

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses  
**Band:** 118 (1992)  
**Heft:** 9

**Artikel:** Equipements des tunnels routiers de Neuchâtel  
**Autor:** Berger, Michel  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-77755>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 19.11.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Equipements des tunnels routiers de Neuchâtel

Par Michel Berger,  
ing. élec. EPFZ/SIA  
MIB génie logiciel  
Rue du Crêt-Taconnet 30  
2000 Neuchâtel

**La traversée souterraine de Neuchâtel par la route nationale N5 a déjà fait l'objet de deux publications dans notre revue<sup>1</sup>. Dans ces précédents articles, nous nous sommes étendus sur les travaux de génie civil relatifs à cet ouvrage. Le lecteur trouvera ici deux articles consacrés à d'autres aspects intéressants de cette traversée en tunnel.**

**Chargé de concevoir le système de contrôle et de commande informatisé des tunnels routiers sur la N5, l'auteur du premier article traite du système conçu pour la gestion des équipements. Pour étudier les aspects visuels du système de signalisation, on a recouru à la modélisation sur micro-ordinateur. C'est le sujet du second article.**

Rédaction

## Gestion des tunnels routiers à Neuchâtel

Les travaux de génie civil pour l'autoroute N5 traversant Neuchâtel en tunnel vont bon train. D'autres tunnels, encore en projet, viendront compléter par la suite l'infrastructure routière du canton (fig. 1 et 2). Afin d'assurer un maximum de sécurité aux utilisateurs de l'ensemble de ces ouvrages, un nombre impressionnant d'équipements électromécaniques vont être installés: ventilateurs pour évacuer l'air vicié et amener de l'air frais, éclairage s'adaptant aux conditions de luminosité extérieures, signalisation lumineuse en fonction des différents cas d'exploitation, bornes d'appel au secours pour les automobilistes victimes d'une panne ou d'un accident, caméras vidéo pour la surveillance du trafic, etc.

Tous ces équipements seront pilotés à distance, à l'aide d'un système informatique intégré, baptisé «Saturne» (Système assisté pour la surveillance des tunnels routiers du canton de Neuchâtel.) Saturne s'occupera de manière autonome des tâches de routine et assistera les opérateurs dans leurs décisions, là où une intervention humaine est nécessaire.

Les exigences essentielles du maître de l'ouvrage, en l'occurrence le canton de Neuchâtel, ont été formulées dans le cahier des charges pour Saturne. Nous exposons dans ce qui suit quelles sont ces exigences et la manière dont Saturne y satisfait.

### 1. Assurer la sécurité des usagers

Le but essentiel des équipements électromécaniques est d'assurer la sécurité des usagers en général et en cas d'incidents.

Ces équipements électromécaniques doivent être pilotés à distance. Saturne reçoit les informations en provenance des équipements (senseurs), les traite, avertit les opérateurs, puis agit sur les équipements (actionneurs), soit automatiquement, soit sur l'ordre des opérateurs.

Par exemple, lorsqu'une voiture est en panne dans un tunnel, son conducteur en sort et s'expose aux dangers du trafic automobile. Il faut donc immédiatement prendre des mesures afin d'assurer sa sécurité: intensifier la ventilation, augmenter le niveau de l'éclairage, attirer l'attention des autres automobilistes sur la présence du véhicule immobilisé et de son conducteur, etc.

Pour pouvoir prendre ces mesures, il faut disposer de moyens de détection. C'est le rôle des caméras vidéo et des téléphones de secours.

Des cas plus graves peuvent se présenter, comme un incendie dans le tunnel, un véhicule qui prend feu. Dans ce cas, les détecteurs d'incendie envoient des signaux induisant la fermeture du tunnel à la circulation et l'ouverture de trappes permettant l'évacuation des fumées.

Il peut y avoir aussi une collision dans le tunnel. Des boucles de comptage des véhicules et du taux d'occupation permettent de détecter un encom-

brement dû à cette collision, pour prendre les mesures qui s'imposent.

### 2. Assister l'opérateur dans ses décisions

Aucun système automatisé ne saurait remplacer l'homme dans la prise de décisions importantes. Saturne ne se substitue pas à l'opérateur, mais assiste celui-ci afin qu'il puisse prendre rapidement les décisions adéquates et les mettre en œuvre, sans surcharge d'informations ni de détails, ceux-ci étant traités de manière automatique par le système. L'autonomie de ce système est cependant limitée aux nécessités raisonnables, par exemple lorsque la rapidité d'intervention est importante, ou pour des tâches de routine comme l'asservissement de la ventilation aux mesures des taux d'oxyde de carbone ou de l'opacité de l'air.

### 3. Faciliter la conduite des équipements: l'ergonomie des postes de commande

Le maître de l'ouvrage a voulu qu'une seule équipe d'opérateurs polyvalents de la police cantonale puisse assurer la gestion des équipements du réseau routier, la conduite du trafic sur ce réseau et les télécommunications de la police (appels de police-secours, liaisons radio, etc.). Cette équipe opère à partir d'une *Centrale de transmission et d'alarme* (CTA), installée en ville de Neuchâtel.

En vertu de cette décision du canton, prise par souci d'économie, les opérateurs se verront confrontés à une multitude de tâches très diverses, avec des outils de décision et de transmission qui doivent être faciles à utiliser. Dans la conception de Saturne, on a attaché une très grande importance à l'ergonomie du poste de commande. L'opérateur doit pouvoir y travailler de manière intuitive et simple. Il fallait donc trouver le degré d'abstraction optimal des informations à traiter. On sait bien que l'on peut rendre n'importe quel décideur – et l'opérateur en est un – totalement inefficace en lui demandant de décider de nombreux détails. Les opérateurs seraient en effet totalement débordés s'ils devaient décider de l'état de chaque feu de si-

<sup>1</sup>IAS 113 (1987) 23, p. 411-416, et 116 (1990) 8, p. 123-135.

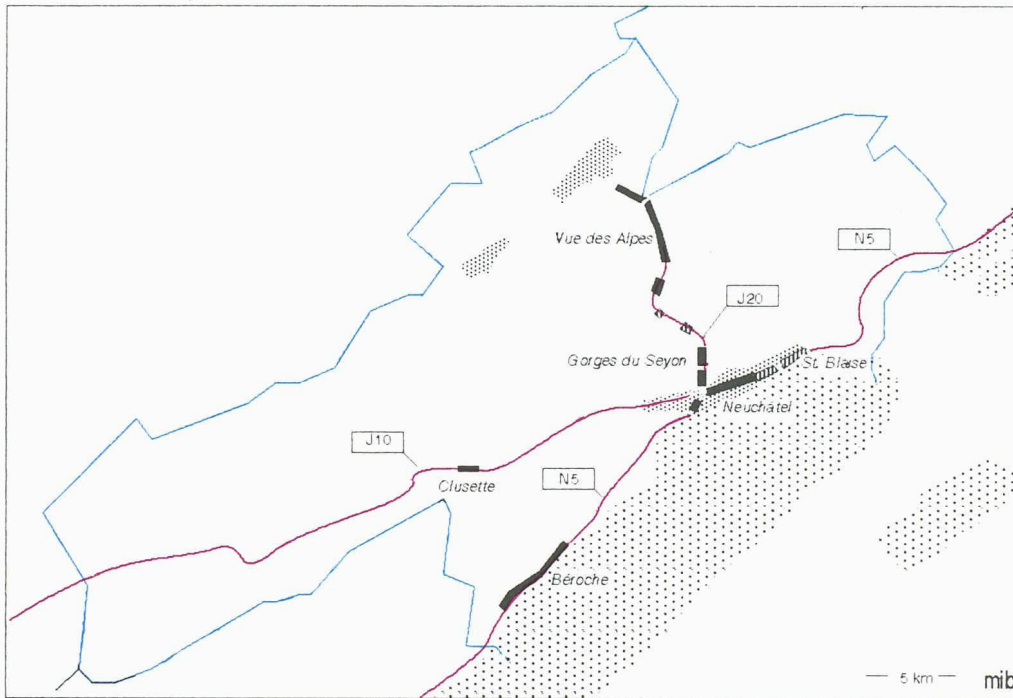


Fig. 1. — Ensemble des ouvrages sur les routes nationales et principales du canton de Neuchâtel qui devront être pilotés par Saturne.

gnalisation par exemple. Avec Saturne, l'opérateur donnera des instructions globales: fermer telle voie, réaliser tel rabattement, etc., et le système se chargera de mettre en place la signalisation nécessaire (fig. 3).

Ce souci d'ergonomie implique également l'intégration du pilotage des équipements depuis les postes de commande.

Si on visite les centrales de commande d'autres tunnels, de conception plus ancienne, on voit les opérateurs confrontés à un amoncellement d'écrans d'ordinateurs, de platines et de tableaux synoptiques. Chaque sous-système (ventilation, alimentation électrique, signalisation, etc.) a son propre poste de commande et, pour bien faire, l'opérateur devrait être équipé de patins à roulettes pour passer d'un pupitre à l'autre. De plus, étant donné que chaque fournisseur d'équipement impose sa propre manière de procéder, il faudrait que l'opérateur ait des patins à roulettes dans la tête également afin de s'adapter rapidement à l'esprit de chaque fournisseur.

Dans le cas de Saturne, un objectif essentiel est d'imposer une interface homme-machine unique pour tous les sous-systèmes.

Malheureusement, cet objectif se heurte trop souvent aux réticences de certains fournisseurs qui ne sont pas disposés à «ouvrir» leurs installations pour en faciliter l'intégration. On peut s'étonner de voir qu'à l'heure de l'émergence des systèmes ouverts et de la normalisation informatique, il y a encore beaucoup trop de fournisseurs repliés sur eux-mêmes. En poussant ces fournisseurs à changer de mentalité, les collectivités publiques les aident en fait à rester compétitifs à plus longue échéance.

L'ergonomie implique aussi, et c'en est la partie la plus visible, la systématisation des représentations graphiques sur les écrans. Avec Saturne, finis les écrans bariolés de couleurs hétéroclites. Seules les informations importantes sont représentées en couleurs vives sur des arrière-plans aux teintes pastel.

Dans la conception des postes de commande, le travail essentiel reste cependant la création de ce que l'on appelle, en ergonomie du logiciel, des «métaphores». Il s'agit de créer des représentations graphiques fonctionnelles du processus à gérer, permettant à l'utilisateur de se créer une image mentale adéquate, intuitive et facile à manipuler. On trouve des

exemples de telles métaphores sur certains ordinateurs personnels d'aujourd'hui. La métaphore la plus communément utilisée et popularisée par les micro-ordinateurs Apple Macintosh est celle du «bureau»: on ne réfléchit plus en termes de fichiers et de langages de commande, mais en termes de feuilles de papier disposées sur le bureau, de documents, de corbeille à papier, etc.

Les concepteurs de Saturne sont en train de développer de telles métaphores pour les alarmes, les appels téléphoniques et les équipements de tunnel. Ce travail se fait en étroite collaboration avec les utilisateurs futurs, à l'aide de maquettes informatiques, prototypes des futurs postes de commande (fig. 4).

#### 4. Permettre l'adaptation aux exigences futures

Tout système de l'envergure de Saturne est destiné à évoluer. Il s'agit de prévoir dès à présent une flexibilité suffisante, tout en évitant des coûts supplémentaires excessifs.

Il faut en effet pouvoir adapter des paramètres (taux autorisés d'oxyde de carbone, niveau d'éclairage, etc.) aux développements de l'exploitation et à l'évolution de la législation.

Les règles de pilotage vont aussi évoluer avec l'expérience acquise en cours d'exploitation. On fera par exemple de la ventilation prévisionnelle sur la base des données acquises, pour économiser de l'énergie, en réglant la ventilation avant que les seuils critiques ne soient atteints.

La stratégie d'exploitation elle-même peut évoluer. On peut imaginer que, dans le cadre d'une décentralisation cantonale, une deuxième centrale de commande soit installée à La Chaux-de-Fonds par exemple.

D'autre part, de nouveaux tunnels, au fur et à mesure de leur réalisation, devront pouvoir s'intégrer facilement au dispositif déjà en place, même si de nouveaux fournisseurs sont impliqués, qui apporteront des techniques différentes.

Pour permettre cette adaptation continue, l'architecture de Saturne est axée sur la notion de «structure d'accueil». Il s'agit d'un système informa-

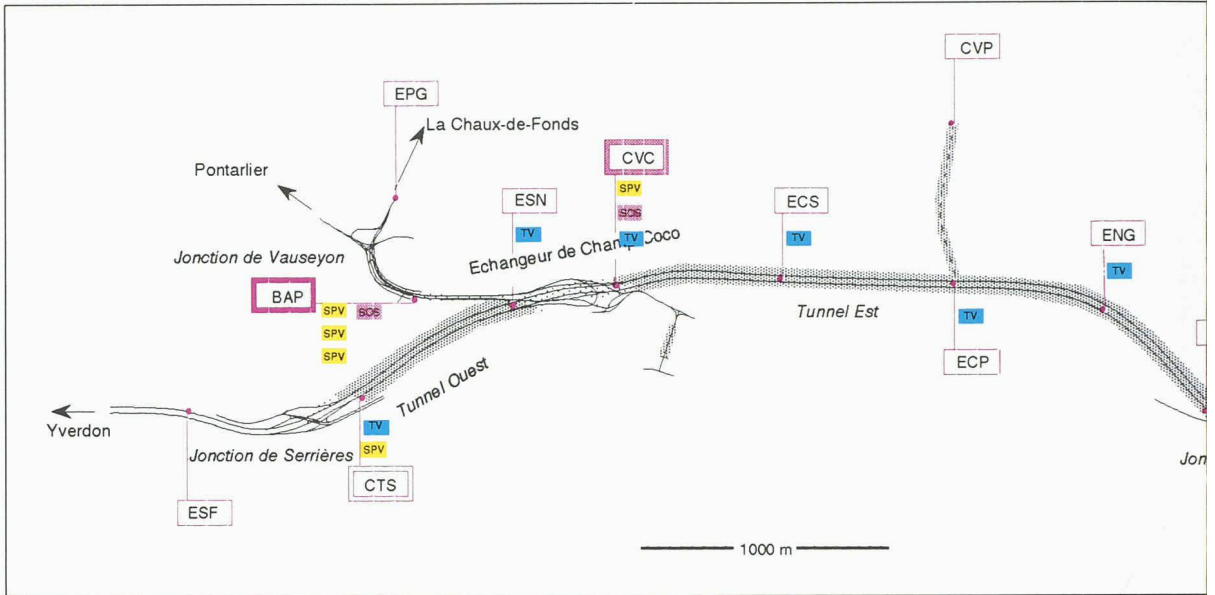
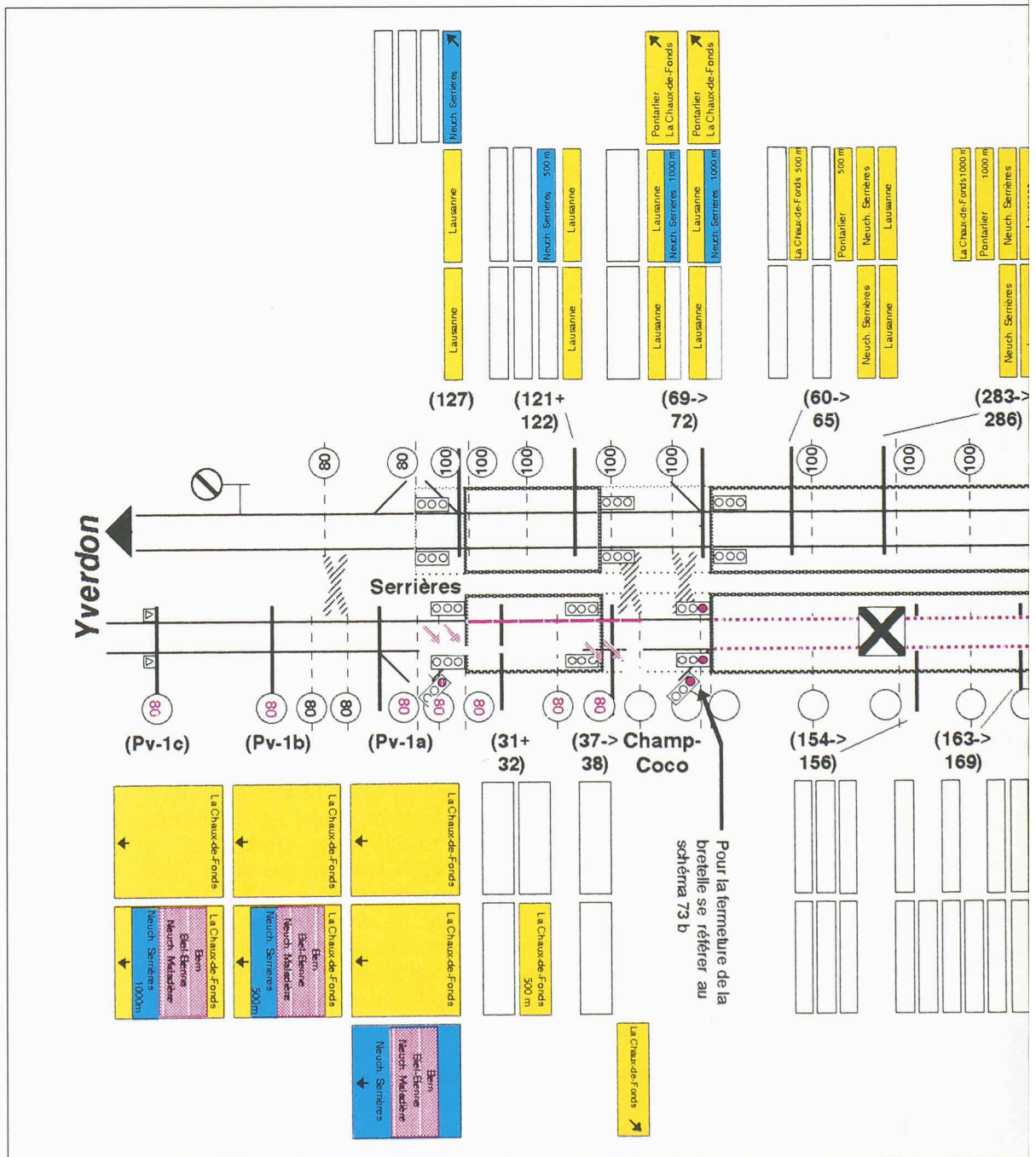
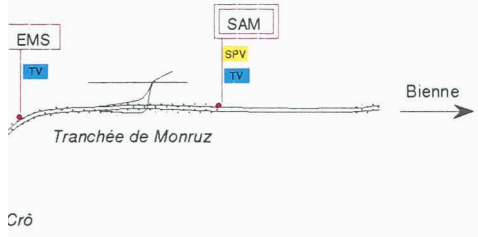


Fig. 2. - Ouvrages de la traversée de Neuchâtel par la N5 constituant l'unité de réalisation 1 de Saturne.

Fig. 3. - Exemple de cas d'exploitation pour la signalisation: fermeture d'un tunnel avec blocage conséquent du trafic. (Plan Robert-Grandpierre et Rapp SA, Lausanne).

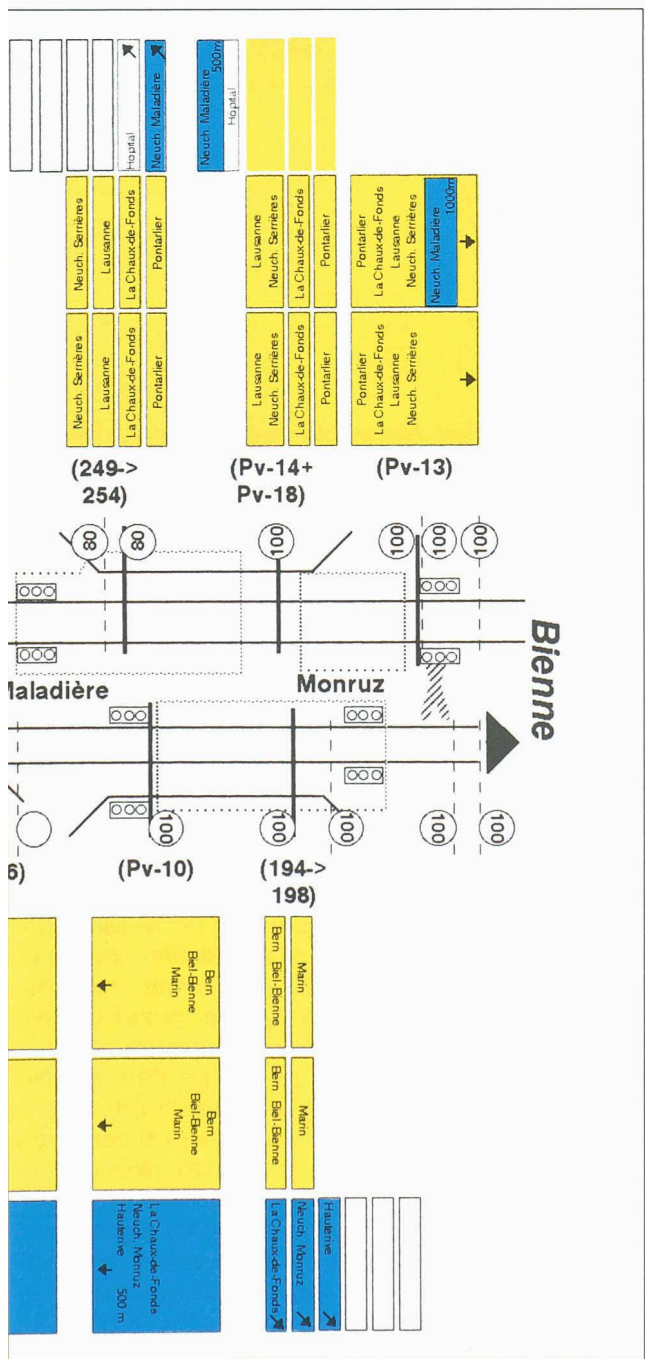




Locaux et type d'utilisation		
abrév.	type	description
BAP	G	Bâtiment administratif des Poudrières
CTS	S	Centrale de transformation Serrières
CVC	T	Centrale de ventilation Champ-Coco
CVN	D	Centrale de ventilation Nid-du-Crô
CVP	D	Centrale de ventilation des Perrolets
ECC	-	Local élec. alimenté depuis Champ-Coco Champ-Coco
ECG	-	Local élec. alimenté depuis Champ-Coco Fbg de la Gare
ECP	D	Local élec. alimenté depuis Champ-Coco Puits Ouest
ECS	D	Local élec. alimenté depuis Champ-Coco Sablons
EMF	-	Local élec. alimenté depuis Monruz tranchée des Favarges
EMG	-	Local élec. alimenté depuis Monruz Gouttes-d'Or
EMS	D	Local élec. alimenté depuis Monruz Saars
ENF	-	Local élec. alimenté depuis Nid-du-Crô rue des Fays
ENG	D	Local élec. alimenté depuis Nid-du-Crô Gibraltar
ENM	-	Local élec. alimenté depuis Nid-du-Crô Marie de Nemours
ENN	-	Local élec. alimenté depuis Nid-du-Crô Nid-du-Crô
EPG	D	Local élec. alimenté depuis Poudrières Gorges du Seyon
ESF	D	Local élec. alimenté depuis Serrières Fabrique de Tabac
ESC	-	Local élec. alimenté depuis Serrières ch. de la Caille
ESN	D	Local élec. alimenté depuis Serrières St Nicolas
EST	-	Local élec. alimenté depuis Serrières Trois-Portes
SAM	S	Station d'asservissement de Monruz
SPN	-	Station de pompage Nid-du-Crô
SPS	-	Station de pompage Serrières

Types de sites pour SATURNE		
symbole	type	description
	G	site général
	T	site de tronçon
	S	site de secteur
	D	site de division
-	-	local non utilisé par SATURNE

Equipements en locaux	
symbole	description
	Superviseur
	Central ou sous-central de téléphones SOS
	Raccordement de caméras vidéo



tique reposant sur un réseau de communications ouvert – en conformité avec les normes de l'ISO (International Standard Organization) – et sur des ordinateurs de supervision répartis sur le terrain. Les différents fournisseurs d'équipements électromécaniques viennent se raccorder à cette structure d'accueil qui convertit, si besoin est, les données échangées avec ces équipements au protocole imposé par Saturne (fig. 5).

Les programmes exécutés par les ordinateurs sur le terrain sont tous téléchargeables, ce qui permet la mise à jour de paramètres ou de versions de programme depuis la centrale de commande. Les tunnels fonctionnent en mode autonome aussi longtemps qu'il ne se produit pas d'événement exceptionnel. Ils peuvent aussi être pilotés entièrement depuis des postes de commande locaux. Ainsi la conduite d'un nouveau tronçon peut être testée pour elle-même, avant d'être raccordée à l'ensemble du système.

**5. Utiliser les tunnels au maximum de leur capacité**

En rase campagne, il est possible de simplement fermer un tunnel en cas de défaut ou d'incident et de dévier le trafic sur le réseau des routes cantonales. Les tunnels de la traversée de Neuchâtel sont des tunnels urbains. Il s'agit d'éviter, dans la mesure du possible, d'en déverser la circulation dans la ville. C'est pourquoi, lors de travaux d'entretien ou en cas d'incidents, on fera une utilisation optimale des tunnels par des interventions telles que:

- maintien de l'exploitation sur une seule voie d'un tunnel à deux voies, ce qui implique une signalisation appropriée;

- fermeture d'un tube et utilisation de l'autre tube en mode bidirectionnel; cela implique, en plus d'une signalisation adéquate, des barrières amovibles entre les chaussées.

Pour gérer cette signalisation complexe, Saturne exploite les résultats d'un modèle informatique élaboré par un groupe de chercheurs de l'Université de Neuchâtel, sous la direction du professeur P. J. Erard, et le bureau d'ingénieurs chargé de l'étude de la signalisation. Ce modèle utilise des méthodes d'intelligence artificielle pour l'étude des différents cas d'exploitation et la signalisation correspondante.

**6. Faciliter l'entretien des équipements**

On commence à mesurer toute l'étendue des coûts d'exploitation et d'entretien du réseau des routes nationales. A Neuchâtel, il s'agit de maintenir les coûts d'exploitation des tunnels au niveau le plus bas possible. Pour Saturne, on a choisi des mesures de conception permettant d'atteindre cet objectif.

Tout le matériel sera le plus standardisé possible, selon les normes en vigueur. Pour l'informatique et les télécommunications, on donne la priorité à des solutions s'alignant sur les normes de l'ISO, de la CCITT (Comité consultatif international télégraphique et téléphonique) et de l'IEEE (Institution of Electrical and Electronics Engineers, Etats-Unis).

On choisira également des solutions homogènes tant pour le matériel que pour le logiciel. Toutes les transmissions se font selon un protocole unique imposé par Saturne. Les don-

Liste des alarmes & incidents												
échéance	type	Provenance	commandes		opérateur	échéance	type	Provenance	commandes opérateur			
21.01 14.06			T	S	ad	21.01 14.22		Det. incendie, Tun. Ouest, km 35.5	T	S	S/I	ad
21.01 14.19		Téléphone Interne	T	S		25.01 14.09		Ecl. secours, Galerie, km 46	T	S	S/I	
						26.01 14.01		Ecl. base, Galerie, km 46	T	S	S/I	
						26.01 14.14		Ecl. base, Tun. Ouest, km 35	T	S	S/I	

Contente

Fig. 4. – Prototype de l'interface homme-machine sur une station de travail d'opérateur. La zone supérieure contient les alarmes, regroupées selon leurs priorités. La zone inférieure contient le contexte de l'alarme, en général sa situation sur le terrain. La zone de droite contient des «palettes d'outils» permettant à l'opérateur d'accéder aux diverses informations.

nées des équipements seront converties au protocole Saturne le plus près possible de leurs sources, dans le local technique le plus proche.

L'entretien des équipements situés en tunnel est dangereux s'il y a de la circulation routière.

La fermeture des tunnels dans ces cas-là n'étant pas souhaitée, il faut simplifier au maximum les travaux d'entretien:

- placer le moins possible, voire pas du tout, d'équipements de commande actifs en tunnel;
- regrouper le plus possible les équipements actifs dans les locaux faciles d'accès;
- diminuer le nombre d'interventions en dédoublant les équipements faillibles et importants (ampoules de feux tricolores, ordinateurs de supervision, etc.);
- utiliser des équipements facilement interchangeable et faire les réparations en atelier, en particulier par des connexions simplifiées à des interfaces clairement définies;

– étiqueter clairement les composantes et leur raccordement selon une nomenclature unique.

Le télédiagnostic permet de tester le plus possible d'équipements depuis la centrale ou depuis les locaux techniques afin de mieux cerner les problèmes et diminuer les temps d'intervention.

### 7. Simplifier la mise en service des équipements

L'expérience des tunnels de Suisse montre que les travaux de mise en service sont souvent extrêmement fastidieux. Pour éviter cela, Saturne prévoit de:

- définir des interfaces claires et standardisées entre les équipements (les tests aux interfaces doivent pouvoir se faire en atelier avant l'installation des équipements);
- éviter les constructions sur place (on évitera en particulier les répartiteurs et les câblages complexes);
- définir totalement les limites de responsabilité des fournisseurs

aux interfaces (en cas de défaut, il faut pouvoir localiser rapidement et sans équivoque l'équipement et le fournisseur responsables).

### 8. Assurer le fonctionnement continu du système

Le système Saturne, comme tous les systèmes de ce genre, est composé d'éléments faillibles. Il s'agit de tenir compte des défauts possibles et d'assurer le fonctionnement de l'ensemble, même si certains éléments sont en panne. En cas de panne importante, on peut admettre une dégradation des performances, mais pas l'arrêt du système: dégradation en douceur ou «gracieuse», par commande locale par exemple. Pour les différents cas de dégradation, Saturne prévoit des modes de repli et des procédures de récupération: reconstitution de mémoires par exemple.

Le fonctionnement des éléments vitaux ne doit pas dépendre de pannes ou de coupures d'alimentation. Pour ces éléments, une alimentation de secours est prévue.

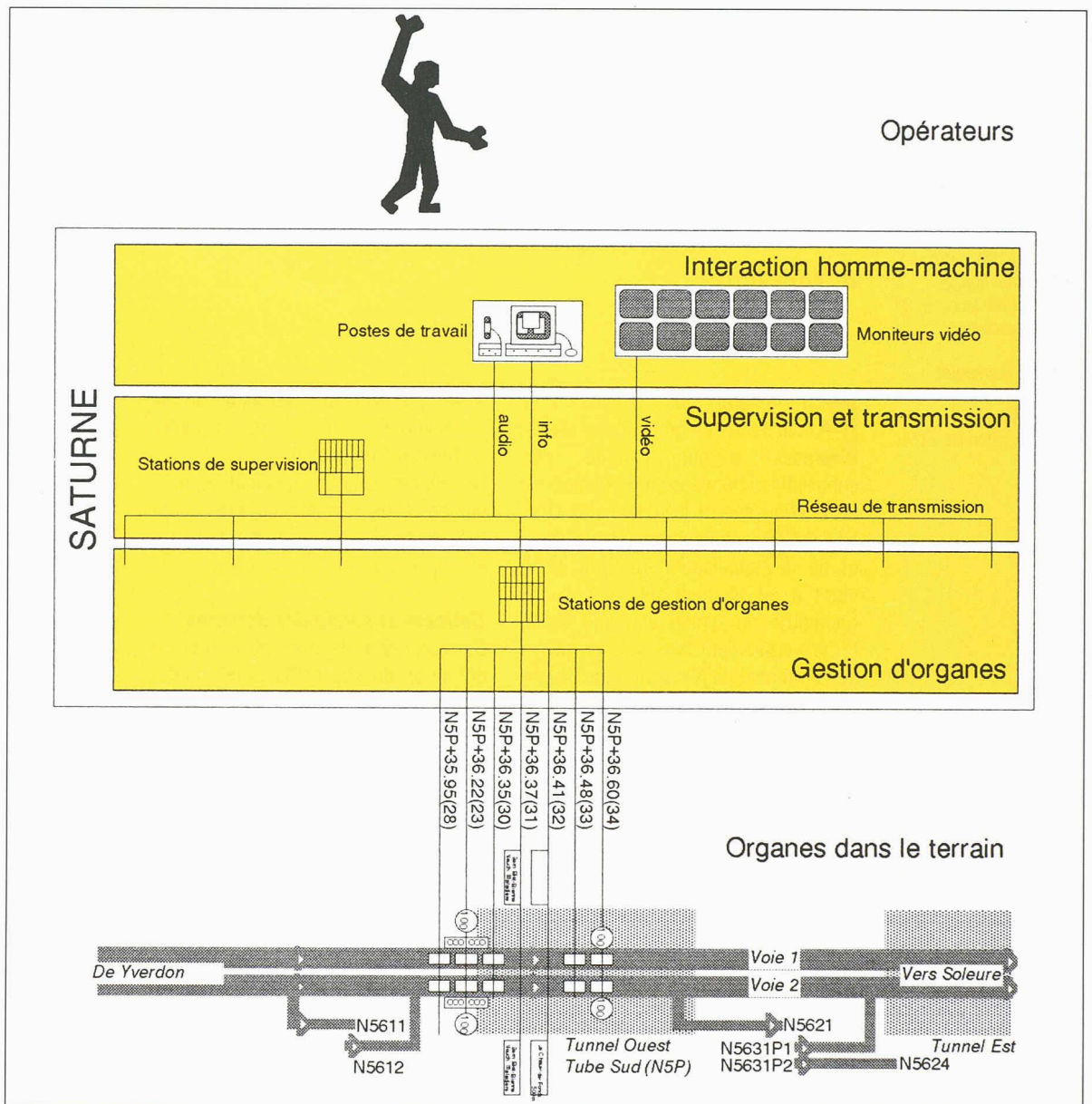


Fig. 5. – L'architecture de Saturne comprend trois sous-systèmes. L'interaction homme-machine est responsable du dialogue avec les opérateurs et de la présentation des données. La supervision assure les interactions entre les divers domaines (téléphones SOS, caméras vidéo, éclairage, ventilation, signalisation, etc.) au niveau des automatismes. Elle assure également l'arbitrage entre les requêtes des divers opérateurs et la transmission des données informatiques (info), vocales (audio) et visuelles (vidéo). La gestion d'organes fait le lien entre le système de contrôle-commande et les équipements télécommandables. La «structure d'accueil» de Saturne est composée de la gestion d'organes assurant l'interface entre les équipements des divers fournisseurs et de la supervision qui assure la transmission des informations et le traitement des interactions.

Les équipements les plus faillibles et ceux d'importance vitale sont installés de manière redondante. C'est notamment le cas du réseau de transmission.

En cas de défaut de transmission, les équipements se mettent en mode de repli autonome et assurent un fonctionnement minimal.

Les décisions se prennent le plus près possible des équipements concernés, de manière à assurer un maximum d'autonomie locale. En cas de panne des transmissions ou de la centrale de commande, Saturne prévoit la conduite des équipements depuis des locaux se trouvant à proximité. De plus, chaque tronçon peut être piloté de manière autonome.

### Conclusion

Le canton de Neuchâtel a ouvert d'énormes chantiers pour développer son infrastructure routière. La topographie du canton implique de nombreux tunnels, dont ceux de la traversée de la ville de Neuchâtel, première étape de réalisation, sont particulièrement complexes, puisqu'il s'agit de tunnels en zone urbaine, avec leurs nombreuses jonctions. Les équipements techniques de ces ouvrages doivent être pilotés à distance depuis une centrale de commande. Parmi les exigences du maître de l'ouvrage figure celle qui veut qu'une seule équipe polyvalente de la police cantonale soit responsable des télécommunications de la police et de la gestion des tunnels.

Saturne, le système développé pour la gestion intégrée des tunnels routiers du canton, tient compte de ces exigences. Il se distingue d'autres systèmes comparables par l'importance donnée à l'ergonomie du poste de commande informatisé, l'intégration des différents domaines (téléphone, radio, gestion des effectifs, gestion des tunnels, etc.) dans une architecture informatique distribuée avec la notion de structure d'accueil à laquelle les fournisseurs d'équipements électromécaniques viennent brancher leurs installations.

Avec Saturne, le canton de Neuchâtel se dote d'un système d'avant-garde qui devra servir de modèle pour les réalisations futures.