1990).

Woods, D.D. (1988). Commentary : cognitive engineering in complex and dynamic worlds. In G. Mancini, D. D. Woods et E. Hollnagel (Eds). *Cognitive engineering in complex dynamic worlds*. Academic Press. London.

Zanarelli, C. (1999). Réflexion sur l'évolution des modes de régulation d'un réseau ferroviaire urbain : application de l'approche instrumentale par identification de classes de situations caractéristiques. *Actes du XXXIVe congrès de la SELF*, Caen, 15-17 septembre 1999.

Zanarelli, C., Pasquier, L; (2000). Conception centrée sur l'activité réelle : développement d'un outil d'aide à la régulation de trafic du métro. *Actes de la Journée satellite de la SELF : Ergonomie dans les Transports ferroviaires*, Toulouse, 19 septembre 2000.

Zanarelli, C., Saker, I., Pasquier, L. (1999). Un projet de coopération ergonomes/concepteurs autour de la conception d'un outil d'aide à la régulation du trafic de métro. *Actes de la conférence IC'99*, Palaiseau, 14-16 juin.

Documents internes RATP

- Beuchard, P. (1984). Conception et évolution des PCC de la RATP. Document interne.
- Charenton, J.P., Scuotto, T (1999). Présentation du plan OPERA. Document PowerPoint (78 transparents).
- Clément, M. (1997). Exploitation de la ligne de TVR en modes dégradés. Document interne RATP.
- Dechaud, MG., Ginsbourger, F., Lepetit, M., Levy, E. (1999). Le renouvellement et la modernisation des PCC métro dans la perspective de leur décentralisation. Projet d'expérimentation ligne 4. enjeux de la négociation sur l'organisation. Rapport d'expertise technologique phase 1. DS&O.
- Froloff, E., Rizzi, M., Saporito, A. (1989). Bases et pratiques de la régulation. Rapport d'étude interne RATP.
- Guittard, J., Le Terrier, P., Guignonnet-Drugeon, M., (1996). Métro : pour un meilleur suivi du trafic. RATP Savoir-faire, n°18, p2-8.
- Levy, E. (1996). Comprendre les situations perturbées. RATP/BUS/COM.
- Ouni, R. (1996). Centres de surveillance de pôles multimodaux : analyse ergonomique d'une situation de travail. In Recherche et développement, faits marquants, 1996. Département DEV.
- Pouvil, S. (1993) Fiches de poste chefs de départ.
- Stablo, J. (1981). Ligne 1 : régulation du mouvement des trains. Consigne F.Metro 01 082. Document interne RATP.
- Zanarelli, C. (1997). Les stratégies de régulation : une construction de l'action par les régulateurs. Rapport interne pour le département BUS. RATP/DRH/EFOSI.
- Zanarelli, C. (2000). L'analyse ergonomique de l'activité comme outil du Retour d'Expérience : illustration dans une situation de régulation de trafic de métro. Texte à l'attention du réseau Retour d'Expérience.

Documents non référencés par auteur

- RATP (1981), "la régularité : principes de régulation des trains". document de formation à l'attention du réseau de Mexico.
- RATP, (1984) Direction du réseau ferré. Comment remédier aux incidents d'exploitation. document interne
- RATP, statistiques annuelles 1995, 1996, 1997, 1998.
- RATP, (1997).Cahier des charges fonctionnel pour la conception du nouveau PC de la ligne 4.
- RATP, (1998). Département Métro, Unité Spécialisée Horaires et Trafic. Conception des horaires du métro, document de formation "horaires".
- RATP, (1995). Département Métro : formation des chefs de régulation. Recueil de documents à l'usage des apprentis.
- RATP, (1997). Département Métro, Unité Spécialisée Horaires et Trafic. Courbes "enveloppe" et indicateurs de trafic 1996..
- RATP, (1997).Départements Métro, ESE, délégation générale à l'ingénierie ferroviaire. "Politique de renouvellement et de modernisation des postes de commandes centralisés des lignes de métro". projet de document.
- RATP (1988). Service médical. "Etude du poste de chef de régulation et aiguilleur des postes de commande centralisés des lignes A et B du RER".
- SYSTRA. (1998). Assistance au nouveau programme d'exploitation de la ligne A du tramway de Strasbourg, rapport final, juin 1998.

GLOSSAIRE

Course : temps qu'il faut à un train pour se rendre d'un terminus à un autre, conformément à la marche type utilisée.

Horaire théorique : c'est l'ensemble des heures auxquelles les trains doivent se présenter en divers point de la ligne, pour une voie donnée. L'heure de départ du terminus constitue pour un train l'heure de référence régulation.

Intervalle entre 2 trains : en un point donné, c'est le temps qui s'écoule entre leurs heures de départ. Il est exprimé en minutes et secondes.

Intervalle réel moyen est égal à la moyenne des intervalles réels. Il permet de valoriser l'offre moyenne de transport réalisée.

Intervalle notice moyen est égal à la moyenne des intervalles notice entre 2 heures données. Il permet de valoriser l'offre moyenne de transport théorique

Marche type : elle fixe pour les conducteurs les temps de parcours à respecter. Différentes marches sont établies pour la journée selon le trafic (A, B, C et D). Elles diffèrent par les temps de stationnement.

Offre de transport (ou trafic théorique) : elle est définie pour un jour donné, par un programme d'exploitation théorique. Ce dernier est adapté à la demande de transport qui est variable selon les jours de la semaine et les périodes de l'année.

Ponctualité : c'est le respect de l'horaire théorique représentant le programme d'exploitation d'une ligne. Elle doit être impérativement respectée pour les premier et le dernier train de la journée. Pendant la journée d'exploitation, c'est la régularité qui est le principe directeur de l'exploitation.

Programme d'exploitation : il est concrétisé par un horaire théorique qui peut être modifié pour tenir compte des aléas d'exploitation. Il en découle un horaire modifié qui constitue la base du service offert.

Qualité de service : elle est évaluée par la régularité du service, l'accueil au guichet, la disponibilité des escaliers mécaniques, et des ADUP, la netteté des stations et des rames.

Régulation d'horaires : c'est un ensemble de moyens mis en place dans le but d'aider les conducteurs à respecter l'horaire prévu des trains³⁶. En cas de perturbation, la régulation d'horaire tend vers la réduction du retard. **En terminus**, la régulation d'horaires consiste à organiser les séquences de départ des trains par rapport à des horaires prévus.

Régulation d'intervalles : **La régulation d'intervalle** intervient quand la régulation d'horaires (à partir d'un seuil technique) ne peut plus pallier l'écart à l'horaire prescrit. Elle est manuelle. Elle a pour but de maintenir un intervalle déterminé entre les trains aussi bien en ligne qu'en terminus. La répartition de cet intervalle entraîne la répartition d'un retard éventuel sur plusieurs trains mais améliore la qualité du service pour les voyageurs. Elle agit sur les trains en amont et en aval du train retardé afin de répartir le retard et de rééquilibrer des intervalles irréguliers. La régulation d'intervalles peut jouer sur toute la ligne, sur un seul terminus ou sur les deux. Elle intervient, sur les temps de stationnement. Il s'agit de recalculer les intervalles en fonction d'une perturbation et donc d'afficher de nouveaux horaires de départ en terminus ou de maintenir les rames en stationnement en ligne. Le retard est réparti en amont et en aval du train retardé de manière à assurer des intervalles les plus réguliers possibles. Le problème de ce mode de régulation est qu'il répartit le retard sur plusieurs trains et donc retarde la ligne dans son ensemble. Sur le réseau étudié, ce type de mesure a pour but aussi d'éviter d'avoir des trains sous tunnel.

Régularité : c'est l'espacement relatif et régulier entre les trains. C'est un facteur important de la qualité de service. La régularité, pour le métro, s'entend surtout au sens de régularité de l'écoulement des flux de voyageurs. C'est un des principes de fonctionnement de ce mode de transport qu'est le métro, puisqu'il fonctionne suivant la notion d'intervalle. La régularité se traduit par la réalisation d'un intervalle de succession des trains le plus régulier possible tout au long de l'axe desservi. La régularité est assurée par une bonne adaptation de l'horaire à la demande de transport, un nombre suffisant de trains aux heures d'affluence, le

³⁶ Stablo, J. (1981). Ligne 1 : régulation du mouvement des trains. Consigne F.Metro 01 082. Document interne.

respect des horaires prévus et de la marche type des trains, des équipements de ligne bien adaptés, un personnel d'exploitation bien formé, l'existence d'une réserve de personnel, une bonne fiabilité, la centralisation des commandes. Les actions pour assurer le retour à la régularité, en cas de situation perturbée, sont la régulation d'horaire, et d'intervalle. Il existe un indicateur chiffré de la régularité. Il s'agit d'un standard de régularité, qui s'estime en % de voyageurs concernés par un service non rendu ou bien servi. On évalue également le nombre de voyageurs ayant subi une attente anormale ou inacceptable, en fonction des périodes de la journée.

Retard ponctuel ou retard en un point : c'est le cas d'un train qui stationne pour une avarie ou un incident voyageur. Si la durée ne peut être évaluée, dès le signalement on prendra des mesures pour retenir les trains en station derrière le stationnement. Pour éviter un allongement excessif de l'intervalle avec le train précédent, on retient les trains en aval également. Au terminus amont, on continue à expédier des rames jusqu'à occupation de toutes les stations. Au terminus aval, les intervalles seront augmentés pour tenir compte du retard probable puis réel.

Retard cumulé : il est dû, comme le retard ponctuel, à un événement perturbant le trafic. Fréquent aux heures d'affluence, lorsque la charge des trains est excessive, que les temps de stationnement sont difficiles à respecter, le retard s'accroît de station en station. Si le retard est inférieur ou égal au temps de battement en terminus dont dispose le train, il sera utilisé pour absorber ce retard. Si le retard est supérieur au temps de battement, il sera nécessaire de réaliser une compensation d'horaires, c'est-à-dire modifier les horaires de départ du terminus vers lequel le train se dirige et réaliser un nouvel intervalle le plus régulier possible compte tenu de l'heure de départ possible du train retardé.

Tour : trajet effectué par une rame lorsqu'elle revient à son quai de départ après avoir parcouru les deux courses sur les deux voies et les manœuvres de changement de voie dans les deux terminus extrêmes

Trafic théorique : voir offre de transport

Trafic réel ou service réalisé : il se déduit de la circulation des trains, il est dénommé horaire réel. Il détermine la qualité du service offert aux voyageurs.

INDEX DES FIGURES

Figure 1 : répartition géographique et liaison phonique entre chef de régulation au PCC, chefs de départ aux PML et conducteurs dans les rames.....	103
Figure 2 : poste de travail du chef de départ au PML	119
Figure 3 : poste de travail du chef de régulation au PCC.....	120
Figure 4: image issue du montage vidéo support de l'autoconfrontation au PCC.....	128
Figure 5 : représentation graphique du concept de fluidité	180
Figure 6 : un exemple de situation "fluide".....	183
Figure 7 : un exemple de situation où "ça tape".....	184
Figure 8 : un exemple où "ça tire".....	185
Figure 9 : performance calculée de l'indice Retard en fonction du type d'action.....	204
Figure 10 : répartition des performances pour l'indice Intervalle.....	209
Figure 11 : représentation du déroulement du traitement d'une situation perturbée.....	1
Figure 12 : méthode graphique de représentation du profil des situations perturbées	282

INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1 : typologie de situations proposée par Bourdon et Weill-Fassina (1994).....	63
Tableau 2 : types d'opérateurs, tâches, lieu et domaines d'intervention des opérateurs chargés de la régulation	107
Tableau 3 : horaires postés au PCC et au PML.....	108
Tableau 4 : caractéristiques professionnelles des opérateurs observés	117
Tableau 5 : caractéristiques professionnelles des chefs de régulation.....	118
Tableau 6 : caractéristiques des données retranscrites	132
Tableau 7 : caractéristiques du dispositif de recueil de données.....	134
Tableau 8 : croisement des critères de durée et de nombre d'événements à traiter	146
Tableau 9 : croisement entre la période de l'offre de transport et la durée de l'épisode	146
Tableau 10 : durée de l'épisode et intervalle théorique moyen	147
Tableau 11 : contexte de l'épisode et période de l'offre de transport.....	147
Tableau 12 : retard maximum à absorber pour la rame la plus retardée et période de l'offre de transport.....	148
Tableau 13 : mode de détection des situations perturbées en fonction du type d'épisode initial.....	150
Tableau 14 : zone de la détection en fonction du type d'épisode initial	151
Tableau 15 : croisement entre la zone de détection de la situation perturbée et le mode de détection.....	152
Tableau 16 : information utilisée pour détecter la situation perturbée en fonction du mode de détection	152
Tableau 17 : type d'information utilisée pour la détection en fonction du type d'épisode.....	153
Tableau 18 : nombre de rames sur lesquelles l'opérateur prend de l'information par rapport au type de prise d'informations	154
Tableau 19 : empan d'anticipation en fonction du type de prise d'informations	155
Tableau 20 : marge de manœuvre en fonction du type de prise d'informations	156
Tableau 21 : nombre de rames entre la prise d'informations et la première rame sur laquelle l'opérateur agit, en fonction du type de prise d'informations.....	156
Tableau 22 : marge de manœuvre en fonction de l'anticipation.....	157
Tableau 23 : dimensions concernées en fonction du type de prise d'informations.....	158
Tableau 24 : types de moyens de prise d'informations utilisés en fonction du type de prise d'informations	159
Tableau 25 : indicateur "pointage/nombre de rames sur lesquelles l'opérateur prend de l'information, en fonction du type de prise d'informations"	161
Tableau 26 : Les fonctions remplies par rapport au type de pointage.....	162
Tableau 27 : Séquences d'activité observées en fonction des situations et des opérateurs.....	164
Tableau 28 : nombre d'utilisations du pointage en fonction des situations et des opérateurs.....	165
Tableau 29 : utilisation du pointage manuel en fonction de l'utilisation du pointage automatique.....	165
Tableau 30 : Séquences de prise d'informations observées.....	167
Tableau 31 : Séquence de pointage manuel	170
Tableau 32 : répartition des artefacts utilisés pour le pointage à quai de départ	172
Tableau 33 : utilisation des pointages en ligne en fonction du type de prise d'informations	175

Tableau 34 : le recours à l'évaluation de la ponctualité par le signalement par un collègue en fonction du type de prise d'informations	176
Tableau 35 : nombre d'utilisations de l'évaluation de la fluidité, par situation et par opérateur.....	181
Tableau 36 : usage de l'évaluation de la régularité en fonction du type de prise d'informations.....	185
Tableau 37 : Les fonctions des instruments des chefs de départ.....	186
Tableau 38 : lien entre type de prise d'informations et type d'épisode.....	189
Tableau 39 : type d'action en fonction du type d'épisode.....	191
Tableau 40 : nombre de rames sur lesquelles les opérateurs interviennent en fonction du type d'action.....	191
Tableau 41 : nombre de rames utilisées pour agir par rapport au nombre de rames disponibles en fonction du type d'action.....	192
Tableau 42 : nombre maximum de rames par intervention en fonction du type d'action.....	193
Tableau 43 : diversité des manœuvres en fonction du type d'action	194
Tableau 44 : nombre d'épisodes au cours desquels chaque fonction de régulation est utilisée pour les deux types d'action.....	196
Tableau 45 : valeur moyenne de la prise de retard par rame en fonction du type d'action.....	198
Tableau 46 : valeur moyenne d'une action de prise de retard en fonction du type d'action	198
Tableau 47 : nombre maximum de rame par prise de retard et type d'action.....	199
Tableau 48 : nombre de rames par intervention, en fonction de la valeur moyenne de la prise de retard par rame	199
Tableau 49 : amplitude de l'action en fonction du type d'action	201
Tableau 50 : durée de la stabilisation après le traitement de l'épisode perturbé, en fonction du type d'action mis en œuvre	202
Tableau 51 : Indice global de régularité en fonction du type d'action.....	207
Tableau 52 : mise en relation des performances des indices Intervalles et Retard.....	211
Tableau 53 : dimension du trafic privilégiée en fonction du type d'épisode	212
Tableau 54 : dimension du trafic maintenue en équilibre en fonction du type d'action	213
Tableau 55: phase de diminution du retard en fonction du type d'épisode.....	214
Tableau 56 : moyen utilisé pour diminuer le retard en fonction du type d'épisode.....	215
Tableau 57 : type de prise d'informations en fonction du type d'action	215
Tableau 58 : type de stratégie globale en fonction du type d'épisode	216
Tableau 59 : type de prise d'informations en fonction du type d'action	218
Tableau 60 : durée totale et localisation de la perturbation.....	232
Tableau 61 : durée totale de la perturbation en fonction de la période de l'offre de transport	233
Tableau 62 : présence de rame stationnant sous tunnel en fonction de la période de l'offre de transport	233
Tableau 63 : présence de rame stationnant sous tunnel en fonction de l'intervalle entre les rames	234
Tableau 64 : présence de rames stationnant sous tunnel en fonction de la durée totale de la perturbation.....	234
Tableau 65 : mode de détection en fonction du type de perturbation.....	235
Tableau 66 : mode de détection en fonction de la présence d'une coupure de courant	236
Tableau 67 : type d'information utilisée en fonction du mode de détection.....	236
Tableau 68 : réalisation du diagnostic en fonction de la présence d'une coupure de courant.....	238
Tableau 69 : mode de détection en fonction de la réalisation du diagnostic	238
Tableau 70 : délai de réalisation du diagnostic en fonction de la personne qui le réalise	239

Tableau 71 : réalisation du diagnostic et proportion de l'interruption par rapport à la durée totale	239
Tableau 72 : PML contacté en fonction de la zone de la ligne où se trouve la perturbation	242
Tableau 73 : recherche de la cause et réalisation du diagnostic	244
Tableau 74 : séquence d'activité observée pour la recherche de la cause et type de situation.....	245
Tableau 75 : intervention du chef de régulation pour supprimer la cause en fonction du type de situation.....	246
Tableau 76 : intervention du chef de régulation et suppression de la cause de la perturbation.....	247
Tableau 77 : intervention du chef de régulation en fonction du type de recherche de la cause	247
Tableau 78 : intervention du chef de régulation en fonction de la réalisation du diagnostic	248
Tableau 79 : réalisation du diagnostic en fonction du type de stratégie	249
Tableau 80 : action du chef de régulation en fonction du type de situation	249
Tableau 81 : interventions du chef de régulation pour la suppression de la cause en fonction des mesures de surveillance.....	250
Tableau 82 : écart entre connaissance et suppression de la cause en fonction de la personne qui supprime la cause	251
Tableau 83 : délai entre début et identification de la cause et type de stratégie de recherche.....	252
Tableau 84 : délai de rétablissement du trafic.....	253
Tableau 85 : pourcentage d'interruption du trafic en fonction du type de stratégie.....	254
Tableau 86 : délai entre reprise du trafic et fin de la perturbation en fonction du type de situation.	256
Tableau 87 : nombre de voies concernées par la gestion du trafic résiduel et type de situation	256
Tableau 88 : délai de mise en place du premier DSO en fonction du type de situation	257
Tableau 89 : évolution des DSO après la reprise du trafic, en fonction du type de situation	260
Tableau 90 : présence de rames stationnant sous tunnel en fonction des périodes de l'offre de transport	265
Tableau 91 : durée de l'interruption de trafic en fonction de la présence de rame stationnant sous tunnel	266
Tableau 92 : dimension du trafic représentée par les outils de régulation du chef de départ	290

Title

Caractérisation des stratégies instrumentales de gestion d'environnements dynamiques. Analyse de l'activité de régulation du métro.

Résumé

Ce travail de recherche a été réalisé dans le cadre du transport ferroviaire. Il concerne l'analyse de l'activité de régulation du métro et s'appuie sur les apports théoriques de la psychologie et de l'ergonomie dans les domaines de la gestion d'environnements dynamiques, de l'approche instrumentale et des conceptualisations pragmatiques. Deux métiers de régulation ont été observés (chef de régulation au PCC et chef de départ en terminus) en utilisant la vidéo et l'autoconfrontation pour comprendre les stratégies, les instruments et la structuration de l'activité des opérateurs en situation perturbée.

Nous avons mis en évidence :

- deux niveaux d'analyse des données différenciés, celui des situations et celui des épisodes,
- l'existence d'une typologie de situations spécifique de chaque métier observé,
- deux stratégies distinctes de prise d'informations et d'action fortement corrélées entre elles (pour les deux métiers observés),
- la manière dont les opérateurs maintiennent en équilibre la régularité et la ponctualité du trafic (pour les régulateurs en terminus),
- un système d'instruments permettant de suivre précisément l'état de la ponctualité (en terminus),
- un concept pragmatique de fluidité permettant l'évaluation et le suivi de la régularité (en terminus),
- des indicateurs de performance pour évaluer les stratégies de régulation (pour les deux métiers observés),
- deux organisations invariantes de l'activité sous-tendues par des schèmes et instrumentées pour la recherche de la cause de la perturbation (pour les régulateurs du Poste de Commande Centralisé),
- deux stratégies de suppression de la cause de la perturbation (au PCC),
- une organisation invariante de l'activité sous-tendue par un schème d'action instrumenté pour la gestion du trafic résiduel (au PCC).

Ce travail a permis de proposer des recommandations ergonomiques pour l'évolution de l'organisation et des outils de la régulation et la conception d'un système d'aide à la régulation du métro.

Mots-clés : Gestion d'environnements dynamiques, régulation de trafic, approche instrumentale, concept pragmatique.

Title

Characterization of instrumental strategies for dynamic environments management. Activity analysis from subway traffic regulation.

Abstract

This research was performed in the field of railway traffic regulation. We aimed to identify and to describe cognitive strategies of the operators in charge of the management of the incidents occurring on a subway line. We analyzed with an ergonomic approach the activity of two types of regulators (operators in charge of traffic regulation and incidents managers).

The results showed :

- Two strategies of information gathering and action, specific to the two types of regulators who were observed,
- The way regulators take into account regularity and punctuality, the two main dimensions of the traffic (operators in charge of traffic regulation),
- The regulators' multi-instrumented schemes of action to evaluate state of punctuality (operators in charge of traffic regulation),
- The pragmatic concept of "fluidity" elaborated by regulators to evaluate the state of regularity (operators in charge of traffic regulation),
- Performance indicators to evaluate the quality of the operators' strategies (operators in charge of traffic regulation and incidents managers),
- The regulators' schemes of action to identify and to suppress causes of an incident and to deal with the remaining traffic (incidents managers).

The results of this research allow us to propose several recommendations for the organization of subway regulation and more specifically for the design of a Traffic Regulation Assistance System (SART in French). The goal of this project was to design a cooperative decision support system for operators in charge of traffic regulation.

Key-words : Subway traffic regulation, ergonomics, cognitive strategies, system of instruments, pragmatic concepts, dynamic environments.

Discipline : Ergonomie

Auteur : Catherine Zanarelli

Laboratoire : Cognition et activités finalisées, Université Paris 8