

Recommandations pour les systèmes informatiques d'aide à la gestion du trafic : compléments pour un guide technique

Joël Doucet

► To cite this version:

Joël Doucet. Recommandations pour les systèmes informatiques d'aide à la gestion du trafic : compléments pour un guide technique. [Rapport de recherche] Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU). 2000, 48 p., figures, tableaux. hal-02150507

HAL Id: hal-02150507

<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02150507>

Submitted on 7 Jun 2019

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.

ISIS

Recommandations pour les systèmes informatiques d'aide à la gestion du trafic

*Compléments pour un
guide technique*

Collections du **Certu**

NOTICE ANALYTIQUE

| | | | |
|---|---|--|-------------------------------|
| Organisme commanditaire : CERTU : Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques 9, rue Juliette Récamier 69006 Lyon Tel : 04 72 74 58 00 Fax : 04 72 74 59 00 | | | |
| Titre : Recommandations pour les systèmes informatiques d'aide à la gestion du trafic | | | |
| Sous-titre : Compléments pour un guide technique | Date d'achèvement : Mai 2000 | Langue : Français | |
| Organisme auteur : ISIS | Rédacteurs ou coordonnateurs : Joël Doucet (ISIS) | Relecteur assurance qualité : Patrick Gendre (CERTU) | |
| Résumé : Ce document est un complément à un rapport d'études du CERTU récemment publié et intitulé « Informatique pour les systèmes d'aide à la gestion du trafic sur voies rapides urbaines : éléments pour un guide technique ». Dans une première partie, il reprend et consolide la liste de fonctions à partir d'une connaissance a priori d'un bon nombre de systèmes et sur la base d'entretiens complémentaires auprès des exploitants et utilisateurs en vue de mieux cerner leurs attentes vis-à-vis des outils informatiques. La deuxième partie complète les recommandations initiales pour les projets de Systèmes d'Aide à la Gestion du Trafic (SAGT) au long des étapes du cycle de vie, faites à partir du groupe de travail sur l'informatique des SAGT, en exprimant le point de vue d'un maître d'œuvre informatique. Enfin, le document formule des propositions pour l'évaluation de l'informatique des centres de gestion du trafic. Cette étude complète donc le « corpus technique » sur les Centres d'Ingénierie et de Gestion du Trafic sur Voies Rapides Urbaines que le CERTU est en train de constituer progressivement ; ce n'est pas un guide technique, au sens que les recommandations formulées ne sont pas prescriptives, mais reflètent un point de vue argumenté qui donne à chacun les éléments permettant de se faire son opinion et d'ouvrir la discussion. Pour les lecteurs connaissant déjà bien le sujet, les parties les plus intéressantes seront sans doute l'analyse de la satisfaction des utilisateurs et les propositions en matière d'évaluation. | | | |
| Remarques complémentaires éventuelles (rubrique facultative) : | | | |
| Mots clés : INFORMATIQUE, LOGICIEL, GUIDE TECHNIQUE, SYSTEMES D'AIDE A LA GESTION DU TRAFIC, EXPLOITATION ROUTIERE | | Diffusion : Publique | |
| Nombre de pages : 46 Pages | | Confidentialité : Non | Bibliographie : oui |

Remerciements

Un grand merci à Gildas Lemaître, Frédéric Künkel, Sylvie Chambon et Jacques Nouvier pour leurs relectures attentives et perspicaces !

Le CERTU et les auteurs de ce document n'assument aucune responsabilité juridique ni ne s'engagent vis-à-vis de la complétude, de l'exactitude ou de l'utilité des informations présentées. Les noms de marques, de produits, de procédés, de services, ou d'entreprises citées dans ce document sont déposées par leurs propriétaires respectifs. La référence faite à un nom de marque, de produit, de procédé, de service, ou d'entreprise ne signifie pas qu'il soit soutenu ou recommandé par le CERTU ou les auteurs de ce document

S O M M A I R E

| | |
|--|-----------|
| NOTICE ANALYTIQUE..... | 2 |
| 1. OBJET DU DOCUMENT | 5 |
| 2. ANALYSE DE L'EXISTANT ET SATISFACTION DES UTILISATEURS | 7 |
| 2.1 PÉRIMÈTRE FONCTIONNEL DES SAGT1..... | 7 |
| 2.2 FONCTIONS..... | 7 |
| 2.2.1 Acquérir et visualiser les données trafic..... | 7 |
| 2.2.2 Acquérir et visualiser les données météo..... | 8 |
| 2.2.3 Détecter automatiquement les incidents..... | 9 |
| 2.2.4 Acquérir et visualiser les données techniques..... | 9 |
| 2.2.5 Gérer le réseau d'appel d'urgence..... | 10 |
| 2.2.6 Traiter les données brutes..... | 10 |
| 2.2.7 Filtrer et visualiser les alarmes..... | 11 |
| 2.2.8 Visualiser les images vidéo..... | 12 |
| 2.2.9 Visualiser les synoptiques..... | 12 |
| 2.2.10 Visualiser les images cartographiques..... | 13 |
| 2.2.11 Présenter le synoptique mural..... | 13 |
| 2.2.12 Prévoir le trafic..... | 13 |
| 2.2.13 Prévoir la météo..... | 13 |
| 2.2.14 Gérer les événements..... | 14 |
| 2.2.15 Gérer les actions..... | 14 |
| 2.2.16 Proposer les plans d'actions..... | 14 |
| 2.2.17 Piloter les équipements de signalisation..... | 14 |
| 2.2.18 Gérer l'affichage des temps de parcours..... | 15 |
| 2.2.19 Échanger les informations avec d'autres systèmes..... | 15 |
| 2.2.20 Archiver les données..... | 16 |
| 2.2.21 Établir les rapports..... | 16 |
| 2.2.22 Gérer la maintenance..... | 17 |
| 2.2.23 Administrer les systèmes informatiques..... | 17 |
| 2.2.24 Gérer les sauvegardes..... | 17 |
| 2.2.25 Configurer le système..... | 18 |
| 2.3 UTILISATEURS..... | 19 |
| 2.3.1 Opérateur de gestion de trafic..... | 19 |
| 2.3.2 Chef de salle..... | 19 |
| 2.3.3 Analyste trafic..... | 19 |
| 2.3.4 Cadre d'astreinte..... | 19 |
| 2.3.5 Personnel de maintenance..... | 19 |
| 2.3.6 Chef du service maintenance..... | 20 |
| 2.3.7 Administrateur du système informatique..... | 20 |
| 2.3.8 Configureur..... | 20 |
| 2.4 TABLEAU CROISÉ « UTILISATEURS / FONCTIONS »..... | 21 |
| 2.5 SATISFACTION DES UTILISATEURS..... | 21 |
| 2.5.1 Niveau d'utilité des fonctions..... | 22 |
| 2.5.2 Niveau de satisfaction par rapport aux exigences non fonctionnelles..... | 25 |
| 2.5.3 Fonctions manquantes..... | 26 |
| 3. RECOMMANDATIONS POUR LES PROJETS INFORMATIQUES..... | 27 |
| 3.1 INTRODUCTION..... | 27 |
| 3.2 DOCUMENTATION ET CYCLE DE VIE..... | 27 |
| 3.2.1 Documents et gestion de la qualité..... | 28 |
| 3.2.2 Type de développement..... | 30 |
| 3.2.3 Cycle de développement..... | 30 |
| 3.3 EXPRESSION DU BESOIN..... | 34 |
| 3.3.1 Exigences fonctionnelles..... | 34 |
| 3.3.2 Choix de réalisation et de mise en service par étapes successives..... | 35 |
| 3.3.3 Exigences non fonctionnelles..... | 35 |
| 3.4 CONSULTATION DES ENTREPRISES..... | 36 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.5 | SPÉCIFICATIONS | 37 |
| 3.5.1 | Spécifications formelles ou textuelles | 37 |
| 3.5.2 | Ergonomie des postes opérateurs | 37 |
| 3.5.3 | Spécifications des fonctions "annexes" | 41 |
| 3.6 | QUALITÉ | 41 |
| 3.6.1 | Assistance d'un consultant qualité | 41 |
| 3.6.2 | Contrôles | 42 |
| 3.6.3 | Traçabilité de la documentation | 42 |
| 3.6.4 | Codage | 42 |
| 3.6.5 | Tests | 42 |
| 3.7 | RÉALISATION | 43 |
| 3.8 | ESSAIS, RÉCEPTION ET MISE EN SERVICE | 43 |
| 3.9 | EXPLOITATION, GARANTIE ET MAINTENANCE | 44 |
| 3.9.1 | Formation | 45 |
| 3.9.2 | Suivi du système | 45 |
| 4. | ÉVALUATION DE L'INFORMATIQUE SAGT | 46 |
| 4.1 | INTÉGRER L'ÉVALUATION DÈS L'EXPRESSION DES BESOINS | 46 |
| 4.2 | METTRE EN PLACE UN TABLEAU DE BORD | 46 |
| 5. | BIBLIOGRAPHIE | 48 |

1. Objet du document

Dans un contexte de congestion urbaine croissante, des Centres d'Ingénierie et de Gestion du Trafic sont développés afin de mettre en œuvre des stratégies visant à améliorer la viabilité, fluidifier le trafic, et mieux informer les usagers ; ils s'appuient sur des systèmes d'aide à la gestion du trafic (SAGT) où l'informatique joue un rôle central, mais qui correspond à des compétences nouvelles pour les exploitants, en particulier dans les services du ministère de l'Équipement, mais aussi pour les collectivités gestionnaires d'infrastructures.

L'objectif de ce document est de compléter un premier rapport publié récemment sur l'informatique des Systèmes d'Aide à la Gestion du Trafic sur Voies Rapides Urbaines, notamment en matière d'évaluation des outils.

L'essentiel reste valide pour les SAGT gérant d'autres types de réseaux.

La 1^{ère} partie du document vise à mieux connaître la satisfaction vis-à-vis des outils existants et les attentes des utilisateurs de SAGT, à partir d'entretiens conduits lors de l'étude sur la base d'une grille listant les fonctions et les utilisateurs des SAGT.

La méthode utilisée consiste à :

- Faire l'étude des spécifications fonctionnelles de quelques SAGT1 sélectionnés,
- Établir la liste des fonctions habituellement rencontrées dans ce type d'application,
- Établir la liste des utilisateurs,
- Produire un tableau croisé « Utilisateurs / Fonctions » sur la base des informations recueillies dans les étapes précédentes,
- Apprécier la satisfaction des utilisateurs vis à vis de ces fonctions grâce à la conduite d'entretiens et à l'analyse des réponses,
- Présenter des conclusions.

La 2^{ème} partie formule des recommandations relatives aux projets informatiques de réalisation des SAGT/1. Elles concernent à la fois les évolutions des systèmes existants, la conception des systèmes nouveaux et le renouvellement d'installations existantes (traitement d'obsolescence, refonte de schéma directeur d'exploitation...). Ce dernier point pose une problématique particulière car il réunit les difficultés des deux autres points : conception nouvelle et contrainte de continuité de l'exploitation des systèmes existants.

La 3^{ème} et dernière partie fait des propositions visant à mieux évaluer (et donc en principe améliorer) les systèmes informatiques d'aide à la gestion du trafic.

Cette étude complète donc le « corpus technique » sur les Centres d'Ingénierie et de Gestion du Trafic sur Voies Rapides Urbaines que le CERTU est en train de constituer progressivement ; ce n'est pas un guide technique, au sens que les recommandations formulées ne sont pas prescriptives, mais reflètent un point de vue argumenté qui donne à chacun les éléments permettant de se faire son opinion et d'ouvrir la discussion.

2. Analyse de l'existant et satisfaction des utilisateurs

2.1 Périmètre fonctionnel des SAGT1

La connaissance des différents systèmes existants a permis de dégager la liste des fonctions principales utilisées dans les SAGT/1¹.

Cette liste sert de base à l'élaboration des grilles d'entretien. L'analyse des réponses des utilisateurs permet d'évaluer le degré de satisfaction des utilisateurs.

L'analyse est menée à partir de visites effectuées dans plusieurs CIGT ; elle tient compte également de notre expérience sur bon nombre d'autres CIGT.

2.2 Fonctions

Ce chapitre comporte la liste des fonctions habituellement rencontrées dans un SAGT. Chaque fonction fait l'objet d'un descriptif sommaire.

2.2.1 Acquérir et visualiser les données trafic

L'acquisition des données trafic permet de connaître les données trafic à certains points du réseau. Par extrapolation, il est possible de connaître l'état du trafic sur l'ensemble du réseau avec une précision qui dépend de la densité des points de comptage.

Les équipements terrains « stations de comptage » fournissent généralement au minimum les données trafic suivantes :

- Débit,
- Taux d'occupation,
- Vitesse,
- Longueurs classifiées.

Certaines stations de comptage peuvent fournir d'autres données comme les poids des véhicules.

Les fréquences d'acquisition des données de comptage par les stations de comptage peuvent être :

- quelques secondes pour les données individuelles²,
- 1 minute,
- 6 minutes,
- 1 heure,
- 24 heures.

Il serait intéressant de dire quels usages il peut être fait de chaque fréquence de recueil de données, mais il n'existe pas de recommandations consolidées en la matière ... en attendant, on pourra se référer à des rapports d'étude du Predit sur le recueil des données de trafic pour approfondir.

L'acquisition des données de comptage se définit comme la fonction qui permet de centraliser les données de comptage au SAGT en temps réel (c'est la plupart du temps le cas) ou en temps différé (c'est le cas après une perte de communication entre le SAGT et tout ou partie des stations de comptage).

A noter également que le recueil de données peut être déclenché sur alarme, par exemple lors d'un dépassement de seuil de trafic paramétrable au niveau de la station, ou d'une détection météo couplé à la station de recueil.

¹ SAGT/1 désigne les SAGT sur Voies Rapides Urbaines, les réseaux de niveau 1 dans le Schéma Directeur d'Exploitation de la Route du ministère de l'Équipement.

² Marius (DDE13) est à notre connaissance encore le seul système à faire de l'acquisition systématique des mesures individuelles en temps réel, toutes les 6 secondes.

Le traitement de ces données de comptage permet d'obtenir par algorithme :

- les niveaux de trafic,
- les prévisions de niveau de trafic,
- la mémorisation des données de comptage pendant une période pouvant aller jusqu'à 72 heures et leur rattrapage (envoi des données en temps différé),
- ...

L'analyse des données de comptage peut améliorer la connaissance du comportement du réseau routier. L'analyse des données de comptage est décrite plus précisément dans le paragraphe "2.2.20 Archiver les données".

Il existe sur le marché deux types de technologies :

- le comptage par boucles simples (qui permet, par détection de la variation de flux magnétique engendré par le passage d'un véhicule, d'en détecter la présence, et son temps d'occupation sur la boucle) ou doubles (qui permet, selon le même processus physique, de détecter en plus, la vitesse et la longueur). Les débits sont calculés par rapport au nombre de véhicules détectés dans une même unité de temps ;
- le comptage par vidéo (qui fournit essentiellement les mêmes données que celles du comptage par boucle par analyse d'image).

2.2.2 Acquérir et visualiser les données météo

L'acquisition des données météo permet de connaître les conditions météo en certains points du réseau. Par interpolation, il est possible de connaître la météo sur l'ensemble du réseau avec une précision qui dépend de la densité des points de mesure.

Les équipements terrains « stations météo » fournissent généralement au minimum les données météo suivantes :

- Température (à plusieurs altitudes : au niveau du sol, à 1 mètre du sol, ...),
- Hygrométrie,
- Pression atmosphérique,
- Vitesse du vent,
- ...

Certaines stations météo peuvent fournir d'autres données comme le point de rosée qui détermine la probabilité de verglas.

Les fréquences d'acquisition des données de comptage par les stations météo ne sont pas normalisées. On peut donner des fréquences habituellement utilisées :

- 5 minutes,
- 10 minutes,
- 15 minutes,
- ½ heure,
- 1 heure.

L'acquisition des données météo se définit comme la fonction qui permet de centraliser les données météo au SAGT en temps réel (c'est la plupart du temps le cas) ou en temps différé (c'est le cas après une perte de communication entre le SAGT et tout ou partie des stations météo).

Le traitement de ces données météo permet d'obtenir par algorithme :

- les niveaux de météo (cf. § « 2.2.6.4 Calculer les niveaux météo »),
- les prévisions météo (cf. § « 2.2.13 Prévoir la météo »),
- la mémorisation des données météo (pendant une période dépendant du modèle constructeur).

L'analyse des données météo peut améliorer la connaissance de la météo locale sur le réseau routier. L'analyse des données météo est décrite plus précisément dans le paragraphe "2.2.21.3".

2.2.3 Détecter automatiquement les incidents

La détection automatique d'incident (ou DAI) sert à prévenir l'opérateur en cas d'incident sur le réseau routier. Les incidents détectés par la DAI sont essentiellement ceux qui touchent le trafic. On peut citer pour l'exemple :

- Les accidents,
- Les véhicules à l'arrêt,
- Les bouchons,
- Les objets sur la chaussée,
- ...

L'acquisition des données DAI se définit comme la fonction qui permet de centraliser les détections d'incident au SAGT en temps réel.

Il existe deux types de systèmes de détection automatique d'incident :

- la DAI comptage (ou « boucle »),
- la DAI vidéo.

La DAI comptage se base sur l'analyse des données de trafic pour sa détection en comparant les données par rapports à des seuils ou en comparant les données entre elles, éventuellement par rapport à des seuils. La DAI comptage détecte les conséquences d'un incident sur le trafic.

La DAI vidéo se base sur l'analyse d'images fournies par des caméras fixes. La DAI vidéo détecte directement l'incident lui-même.

Il est nécessaire de paramétrer les deux systèmes avant qu'ils ne deviennent opérationnels (calibrage des algorithmes pour la DAI comptage et paramétrage des masques de détection pour la DAI vidéo).

2.2.4 Acquérir et visualiser les données techniques

L'acquisition des données techniques correspond à l'acquisition des données relatives au bon fonctionnement des équipements de terrain. Cette fonction sert à deux types d'utilisateurs :

- Les opérateurs qui ont besoin de connaître la disponibilité opérationnelle de leurs équipements ;
- Les personnes du service maintenance dont l'intervention est requise en cas de dysfonctionnement ou de panne d'équipement.

L'acquisition des données techniques génère des alarmes au SAGT sur :

- Les équipements de terrain :
 - Stations de comptage,
 - Stations météo,
 - DAI,
 - Panneaux à messages variables,
 - Panneaux à prismes,
 - Feux d'affectation de voie,
 - ...
- les équipements de soutien :
 - les réseaux d'alimentation en énergie,
 - les réseaux de communication,
 - les utilités (climatisation dans les locaux techniques par exemple) ;
- les équipements informatiques
 - les machines serveurs du SAGT,
 - les postes opérateurs du SAGT,
 - les périphériques.

2.2.5 Gérer le réseau d'appel d'urgence

Le réseau d'appel d'urgence permet aux usagers d'appeler le SAGT via une liaison téléphonique pour signaler un événement l'impliquant ou impliquant d'autres usagers.

La gestion des appels d'urgence est le plus souvent assurée par les forces de l'ordre (centre opérationnel de Gendarmerie, compagnie de CRS), qui peuvent être regroupées avec le CIGT ou non. Dans quelques cas, cette gestion est assurée en direct par les opérateurs du CIGT.

Les fonctions associées à la gestion du réseau d'appel d'urgence sont :

- Identification de la borne appelante,
- Prise de l'appel,
- Mise en attente,
- Rappel,
- Transfert vers un autre poste,
- ...

2.2.6 Traiter les données brutes

Le traitement des données brutes permet de :

- Détecter les données trafic aberrantes (pour les éliminer ou les marquer comme aberrantes),
- Reconstituer les données trafic manquantes,
- Calculer les niveaux de trafic,
- Calculer les niveaux météo,
- ...

2.2.6.1 Détecter les données trafic aberrantes

La détection des données trafic aberrantes s'effectue sur l'analyse des données en comparant les données par rapports à des seuils ou en comparant les données entre elles, éventuellement par rapport à des seuils.

Les données ainsi détectées sont soit éliminées soit conservées mais marquées afin que l'utilisateur qui doit s'en servir soit conscient qu'un problème potentiel se pose à leur égard.

2.2.6.2 Reconstituer les données trafic manquantes

La reconstitution des données manquantes consiste à générer des données trafic pour les périodes pendant lesquelles l'acquisition (voire le rattrapage) n'a pas pu s'effectuer.

La reconstitution des données manquantes s'effectue sur la base d'algorithmes plus ou moins complexes (dont certains utilisent les données de comptage de périodes de références considérées comme comparables).

Les données ainsi générées sont « marquées », afin que l'utilisateur qui doit s'en servir soit conscient qu'elles ne représentent pas des valeurs réelles mais des informations reconstituées.

2.2.6.3 Calculer les niveaux de trafic

Le calcul des niveaux de trafic permet de synthétiser sur une échelle de valeurs qualitatives les données acquises par comptage pour les afficher sur les synoptiques (cf. fonctions de visualisation un peu plus loin dans ce document).

Les niveaux de trafic généralement retenus sont :

- Fluide,
- Dense,
- En cours de saturation,
- Saturé.

Le calcul des niveaux de trafic peut donner lieu à la génération d'alarmes trafic par changement de niveau de trafic).

2.2.6.4 Calculer les niveaux météo

Le calcul des niveaux météo permet de synthétiser sur une échelle de valeurs qualitatives les données acquises par les stations météo pour les afficher sur les synoptiques (cf. fonctions de visualisation un peu plus loin dans ce document).

Les niveaux météo généralement retenus sont :

- Beau temps,
- Temps couvert,
- Temps orageux,
- Vent violent,
- Brouillard,
- Neige,
- Risque de verglas.
- ...

Le calcul des niveaux météo peut donner lieu à la génération d'alarmes météo.

2.2.7 Filtrer et visualiser les alarmes

Le filtrage des alarmes consiste à faire en sorte que l'utilisateur ne soit pas assailli d'alarmes non pertinentes pour son rôle (un opérateur n'a pas besoin de connaître le détail des alarmes d'un onduleur, alors qu'elles sont importantes pour les personnes du service maintenance ; inversement, les alarmes trafic n'intéressent pas forcément les personnes du service maintenance alors qu'elles sont importantes pour les opérateurs trafic).

Le filtrage des alarmes est un processus par lequel chaque utilisateur reçoit les alarmes qui sont pertinentes pour lui. Les alarmes peuvent être présentées avec des libellés différents en fonction des utilisateurs qui en sont destinataires et un commentaire qui indique les actions à faire (une alarme sur un défaut de fonctionnement d'un PMV peut être libellée « PMV indisponible » avec le commentaire « Prévenir le service maintenance » pour un opérateur trafic et « PMV manque tension » avec comme commentaire « Vérifier la source d'alimentation » pour une personne du service maintenance).

La fenêtre de visualisation des alarmes contient la liste des alarmes générées par le système.

Les états d'alarmes sont généralement les suivants :

- Alarme présente non acquittée,
- Alarme présente acquittée,
- Alarme disparue non acquittée,
- Alarme disparue acquittée.

Les alarmes disparues acquittées sont effacées de la fenêtre des alarmes au moment de l'acquiescement.

Plus globalement, cette fonction permet aux mainteneurs d'assurer la supervision des équipements et des sous-systèmes composant le SAGT.

2.2.8 Visualiser les images vidéo

La visualisation des images vidéo s'effectue généralement de l'une des manières suivantes :

- sur un mur d'image vidéo (ensemble de moniteurs disposés dans le champ de vision de toutes les personnes présentes dans la salle de contrôle),
- sur des moniteurs de rappel (moniteurs placés dans le champ de vision d'un seul opérateur),
- sur un synoptique mural par incrustation d'une ou plusieurs images,
- par une combinaison des solutions précédemment évoquées.

La visualisation des images vidéo peut se décomposer en plusieurs fonctions :

- affectation d'une image à un moniteur particulier,
- affectation de plusieurs images à un moniteur particulier (images cycliques défilant avec une période paramétrable),
- affectation d'une ou plusieurs images vidéo en provenance de caméras DAI ayant détecté un incident (en général des moniteurs dit « d'alerte » sont réservés à la visualisation des images DAI),
- affectation de l'image en provenance d'un magnétoscope à un moniteur particulier,
- enregistrement d'une image sur un magnétoscope.

Le pilotage de la visualisation des images vidéo peut s'effectuer depuis un pupitre « constructeur » (livré avec le système et généralement composé d'un « joystick » et d'un clavier connecté sur la matrice vidéo) ou directement depuis le poste opérateur trafic pour :

- affecter les images aux moniteurs, déclencher les cycliques ;
- commander les caméras (si c'est possible).

Le pilotage des caméras peut aller bien au-delà de ces simples fonctions, par exemple pour pointer rapidement sur un objet signalé quelque part sur une section du réseau, ou pointer immédiatement la caméra sur un équipement pré-défini tel qu'un feu de régulation d'accès... On se reportera utilement au retour d'expérience du système Marius en matière d'IHM (Cf. bibliographie).

2.2.9 Visualiser les synoptiques

Cette fonction correspond à l'affichage de vues, avec typiquement 2 ou 3 niveaux de détail³.

2.2.9.1 visualiser les vues de synthèse

La visualisation des synoptiques de synthèse permet aux opérateurs d'appréhender en un seul coup d'œil l'état du réseau routier.

Le synoptique de synthèse (comme son nom l'indique) représente généralement la totalité du réseau routier.

³ On se reportera pour des propositions détaillées d'ergonomie des vues synoptiques au document sur Marius signalé en bibliographie ; il n'existe pas de recommandations nationales en la matière pour l'instant.

La représentation sur cette vue peut être adaptée en fonction de la configuration du réseau (à l'échelle, avec des échelles différentes sur les axes horizontaux ou verticaux, avec des échelles variable sur les linéaires).

Les synoptiques de synthèse peuvent signaler les points singuliers du réseau.

L'affichage des synoptiques du synoptique de synthèse comprend la carte du réseau avec tous les équipements (dont l'affichage ou non selon le type d'équipement peut être paramétrable si la densité des équipements est trop importante pour être visualisée clairement dans sa totalité).

2.2.9.2 Visualiser les vues intermédiaires

La visualisation « intermédiaire » donne une vue un peu plus détaillée que le synoptique de synthèse.

Les principes retenus pour le synoptique de synthèse peuvent être les mêmes que pour les synoptiques intermédiaires, mais il peuvent aussi être représentés sous forme de linéaire.

2.2.9.3 Visualiser les synoptiques détaillés

La visualisation des synoptiques détaillés suit les mêmes principes que ceux énoncés pour les synoptiques intermédiaires en offrant un niveau de détail supplémentaire.

Les synoptiques détaillés sont particulièrement adaptés à la visualisation des points particuliers du réseau comme les échangeurs ou les tunnels.

2.2.10 Visualiser les images cartographiques

Cette forme de visualisation particulière utilise des fonds de plan cartographiques (cartes IGN par exemple).

Les niveaux de zoom sont ajustables.

2.2.11 Présenter le synoptique mural

Le synoptique mural permet de partager l'information entre plusieurs utilisateurs.

L'affichage sur le synoptique mural est généralement paramétrable et il est le plus souvent possible d'incruster des images vidéo sur l'affichage du synoptique mural.

2.2.12 Prévoir le trafic

Les prévisions de trafic permettent de connaître l'état du trafic à $T_0 + dT$, où T_0 représente le temps courant et dT la période de prévision.

Les tendances peuvent être associées à la prévision du trafic.

Les prévisions de trafic peuvent se baser sur les données courantes et sur les données du passé proche, mais aussi sur les données de périodes similaires comparables et paramétrées comme telles (Ex. Données historiques des années précédentes pour des jours « types »).

2.2.13 Prévoir la météo

Les prévisions météo peuvent être fournies par les stations météo elles mêmes. Les prévisions météo faites par les stations sont qualifiées de locales en raison de leur caractère géographique ponctuel.

|| *Les bulletins météo de « Météo France » sont transmis dans quasiment tous les CIGT (qu'ils soient équipés de station météo ou non).*

2.2.14 Gérer les événements

La gestion des événements (couramment appelée « main courante ») permet de renseigner les fiches descriptives des incidents.

La gestion des événements comporte souvent un volet « gestion des événements prévus » qui servent à anticiper des situations exceptionnelles :

- Travaux,
- Manifestations sportives ou culturelles,
- Périodes de fort trafic (départs en vacances),
- ...

Là encore, il n'y a pas de recommandations « nationales » en matière de main-courante informatisée, et les pratiques diffèrent. Dans tous les cas, il est important d'avoir à l'esprit que cette fonction ne se limite pas à la seule connaissance des événements, mais doit offrir une vue plus dynamique de la situation, en terme de suivi et d'échanges, et permettre de répondre à des questions telles que « qui a dit quoi ? quand ? comment ? pourquoi ? avec quel support de communication ? ».

2.2.15 Gérer les actions

La gestion des actions correspond à l'informatisation des procédures d'exploitation (qui listent l'ensemble des actions à réaliser par l'opérateur en fonction de l'incident, de sa localisation, de son importance, ...). Il convient de bien distinguer la gestion des actions de la proposition de plans d'actions. La première se limite à automatiser certaines tâches pour limiter la charge de travail des opérateurs, alors que la seconde propose une aide à la décision.

Le système aide ensuite l'opérateur à effectuer toutes les actions de la liste des actions une fois qu'il les a choisies, et éventuellement adaptées à la situation.

Un point intéressant dans l'aide à la mise en place des procédures d'exploitation est la gestion des conflits : si un équipement est déjà utilisé dans le cadre de la mise en place d'une autre procédure d'exploitation, le système le signale à l'opérateur, afin qu'il prenne conscience des conséquences de l'action qu'il va entreprendre.

2.2.16 Proposer les plans d'actions

Certains CIGT disposent d'une fonction de proposition d'actions. Le système informatique choisit dans la liste des procédures d'exploitation celle qu'il semble le plus approprié de mettre en place en fonction de l'incident et de ses caractéristiques.

Cette fonction, très liée à la précédente évidemment, est sans conteste une des plus difficiles à informatiser, bien que paradoxalement peut-être la plus importante pour les exploitants car la plus proche du « métier ». Le CERTU devrait publier à l'automne 2000 une étude que le CETE de Nantes est en train de réaliser, dans le but de proposer quelques recommandations en la matière à partir de l'analyse de quelques systèmes existants.

2.2.17 Piloter les équipements de signalisation

Le pilotage des équipements de signalisation peut s'effectuer de plusieurs façons différentes :

- Pilotage automatique (certains messages sont affichés sans intervention de l'opérateur),
- Pilotage semi automatique (les messages à afficher sont proposés par le système informatique dans la gestion des actions),
- Pilotage manuel (l'opérateur saisit, au moyen d'une interface adaptée, les messages à afficher sur les équipements de signalisation, que ce soit dans le cadre de la gestion des actions ou non).

Une fonction très intéressante, généralement appelée « Prévisualisation » permet aux opérateurs trafic de préparer les messages à afficher sur plusieurs équipements, de visualiser le résultat sans piloter les équipements et de valider l'affichage quand ils ont terminé (ce qui permet entre autres de comparer l'état courant à l'état futur).

2.2.18 Gérer l'affichage des temps de parcours

L'affichage des temps de parcours consiste à informer l'utilisateur du temps qu'il va mettre pour atteindre telle ou telle destination ; il est généralement automatique, éventuellement sur la base d'une validation par l'opérateur. Les calculs de temps de parcours sont basés sur les comptages. D'autres techniques basées sur la vidéo peuvent aussi être mises en œuvre. Contrairement à ce qu'on pourrait imaginer après une analyse rapide, il est difficile de fournir un calcul de temps de parcours fiable, et cette fonction demande un travail non négligeable de mise au point.

2.2.19 Échanger les informations avec d'autres systèmes

Les SAGT échangent généralement des volumes importants d'informations. La nature des informations échangées, les destinataires et les protocoles sont tellement nombreux qu'il est difficile d'essayer de dégager une fonction commune synthétisant toutes les pratiques. Notons toutefois que les échanges de données de trafic sont possibles avec des outils nationaux du ministère (tels que le MI2), et qu'au niveau européen, un protocole d'échanges de données (Datex) a été spécifié (Cf. Bibliographie, pour le bilan de son utilisation dans les projets européens en 1999).

Il faut retenir qu'un SAGT est un générateur de données (et parfois aussi un consommateur de données) et qu'il doit être suffisamment ouvert pour pouvoir communiquer avec les autres systèmes informatiques (notamment avec les PC multimodaux qui commencent à voir le jour).

Les échanges d'informations entre systèmes peuvent aussi concerner les images vidéo.

Les paragraphes suivants décrivent des modes d'échange d'informations par des moyens précis et identifiés, qu'il est possible de décrire comme des fonctions communes (même s'il ne s'agit pas à proprement parler de fonctions, mais plutôt de moyens, et si ces fonctions ne sont pas pour la plupart informatisées). Cela dit, l'échange d'information est une fonction plus générale que l'échange de données informatiques, qu'il est important de garder à l'esprit.

2.2.19.1 Téléphonie

Cette fonction (qui est parfois informatisée) rentre dans le périmètre des outils à disposition des utilisateurs.

2.2.19.2 Diffusion de messages par fax

Cette fonction permet de diffuser des informations sur l'état du trafic à des intervenants ou organismes externes.

L'intérêt de cette fonction est de pouvoir automatiser l'envoi de fax.

La fiche événement dans la gestion des événements peut comporter la liste des destinataires et être automatiquement faxée dès sa validation par l'opérateur. Le contenu du message peut être adapté en fonction du destinataire (les messages à envoyer à la cellule de crise peuvent être différents de ceux envoyés à un dépanneur ou à la radio).

2.2.19.3 Diffusion de messages par radio

Cette fonction permet de diffuser sur les ondes radio FM l'information trafic en « presque temps réel » (tout du moins au moment du passage de l'information à l'antenne).

Ce mode de communication est évidemment très prisé puisque les usagers qui ne sont pas dans la zone couverte par des équipements de signalisation peuvent recevoir de l'information, qui plus est, plus détaillée que celle qui peut être affichée sur les équipements de signalisation dynamique.

Les messages diffusés par radio peuvent être :

- Communiqués par fax,
- Téléphonés à la station émettrice,
- Donnés en direct par les opérateurs du CIGT soit par téléphone soit au micro (si la station émettrice possède un studio dans les locaux du SAGT).

2.2.19.4 Diffusion de message par serveur téléphonique

Cette fonction permet d'enregistrer des informations trafic sur un serveur vocal que les usagers peuvent consulter par téléphone.

L'enregistrement des messages s'effectue lui aussi par téléphone.

2.2.19.5 Diffusion de données aux usagers

Il existe encore d'autres moyens que ceux décrit précédemment pour informer les usagers des conditions de trafic :

- Internet,
- Minitel,
- ...

sont cités ici pour mémoire.

2.2.20 Archiver les données

L'archivage consiste à enregistrer les informations temps réel sur un espace disque pour que les données qu'il contient puissent être exploitées en temps différé.

2.2.21 Établir les rapports

2.2.21.1 Alarmes

Les rapports d'alarmes contiennent généralement le « fil de l'eau » de toutes les alarmes sur une période donnée (traditionnellement la journée).

Toutes les informations relatives à ces alarmes sont éditées :

- Libellé de l'alarme,
- Heure d'apparition,
- Heure de disparition,
- Nombre de fois où l'alarme est apparue entre l'heure d'apparition et la dernière fois où elle est apparue (cette précaution permet d'éviter de remplir des pages et des pages d'alarmes quand il arrive qu'une information « bagotte »),
- Heure d'acquiescement de l'alarme,
- Nom de la personne qui l'a acquiescée,
- Équipement concerné,
- ...

L'édition des rapports d'alarme est automatique.

2.2.21.2 Comptages

Les rapports fréquemment rencontrés sont :

- les comptages en fonction du temps,
- les comptages en fonction de l'espace.

Les comptages en fonction du temps représentent les données de comptage (débit, taux, vitesse, ...) pour un point de mesure sur une période donnée.

Les comptages en fonction de l'espace représente une donnée de comptage pour plusieurs points de mesure successifs sur un linéaire donné. L'usage veut que ce soit les niveaux de trafic (avec des couleurs représentatives : vert – fluide, orange – dense, rouge – en cours de saturation, noir – saturé) qui sont représentés.

Ces rapports peuvent être édités automatiquement.

2.2.21.3 Météo

Les rapports fréquemment rencontrés sont les données météo en fonction du temps (celui qui s'écoule !).

2.2.21.4 Incidents

Les rapports sur les incidents reprennent la fiche incident, et les actions effectuées sur le terrain avec les heures auxquelles elles ont été faites.

Ces rapports peuvent être édités automatiquement lors de la clôture de la fiche événement.

2.2.21.5 Rapports à la carte

Les rapports à la carte sont tous les rapports d'études qui peuvent être faites sur les données générées par le SAGT. Pour cela, l'intervention de l'homme est nécessaire. Son travail peut être facilité par l'utilisation :

- D'un outil d'extraction de données,
- D'un outil de mise en forme de rapports.

Ces rapports sont déclenchés manuellement et à la demande.

2.2.22 Gérer la maintenance

Il faut distinguer dans la gestion de la maintenance deux concepts :

- Les outils d'aide à la maintenance de niveau 1 et de pré diagnostic ;
- Les outils de gestion de maintenance proprement dite (gestion du parc équipement, gestion des interventions, gestion des ressources humaines et matérielles, gestion du stock de pièces de rechange, gestion des marchés de maintenance passés avec les entreprises).

2.2.23 Administrer les systèmes informatiques

La fonction « Administration » permet de contrôler que le système informatique est dans son état normal (temps d'utilisation du processeur, occupation des espaces disques, tâches s'exécutant en mémoire, etc.).

2.2.24 Gérer les sauvegardes

La gestion des sauvegardes est une fonction qui permet d'automatiser la gestion des sauvegardes.

Cette fonction contient bien sûr la fonction de restauration.

La fonction de sauvegarde est généralement accompagnée d'une fonction de relecture permettant de valider le support sur lequel les informations ont été sauvegardées (et qu'il est donc possible de relire pour une utilisation ultérieure).

Cette fonction de gestion des sauvegardes porte sur plusieurs volets :

- Les sauvegardes de l'application (le code informatique et les sources),
- Les sauvegardes du paramétrage de l'application,
- Les sauvegardes des données générées par l'application.

2.2.25 Configurer le système

La configuration permet d'effectuer des modifications sur le système informatique. La configuration s'effectue par paramétrage (toute modification qui nécessiterait du codage ne rentre pas dans cette catégorie).

Par configuration, il est possible d'ajouter, modifier, supprimer :

- des équipements,
- des sections routières,
- des utilisateurs,
- des postes opérateurs,
- des alarmes,
- des rapports,
- ...

2.3 Utilisateurs

Ce paragraphe décrit les utilisateurs types dans les CIGT/1 et leurs rôles respectifs dans l'organisation.

Une même personne physique peut avoir en charge les rôles de plusieurs utilisateurs.

2.3.1 Opérateur de gestion de trafic

L'opérateur de gestion de trafic a pour rôles :

- La surveillance de l'état du trafic (via les données de comptage et la vidéo),
- La confirmation visuelle des événements,
- La mise en place des actions de gestion du trafic,
- La communication avec les équipes de maintenance, avec les patrouilleurs, avec les usagers, avec sa hiérarchie, avec le CRICR, avec d'autres CIGT, etc.
- La communication avec les services de secours et d'urgence : pompiers, gendarmerie, police, SAMU, dépanneurs, ...),
- La réception des appels d'urgences (cette fonction est le plus souvent assurée par les CRS ou les Gendarmes dans les CIGT).

2.3.2 Chef de salle

Le chef de salle est la personne responsable de l'exploitation au CIGT. Il est aussi le responsable fonctionnel des opérateurs de gestion du trafic. Il a pour rôle :

- Les décisions à prendre en cas d'incident dépassant le domaine de responsabilité des opérateurs de gestion de trafic ;
- L'organisation du travail des opérateurs dans le CIGT.

C'est généralement le chef de salle qui définit les procédures d'exploitation.

2.3.3 Analyste trafic

L'analyste trafic est la personne qui étudie les données générées par le SAGT afin de :

- Produire des rapports permettant de mieux comprendre et appréhender le comportement du réseau routier ;
- Établir des recommandations permettant d'améliorer l'efficacité des tâches effectuées par les opérateurs trafic (les recommandations peuvent toucher les procédures d'exploitation).

2.3.4 Cadre d'astreinte

Le cadre d'astreinte est la personne en charge de prendre les décisions qui s'imposent en l'absence du chef de salle quand ces décisions dépassent le domaine de responsabilité des opérateurs de gestion du trafic.

2.3.5 Personnel de maintenance

Les personnes du service maintenance sont celles qui font les interventions sur les équipements et dont le rôle consiste à maintenir la disponibilité opérationnelle des équipements de gestion du trafic.

2.3.6 Chef du service maintenance

Le chef du service maintenance est la personne chargée de :

- L'organisation des équipes maintenance et de leurs interventions,
- La gestion du parc d'équipements,
- La gestion des marchés de travaux et de maintenance confiés aux entreprises,
- L'établissement et le suivi des budgets et des dépenses (souvent ...),
- La gestion du stock de pièces de rechange.
- ...

2.3.7 Administrateur du système informatique

L'administrateur du système informatique est la personne qui :

- Effectue régulièrement des sauvegardes du système ;
- Restaure l'application et les données en cas de panne du système ;
- Vérifie l'état de la mémoire, des processus, des disques ;
- ...

2.3.8 Configureur

Le configureur est la personne chargée de paramétrer les évolutions du SAGT :

- Ajout, suppression, modification d'équipements ;
- Ajout, suppression, modification de sections routières ;
- Ajout, suppression, modification d'utilisateurs ;
- Ajout, suppression, modification de rapports ;
- ...

2.4 Tableau croisé « Utilisateurs / Fonctions »

Le tableau suivant établit la synthèse de l'utilisation des différentes fonctions par chaque type d'utilisateur.

| | Opérateur de gestion de trafic | Chef de salle | Analyste trafic | Cadre d'astreinte | Personnel de maintenance | Chef du service maintenance | Administrateur informatique | Configurateur |
|--|--------------------------------|---------------|-----------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|
| Acquérir les données trafic | X | X | X | | | | | |
| Acquérir les données météo | X | X | X | | | | | |
| Détecter automatiquement les incidents | X | X | | | | | | |
| Acquérir les données techniques | X | | | | X | | | |
| Gérer le réseau d'appel d'urgence | X | | | | | | | |
| Traiter les données brutes | X | X | | | | | | |
| Filtrer et visualiser les alarmes | X | | | | X | | | |
| Visualiser les images vidéo | X | X | X | X | | | | |
| Visualiser les synoptiques | X | X | X | X | | | | |
| Visualiser les images cartographiques | X | X | X | X | | | | |
| Présenter le synoptique mural | X | X | X | X | | | | |
| Prévoir le trafic | X | X | X | | | | | |
| Prévoir la météo | X | X | X | | | | | |
| Gérer les événements | X | X | X | X | | | | |
| Gérer les plans d'actions | X | X | X | X | | | | |
| Proposer les plans d'actions | X | X | X | X | | | | |
| Piloter les équipements de signalisation | X | | | | | | | |
| Gérer l'affichage des temps de parcours | X | X | | | | | | |
| Échanger les informations avec d'autres systèmes | X | X | | X | | | | |
| Archiver les données | | | X | | X | X | | |
| Établir les rapports | X | X | X | X | X | X | | |
| Gérer la maintenance | | | | | X | X | | |
| Administrer les systèmes informatiques | | | | | | | X | |
| Gérer les sauvegardes | | | | | X | | X | |
| Configurer le système | | | | | | | | X |

2.5 Satisfaction des utilisateurs

L'analyse de la satisfaction des utilisateurs des SAGT peut se décomposer en plusieurs types de réponses :

- Expression sur l'utilité des fonctions,
- Expression sur le niveau de satisfaction par rapport aux fonctions réalisées,
- Expression sur les fonctions manquantes.

2.5.1 Niveau d'utilité des fonctions

Les fonctions sont classées en plusieurs catégories. Celles qui sont :

- Absolument indispensables,
- Utiles mais pas forcément absolument indispensables,
- Intéressantes mais dont on peut se passer.

Selon un avis quasi unanime des utilisateurs concernés, on trouve dans les fonctions absolument indispensables uniquement celles qui touchent l'exploitation en temps réel. Parmi celles ci on peut citer :

- Visualiser les synoptiques de synthèse. La fonction de visualisation des synoptiques de synthèse, intermédiaires et détaillés est sans nul doute dans l'esprit des opérateurs de gestion du trafic, la fonction qui leur permet d'appréhender l'état du réseau. Elle n'est pas une fonction en soi, mais un outil de visualisation des données qui sont fournies par d'autres fonctions, comme celles qui sont citées dans les paragraphes suivants.
- Acquérir les données trafic. La fonction « Acquisition de données trafic » doit être associée à la fonction « Alarme sur données de trafic » : la fonction « Acquisition de données trafic » permet aux opérateurs trafic d'avoir une bonne connaissance de l'état du trafic en temps réel (et avec l'habitude, du comportement des usagers ou du réseau routier). La fonction « Alarme sur données de trafic » permet à ces mêmes opérateurs de trafic de réagir rapidement aux événements surgissant sur le réseau. Ce qui est intéressant dans cette expression, c'est que les opérateurs de trafic ont plébiscité cette fonction, indépendamment de la technologie mise en œuvre (Alarmes sur seuil de comptage pour les niveaux de trafic ou détection automatique d'incident par vidéo). Disposer à la fois des niveaux de trafic de façon synthétique et des alarmes est donc une fonction qui satisfait totalement les opérateurs trafic.
- Acquérir les données techniques. La fonction « Acquisition de données techniques » qui se traduit dans l'esprit des opérateurs de gestion de trafic comme une fonction leur permettant de connaître la disponibilité opérationnelle de leurs équipements (« savoir si on peut compter sur les équipements qu'on a à disposition ») est elle aussi plébiscitée en tête de liste. Plus globalement, cette fonction ne couvre pas que le filtrage et la visualisation des alarmes techniques, mais aussi l'évaluation en temps réel et statistique en temps différé du bon fonctionnement des équipements, et permet aux mainteneurs d'assurer la supervision des équipements et des sous-systèmes composant le SAGT.
- Visualiser les images vidéo. La fonction « Visualisation des images vidéo » remporte aussi la palme des fonctions absolument indispensables : cette fonction permet non seulement de confirmer l'existence d'un événement qui aurait été détecté par la fonction « Acquisition de données trafic » associée à « Alarmes sur données de trafic », mais elle permet aussi de se rendre compte en temps réel de la gravité de l'événement et de son évolution (surtout quand l'événement est grave et qu'il faut informer les intervenants extérieurs qui doivent se rendre sur place et la hiérarchie).
- Piloter les équipements de signalisation. La fonction « Pilotage des équipements de signalisation » est elle aussi absolument indispensable bien sûr (sans elle, il est évident qu'il est impossible d'agir sur le réseau routier).
- Gérer l'affichage des temps de parcours. Le choix de présenter aux usagers les temps de parcours est une décision qui relève des stratégies d'exploitation. Par contre, tous les utilisateurs sont d'accord pour déclarer que si le choix d'afficher les temps de parcours est fait, alors cette fonction doit être assurée de manière automatique par le système, aussi bien pour le calcul que l'affichage des temps de parcours.
- Acquérir et traiter les données brutes. La fonction d'acquisition des données brutes n'est pas ressentie comme essentielle par les utilisateurs, car en fait elle n'assure pas de mission opérationnelle. Toutefois c'est une fonction "technique" indispensable dans la mesure où elle sert à élaborer des informations utilisées par d'autres fonctions qui sont jugées essentielles.

- Archiver les données. La fonction d'archivage inclut également les outils d'extraction des données archivées. Même si cette fonction est transparente pour les opérateurs trafic, elle reste néanmoins indispensable aux SAGT. En effet, elle est absolument nécessaire pour l'analyse trafic et pour la maintenance. De plus certains opérateurs montrent une perception un peu négative de cette fonction (aspect "mouchard").

Dans l'ordre décroissant de l'intérêt porté les utilisateurs, nous trouvons ensuite les fonctions dites : "utiles mais pas forcément absolument indispensables". Il s'agit là de fonctions qui peuvent améliorer le confort de travail des opérateurs, diminuer leur charge de travail, ajouter de la souplesse à l'exploitation, mais qui permettent quand même d'exploiter dans des conditions correctes si elles ne sont pas mises en œuvre. Nous citerons :

- Gérer le Réseau d'Appel d'Urgence. L'intégration du RAU au sein du système informatique du SAGT n'apparaît pas aux yeux des utilisateurs comme une priorité absolue. En effet, le besoin exprimé se limite à la facilité de prise en compte des appels et la visualisation de la localisation de l'appel. Par conséquent un pupitre dédié à cette mission et correctement intégré à l'espace de travail des opérateurs peut répondre parfaitement à leurs attentes. Quelle que soit la solution retenue, il est indispensable de garder des traces des appels RAU. En revanche, il est clair que le traitement des appels d'urgence demeure une fonction essentielle des CIGT, même si elle n'est pas informatisée, et que l'intégration de la fonction de gestion des appels d'urgence est une tendance assez nette dans les SAGT, liée à l'apparition d'applications informatiques de centralisation des appels, dans des environnements multi-fenêtrés désormais habituels.
- Présenter le synoptique mural. Dans la mesure où les écrans du poste de travail de l'opérateur permettent de visualiser un synoptique de synthèse et dans un cadre mono opérateur, l'usage d'un synoptique mural ne semble pas apparaître comme une nécessité absolue. Par contre, dans un contexte d'exploitation multi-opérateurs ou dans une salle de crise, le besoin d'un synoptique mural devient nettement plus affirmé.
- Gérer les événements. La fonction de gestion des événements n'apparaît pas, dans un premier temps, apporter une aide aux opérateurs lors de la gestion en temps réel des événements, elle pourrait même être perçue comme une contrainte. Par contre cette fonction se révèle indispensable pour réaliser une analyse a posteriori ou pour assurer dans de bonnes conditions les passages de consignes aux changements de poste. Cette fonction devient également très utile dans un contexte multi-opérateurs ou sur un réseau présentant une fréquence d'incidents suffisamment élevée pour que l'opérateur soit amené à gérer simultanément plusieurs incidents.
- Gérer les plans d'action. La fonction de gestion des plans d'actions consiste principalement à automatiser l'émission de séquences de commandes vers les équipements terrain. Elle permet donc à la fois de diminuer la charge de travail des opérateurs et de minimiser les risques d'erreur. Son intérêt va donc croissant lorsque les réseaux sont étendus, maillés et que le nombre d'équipements installés est élevé. Par contre, l'accroissement de la complexité des réseaux ou l'augmentation du nombre d'équipements rendent cette fonction plus difficile à automatiser dans la mesure où le nombre de plans d'actions possibles va être important et les incompatibilités entre différents plans d'actions peuvent apparaître. En conclusion, cette fonction est perçue comme plutôt utile, mais les avis restent partagés dans la mesure où les opérateurs souhaitent majoritairement garder la maîtrise de la mise en place des plans d'actions.
- Proposer les plans d'actions. La fonction de proposition des plans d'actions consiste, à partir d'un incident identifié et localisé, à sélectionner automatiquement le plan d'action le mieux adapté à la situation. L'avis des utilisateurs rejoint ici celui exprimé sur la fonction de gestion des plans d'actions, mais le souhait de garder la maîtrise du déroulement des plans d'action est peut être encore plus clairement exprimé.

- Échanger les données avec d'autres systèmes. Dans la fonction d'échange de données, il convient de distinguer les données sortantes des données entrantes. Les premières n'apportent rien aux utilisateurs du SAGT et leur diffusion ne doit pas générer de charge de travail aux opérateurs. Les secondes présentent un intérêt pour les opérateurs dans la mesure où elles apportent des informations utiles sur la situation aux limites du réseau opéré.

Ensuite viennent les fonctions "intéressantes mais dont on peut se passer". Il s'agit de fonctions qui sont utilisées plus ou moins régulièrement lorsqu'elles sont mises en œuvre, ou qui seraient utilisées si elles étaient mises en œuvre dans le système. Ce sont donc des fonctions dont l'utilité est démontrée, mais dont le caractère indispensable n'est pas établi. Par conséquent, une réflexion approfondie doit être menée à leur sujet lors de la phase de définition d'un SAGT avant d'en choisir la réalisation. Parmi celles ci, on peut citer notamment :

- Acquérir les données météo. Aucun des exploitants rencontrés n'a placé l'acquisition des données météo parmi les fonctions essentielles. D'une manière générale, cette fonction présente un intérêt pour connaître précisément la situation météo en des points particuliers du réseau. De plus les informations diffusées par météo France (prévisions et observations, utilisées par tous les CIGT) donnent un niveau de précision suffisant pour répondre aux besoins de l'exploitation. Il faut toutefois noter que nous n'avons pas visité de SAGT implanté dans des régions où des conditions météo difficiles sont très fréquentes (autoroutes alpines par exemple).
- Prévoir la météo. Aucun des SAGT visités ne supporte de fonction de prévision météo. Il semblerait que les utilisateurs n'en ressentent pas le besoin dans la mesure où Météo France propose des bulletins de prévision⁴ à la fois d'une bonne précision et d'un niveau de détail adapté aux réseaux exploités.
- Visualiser les données cartographiques. La fonction de visualisation de données cartographiques n'a pas reçu une très grande audience auprès des utilisateurs interrogés. Ils semblent plus préoccupés par l'adaptation des images visualisées sur leurs postes de travail aux tâches de l'opérateur trafic (synthèses, clarté de représentation des états des équipements, accessibilité des commandes) que par l'aspect cartographique des représentations. Rappelons d'ailleurs que la visualisation de données cartographiques ne constitue pas à proprement parler une fonction en soi, mais plus une technique de réalisation des autres fonctions de visualisation.
- Prévoir le trafic. Certains CIGT objet de notre enquête disposent de la fonction de prévision du trafic, toutefois elle suscite peu d'engouement de la part des utilisateurs. Ce manque d'intérêt s'explique de plusieurs manières. D'abord les opérateurs ont, en général, une très bonne connaissance du réseau qu'ils opèrent et donc la simple observation des données trafic temps réel leur permet une détection très précoce des incidents. Ensuite, s'agissant d'exploitation de niveau 1, les CIGT sont implantés à proximité immédiate des voiries exploitées. Par conséquent, les opérateurs ont également connaissance des événements de la vie locale qui peuvent avoir des conséquences sur les conditions de trafic (manifestations sportives, travaux sur les réseaux annexes...), ils peuvent donc prévoir certaines perturbations avant même que les premiers effets ne soient mesurables.

Certaines fonctions (établir les rapports, administrer les systèmes informatiques, configurer le système) sont des fonctions élémentaires des SAGT pour lesquelles les utilisateurs rencontrés ne se sont pas exprimés sur l'utilité, mais uniquement sur leur niveau de satisfaction.

⁴ il faut citer ici les BRAM (bulletins régionaux d'alerte météo), qui sont des mises en alerte très utiles.

2.5.2 Niveau de satisfaction par rapport aux exigences non fonctionnelles

Ce chapitre synthétise la satisfaction des utilisateurs par rapport aux outils mis à leur disposition, indépendamment des aspects fonctionnels (utilité des fonctions). Il concerne plus particulièrement l'ergonomie, les performances, la disponibilité et la fiabilité des systèmes, l'adéquation entre utilisateurs et fonctions.

- Archiver et restituer les données. On constate que si les outils d'archivage assurent les fonctions qu'on en attend, ils sont en général, sinon difficiles de mise en œuvre, du moins peu ergonomiques. Ce point explique le faible niveau de satisfaction souvent exprimé.
- Administrer les systèmes informatiques. Le niveau de satisfaction des outils d'administration informatique est voisin de celui des outils d'archivage et pour des raisons identiques.
- Établir les rapports. La satisfaction sur les fonctions d'établissement de rapports est surtout liée à l'adéquation des types de rapports disponibles et aux besoins particuliers de chaque SAGT. Malheureusement, les rapports sont en général définis lors de la phase de spécifications du SAGT, donc à une période où les principes d'exploitation restent à un niveau de définition peu avancé. Dans le cas d'une infrastructure nouvelle, c'est bien avant la mise en service et donc sans aucun retour d'expérience. Les rapports disponibles sont donc rarement bien adaptés aux besoins. Pour résoudre ce problème, a priori sans solution, les utilisateurs souhaiteraient soit des rapports hautement configurables, soit que le plan de développement du SAGT prévoie une phase de remise à niveau des rapports après une première période d'exploitation.
- Configurer le système. Comme pour les fonctions d'administration ou d'archivage, les outils de configuration assurent bien les fonctions attendues. Indépendamment des critères d'ergonomie ou de convivialité, le niveau de satisfaction dépend surtout de l'intégration des outils de configuration au sein du système informatique. En effet, si la simple modification d'un paramètre nécessite une mise à jour de plusieurs bases de données ou du même paramètre en plusieurs endroits de la même base, alors les outils apparaissent peu exploitables.
- Performances. Les utilisateurs (surtout les opérateurs trafic) se sont montrés très sensibles aux performances globales du système. Il ressort qu'ils préfèrent souvent des outils plus rustiques mais avec des temps de réaction courts qu'un système doté d'une IHM exemplaire avec des temps de réaction trop longs.
- Robustesse et disponibilité. Indépendamment des fonctions mises à disposition des opérateurs et de la façon dont ces fonctions sont implémentées, la robustesse, la disponibilité et le taux de défaillances des systèmes sont des éléments majeurs de la satisfaction des utilisateurs. En effet, les opérateurs ont le besoin parfaitement légitime de pouvoir compter sur leur système en permanence. L'expression des besoins doit comprendre, pour les fonctions dont la disponibilité exigée est élevée, l'identification des modes dégradés assurant un niveau minimum de fonctionnement.
- Documentation. Même si la qualité (voire dans certains cas l'existence) de la documentation utilisateurs ne modifie pas la valeur intrinsèque de la réalisation du SAGT, la qualité de la documentation peut influencer profondément sur la perception du système qu'ont les utilisateurs. En effet, on constate souvent que de petites imperfections (dans l'organisation des commandes par exemple) sont parfaitement tolérées si les systèmes sont bien documentés. La qualité de la documentation se juge essentiellement sur la complétude, la consistance, le volume (une documentation trop volumineuse devient vite inutile), la facilité de la recherche d'informations, l'adaptation du niveau de détail aux attentes du lecteur.
- Formation. Les effets de la formation (ou du manque de formation) sur la perception des outils sont très similaires à ceux de la documentation. Généralement, c'est surtout l'insuffisance de la formation, ou l'inadéquation du niveau de la formation qui a un effet négatif sur la satisfaction des utilisateurs.

- Implication des opérateurs dans le processus de définition. On constate que si les utilisateurs peuvent admettre de ne pas être impliqués dans le processus de définition initiale, dans la mesure où ceux-ci ne sont pas forcément désignés en début de développement; en revanche ils ont plus de peine à comprendre de ne pas être consultés pour des évolutions du système ou de ne pas être entendus dans leur demandes d'évolution.
- Utilisation d'un vocabulaire adapté. D'une manière générale, c'est l'outil de travail qui doit s'adapter au contexte plutôt que le contraire. Ce principe est particulièrement vrai pour l'utilisation du vocabulaire (par exemple libellés d'alarmes) qui doit être le vocabulaire de l'exploitant et non pas celui de l'informaticien ou de l'automaticien, sinon l'outil est jugé inadapté par les utilisateurs.
- Ergonomie et aménagement des locaux d'exploitation. L'aménagement des locaux (salle de contrôle et ses annexes) est un élément clé du "bien vivre" des opérateurs et par conséquent peut influencer sur l'indice de satisfaction, surtout de manière négative. En effet des locaux contraignants, désagréables génèrent des crispations et comme elles ne peuvent pas être complètement exprimées, elles se transforment en récrimination contre l'outil de travail. Parfois les contraintes liées aux locaux peuvent être incompatibles avec certains choix de réalisation ; par exemple si on choisit de fournir aux opérateurs une documentation (manuels utilisateurs, procédures d'exploitation...) sur support papier et que le rangement de cette documentation ne peut pas être fait à proximité immédiate des postes opérateurs.

2.5.3 Fonctions manquantes

- Gérer la maintenance. Aucun des SAGT visités ne dispose de fonctions d'aide à la maintenance, dans aucun des domaines suivants : gestion des interventions, gestion des équipements, gestion des stocks, mise à disposition de documentation "on line", suivi de fiabilité ou de disponibilité. Cette absence n'est pas systématiquement ressentie comme un manque inacceptable ; toutefois tous les exploitants s'accordent à reconnaître que leur existence serait un « plus » indéniable, en prenant garde toutefois à bien définir ses objectifs et ne pas s'embarquer sur des informations et des procédures trop lourdes par rapport aux besoins réels de suivi de la maintenance.
- Superviser les systèmes informatiques. Les fonctions de supervision des systèmes informatiques et des réseaux ne sont pas systématiquement réalisées, pourtant elles sont jugées indispensables aussi bien par ceux qui en disposent que par ceux qui en sont privés. Cette fonction couvre l'évaluation en temps réel et statistique en temps différé du bon fonctionnement des équipements.

3. Recommandations pour les projets informatiques

3.1 Introduction

Cette partie est organisée en chapitres qui reprennent schématiquement le cycle de vie d'un projet (cycle de développement préconisé dans la norme ISO 9000) et les phases habituellement rencontrées dans la réalisation de ce type de projet.

Les phases décrites ici ont été volontairement simplifiées pour éliminer certaines répétitions quand des recommandations s'appliquent à plusieurs phases voisines.

On trouve donc les phases :

- Expression du besoin / définition du cahier des charges ;
- Consultation des entreprises ;
- Réalisation ;
- Spécifications ;
- Maîtrise du projet / organisation de la qualité ;
- Réalisation ;
- Essais, réception et mise en service,
- Exploitation, garantie, maintenance ;

Les recommandations que l'on trouve dans cette partie portent donc sur chacune des phases, ce qui permet de s'y retrouver facilement ; elles recouvrent les rubriques suivantes :

- Général,
- Exigences fonctionnelles,
- Exigences non fonctionnelles,
- Exigences qualité,
- Coûts délais.

Pour décrire ce que ces rubriques comprennent, on peut préciser que :

- Les exigences fonctionnelles couvrent le détail des fonctions qui doivent être réalisées par le système informatique ;
- Les exigences non fonctionnelles couvrent l'expression des besoins en terme de disponibilité, performance, ergonomie, contraintes techniques, etc. ;
- Les exigences qualité couvrent les besoins en termes de réalisation (organisation de la qualité, exigences de réalisation pour la conception, pour le code, pour la documentation, etc.) ;
- Les exigences en termes de coûts et délais donnent les limites en termes d'investissement et de délais de réalisation en fonction de critères propres au maître de l'ouvrage.

Ce découpage n'apparaît pas explicitement dans la suite du document pour les raisons suivantes :

- Toutes les rubriques ne se retrouvent pas dans toutes les phases ;
- Certaines recommandations énoncées peuvent s'appliquer à plusieurs rubriques.

Par conséquent le découpage systématique en rubriques par phase aurait conduit à faire apparaître un nombre important de titres de paragraphe contenant la mention "sans objet" et à reporter trop de recommandations dans la rubrique "général".

3.2 Documentation et cycle de vie

L'organisation et la gestion de la qualité ainsi que la documentation sont des éléments importants, voire primordiaux pour la maîtrise de projet de développement de systèmes complexes, à longue durée de vie et amenés à évoluer régulièrement au cours de leur cycle de vie. De plus, ce point a

encore souvent tendance à être, sinon négligé, du moins traité avec une attention insuffisante. Ce constat s'explique assez simplement :

- Une documentation et les actions qualité coûtent cher et leur coût est facilement identifiable au départ, alors que les surcoûts engendrés, lors des futures évolutions, par une documentation incomplète ou inadaptée et un développement dans un cadre qualité pauvre, sont par la suite difficilement quantifiables mais souvent importants.
- La documentation et la qualité sont souvent les premiers sacrifiés sur l'autel de la tenue des délais.

||| *Nos recommandations s'attacheront à attirer l'attention des exploitants et maîtres d'ouvrage sur les éléments incontournables en matière de documentation et de qualité.*

3.2.1 Documents et gestion de la qualité

Les paragraphes suivants indiquent le contenu « typique » des documents produits par le chef de projet, « maître d'œuvre informatique ».

3.2.1.1 Plan qualité logiciel

Le plan qualité logiciel est à établir dès le début du projet. Il définit les rôles et responsabilité des intervenants et les organisations mises en place pour la réalisation. Il précise la façon dont la communication fonctionne dans le projet entre les différents intervenants.

Il établit clairement :

- L'organisation des réunions de travail ;
- Les modalités de suivi de l'avancement du projet ;
- Les dispositions prises pour assurer le contrôle des prestations de l'entreprise (cycles de lecture, validation des différents documents produits, recettes, ...)
- Le référentiel documentaire utilisé pour la réalisation du projet (cahier des charges, normes, ...).

Le plan qualité logiciel précise l'organisation de la documentation du projet, les règles d'identification des documents et les règles d'évolution des versions.

Le plan qualité fait aussi référence :

- Au plan de développement ;
- Au plan de gestion de configuration (qui peut contenir l'organisation de la documentation du projet, les règles d'identification des documents et les règles d'évolution des versions dont il a été question précédemment) ;
- Au plan de gestion des sauvegardes.

Il est généralement préférable de dissocier ces plans afin que les mises à jour puissent être faites indépendamment.

3.2.1.2 Plan de développement

Le plan de développement est le « carnet de route » des développeurs. Il contient toutes les règles qui leur permettent de développer de façon cohérente et assure l'homogénéité de la réalisation quelle que soit le nombre de personnes qui travaillent sur le projet.

Le plan de développement doit contenir en particulier les règles de codage qui définissent la façon de nommer les différentes entités utilisées dans le développement (noms de fichiers, noms de variables, noms des machines, ...).

3.2.1.3 *Plan de tests*

Le plan de tests définit la façon dont sera testé le logiciel. Il décrit la stratégie de test mise en œuvre, le découpage en tests unitaires, d'intégration et fonctionnels. Il est possible d'avoir un plan de test général qui renvoie à trois plans de tests (unitaires, intégration, fonctionnels) ou d'avoir un seul plan de test qui contient les trois chapitres.

De même, la description exhaustive de tous les scénarios de tests passés peut faire l'objet d'un document spécifique ou être intégrée au plan de test. Toutefois la dernière solution imposera de nombreuses remises à jour de ce plan, ce qui peut devenir lourd et fastidieux.

3.2.1.4 *Plan de gestion de configuration*

Le plan de gestion de configuration traite d'une activité absolument indispensable dans le déroulement du projet. Il sert à maîtriser la composition d'une version d'un 'artefact' du projet (code source, documents).

A tout moment, il doit être possible de savoir de quoi est composée une version du logiciel et assurer que les versions validées les plus à jour sont utilisées.

Les plans de gestion de configuration ne touche pas seulement la partie codage mais aussi les configurations :

- des fichiers de paramétrage,
- des progiciels utilisés,
- des machines et de leurs systèmes d'exploitation,
- ...

Le plan de gestion de configuration définit les espaces dans lesquels les fichiers sont stockés. Il y est question généralement :

- de l'espace de développement (qui contient les objets informatiques en cours de développement),
- de l'espace de test (qui contient les objets informatiques devant faire l'objet de tests),
- de l'espace de référence (qui contient les objets informatiques qui ont passé les tests avec succès : cet espace de référence contient les versions présentées en recette et celles utilisées lors des mises en service).

3.2.1.5 *Plan de gestion des sauvegardes*

Le plan de gestion des sauvegardes définit de façon précise :

- la procédure de sauvegarde,
- la périodicité des sauvegardes,
- le lieu de stockage des sauvegardes,
- la procédure de restauration,
- la procédure de vérification de l'intégrité des sauvegardes (il faut s'assurer qu'il est possible de relire les sauvegardes).

Un stockage dans deux endroits différents est fortement conseillé.

3.2.1.6 *Planning de réalisation*

Le planning de réalisation est l'outil de suivi de l'avancement du projet. Il doit impérativement prendre en compte :

- L'enclenchement et la succession des tâches (certaines tâches doivent être achevées avant que d'autres ne puissent démarrer) et le chemin critique ;
- Les périodes de relecture et de validation de la documentation produite (tâches qui incombent au maître de l'ouvrage et / ou son maître d'œuvre selon le type de marché) ;

- Les budgets en hommes-jours prévus pour les différentes tâches, les charges déjà consommées et les charges estimées restantes (ce qui permet de savoir si une tâche est en avance ou en retard).

Le planning de réalisation est à mettre à jour le plus régulièrement possible et le plus souvent possible.

3.2.2 Type de développement

On distingue en général deux grands types de développement⁵ :

- Le cycle en V,
- Le développement incrémental.

Le cycle en V est le cycle habituellement utilisé et préconisé. C'est une méthode rigoureuse et fiable qui donne des résultats généralement satisfaisants. Pourtant une méthode alternative a été conçue pour concrétiser les concepts décrits dans les spécifications fonctionnelles (cf. 3.2.3.2 Spécifications fonctionnelles) : le développement incrémental connu aussi sous les appellations de « maquettage / prototypage » ou « développement itératif ». Cette technique offre l'avantage de développer l'application par « sous-ensembles fonctionnels » directement sur la plateforme cible, qui s'y ajoutent les uns après les autres, ce qui réduit notamment les délais de livraison.

|| *Entre deux incréments, c'est le cycle en V qui est utilisé pour les développements.*

Les personnes qui sont chargées de la validation peuvent donc travailler sur le produit final et ainsi, mieux appréhender ce qu'il sera et faire tous les ajustements nécessaires au plus tôt dans le développement de l'application.

Le choix du type de développement dépendra surtout de l'expérience des différents acteurs du projet (maître d'ouvrage, maître d'œuvre, réalisateur) et donc du niveau de confiance qu'on peut accorder à l'expression du besoin et aux spécifications. En effet, si l'expérience acquise dans la définition, l'exploitation et la réalisation de SAGT est suffisante, alors le cycle en V sera bien adapté. Par contre si on craint une remise en cause des phases amont, le développement incrémental sera préféré.

|| *Il est à noter que certaines entreprises utilisent le maquettage prototypage en phase de spécifications fonctionnelles et de conception, ce qui s'apparente à une forme mixte « Cycle en V – Développement incrémental » très prisée et fortement conseillée si le cycle en V est le type de développement retenu.*

3.2.3 Cycle de développement

Ce chapitre décrit les principales phases du cycle de développement. Cette description s'appuie sur les recommandations de la norme ISO 9000 à laquelle le lecteur pourra se reporter utilement pour plus de détails (Cf. bibliographie).

3.2.3.1 Glossaire du projet

Le glossaire est un élément indispensable pour garantir la cohérence du vocabulaire entre les différents acteurs du projet, mais également entre les futurs utilisateurs au sens le plus large : opérateurs trafic, mainteneurs, services de secours, forces de police, service de dépannage, cellule de crise...

⁵ Sur les processus de gestion de projet informatique, voir également www.spmn.com ou www.rational.com/rup ; les 6 « meilleures pratiques » identifiées sont : 1. développer le logiciel de manière itérative ; 2. gérer les exigences des utilisateurs ; 3. utiliser des architectures à base de composants ; 4. modéliser graphiquement le logiciel ; 5. vérifier la qualité du logiciel ; 6. contrôler les changements apportés au logiciel. Ces références recommandent le développement incrémental dès que le projet doit durer plus de par exemple 6 ou 12 mois (selon les auteurs).

Il est absolument nécessaire de définir avant de commencer la phase de spécifications fonctionnelles le vocabulaire du projet pour que tous les intervenants se comprennent quand ils utilisent des termes du métier.

Les termes ayant des significations multiples sont à bannir et il faut supprimer les termes qui désignent la même chose pour n'en conserver qu'un seul.

Les termes employés dans le projet peuvent être rassemblés avec leurs définitions dans un unique glossaire diffusé à l'attention de tous les intervenants.

Bien entendu, il faut s'efforcer de conserver le vocabulaire utilisé habituellement dans la mesure où les règles citées précédemment sont respectées.

3.2.3.2 *Spécifications fonctionnelles*

La phase de spécifications fonctionnelles est la phase pendant laquelle le réalisateur et le maître d'ouvrage et / ou son maître d'œuvre (selon le type de marché) définissent les fonctions du système. La définition des fonctions s'effectue généralement au travers de discussions dans les réunions techniques.

Il est vivement recommandé de faire participer les futurs utilisateurs du système à ces réunions. Les avantages à en retirer sont les suivants :

- Appropriation du futur système par les utilisateurs,
- Motivation des personnes impliquées dans le processus de définition,
- Familiarisation des utilisateurs avec le fonctionnement avant même les formations.

Note : il faut entendre par « utilisateurs » toutes les personnes qui seront amenées à toucher de près ou de loin le futur système , pas seulement les opérateurs mais aussi les configurateurs, les administrateurs, les agents de maintenance, les responsables de salle, les cadres d'astreinte, les analystes trafic, etc.

Bien entendu, les réunions de spécifications fonctionnelles sont organisées par thèmes et la présence de tous les utilisateurs à ces réunions est à adapter en fonction du thème.

Le dossier de spécifications fonctionnelles sert à la recette plate-forme et à la réception site.

Le dossier de spécifications fonctionnelles sert de référence à l'élaboration du dossier de tests fonctionnels.

Il y a donc lieu de veiller à ce que le document de spécifications fonctionnelles soit suffisamment clair, détaillé et structuré pour pouvoir mettre une fiche de test en face de chaque fonction.

3.2.3.3 *Conception*

Le dossier de conception (qui rassemble généralement les dossiers de « Conception générale » ou « Conception préliminaire » et de « Conception détaillée ») contient les informations sur le découpage de l'application en modules informatiques. C'est grâce à ce document que les programmeurs de l'entreprise qui réalise le projet vont développer le code de l'application.

Ce document est tout aussi important que le dossier de spécifications fonctionnelles. Certes l'implication de la maîtrise d'ouvrage ou du maître d'œuvre est moins importante pendant cette phase mais c'est grâce à ce document que :

- Le degré de modularité peut être apprécié,
- L'indépendance du code par rapport aux équipements et périphériques peut être évaluée,
- L'indépendance des données – traitements.

Le dossier de conception doit comporter la liste des progiciels utilisés et préciser quels sont les progiciels utilisés pour les fonctions.

3.2.3.4 Codage et tests unitaires

Cette phase de codage est une phase pendant laquelle l'implication du maître et d'ouvrage et du maître d'œuvre est relativement faible puisque l'essentiel du travail de définition a déjà été réalisé.

Cependant, cette phase est cruciale pour la tenue des plannings et il est indispensable de suivre les développements au plus près car c'est pendant cette phase de codage et de tests unitaires que les éventuels manques des dossiers de spécifications fonctionnelles et de conception apparaissent.

C'est aussi pendant cette phase que les risques de dérapage sont les plus importants (et ils le sont d'autant plus que les dossiers de spécifications fonctionnelles et de conception sont incomplets ou imprécis).

Il est généralement difficile d'apprécier l'avancement du codage quand on n'est pas impliqué directement dans la programmation.

Pour ce faire, le meilleur indicateur de l'avancement du codage est le planning renseigné avec les charges prévues, consommées et le reste à faire.

3.2.3.5 Intégration

La phase d'intégration est celle dans laquelle les modules sont rassemblés et testés les uns avec les autres (par opposition aux tests unitaires dans lesquels ils sont testés indépendamment les uns des autres).

Il est nécessaire d'avoir pour cette phase un dossier de tests et d'intégration. La participation du maître d'ouvrage ou du maître d'œuvre à cette phase est conseillée mais pas nécessaire. Il est conseillé aussi de faire participer les personnes du service maintenance qui vont avoir à maintenir l'application. La phase d'intégration peut être très formatrice.

3.2.3.6 Recette plate-forme

La phase de recette plate-forme est celle pendant laquelle le maître d'ouvrage ou le maître d'œuvre vérifient que l'application est conforme au dossier de spécifications fonctionnelles.

Le réalisateur doit préparer un dossier de recette plate-forme qui contient :

- La configuration du matériel, des progiciels et des logiciels applicatifs qui sont utilisés pour la recette (y compris celle des simulateurs, s'il y en a) ;
- La liste des fiches de test qui seront passés sur la configuration.

|| *Parmi les tests qui peuvent être passés en plate-forme, il y en a qui ne peuvent être réalisés en conditions réelles d'exploitation. Il faut donc identifier ces tests / fonctions et leur apporter une attention toute particulière.*

3.2.3.7 Livraison

La livraison correspond à l'installation sur le site d'exploitation à l'ensemble des sous ensemble logiciels et matériels nécessaires aux essais et à l'exploitation du système.

Elle inclut notamment :

- l'ensemble des codes exécutables et les fichiers sources associés,
- les fichiers de paramétrage des applications,
- les utilitaires et progiciels utilisés,
- la configuration des différentes machines.

3.2.3.8 Mise en service

C'est durant la phase de mise en service que le réalisateur procède à l'ensemble des essais et contrôles ainsi qu'aux éventuelles compléments de mise au point afin de s'assurer que l'ensemble du système fonctionne correctement et peut être soumis aux contrôles de réception.

3.2.3.9 Vérification d'aptitude de bon fonctionnement

La vérification d'aptitude de bon fonctionnement permet au maître d'ouvrage, grâce à son maître d'œuvre à qui il délègue cette tâche, de mener l'ensemble des contrôles et épreuves nécessaires pour s'assurer de la conformité du produit livré.

Cette phase permet de dresser, avec l'entreprise, un bilan contradictoire de l'état du système. Le programme des essais et contrôles fait l'objet, préalablement à leur déroulement, d'un accord avec l'entreprise sur les scénarios qui seront mis en œuvre.

Les résultats obtenus sont consignés dans le procès verbal des opérations préalables à la réception, qui doit être signé par l'entreprise et le représentant du maître d'ouvrage.

3.2.3.10 Vérification de service régulier (VSR)

La vérification de service régulier débute à l'issue de la vérification d'aptitude de bon fonctionnement. Elle consiste à utiliser quotidiennement le système dans les conditions normales d'exploitation. Elle permet notamment de vérifier que les objectifs de disponibilité ou de maintenabilité sont respectés ; alors que cette vérification ne pouvait pas être menée plus tôt compte tenu du caractère ponctuel des contrôles effectués.

Cette VSR ne se termine que lorsque les objectifs contractuels ont été tenus pendant une durée minimum indiquée au marché.

La réception est prononcée lorsque la VSR est close.

3.2.3.11 Garantie

La garantie débute dès la réception (avec ou sans réserves). Durant la période de garantie, la maintenance (matériel et logiciel) reste en général assurée par l'entreprise qui a réalisé le système.

3.2.3.12 Maintenance corrective

La maintenance corrective a pour objet d'apporter des solutions aux anomalies qui seraient découvertes après la réception.

3.2.3.13 Maintenance évolutive et mise en service de versions successives

La maintenance évolutive permet d'apporter des évolutions au système en exploitation. Ces évolutions ne sont pas des corrections d'anomalies mais permettent de satisfaire des nouveaux besoins de l'exploitant ou d'apporter une réponse plus adaptée à des besoins déjà satisfaits.

Les mises en services de versions successives sont donc la conséquence directe de ces évolutions. Toutefois on peut également être amené à mettre en service plusieurs versions successives si l'on a choisi de conduire le développement par étapes successives.

Dans tous les cas, les fonctions nouvelles (ou modifiées) doivent être testées comme s'il s'agissait de la première version ; par contre les autres fonctions doivent faire l'objet de tests de non régression.

3.2.3.14 Formation

La formation est assurée par l'entreprise réalisatrice. Elle a pour but d'apporter au personnel de l'exploitant l'ensemble des connaissances nécessaires à sa mission. Elle doit comporter notamment les volets suivants (liste non limitative) :

- Formation des opérateurs,
- Formation à la maintenance, suivant les niveaux de maintenance qui ont été définis lors de l'étude,
- Formation aux fonction d'administrateur système,
- Mise en œuvre des outils de configuration,
- Formation à l'utilisation des outils de développement (si l'exploitant doit assurer lui-même les évolutions),
- ...

3.3 Expression du besoin

Avant de débiter la phase d'expression du besoin, il est indispensable de définir clairement les rôles de chacun ; en particulier de désigner un maître d'œuvre informatique et d'identifier ses interlocuteurs techniques du côté de l'exploitant et du maître d'ouvrage.

3.3.1 Exigences fonctionnelles

Les exigences fonctionnelles sont définies sur la base de l'expression du besoin de l'exploitant. Certes il est absolument nécessaire d'avoir une couverture exhaustive de la liste des besoins, mais l'exhaustivité des besoins peut conduire à des projets dont les coûts et délais sont prohibitifs.

Il y a donc lieu de classer les fonctions par ordre de priorité, et de leur affecter un poids. L'analyse de la valeur permet d'arriver à sélectionner les fonctions qu'il faut réaliser en priorité. Les critères de choix sont cependant à pondérer en considérant le projet d'une façon globale pour intégrer l'ensemble des autres exigences, notamment les contraintes techniques (installations existantes, organisation particulière, etc.).

Même si certaines fonctions sont mises de côté au profit d'autres, il convient d'assurer la traçabilité des décisions prises pour, d'une part, ne pas revenir sur des décisions prises en début de projet mais aussi pour d'autre part, conserver la liste des fonctions à intégrer dans le cadre d'évolutions qui seraient réalisées ultérieurement.

Cette tâche de recensement des besoins fonctionnels est assez ardue, et il est conseillé de se rapprocher du réseau technique de l'Équipement qui possède un savoir-faire intéressant, ainsi que d'autres exploitants qui ont eu des expériences similaires.

La participation des futurs utilisateurs du système est très profitable à ce stade du projet. De même, la définition de la politique d'exploitation du réseau routier facilite l'appréhension des fonctions qui sont importantes et à réaliser en priorité.

Des besoins fonctionnels peuvent aussi provenir des organismes extérieurs (les pompiers, la gendarmerie, le SAMU, les dépanneurs, les autres exploitants, etc.) et il faut impérativement les impliquer dès le début de la réflexion.

Il est à noter que certaines exigences fonctionnelles peuvent être satisfaites par des systèmes autres que des systèmes informatiques (cas de la vidéo dont on peut faire le choix volontaire de ne pas la connecter au système informatique central).

Il apparaît nécessaire de gérer les priorités dans la réalisation des fonctions, notamment selon les critères suivants :

- besoins de l'exploitant,
- choix de réalisation (et de mise en service) par étapes et standards successifs,
- budget d'investissement limité,
- contraintes techniques,
- contraintes de délai.

D'une manière générale, ces choix pourront être rendus plus faciles par la mise en place d'une organisation appropriée. Si le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre, l'exploitant et le réalisateur sont des organismes distincts, il est important que chacun évalue les priorités avec ses propres critères, le pouvoir d'arbitrage entre ces entités revenant, en dernier ressort, au maître d'ouvrage. Si certaines de ces fonctions sont réunies au sein d'un même organisme, il est important de s'organiser afin que les différents pôles soient clairement identifiés.

La gestion des priorités idéale sera réalisée de manière arithmétique. Pour cela, chaque fonction devra être évaluée de manière quantitative suivant différents critères, chaque critère sera ensuite pondéré pour obtenir une note finale. Notre propos n'est pas de fournir une liste exhaustive de critères avec une pondération universelle qu'il serait illusoire de rechercher. Nous proposerons toutefois une série de critères accompagnés, le cas échéant, d'une pondération qualitative.

3.3.2 Choix de réalisation et de mise en service par étapes successives

Ce choix paraît judicieux aussi bien pour la réalisation d'un système nouveau que dans une opération de renouvellement. D'abord, parce qu'il permet de limiter le risque technique en fractionnant les difficultés, ensuite car il permet à l'exploitant d'adapter progressivement ses méthodes et habitudes de travail aux nouveaux outils qui seront mis à sa disposition.

Les niveaux d'importance dans la définition des fonctions qui sont à réaliser prioritairement peuvent être les suivants :

- Fonctions absolument indispensables à l'exploitation (celles qui touchent la sécurité des usagers et / ou la perception de ce qu'il se passe sur le réseau) ;
- Fonctions spécifiquement identifiées par l'exploitant dans son domaine comme étant celles dont il ne peut se passer ;
- Fonctions dites de confort et celles liées aux rapports et statistiques.

A titre indicatif, les fonctions ont été identifiées dans la 1^{ère} partie (Cf. Tableau au §2.4).

3.3.3 Exigences non fonctionnelles

Les exigences non fonctionnelles doivent être identifiées et exprimées au plus tôt car elles sont souvent structurantes pour le développement.

Des exigences doivent être exprimées en matière de fiabilité et disponibilité. Les objectifs doivent être fixés de manière quantitative afin de pouvoir être aisément vérifiés. Les valeurs doivent être déterminées globalement pour l'ensemble du système dans un premier temps. Dans un second temps il peut être utile ou nécessaire de réaliser une allocation par sous système, ce qui permettra d'identifier facilement le sous système en faute si les objectifs ne sont pas respectés.

En terme de maintenance, les exigences doivent être analysées avec soins et rester cohérentes avec l'organisation de l'exploitant, notamment :

- Utilisation d'outils de télémaintenance ;
- Décomposition en niveau de maintenance et identification des sous ensembles échangeables à chaque niveau ;
- Fourniture (et développement si nécessaire) d'outils adaptés à tous les niveaux de maintenance qui seront assurés par l'exploitant ;

3.4 Consultation des entreprises

La fourniture globale du système informatique d'un CIGT inclut des prestations de fourniture (fourniture des matériels informatiques), de travaux (installations et mise en service), d'études et prestations intellectuelles (développement logiciels, formation, assistance à la mise en service...). Dans le cadre d'une prestation globale, le CCAG-MI est le plus adapté. Mais une attention particulière doit être portée sur la propriété intellectuelle des logiciels développés spécifiquement et des outils et progiciels du commerce fournis dans le cadre de la prestation.

Pour ces derniers, il faut s'assurer que toutes les licences nécessaires aussi bien à l'exploitation du système qu'à sa maintenance (y compris évolutions) sont bien fournies et éventuellement compléter le CCAP par certaines dispositions du CCAG-PI, chapitre IV.

Pour les développements spécifiques, nous préconisons d'utiliser les dispositions du CCAG-PI, chapitre IV, option A ou B, tout en sachant qu'elles devront être complétées selon les objectifs particuliers de chaque projet.

D'autre part, l'expérience montre (surtout pour un projet nouveau) que le référentiel de l'application, et des fonctions telles que les éditions de rapports, ne peuvent jamais être figées dès le début du développement. De plus, la gestion des plans d'action, lorsqu'elle existe, nécessite des ajustements après les premiers essais ou le début de l'exploitation. Aussi est-il indispensable de prévoir dès la conclusion des marchés une étape de remise à niveau du référentiel de données et de la documentation en fin de projet. Le nombre de ces remises à niveaux doit être laissé à l'appréciation du maître d'œuvre informatique, en fonction de la précision de la définition et de l'expression du besoin en début de projet.

Il faut également se préoccuper de la maintenance avant le début des marchés. Pour cela, l'idéal est de prévoir une tranche conditionnelle de maintenance (corrective et évolutive) au moment de la consultation. Cette façon de procéder présente deux avantages :

- L'entreprise est obligée de s'engager sur des coûts de maintenance lorsqu'elle est mise en concurrence, alors qu'après elle est en situation de quasi monopole ;
- La comparaison des coûts de maintenance permet de cerner au plus tôt les coûts d'exploitation et peut être un élément de choix entre deux solutions par ailleurs équivalentes.

Nota : l'attention du lecteur est attirée sur le fait que certaines recommandations exprimées au § 3.7 Réalisation sont à appliquer dès la phase de consultation.

Le réalisateur sera choisi, classiquement, en fonction de critères économiques et de la valeur technique des offres. Toutefois lors de l'évaluation technique des offres, il convient de garder à l'esprit que les techniques informatiques évoluent rapidement, que la durée de développement sera relativement longue et que l'investissement global sera d'un montant important. Les offres seront donc jugées avec un souci de pérennité de l'investissement donc en portant une attention particulière sur les points suivants :

- Risque d'obsolescence des outils, matériels et logiciels proposés (les constructeurs informatiques étant peu enclins à fournir des garanties dans ce domaine, l'importance de la diffusion de matériels similaires dans le monde industriel peut apporter des éléments de confiance) ;
- Garantie de pérennité de l'entreprise ;
- Coût du maintien des compétences (dans le cadre de la maintenance évolutive).

3.5 Spécifications

Parmi les éléments capitaux de la phase de spécification, on trouve la définition précise des postes opérateurs et notamment les études liées à l'ergonomie des postes opérateurs.

3.5.1 Spécifications formelles ou textuelles

Les spécifications "textuelles" sont rédigées en français et présentées uniquement sous forme de texte accompagné de figures. Les spécifications "formelles" sont rédigées avec des outils d'aide à la spécification qui s'appuient sur une méthode de spécification (par exemple TeamWork qui utilise la méthode SA/RT, ou Rational Rose qui s'appuie sur UML, mais il existe des dizaines d'autres outils); la présentation respecte alors le formalisme imposée par la méthode (découpage hiérarchique, diagramme de flots de données, traitements dans le cas de SA/RT). La production des spécifications formelles est très contraignante mais présente de nombreux avantages :

- utilisation d'une démarche structurée qui repose sur une méthode généralement éprouvée ;
- traçabilité des spécifications ;
- contrôles de cohérence intégrés à l'outil ;
- simplification des tâches de conception préliminaire ;
- pour certains outils, possibilités de modélisation des spécifications et de simulation du futur système par animation du modèle fonctionnel ;
- élaboration très tôt du catalogue (et des références) de test à partir du comportement du modèle fonctionnel.

Toutefois, l'utilisation d'une démarche formelle n'est pas exempte d'inconvénients. Outre l'investissement initial (ces outils sont en général onéreux et leur mise en œuvre n'est pas immédiate, de plus il convient de s'assurer de l'adéquation de l'outil au besoins particuliers du projet), le principal inconvénient en est l'aspect rébarbatif des spécifications produites.

En effet la lecture de ces spécifications suppose de connaître relativement bien les principes de la méthode de spécification utilisée ainsi que sa grammaire. Dans la pratique, elle sont peu accessibles au personnel non informaticien.

Par conséquent, si le contrôle de la réalisation par rapport aux spécifications est rendu plus aisé, la validation des spécifications devient beaucoup plus ardue.

En conclusion, nous recommandons de réserver l'utilisation de spécifications formelles aux systèmes d'une grande complexité fonctionnelle et uniquement pour des spécifications détaillées, les spécifications générales restant sous forme textuelle afin d'être aisément validées par des spécialistes en gestion de trafic. Il conviendra alors d'apporter un soin particulier au contrôle de la transcription des spécifications textuelles dans leur représentation formelle.

3.5.2 Ergonomie des postes opérateurs

Nous nous limiterons ici à la partie spécifique aux systèmes informatiques de l'ergonomie des postes de travail. En effet, les autres aspects tels qu'agencement d'une salle de contrôle, mobilier, éclairage, conditionnement d'air, environnement sonore... sont plus classiques donc généralement bien maîtrisés par les architectes d'intérieur et les ergonomes et au moins partiellement couverts par des dispositions réglementaires ou légales.

Il convient d'accorder une place de premier choix à la validation de l'Interface Homme Machine (IHM) dès les premières études. En effet, une IHM bien conçue (i.e. conviviale, efficace, pratique) ne compensera pas des fonctionnalités incomplètes ou inadaptées; en revanche, une mauvaise IHM peut provoquer le rejet des utilisateurs et donc conduire à l'échec du projet. De plus, les choix de concepts d'IHM sont souvent structurants pour la suite du projet et leur remise en cause deviendra alors problématique. Rappelons aussi que l'ergonomie est souvent l'aboutissement d'un travail en profondeur de traduction des actions rendues possibles par le SAGT d'une manière « transparente »

pour les utilisateurs - en adéquation avec le cheminement mental des opérateurs, qui permette une réelle simplicité d'usage.

3.5.2.1 *Implication des exploitants dans les phases de spécifications*

Il est indispensable d'associer l'exploitant à ces réflexions dès le début en s'attachant à distinguer le concept important (à valider tôt) du détail (ex. habillage des images sur poste informatique) qui est à finaliser en phase de mise au point.

Notamment, l'exploitant doit valider :

- les concepts d'imagerie,
 - principes d'appel des images ;
 - principes de présentation des informations aux opérateurs ;
- l'aménagement du poste de travail opérateur,
- la nature des informations présentées,
- les commandes accessibles aux opérateurs,
- en cas de salle de contrôle multiples, les principes de délégation de commandes (par clés, par procédure...),
- l'adéquation des outils mis en place à son organisation (voir chapitre correspondant).

Par contre, l'exploitant doit rester dans son rôle d'exploitant et ne pas s'immiscer dans les choix de réalisation, sauf s'ils induisent des contraintes sur l'organisation de la maintenance ou la conduite des opérations.

3.5.2.2 *Maquettage et mise au point de l'IHM*

Les phases de maquettage visent d'abord à valider les concepts d'IHM qui sont mis en œuvre; l'exploitant en est donc un acteur majeur. Les paragraphes suivants présentent l'essentiel des concepts d'IHM à valider.

L'utilisation d'une interface graphique permet de rendre les outils informatiques accessibles au personnel non informaticien; toutefois aujourd'hui l'informatique fait partie de notre quotidien et tout le monde est familier du clavier et de la souris. Même s'il est généralement judicieux de limiter au maximum l'usage du clavier, il ne faut pas en proscrire systématiquement l'utilisation (à la fin des années 80, certains systèmes de gestion de trafic ferroviaire ont été conçus sans clavier et l'usage a montré que les saisies de valeurs numériques, par exemple, sans clavier étaient laborieuses). Il convient donc de mener une réflexion sur l'usage optimum du clavier et de la souris.

Les principes de hiérarchisation des images doivent également être validés lors des phases de maquettage. On choisit en général de définir plusieurs niveaux de détails dans les images présentées à l'opérateur. Plus on augmente le niveau de détail et moins l'étendue géographique est importante. Le premier niveau (synoptique général) doit présenter la totalité de la zone traitée par le centre de contrôle et n'affiche que des informations de synthèse, alors que les niveaux inférieurs permettent d'accéder aux détails. On peut choisir d'accéder aux informations détaillées, soit selon une approche fonctionnelle (les informations d'une seule nature de l'ensemble de la zone couverte par le centre de contrôle), soit selon une approche géographique (les informations d'une même zone géographique mais recouvrant la totalité des données relatives à cette zone).

Dans les deux cas, le choix de découpage doit être fait par rapport à des préoccupations d'exploitation :

- pour les zones géographiques, la frontière retenue doit avoir un sens vis à vis de l'exploitation de la route et non pas dictée par la réalisation matérielle (par exemple découper les zones géographiques en fonction des équipements d'acquisition des données). Dans certains cas, il est judicieux de prévoir un recouvrement entre deux zones adjacentes ;
- pour une approche "fonctionnelle", il faut d'abord clairement distinguer les informations techniques des informations trafic.

L'expérimentation permet de vérifier si le découpage des niveaux de détails est pertinent : multiplier les niveaux est sans intérêt et provoque une confusion chez l'opérateur, qui ne sait jamais quelle vue il devra appeler. On doit également, lors de cette phase, choisir si les fenêtres (de plus en plus détaillées) s'affichent en "chassant" la précédente ou si elles s'ouvrent "par dessus".

De même on doit s'attacher à bannir les mécanismes d'appels de type "poupées russes" : une image qui ne permet que d'appeler d'autres images, qui elles aussi servent principalement à appeler d'autres images...

En revanche, dans le cas de découpage en zones géographiques limitées, la possibilité d'accéder immédiatement aux zones contiguës à partir d'une visualisation donnée se révèle à l'usage fort appréciée des opérateurs.

En résumé, il convient de valider non seulement le contenu de l'imagerie (nature des informations présentées, niveau de détail, découpage géographique...) mais aussi les mécanismes d'appel de ces images.

Des saisies opérateurs erronées peuvent entraîner des conséquences graves non seulement sur les conditions de trafic mais surtout sur la sécurité des usagers (contrairement au domaine ferroviaire, où la sécurité du mouvement des trains est assurée par des automatismes et verrouillages incontournables). Il est donc indispensable de prévoir des mécanismes de validation des actions opérateurs. Cette validation doit être accompagnée d'une pré visualisation de l'état à valider. Le choix des commandes nécessitant une validation et/ou une pré visualisation ainsi que leur aspect seront validés par expérimentation.

Pour la présentation des vues géographiques (synoptique de synthèse ou vue de détail), le respect des échelles est souvent la règle et présente des avantages car il permet aux opérateurs des salles de contrôle de ne pas être trop éloignés de la réalité du terrain (distance à parcourir pour les équipes d'intervention, étendue des événements trafic...)

Par contre cette règle ne doit pas être érigée en dogme, car elle peut conduire à des images sans intérêt qui occupent une grande surface de l'écran ou au contraire à des images illisibles en raison de la trop grande densité d'informations qui y sont présentées.

Seule l'expérimentation permet de trouver le meilleur compromis.

3.5.2.3 Cohérence de l'IHM

Le poste de travail informatique doit être un ensemble cohérent et homogène, même s'il permet de commander et contrôler des équipements de nature différente. Si pour chaque type d'équipement, la nature des commandes et contrôles doit être définie par les spécialistes de ces équipements, la façon d'y accéder doit être définie par des spécialistes de l'IHM (en concertation avec l'exploitant, cf. § 3.5.2.1 Implication des exploitants dans les phases de spécifications et 3.5.2.2 Maquettage). Afin d'éviter la juxtaposition d'outils et d'objets hétéroclites, il est nécessaire de définir très tôt des concepts génériques et de les respecter :

- position des menus,
- validation des saisies des opérateurs,
- classement des alarmes selon leur gravité.

Dans le même but, il est important d'éviter les redondances dans l'IHM : plusieurs images différentes présentant les mêmes informations.

L'IHM doit être adaptée au vocabulaire de l'exploitant : tous les titres et libellés qui apparaissent sur le poste opérateur doivent correspondre à la désignation courante adoptée par l'exploitant. C'est à l'outil de s'adapter à ses utilisateurs et non pas le contraire.

La nature des informations présentées doit également être adaptée à l'utilisation qui en sera faite : il ne faut pas confondre aide à l'exploitation et aide à la maintenance. L'opérateur qui gère le trafic

doit être informé de l'état de bon fonctionnement des équipements afin de connaître leur disponibilité opérationnelle et éventuellement déclencher une opération de maintenance. Par contre le niveau de détail des défauts présentés doit être rigoureusement étudié. En effet il est inutile de présenter une multitude d'alarmes de défaut pour un seul équipement si elles se traduisent toutes par le déclenchement de la même action de maintenance et la même indisponibilité opérationnelle. Le niveau de détail supplémentaire doit être fourni dans les aides à la maintenance.

Des informations importantes et pertinentes peuvent passer inaperçues si elles sont présentées au milieu d'un ensemble non significatif. C'est notamment le risque dans une avalanche de défauts. Par exemple, s'il peut être utile de prévenir l'opérateur d'une défaillance d'un réseau distribution d'énergie (parce qu'un ensemble d'équipements n'est plus commandable), les défauts induits (qui sont donc des fausses pannes) doivent être filtrés.

Il est primordial que les états visualisés soient conformes à l'état réellement présent sur le terrain (messages des PMV, position des panneaux à prismes...).

L'ensemble des images présentées doit assurer une certaine homogénéité : les objets de même nature présents sur plusieurs images doivent être sensiblement disposés au même endroit, l'animation des objets doit être homogène... Par contre chaque image ou famille d'image doit présenter des caractéristiques uniques, de manière à pouvoir être identifiée sans ambiguïté au premier coup d'œil. Suivant la répartition des tâches au sein d'une même salle de contrôle, il faut prévoir la possibilité sur les différentes vues (synoptique ou de détail) de sélectionner la visualisation par famille d'équipements.

3.5.2.4 Personnalisation de l'IHM

Chaque opérateur possède ses propres habitudes de travail. Ses habitudes amènent généralement les utilisateurs à personnaliser leur poste de travail. Il est important de définir jusqu'à quel niveau cette personnalisation peut s'exprimer. Suivant le niveau de personnalisation autorisé, une configuration automatique (liée à la déclaration du nom de l'utilisateur) lors des procédures de prise et fin de poste peut être mise en place.

3.5.2.5 Performances et prototypage

Les performances globales du système sont également un élément important de l'ergonomie. Ce point concerne aussi bien les performances intrinsèques du système informatique que les performances globales de la chaîne de traitement, depuis les postes opérateurs jusqu'aux équipements terrain.

En effet, même si la nature des informations traitées n'impose pas systématiquement d'avoir des temps de réaction courts, des temps anormalement longs entraînent soit une perte de confiance dans l'outil (le système n'est-il pas en train de « se planter » ?) soit un inconfort certain.

Parmi les éléments auxquels les utilisateurs sont sensibles, on attachera une attention particulière aux points suivants :

- temps d'affichage des images. C'est le temps qui s'écoule entre la demande d'affichage d'une image par l'opérateur (clic souris) et la fin de l'affichage complet de cette image. Ce temps doit être le plus court possible. Pour un système donné, ce temps peut varier en fonction :
 - du contenu de l'image appelé. Plus l'image est riche en informations et plus elle est longue à afficher. De même l'habillage de l'image (nombres de couleurs, nombre d'objets graphiques...) modifie sensiblement le temps d'affichage ;
 - des choix de réalisation. Pour une image et un système donnés, le choix d'une technique de réalisation ou d'une autre entraîne des différences parfois importantes (par exemple dans une image contenant du texte le choix d'une police vectorielle ou d'une police bitmap).

- temps d'exécution des commandes. C'est le temps qui s'écoule entre la commande de l'opérateur (clic souris, validation clavier...) et la réception de la commande par l'équipement terrain. Suivant l'architecture matérielle mise en place, ce temps se décompose en différents temps de traitements (systèmes informatiques, automates programmables...) et temps de transmissions (réseaux privés, réseau commuté...);
- temps d'acquisition des états terrain. C'est le temps qui s'écoule entre le changement d'état d'une sortie d'un équipement terrain et la présentation à l'opérateur de la nouvelle valeur de la sortie. Ce temps se décompose en différents temps de traitements (systèmes informatiques, automates programmables...) et temps de transmissions (réseaux privés, réseau commuté...);
- La visualisation de la bonne prise en compte peut toujours se faire par l'observation des effets de cette commande, par exemple après émission d'une commande vers un équipement en attendant la visualisation sur le poste opérateur de l'état commandé (attente du retour terrain). Toutefois ce temps peut être important (puisque l'on cumule les temps d'exécution des commandes et d'acquisition des états terrain tels que définis ci-dessus), surtout si la commande est le résultat d'un traitement informatique complexe. Dans ce cas, il faut systématiquement informer l'opérateur de la prise en compte de sa commande par le système informatique. Cette possibilité peut être obtenue simplement par modification des attributs de l'image où la commande est saisie.

Les exigences de performance doivent être prises en compte dès l'expression des besoins, notamment en exprimant des valeurs de performances qui soient contractuelles. Toutefois il faut prendre garde de ne spécifier que des valeurs qui soient mesurables et opposables aux entreprises concernées. Par exemple, une spécification de performances qui indique un temps global entre un changement d'état terrain et son affichage sur le poste opérateur sera parfaitement applicable si une seule entreprise est responsable de la chaîne d'acquisition complète. Par contre si le découpage en marchés fait intervenir plusieurs entreprises différentes (sans qu'aucune n'ait la responsabilité d'intégrateur), une spécification globale ne permet pas la recherche des responsabilités en cas de non respect des performances. Dans ce cas, même si seul le temps global intéresse l'utilisateur, il convient de proposer une allocation entre les différents sous-systèmes mis en jeu. Cette fois le problème qui se pose est la mesure des temps intermédiaires : dans le délai global de remontée des informations terrain, comment ce temps est-il réparti entre équipement d'acquisition, télétransmissions (notamment pour les réseaux qui ne sont pas déterministes), système informatique central...

3.5.3 Spécifications des fonctions "annexes"

Lors de la phase de spécifications, on constate que si les fonctions opérationnelles sont en général correctement appréhendées, certaines fonctions de support, considérées comme "annexes" sont trop souvent insuffisamment traitées. Elles doivent toutefois faire l'objet d'une attention soutenue. Pour mémoire nous citerons, entre autres, les fonctions suivantes :

- administrer le système informatique,
- configurer le système.

3.6 Qualité

3.6.1 Assistance d'un consultant qualité

La première recommandation en matière de qualité serait de s'adjoindre les services d'un consultant qualité pour aider à définir les exigences qualité et la manière de vérifier le respect de ces exigences. Il permettra de trouver des réponses à certaines questions telles que :

- évaluation de la maintenabilité d'un logiciel,
- nécessité d'utiliser des outils de qualimétrie,
- détermination de certaines métriques et valeurs objectifs.

3.6.2 Contrôles

Les contrôles minima à faire dans le domaine de la qualité consistent à s'assurer que les revues de phases sont réalisées de façon pertinente.

Le marché doit également prévoir la possibilité de consulter autant que nécessaire le dossier de suivi qualité (qui doit être clairement mentionné dans le plan d'assurance qualité) et de mener des audits et des revues en tant que de besoin.

3.6.3 Traçabilité de la documentation

La documentation doit être gérée en configuration au même titre que les composants logiciels, afin de garder une bonne traçabilité. Ceci permet, entre autres, de garder l'historique du projet et plus particulièrement d'éviter d'avoir à remettre en cause les décisions prises au début dont la pertinence n'apparaît pas toujours évidente après plusieurs mois de la vie du projet.

Il est donc indispensable que chaque document contienne une synthèse de l'historique de ses modifications qui indique la nature et la raison des modifications. Les liens entre les documents (spécifications, revue de spécifications...) doivent aussi être mis en évidence.

3.6.4 Codage

Même s'il n'est pas indispensable d'exprimer des contraintes importantes en termes de règles de codage, le réalisateur doit s'astreindre à les produire et les respecter. Un contrôle par échantillonnage sera utile.

Des règles sur la modularité du code et les niveaux d'imbrication autorisés sont à fixer avec des spécialistes du domaine (cf § 3.6.1 Assistance d'un consultant qualité).

3.6.5 Tests

La plus grande attention doit être portée sur ce chapitre. L'expérience montre que l'importance et la qualité de l'effort de test sont des éléments déterminants pour acquérir la confiance nécessaire dans la mise au point et donc garantir une mise en service dans de bonnes conditions. Il faut garder à l'esprit qu'une mise en service dans des conditions difficiles (et a fortiori en retard) coûte cher, non seulement au réalisateur informatique, mais également à l'exploitant car elle demande de mettre en œuvre des moyens plus importants que ceux initialement prévus. La phase d'essais sur site nécessite aussi de mettre à disposition de l'industriel certains moyens de l'exploitant; une augmentation de sa durée entraînera donc des surcoûts qui ne sont pas toujours facturables.

Par conséquent, il faut se donner au plus tôt les moyens de garantir une mise au point sûre. Cela peut être obtenu en imposant des contraintes sur les phases de tests et obtenant une bonne visibilité sur ces tests.

Toutes les phases de tests doivent faire l'objet d'un dossier de test, qui comprend au moins la liste de tous les scénarios passés, la preuve de la conformité du résultat obtenu ou la justification des écarts si les résultats obtenus sont différents de ceux attendus (la description des scénarios de tests peut faire l'objet d'un document séparé du rapport de test).

Pour les test unitaires, une mesure du taux de couverture avec des outils de qualimétrie (type Logiscope), même si elle ne donne pas une garantie totale de bon fonctionnement des applications est un élément supplémentaire pour attester de la rigueur de l'effort de test. Un taux de couverture de 100 % peut souvent être exigé à ce niveau.

Pour les tests fonctionnels, deux aspects sont à appréhender :

- la représentativité des outils de test ;
- la complétude des scénarios déroulés qui s'évalue par leur nombre et leur pertinence.

Afin d'obtenir des tests représentatifs, il est indispensable de se doter d'outils de test performants et particulièrement des simulateurs d'environnements qui permettent de vérifier le fonctionnement de l'application dans des conditions similaires ou identiques à celles de son exécution finale. Ces simulateurs auront avantage à être fournis au titre du marché, ce qui permettra de les utiliser pour valider les évolutions futures.

La question la plus délicate reste celle de la pertinence des scénarios de tests. Ils doivent être spécifiés par des personnes ayant une bonne connaissance de l'exploitation de la route afin d'être vraiment représentatifs de sollicitations que subira le système en cours d'exploitation.

3.7 Réalisation

Durant la phase de réalisation, les moyens d'action du maître d'œuvre ou du maître d'ouvrage restent limités. Toutefois il est important d'assurer une surveillance adaptée afin de découvrir les éventuels dérapages (délais ou non conformité du produit en développement) au plus tôt et donc de mettre en place ou faire mettre en place les actions correctrices qui s'imposent.

Dans ce sens, il est intéressant de fixer des "points de rendez vous" ou de contrôle afin d'éviter les "effets tunnel" et de provoquer des audits spontanés à visée préventive ou curative.

Il est bon de pouvoir porter un avis sur certains choix de conception :

- préférer une conception orientée objet, pour sa capacité d'évolutions ;
- utilisation de standards du marché et du ministère de l'équipement (SIREDO, MI2,...) ;
- préférer l'acquisition des états terrain sur changement d'état, pour optimiser l'usage du réseau ;
- limiter les développements spécifiques longs, coûteux et risqués en utilisant les progiciels du commerce et les systèmes des constructeurs ;
- pour les communications, utilisation de protocoles, sinon normalisés, au moins standards de fait ;
- banaliser au maximum les applications pour limiter plus tard les coûts de maintenance.

Autant que possible, il faudra impliquer les utilisateurs (opérateurs et mainteneurs) dans les phases de test.

3.8 Essais, réception et mise en service

Les recommandations énoncées ici s'appliquent à la fois aux phases de mise en service, vérification d'aptitude au bon fonctionnement et vérification de service régulier.

L'implication des futurs utilisateurs au sens large (opérateurs, chefs de salle, mainteneurs, administrateur...) est importante, encore plus que dans les phases de tests, à la fois pour une meilleure appropriation du système et pour garantir une bonne connaissance dès le début de l'exploitation.

Pour éviter de découvrir des dysfonctionnement après la mise en exploitation (les corrections sont souvent plus longues à obtenir en garantie), la complétude des essais sur site doit être surveillée. Les scénarios d'essais seront définis et évalués par rapport aux spécifications générales pour vérifier l'étendue du programme d'essais et par rapport aux spécifications détaillées pour tester les fonctionnements "aux limites".

Ne pas oublier d'inclure dans les programmes d'essais plusieurs séances pour évaluer la disponibilité et l'exploitabilité du système.

L'exécution d'un programme d'essais sur site se révèle beaucoup plus contraignante que le déroulement de tests sur plate-forme en environnement simulé, surtout si l'infrastructure routière est déjà en exploitation (impossibilité de commander les équipements de signalisation dynamique sans précaution, nécessité d'intervenants sur le terrain...). Par conséquent, la logistique d'essais doit être étudiée avec une anticipation suffisante. De plus, il est indispensable de vérifier que les essais tels qu'ils sont spécifiés sont réellement exécutables et que toutes les conditions nécessaires à leur mise en œuvre seront réunies aux dates prévus.

Enfin, la maîtrise de la configuration et donc l'identification des versions essayées sont indispensables comme en phase de test sur plate forme.

3.9 Exploitation, garantie et maintenance

Au cours du cycle de vie du système, l'analyse et le choix des évolutions repose sur une démarche similaire à celle qui a été mise en œuvre lors du développement initial.

Toutefois des difficultés particulières apparaîtront quant à la planification des évolutions :

- Sur le plan budgétaire, il peut être tentant de planifier sur plusieurs années un "volume" d'évolutions en laissant le soin à l'exploitant de les définir techniquement suivant l'émergence des nouveaux besoins. Cette façon de procéder permet de maîtriser parfaitement le coûts de ces évolutions mais peut induire des effets pervers en poussant les utilisateurs à réaliser (ou faire réaliser) des évolutions dont le besoin vis à vis de l'exploitation n'est pas parfaitement justifié ;
- Sur les plans technique et humain, le problème du maintien des connaissances se pose assez rapidement, quel que soit le mode de traitement de la maintenance évolutive qui aura été retenu : assurée par le réalisateur du système, ou par un service technique de l'exploitant.

Afin de planifier et sélectionner ces évolutions, il est indispensable de gérer en permanence une liste d'évolution où l'on fera apparaître pour chaque évolution :

- une description succincte de l'évolution ;
- un indicateur sur l'apport pour l'exploitation (exploitabilité du système, amélioration des temps d'intervention, de la qualité de service aux usagers...) ;
- une indication sur son coût ;
- une indication sur la difficulté de mise en œuvre ;
- décision de réalisation (ou de rejet) motivée ;
- objectif de réalisation.

Le renouvellement de certains sous systèmes (Réseau d'Appel d'Urgence, Vidéo, réseau de télé-transmissions...) peut être à l'origine de modifications du système informatique. En effet, on pourra profiter de cette opportunité pour intégrer au sein de l'informatique des fonctions qui étaient autrefois assurées par des sous systèmes autonomes. Globalement, cette intégration sera traitée comme toutes les évolutions mais nécessite une attention particulière :

- les ressources informatiques disponibles sont-elles suffisantes pour supporter ces nouvelles fonctions ?
- respecte-t-on les concepts d'ergonomie et homogénéité pour les postes opérateurs ?
- la criticité des fonctions à intégrer est-elle compatible avec le niveau de disponibilité du système informatique ?

La fin de la garantie est une étape importante, non seulement parce qu'elle libère l'entreprise de ses engagements mais aussi parce qu'elle marque un tournant dans l'organisation mise en place (avec changement des intervenants) pour la maintenance corrective et évolutive.

Pour garantir que cette transition se passe dans les meilleures conditions possibles, il est indispensable que le système soit dans un état stable et parfaitement défini et maîtrisé; aussi bien pour les matériels, les logiciels que la documentation associée. On s'interdira donc toute modification en fin de garantie si l'on ne peut pas s'assurer que les conditions nécessaires à cette étape ne seront pas correctement remplies.

Les recommandations énoncées pour les systèmes en exploitation s'appliquent également aux plates-formes de développement ou de test quand elles existent, ce qui est souhaitable car elles rendront de grands services pour développer et tester les futures évolutions.

3.9.1 Formation

Nous avons peu de recommandations à formuler en matière de formation, mais la première est qu'elle doit exister. Cette assertion semblera peut être une évidence mais certaines enquêtes dans les CIGT montre qu'elle n'est pas toujours parfaitement respectée.

La formation est forcément dispensée à l'origine par l'entreprise qui réalise le SAGT. Toutefois la formation qu'elle dispense ne doit pas être à destination directement des opérateurs mais plutôt d'un service de formation qui aura la charge de former l'ensemble du personnel d'exploitation. Ce mode de fonctionnement est préférable, car il permet de s'affranchir du renouvellement des équipes d'exploitation.

Il est nécessaire de penser à organiser et programmer l'entretien des connaissances et le recyclage des opérateurs. Pour les tâches exécutées fréquemment, ce recyclage est inutile. Par contre, pour les procédures à mettre en œuvre exceptionnellement (scénarios "catastrophe"), un recyclage régulier avec exercice pratique est indispensable.

3.9.2 Suivi du système

Après la fin de garantie, le système est toujours appelé à vivre, soit par évolution (voir le paragraphe à ce sujet ci-dessus), soit pour s'adapter aux évolutions de son environnement (ajout, suppression ou renouvellement d'équipements). De plus, l'apport réel d'un système informatique d'aide à l'exploitation se mesure dans la durée. Il est donc important de capitaliser l'expérience acquise, en prévision des futurs renouvellements ou pour les développements de nouvelles infrastructures. Pour cela, il est nécessaire de faire des bilans périodiques pour mesurer :

- la satisfaction des utilisateurs,
- l'évolution des temps d'intervention,
- le taux de détection d'incidents,
- le taux de fausses détections d'incidents (si une Détection Automatique d'Incidents est installée),
- l'amélioration de la sécurité des usagers (taux de sur-accidents par exemple),
- les performances du système,
- ...

La périodicité de ces bilans sera variable au cours de la vie du système : ils seront plus rapprochés pour une installation nouvelle ou lors d'une phase de mutation importante ; toutefois la durée entre deux bilans ne devra jamais dépasser un an.

4. Évaluation de l'informatique SAGT

En guise de conclusion “en perspective” à ce document, cette dernière partie reprend et complète quelques recommandations déjà formulées précédemment, en matière d'évaluation des systèmes.

L'évaluation d'un CIGT est un thème “transversal”, dont l'aspect informatique n'est qu'un aspect d'ailleurs mal maîtrisé, sur lequel le CERTU publiera prochainement un rapport d'études. Les propositions en matière d'évaluation sont essentiellement de deux ordres :

- comment informatiser l'évaluation (du CIGT) ?
- comment évaluer l'informatisation (du SAGT) ?

Si ces propositions vous intéressent et que vous voulez aller plus loin, n'hésitez pas à prendre contact avec le CERTU !

4.1 Intégrer l'évaluation dès l'expression des besoins

L'évaluation se situe à 3 niveaux : fonctionnement du système, situation du trafic, efficacité des mesures de gestion de trafic et des algorithmes mis en œuvre. Sans faire d'analyse fonctionnelle très fine, on peut faire l'exercice de rattacher l'évaluation aux fonctions SAGT présentées en 1^{ère} partie. Le bon fonctionnement du système se retrouve dans des fonctions telles que “visualiser les alarmes”, “gérer la maintenance” ; la situation de trafic apparaît dans “traiter et qualifier les données”, “visualiser les synoptiques⁶” ; enfin, l'évaluation des mesures d'exploitation est liée à des fonctions comme “proposer les plans d'action”, “gérer l'affichage des temps de parcours”, “piloter les équipements”... En outre, la fonction “établir des rapports” doit être assez configurable pour prendre en compte tous les indicateurs définis pour les diverses évaluations.

Concrètement, il s'agit d'explicitier dès les études préalables et la rédaction des cahiers des charges comment les fonctions exigées permettent de répondre aux objectifs d'évaluation du SAGT, ce qui nécessite évidemment une réflexion en amont sur ce qu'on veut évaluer, et comment on veut le mesurer (définition d'indicateurs).

4.2 Mettre en place un tableau de bord

L'idée est qu'on ne peut améliorer que ce que l'on mesure ; les indicateurs relatifs aux applications informatiques sont en fait de 3 types, qui reprennent la structuration des exigences exprimées dans les cahiers des charges : besoins fonctionnels (satisfaction des utilisateurs, qu'il faut donc faire intervenir activement tout au long de la « vie » des applications !), non fonctionnels (performances globales, contraintes techniques), indicateurs relatifs à la gestion de projet (coûts et délais, temps passé par le personnel du CIGT, formations, documentation). Dans un CIGT “typique”, il y a en fait plusieurs applications, et la complexité vient justement de la bonne intégration des applications ; une bonne conduite individuelle de projet ne suffit pas. C'est pour cela qu'un tableau de bord, par exemple trimestriel, permet de donner une meilleure visibilité sur le système et de s'obliger à raisonner en termes d'architecture.

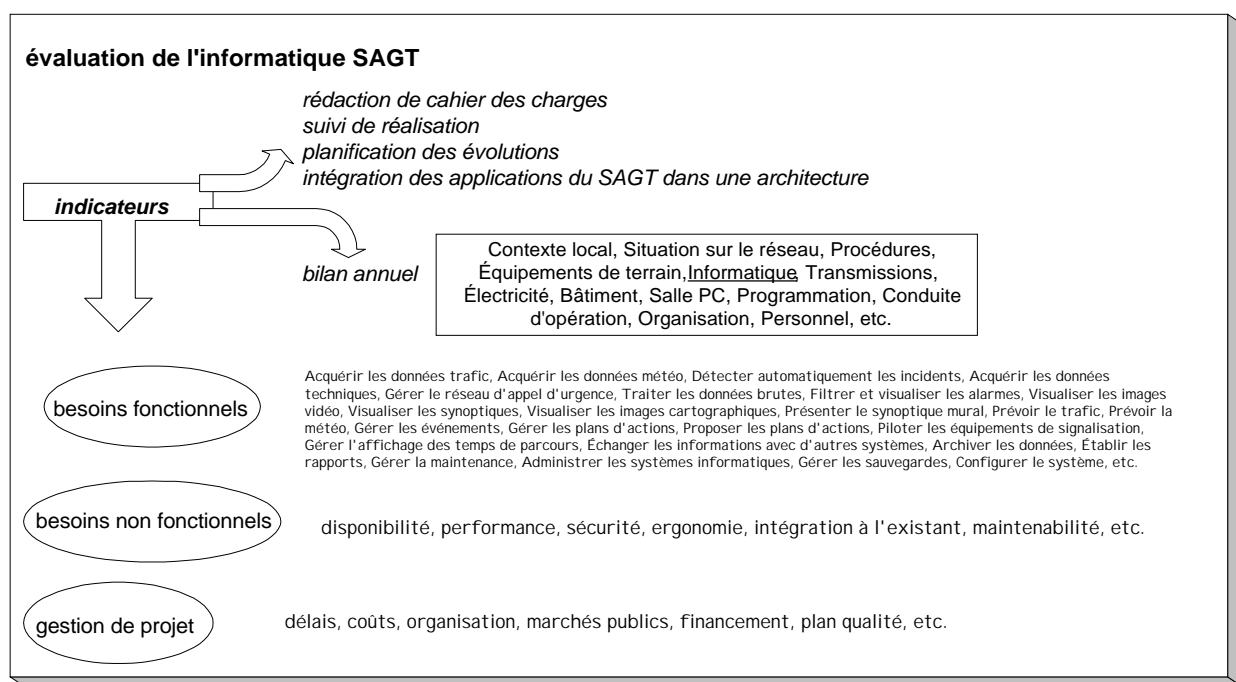
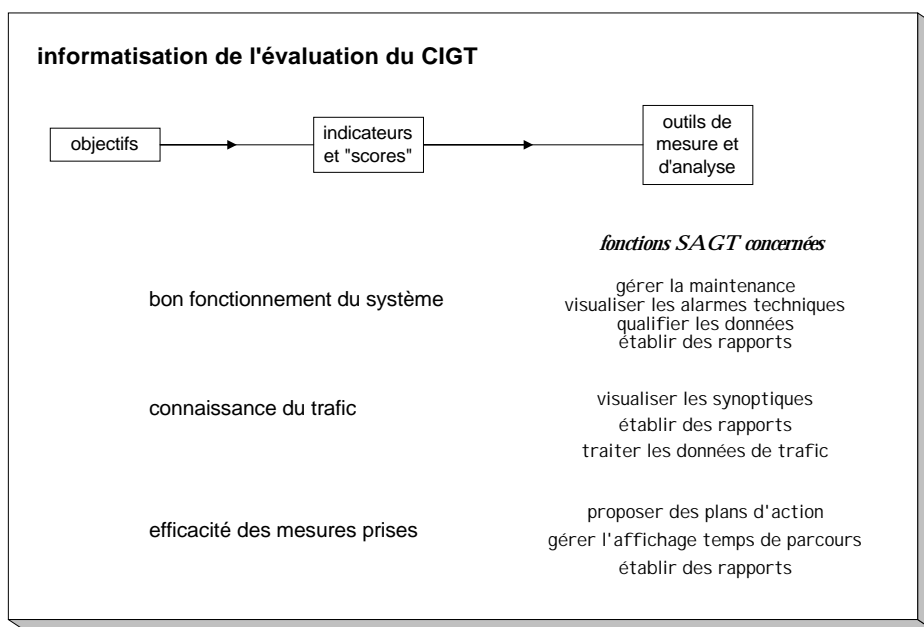
Un tel tableau de bord comporterait des indicateurs définis pour chaque projet et chaque CIGT (il n'y a pas de raison d'être normatifs au niveau national), les objectifs correspondants, un historique des problèmes et retours d'expérience, et des éléments de gestion des études et projets prévues (à horizon 2 ans par exemple), dont une gestion à jour des besoins, essentiels pour concevoir des systèmes évolutifs. Comme tout tableau de bord, il sert à piloter la gestion (de l'informatique SAGT), d'identifier quels objectifs n'ont pas été tenus, obligeant ainsi à analyser les causes et les pistes d'amélioration.

⁶ Noter par exemple les intéressantes courbes iso-traffic de Marius (DDE13) qui permettent de diagnostiquer visuellement bon nombre de situations.

Nous recommandons d'ailleurs globalement que le CIGT publie un rapport d'activités annuel, au moins pour les CIGT/1 gérés par les services de l'équipement, et dont l'informatique ne serait qu'un chapitre, dans le but d'échanges d'informations entre services, de capitalisation par le réseau technique ; un tel rapport d'activités serait également utile aux DDE pour leur gestion interne et les relations avec les partenaires locaux.

Dans le même ordre d'idées mais à un niveau beaucoup plus opérationnel, il serait intéressant de tester la mise en place d'indicateurs de performance plus précis à la journée ou à la semaine, sous forme de « scores » qui pourraient, à condition d'être mis en place judicieusement, motiver les opérateurs des CIGT.

Les deux figures ci-dessous résument notre propos...



5. Bibliographie

- ❖ Z67-130 Recommandation de plan qualité logiciel.
- ❖ NF EN ISO9001 :1994 Modèle pour l'assurance de la qualité en conception, développement, production, installation et prestations associées.
- ❖ NF X 50 151 Analyse de la valeur, analyse fonctionnelle.
- ❖ NF X 50-153 Analyse de la valeur, recommandations pour sa mise en œuvre.
- ❖ NF X 60-010 Concepts et définition des activités de maintenance.
- ❖ NF Z 67-111 Traitement de l'information, modèle de cycle de vie du logiciel adapté au maquettage / prototypage.

On peut également trouver des listes de normes sur le site www.AFNOR.fr.

- Informatique pour les systèmes d'aide à la gestion du trafic, éléments pour un guide technique, Rapport d'étude CERTU, CETE de l'Est, Octobre 1999.
- Les marchés publics d'informatique, Richard GANEM, Pascal BOURET, Que sais-je?, PUF, Novembre 97.
- Guide méthodologique, Exploitation des réseaux principaux des voiries d'agglomération, SDER niveau 1, rapport d'étude CERTU, décembre 1996.
- Démarche de réutilisation pour les systèmes d'aide à la gestion du trafic sur voies rapides urbaines, rapport d'études CERTU, Euriware, Juillet 1999.
- Référentiels de données SAGT, mise en place d'une gestion de configuration, rapport d'étude CERTU, STERIA, à paraître, Mai 2000.
- Glossaire des termes du domaine de l'exploitation routière, SETRA, 108 pages, 1996.
- Conduite de l'achat public d'informatique, Christian Gallin, Michel Rocfort, Édition Formation Entreprise, 1999.
- Progiciels pour les systèmes d'aide à la gestion du trafic : démarche d'intégration de progiciels, rapport d'étude CERTU, SEMA GROUP, Janvier 1999.
- Introduction au Rational Unified Process, Philippe Kruchten, 2000, Eyrolles.
- Évaluation de l'exploitation routière sur VRU, à paraître, CERTU, 2000.
- Le système Marius : rétro-ingénierie d'un SAGT-VRU, rapport d'étude CERTU, CETE Méditerranée, Mai 2000.
- DATA PLUS, Étude prospective dans le domaine du recueil de données de trafic, PREDIT, Sept. 1999, rapport d'étude, 70 p. ; Issn : 1263-2570, RE99-44.
- Échanges de données de circulation, Que retenir des projets européens du 4ème PCRD ?, rapport d'étude CERTU/SETRA, Déc. 1999, 33 p.; Issn : 1263-2570 ; certuRE99-45.
- « Traitement des données de trafic : besoins, état de l'art, exemples de mises en œuvre », rapport d'études CERTU, Predit, SODIT, L. Bérheret et. al., Février 2000, 92 pages.
- Preliminary Human Factors Guidelines for Traffic Management Centers; July 1999 , document électronique #10303 au format PDF file téléchargeable sur www.itsdocs.fhwa.dot.gov, taille: 480 pages, 3,295 KB