Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 112 (1986)
Heft: 3

Artikel: La gestion de projet: un thème d'actualité
Autor: Bourquin, Marcel
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75964

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

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

La gestion de projet: un thème d'actualité

par Marcel Bourquin, Neuchâtel

Résumé
La gestion de projet est un thème d'actualité. L'informatique permet aujourd'hui de suivre et de contrôler le développement de tous les travaux de moyenne et grande envergure. L'auteur aborde ce problème dans le cadre de quelques chantiers suisses caractéristiques de ces quinze dernières années et à la réalisation desquels il a participé très activement, dans le cadre du bureau Dr G. Lombardi, puis à l'EPFL et finalement à titre privé. Les méthodes modernes de gestion sont aujourd'hui plus que jamais à la portée des ingénieurs civils. Les techniques exposées visent surtout à accroître l'efficacité des responsables de projets en leur offrant les bases nécessaires à une plus grande souplesse et une meilleure mobilité dans leurs actions.

1. Introduction

1.1 *Faut-il recourir à la planification?*

Il est bien connu que la mise en œuvre des techniques classiques de planification issues de la recherche opérationnelle, de type PERT, CPM, etc., bien que souvent fort prometteuse pour le suivi et le contrôle des grands projets de génie civil, s'est souvent heurtée au scepticisme des dirigeants sans compter tous les échecs enregistrés lors du suivi des chantiers: les exemples sont nombreux où ces applications durent être abandonnées peu après le début des travaux parce qu'inefficaces, trop lourdes et mal adaptées. Force est aussi de constater que ce n'est guère la méthode utilisée en tant que telle (il s'agit souvent de celle des graphes réticulaires, présentant aussi les résultats sous forme de diagrammes à barres) qui ne parvenait à satisfaire les divers preneurs de décision – la technique en question est fort séduisante et ressurgit, malgré tout, lors de chaque nouveau concept général de projet – mais que les difficultés rencontrées durant la mise en œuvre de la planification se trouvaient tout ailleurs. Les échecs enregistrés lors de ces diverses tentatives ont en effet montré que les problèmes avaient plutôt tendance à se cristalliser autour de deux points capitaux, l'un ayant trait à l'organisation générale qui pèche souvent par *l'isolement de la fonction planification* par rapport au reste du groupe chargé de la réalisation du projet, et l'autre concernant *le manque de souplesse et de rapidité* des moyens utilisés lors de la mise à jour et du contrôle périodique des plans et des budgets. Tout ce que le planificateur se proposait de faire finissait de ce fait par paraître peu crédible, voire ridicule.

Or, indépendamment de ces échecs, constatons que le bon sens a toujours poussé l'ingénieur à connaître le déroulement le plus probable de son projet avec les risques qui y sont liés en termes de délais et de coûts et que l'idée même de renoncer à prévoir la manière de le réaliser paraît tout simplement absurde. En effet, l'acte de planifier repose sur un réflexe des plus naturels: les responsables cherchent à se protéger contre l'inconnu, à éviter les surprises qu'ils considèrent comme néfastes, et cela au prix même du renoncement à certaines libertés. Ils désirent ainsi pouvoir évaluer les différentes possibilités qui se présentent à eux avant d'en choisir une, pour ne pas avancer ensuite dans l'obscurité la plus complète.

En pratique, celui qui assume le rôle de planificateur dérange souvent. Beaucoup considèrent cette fonction comme franchement nuisible car à tout argument en faveur de la planification correspondra toujours un contre-argument facilement défendable. La vérité comprend bien les deux aspects de la controverse. D'autre part, la fonction planification peut souvent englober des activités que d'autres décideurs considèrent comme étant de leur ressort, bien qu'en réalité la mise en œuvre de ces tâches n'est presque jamais soustraite à leur autorité par l'analyste. Et si le planificateur a de plus été quelque peu malchanceux dans ses rapports avec autrui, tous ses efforts vont se trouver anéantis en peu de temps. Car, pour lui, son intégration totale au sein du processus de création de suivi et de contrôle du projet est primordiale. Il ne lui suffira jamais de ne tenter qu'à convaincre ses partenaires, qu'à vendre ses plans; il devra surtout chercher à apprendre d'autrui pour apporter ensuite quelque chose d'utile au groupe. Ce n'est que de cette manière que son travail portera peu à peu ses fruits.

De par la mise en évidence des grands pièges qui guettent notre analyste (mise à l'écart de sa fonction, lourdeur des moyens utilisés), nous savons aujourd'hui que le fonctionnement efficace d'un système de gestion et de contrôle des grands travaux présupposera toujours:

- l'existence d'une *étroite collaboration entre les spécialistes fonctionnels* (par exemple équipes d'ouvriers, entrepreneurs, ingénieurs mandataires) *et le planificateur*, pour garantir en tout temps la fiabilité de l'information utilisée et des modifications successives introduites;
- l'utilisation d'un *outil informatique souple, de type conversationnel*, pour la saisie et la mise à jour des données. Les résultats produits devront être clairs, disponibles en tout temps et nécessairement complétés par des sorties graphiques, documents facilitant l'analyse des écarts et la prise de décision pour la mise en œuvre rapide des interventions. L'organisateur disposera ainsi d'une représentation simple et parlante du projet, les interactions des opérations apparaissant de façon précise.

1.2 *Qu'attend-on de la planification?*

Ce que les responsables attendent de l'analyste est un ensemble de propositions sur les lignes de conduite, les marches à suivre conduisant vers les objectifs retenus. Dans les cas plus complexes où les instances en présence sont nombreuses (maître d'ouvrages, mandataires, entreprises), ce qui est souvent le cas, planifier la réalisation d'un grand projet consistera toujours à cerner la manière de s'y prendre pour mener son exécution à terme dans des conditions satisfaisantes pour tous les partenaires concernés. De façon plus concrète encore, il s'agira toujours:

- *d'atteindre au mieux certains objectifs* définis (par exemple terminer au plus tard à une date fixée, répartir uniformément les dépenses, etc.);
- d'obtenir certaines informations liées au *déroulement futur des opérations* (dates, délais, marges de manœuvres, influence des retards) tout en respectant certaines contraintes données relatives aux liaisons structurelles, (physiques, géographiques, logiques), aux ressources disponibles, aux délais imposés, etc.;
- de connaître la *consommation présumée des ressources* engagées en observant certaines limites (problèmes liés à l'établissement des budgets, à l'organisation du personnel, des moyens matériels, machines, matières premières, énergie, etc.);
- et d'être informé aussi sur la fiabilité des valeurs calculées *(mesure du risque encouru)*.

1.3 *Comment s'y prendre pour planifier un grand chantier?*

La technique choisie visera à représenter l'enchaînement des diverses activités nécessaires, ce qui permettra à l'analyste de dégager quelles sont les opérations critiques pour leur accorder toute son attention, et de mieux suivre le progrès des travaux en termes de durées, de ressources personnelles, matérielles et financières. Le plus souvent, l'élaboration des solutions se heurtera à des exigences contradictoires, à des objectifs jugés insuffisamment atteints, ce qui nécessitera certaines transformations du système initial d'exigences (par exemple renégociation des budgets ou de certains délais importants).

Ajoutons encore, de façon très générale, que les méthodes de gestion moderne de projet reposent essentiellement sur les phases suivantes:

1. Détermination d'objectifs précis et établissement de variantes;
2. Choix d'une solution d'ensemble acceptable;
3. Mesure globale des écarts entre la réalisation et les objectifs fixés;
4. Analyse des écarts qui apparaissent inacceptables, pour en déterminer les causes, et prise de décision corrective en conséquence.

L'approche requise pour la gestion des grands chantiers doit obéir à ces principes. Elle définira en effet ses objectifs par une simulation préalable de la réalisation du projet et une optimisation économique au niveau des délais d'exécution et de l'utilisation des ressources. Elle contrôlera ensuite l'exécution du projet et procédera à un ajustement réciproque entre prévisions et réalisation.

1.4 *Où réside donc la clé du succès?*

Aussi navrant que cela puisse paraître, il semble vain de chercher à justifier par des arguments quantitatifs l'opportunité de la mise en œuvre d'un système de planification. Il n'existe d'ailleurs pas de méthode pour en mesurer les avantages économiques. Les éléments de décision sont implicitement contenus dans les opinions et les considérations du ou des dirigeants (responsables de l'administration, directeurs d'entreprise, chef de projet); trop en analyser les tenants et les aboutissants risque à coup sûr de miner l'enthousiasme nécessaire à la mise en place du système. Finalement et plus que partout ailleurs, une *décision claire* et le *soutien du responsable principal* sont absolument indispensables à la pleine réussite de l'opération.

Quant au problème relatif à la *personnalité du planificateur* lui-même, disons qu'elle devra se rapprocher de celle du collaborateur typiquement introuvable: capable de s'entendre avec chacun tout en étant rigoureux dans la poursuite de sa mission, d'une part, intelligent et disposant d'une solide expérience pratique, d'autre part. Comme l'intuition et la créativité semblent de plus jouer ici un rôle très important, on conçoit que ce poste ne saurait nécessairement convenir au premier venu.

2. Méthode de travail: approche modulaire et contrôle de la cohérence globale

2.1 *Démarche systémique*

L'élaboration d'une première solution ne permettra vraisemblablement pas de satisfaire l'ensemble des exigences, ni d'atteindre tous les objectifs fixés. Le planificateur se verra souvent dans l'obligation de modifier diverses données contraignantes au cours de son travail, c'est-à-dire de redéfinir par exemple, pour certaines activités et avec l'aide des intéressés au projet, de nouveaux attributs déterminants (durées, coûts, etc.), de changer éventuellement aussi l'organisation logique de son projet et les enveloppes de ressources disponibles (par exemple budgets, machines à disposition, etc.), voire de reformuler certains objectifs.

On voit par là que l'élaboration d'une solution d'ensemble est inséparable d'une *analyse de la cohérence* entre attributs des activités, contraintes logiques, ressources disponibles, objectifs et souhaits, élaboration et analyse qui seront grandement facilitées par la mise en évidence des chemins critiques conditionnant certains résultats indésirables ou objectifs insuffisamment respectés.

L'approche d'une solution satisfaisante se fera donc de façon itérative. Les corrections successives apportées au système pourront s'effectuer dans l'un ou l'autre des grands ensembles d'information que sont

- les *activités* et leurs attributs;
- *l'organisation logique* avec les interrelations entre activités;
- l'ensemble des *ressources disponibles*;
- la formulation des *objectifs*.

Chaque élément particulier attribué à l'un de ces quatre groupes est en effet susceptible de conditionner la solution recherchée et d'apparaître finalement comme une *des contraintes déterminantes* dans l'élaboration d'un ou plusieurs aspects du résultat. C'est d'ailleurs par cette simulation de l'influence des divers facteurs et cette constante remise en question des valeurs obtenues, processus qui se prolonge jusqu'au terme de la réalisation du projet, que notre démarche semble le mieux caractérisée. *En effet, la méthode classique qui conduit à définir très simplement tout problème en termes de données et solution cherchée, sans englober le processus d'élaboration et la recherche d'une cohérence globale, semble particulièrement inadaptée à notre technique de gestion de projet.*

2.2 *Analyse du projet*

On abordera souvent le problème en cherchant à dégager, lors d'une première phase d'analyse, les *grands ensembles constitutifs du projet* (par exemple zones géographiques, groupes d'activités de nature semblable ou parties de projet s'adressant à des spécialistes bien déterminés), ce qui permettra ensuite de ventiler toutes les informations recueillies par groupes et de mener l'étude de façon modulaire. L'idée est de créer ainsi, dans la représentation générale de la planification du projet, des sous-ensembles facilement identifiables, garantissant une vision beaucoup plus claire des mécanismes généraux et une approche plus attrayante pour tous les intéressés; dans la majorité des cas, ces parties de projet ne sont d'ailleurs reliées entre elles que par quelques contraintes déterminantes, clairement définissables, mais pouvant faire l'objet d'une négociation préalable entre intéressés.

Pour que les techniques exposées soient utilisées avec succès, une certaine expérience pratique est indispensable. Le problème du fractionnement du projet ou des secteurs géographiques en tâches élémentaires dépend du genre de travail à planifier, du degré d'avancement de l'étude en cours, des types de résultats attendus (approche d'ordre plutôt technique ou plutôt comptable) et souvent aussi des vœux particuliers des partenaires concernés.

Le *niveau de détail* choisi pour cette décomposition doit permettre de pousser la description future du déroulement du projet jusqu'à la limite optimale susceptible d'en cerner correctement l'articulation en termes de durées, de coûts et de moyens mis en œuvre. Nous supposerons ici que ce fractionnement est toujours réalisable selon les vœux des responsables et que l'ensemble est donc susceptible d'être éclaté en une suite finie d'activités dont l'exécution globale correspond à celle du projet tout entier. De façon générale, ce dernier ne sera pas décomposé plus qu'il n'est nécessaire de le faire pour l'établissement d'une structure claire tenant compte du stade des études en cours.

Il convient d'autre part, lors de la fixation du niveau de décomposition final, de bien analyser les problèmes liés à la *récolte de l'information* pendant le suivi du projet. Si un découpage fin augmente l'assurance que rien n'a été oublié et que les relations à définir par la suite entre activités ont toutes été prises en compte, la lourdeur du système qui pourrait en résulter durant la phase de réalisation n'est pas à négliger (grande fréquence des modifications – travail important – et difficultés éventuelles liées à l'obtention rapide de l'information).

Parallèlement à la *définition de chacune des activités élémentaires*, on procédera peu à peu à l'élaboration de la structure d'ensemble, c'est-à-dire à *l'ordonnancement de ces activités*, à leur «enchaînement», en créant toutes les *relations logiques* de dépendances existant entre elles.

2.3 *Contrôle des coûts*

Lorsqu'il s'agit d'utiliser ces méthodes pour élaborer des budgets, puis suivre et contrôler les coûts, *les structures comptables en usage peuvent jouer un rôle important.* Il peut convenir dans ce cas de rechercher un bon équilibre entre le découpage technique et les nécessités comptables et financières. Cette manière de faire peut toutefois être fort dangereuse et conduire à des types de structure comme ceux que l'on trouve encore dans les anciens plans comptables de l'administration (OFR, CFF, etc.), mal adaptés aux divers tris nécessités par les techniques actuelles de gestion à buts multiples

(contrôle des dépenses par crédits accordés, par ouvrage, par nature de coûts, par contrats, par secteurs géographiques, par entreprise, etc.).

Il est donc préférable de *définir séparément* dès l'abord, avec grand soin, les *divers types de structure utiles pour ventiler l'information*, ce qui du point de vue informatique ne pose aucun problème particulier, mis à part la limite imposée par l'accroissement de travail lors de la saisie des données. Dans les récents logiciels interactifs de planification et contrôle des coûts (par exemple MODFIN 2/XPERT, dont les concepts de base ont été développés à l'EPFL par l'auteur), les dépenses devraient pouvoir être ventilées:

- par dates,
- par contrats (par exemple par articles, chapitres, etc.),
- par comptes de crédits (par exemple selon plans comptables, structures de devis généraux, etc.),
- par ouvrages ou selon une structure géographique définie,
- par entreprises (cumulant plusieurs contrats),

et regroupées, au besoin:

- par années,
- par types de contrats (contrats d'entreprise ou fournisseur, mandats),

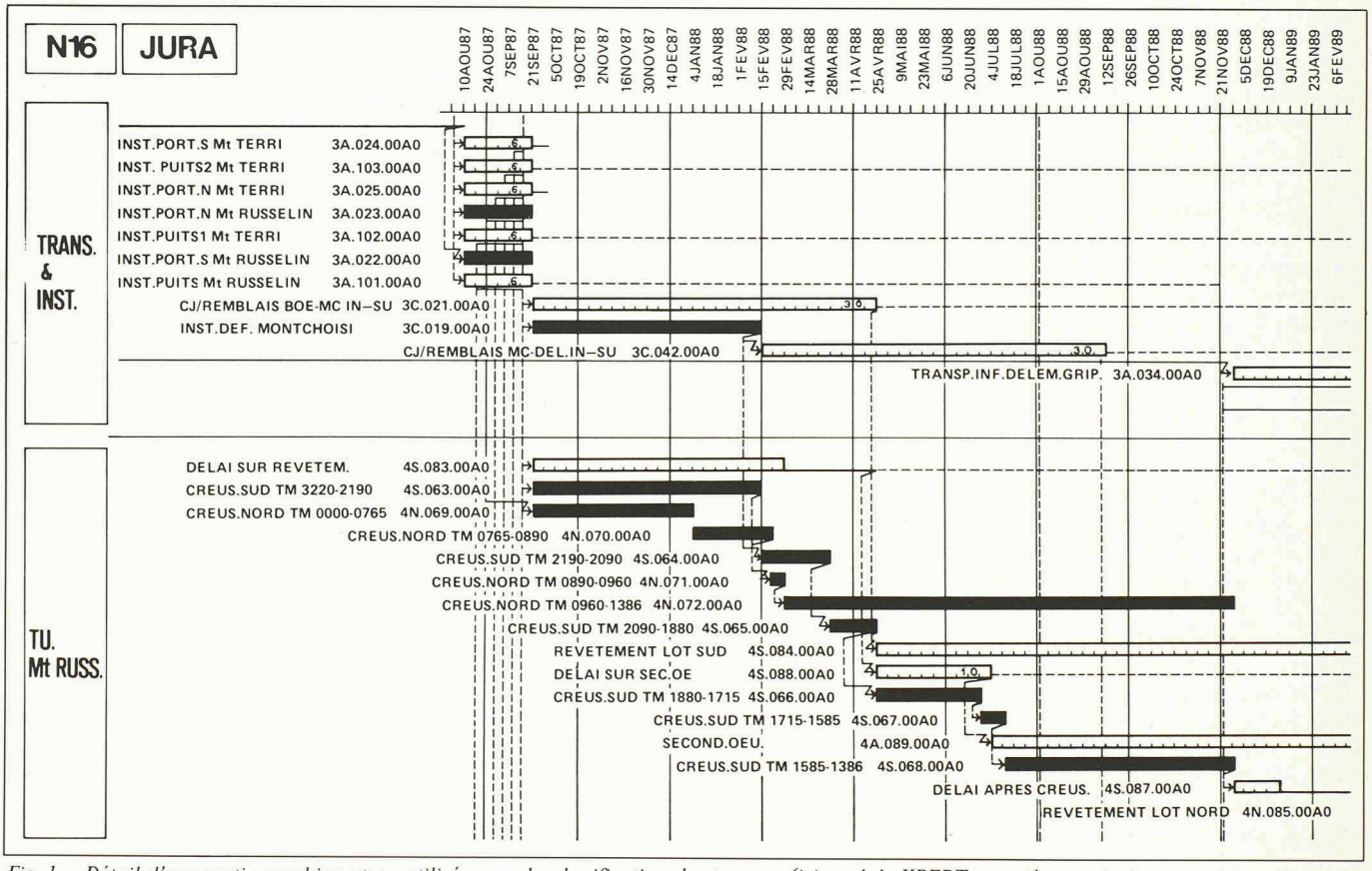


Fig. 1 – Détail d'une sortie graphique type utilisée pour la planification des travaux (ici module XPERT, première version).

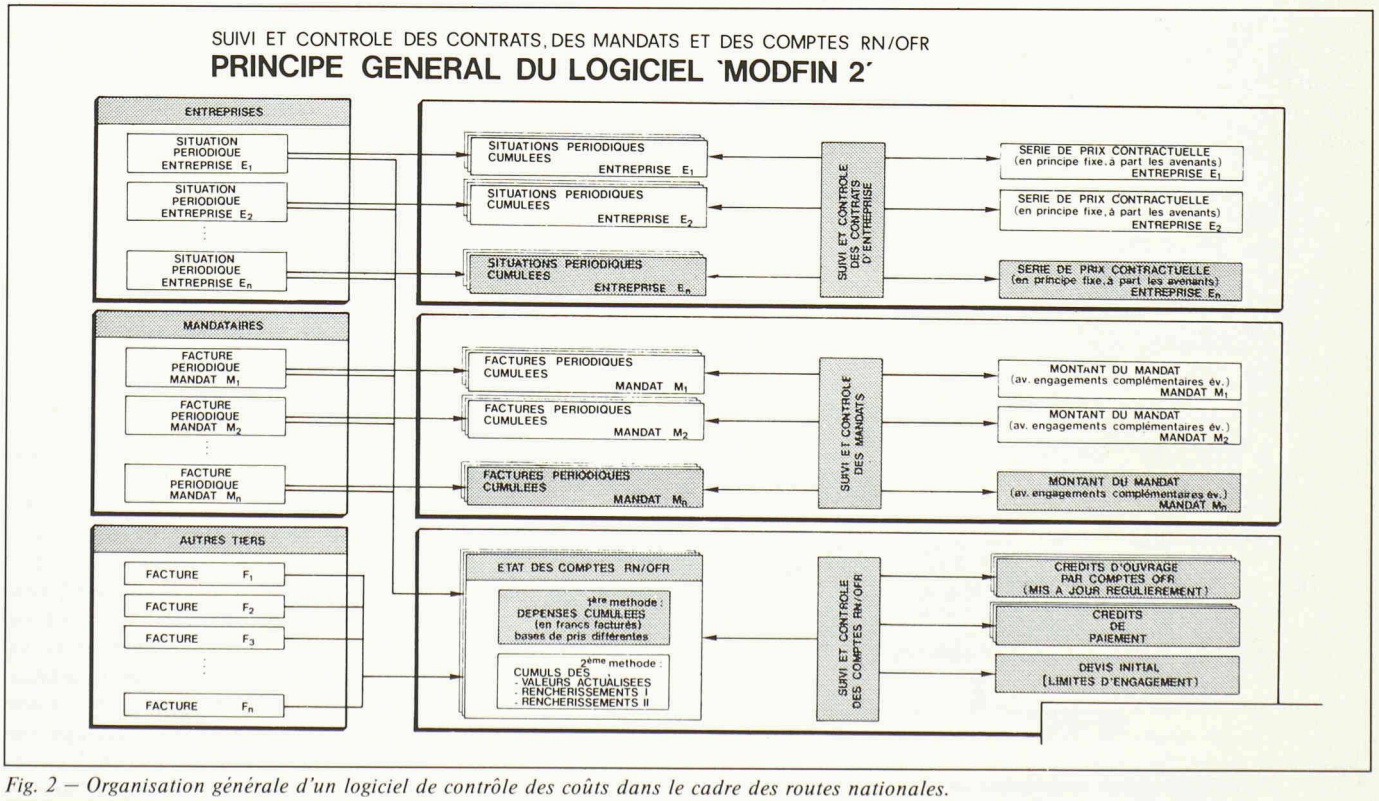


Fig. 2 – Organisation générale d'un logiciel de contrôle des coûts dans le cadre des routes nationales.

- par groupes comptables (par exemple projet, terrains, construction),
- par secteurs, tronçons, etc.,
- par groupes d'entreprises, etc.

Ces dépenses peuvent être actualisées et sont toujours comparées à des valeurs cibles (contrôle des écarts par rapport aux objectifs).

2.4 *Outils informatiques*

Il existe actuellement sur le marché maints outils de planification et de comptabilité susceptibles de répondre à certains des désirs énoncés ci-dessus. Il est cependant nécessaire, bien évidemment, que les logiciels choisis soient *parfaitement adaptés aux pratiques courantes de gestion des travaux de génie civil:* les performances annoncées devront finalement pouvoir remplir un certain nombre d'exigences tout à fait spécifiques, utiles aux opérations de prévisions, de suivi et de contrôle, et cela dans un cadre préétabli (plans comptables particuliers, catalogue d'articles normalisés, procédures bien définies, présentations types de documents, etc.).

Pour l'élaboration des plannings, l'organisation des données respectera certains vœux de structures par lots, secteurs géographiques, contrats, etc. qui nécessiteront des options de classements, tris, ventilations et extraits en fonction de divers critères. *Des sorties graphiques très lisibles et explicites* seront indispensables et l'on exigera la mise en évidence des chemins critiques, des marges libres et totales, des parties terminées, etc. Une représentation sous forme de diagrammes à barres avec interconnections (contraintes logiques) est particulièrement recommandable parce que très abondamment utilisée dans le génie civil et le bâtiment (fig. 1).

Au niveau des performances de traitement, on exigera de plus en plus les *calculs automatiques des budgets* mensuels ou annuels liés à diverses variantes, valeurs qui aideront grandement les responsables à fixer leurs objectifs, de même que ceux de *l'actualisation des coûts* enregistrés (comparaison en francs constants avec les valeurs devisées); des facilités au niveau du *dialogue à l'écran* lors des opérations de mise à jour et de modification seront les bienvenues. Certains traitements très spécifiques pourront faire l'objet du cahier des charges lié au logiciel recherché: élaboration du document de soumission – listes de prix à partir d'un CAN –, vérification et comparaison des offres, traitement des situations périodiques d'entreprises, calcul automatique des renchérissements en cours selon diverses formules paramétriques, suivi et contrôle des factures (fig. 2), établissement des ordres de paiement, etc. De nos jours, on s'équipera toujours de programmes interactifs. Le ou les terminaux nécessaires pour la saisie ainsi que les imprimantes et traceurs se trouveront si possible à proximité directe des utilisateurs potentiels. Pour limiter les frais d'investissement (très variables en fonction des performances souhaitées mais souvent tout à fait abordables malgré tout aujourd'hui), on pourra recourir à la formule du télétraitement.

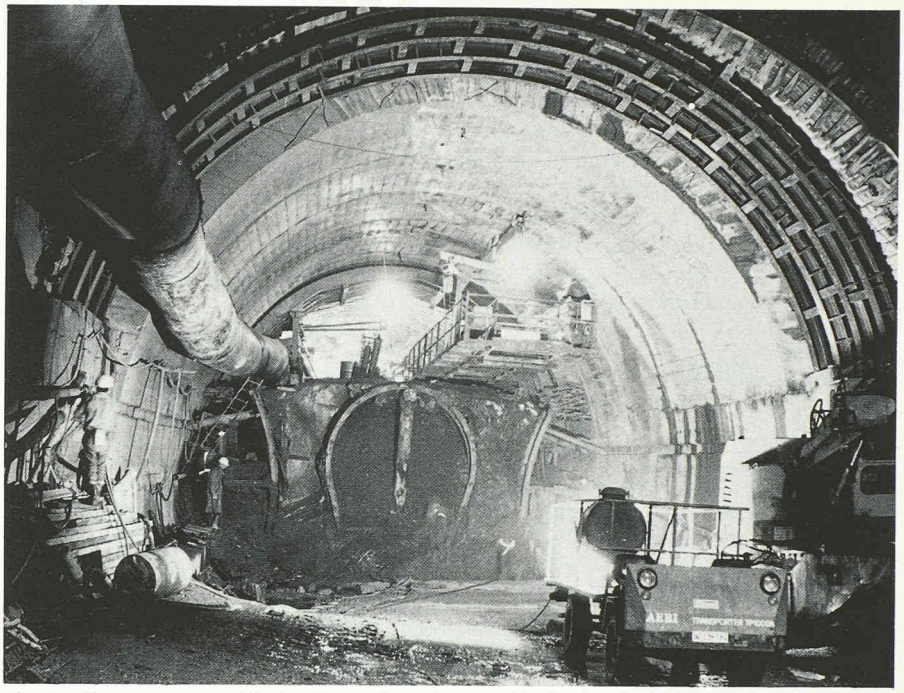


Fig. 4 – Creusement en méthode allemande d'un passage particulièrement difficile (mésozoïque) du tunnel routier du Saint-Gothard. L'effort de planification et d'organisation est très intense sur de tels chantiers.

3. Mise en œuvre: quelques exemples significatifs

3.1 *Un grand chantier des années 70: le tunnel routier du Saint-Gothard*

Très riche en enseignements de toutes natures, ce premier exemple nous fournira l'éventail des problèmes d'organisation et de planification auxquels est confronté l'ingénieur civil responsable d'un grand chantier. Rappelons brièvement que cet ouvrage de la N2 a une longueur de 16,322 km et a été conçu pour un trafic bidirectionnel dans un seul tube. Il comprend 4 puits de ventilations et une petite galerie parallèle à l'axe du tunnel. La figure 3 donne les principales caractéristiques de l'ouvrage.

Le creusement du tunnel a été réalisé depuis ses deux extrémités, Göschenen et Airolo. Pour des raisons liées à la planification des travaux, une attaque intermédiaire dut être lancée en cours d'exécution depuis Hospental, à travers un puits vertical.

L'emplacement de l'ouvrage, situé pour 60% de sa longueur en territoire uranais et 40% au Tessin, exigeait la création d'un organe suprême de supervision. Composé de représentants de l'Office fédéral des routes, des deux cantons concernés TI et UR (directions générales) et des ingénieurs mandataires (Elektro-Watt Ingenieurunternehmung et Dr G. Lombardi), il a coordonné les nombreuses décisions cantonales et a garanti une certaine unité technique à l'ouvrage. Les solutions particulières et modifications de toute nature ainsi que les nouvelles

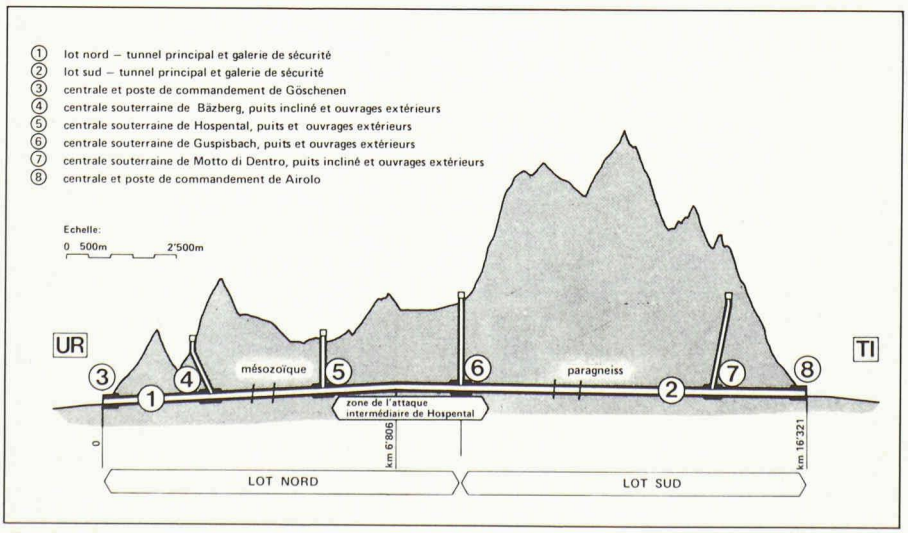


Fig. 3 – Coupe longitudinale schématique du tunnel routier du Saint-Gothard (N2).

propositions d'adjudication devaient être préalablement soumises à l'approbation de cet organe, appelé commission de construction, avant même d'être présentées en dernière instance aux autorités cantonales qui devaient finalement les ratifier. Cet organe disposait en outre d'une commission technique chargée de faire un premier tri parmi les variantes techniques et financières proposées et de préparer les travaux de la commission.

Rares sont les chantiers des routes nationales qui eurent à subir, durant leur existence, autant de bouleversements que celui du tunnel routier du Saint-Gothard (1969-1980). Au cours du creusement lui-même, maintes stratégies correctives furent élaborées pour atténuer l'effet des retards accumulés durant les premières années et freiner aussi l'expansion trop rapide des coûts qui accablait les entreprises et rendait parfois le climat de travail très pénible. Toutes les prévisions relatives à la réalisation du projet furent profondément remodelées durant les onze années du chantier, suite à *l'apparition de nouvelles contraintes d'ordre technique* (conditions géologiques plus défavorables que prévues dans certaines zones à fortes pressions – mésozoïque (fig. 4) et paragneiss –, modifications du type de creusement pour garantir une meilleure sécurité de travail aux équipes de mineurs, renouvellement complet du parc à machines au lot nord pour assurer le transport du marin à travers une galerie d'évitement durant près de deux ans, etc.) *à l'importance prise par certains facteurs d'ordre conjoncturel* (marché du

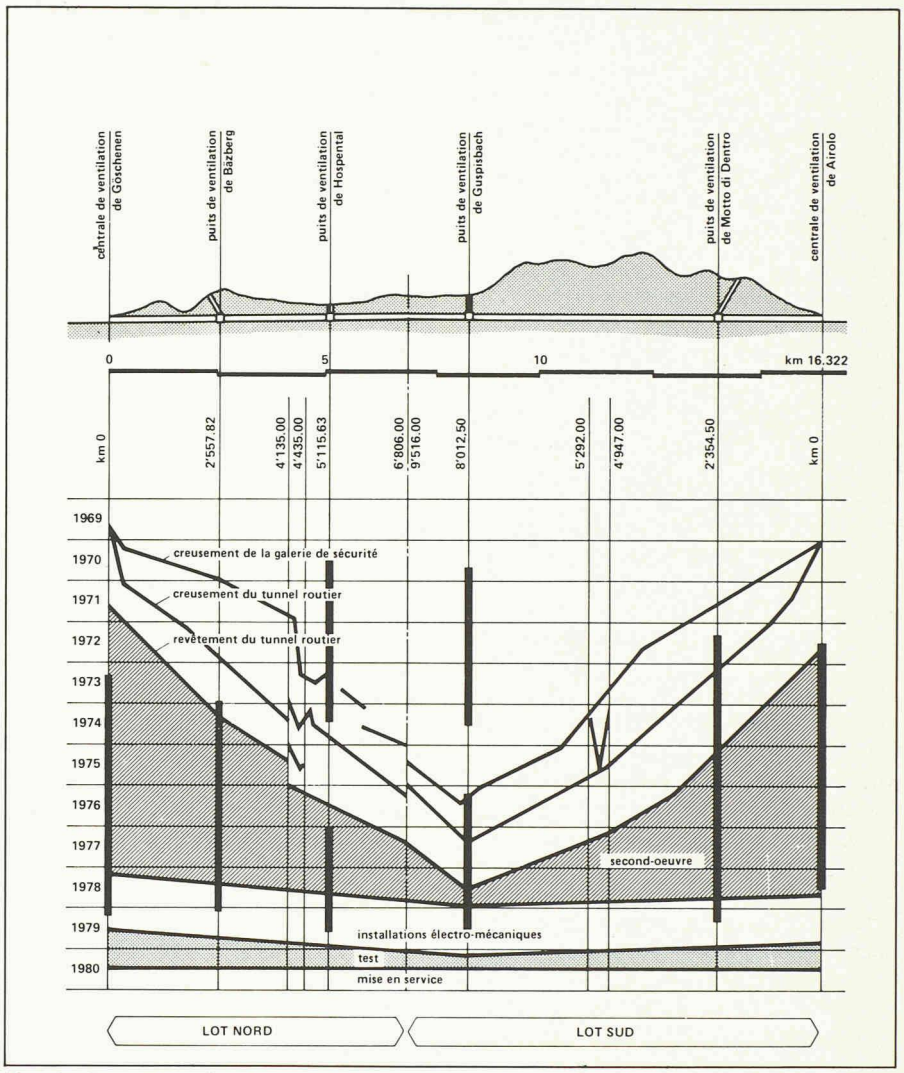


Fig. 6 – Prestations réalisées lors de la construction du tunnel routier du Saint-Gothard.

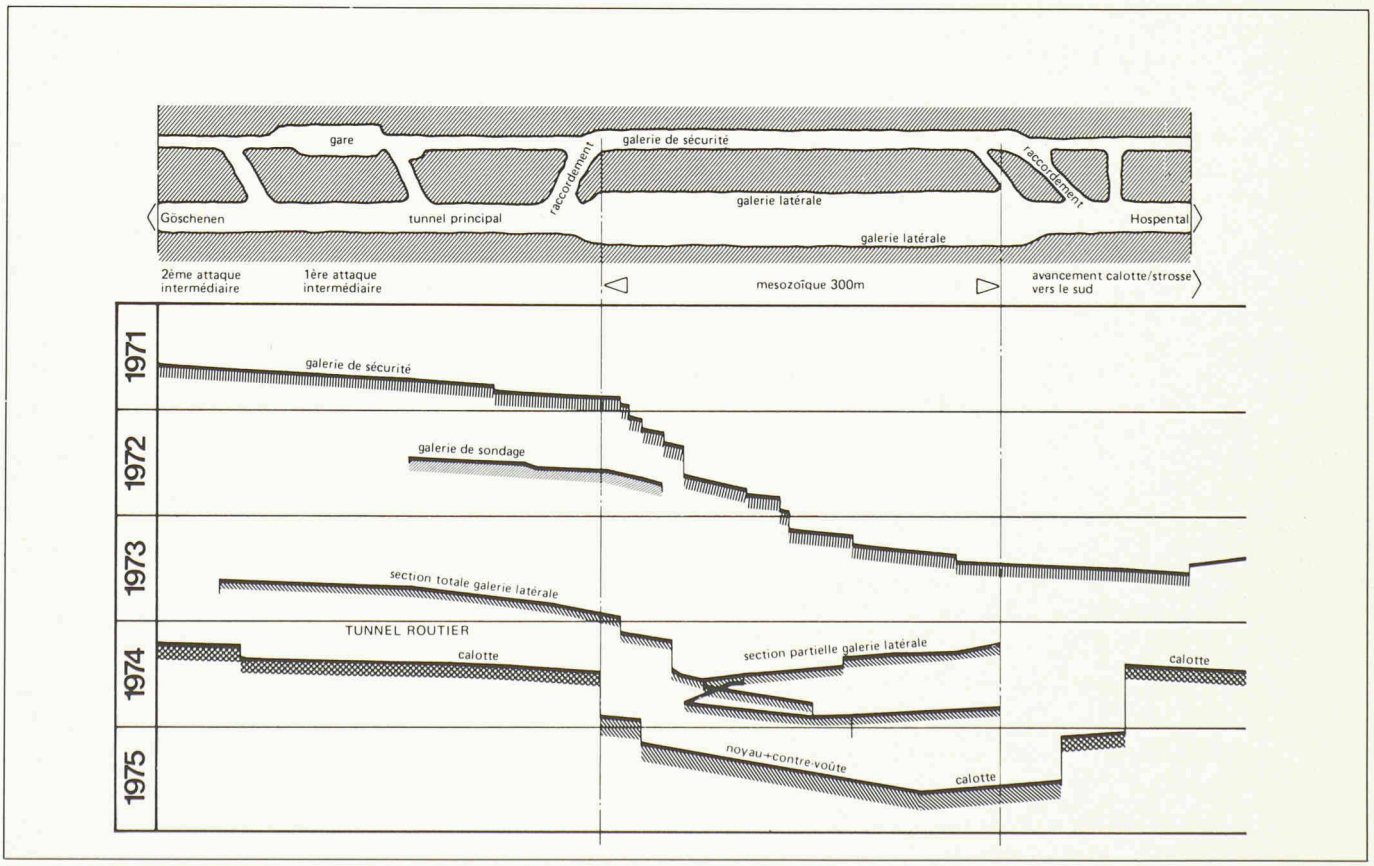


Fig. 5 – Développement des travaux dans la zone du mésozoïque du tunnel routier du Saint-Gothard.

travail tendu, montée des taux d'intérêt et forte poussée inflationniste au début des années 70) et *à la mise à disposition progressive de nouvelles technologies* (progrès survenus en matière d'équipements électromécaniques, de contrôle du trafic et de sécurité des usagers nécessitant un redimensionnement des centrales et des postes de commandement). A cela vinrent s'ajouter toutes les conséquences – elles-mêmes à nouveau contraignantes – liées aux décisions prises durant l'exécution des travaux et touchant plus particulièrement *l'organisation et l'ordonnancement du chantier:* creusement en sections partielles dans les zones difficiles (fig. 5), attaques intermédiaires dans la partie centrale du tunnel à travers le puits vertical de Hospental et dans certaines zones très délicates (sous le tunnel ferroviaire, par exemple), etc.

C'est ainsi que les imprévus de toutes natures et les correctifs nécessaires devaient être immédiatement réinvestis dans le processus stratégique pour en connaître les conséquences au niveau des objectifs visés (durées, coûts, qualité, sécurité). Ces réajustements, parfois très complexes parce que nécessitant de nouvelles ressources humaines, techniques et financières (décision de lancer une attaque intermédiaire sur plusieurs kilomètres par le puits de Hospental, de percer certaines zones importantes en méthode allemande, de renoncer définitivement au creusement en pleine section pour l'attaque nord, etc.) ne pouvaient bien sûr s'effectuer qu'après négociation de nouveaux accords opérationnels et budgétaires avec les entreprises concernées, ce qui nécessitait une analyse approfondie des solutions proposées et un engagement intense des parties en présence. *C'est cet effort soutenu de réadaptation constante et dirigée du processus stratégique aux nouvelles contraintes de l'environnement qui caractérise le mieux notre tâche de planification sous sa forme dynamique.* Le recul par rapport aux événements nous fait bien comprendre aujourd'hui que rien n'a pu être vraiment imposé ici par l'un quelconque des partenaires et que la négociation des enjeux a été habilement menée au profit de chacun.

La méthode utilisée pour suivre et contrôler l'évolution du chantier consistait à effectuer, en cours de creusement, un relevé contradictoire des classes d'excavation effectives afin d'obtenir une base de référence pour les calculs d'écarts. Bien que ce travail pût présenter parfois quelques difficultés en cas de désaccord des parties, les marges d'appréciation pouvaient être estimées elles aussi. Ce relevé permettait de dessiner, entre autres, les lignes de progression contractuelles en fonction du temps (découlant des classes d'excavation effectives et des cadences d'avancement offertes par l'entreprise) et de les comparer à celles des prestations effectives – fig. 6. Les projections de ces deux déroulements jusqu'à la limite des lots reflétaient l'évolution probable des travaux et de leurs coûts dans l'hypothèse où les moyens mis en œuvre n'allaient pas être modifiés: elles définissaient les *écarts prévisionnels* (mesurés en semaines et en francs). Ces valeurs étaient continuellement analysées et discutées entre partenaires pour élaborer les stratégies correctives visant à sauvegarder les objectifs fixés.

On ne disposait pas encore aisément, il y a quinze ans, d'outils informatiques conversationnels pour aider les dirigeants dans leur tâche de gestion. Les opérations comptables étaient certes informatisées, mais les choix stratégiques nécessitant de longues analyses comparatives se basaient sur des études faites à la main: les simulations de variantes étaient réduites au minimum. Les outils classiques d'aide à la décision (analyses multicritères, techniques d'ordonnancement, etc.) faisaient bien sûr totalement défaut pour ces études et personne d'ailleurs n'aurait pu y recourir alors sans se heurter au scepticisme général de tous les intéressés. Bien que ce grand chantier n'eût pas été l'endroit idéal pour expérimenter de tels instruments, admettons aussi que, sans la souplesse que leur confère de nos jours le dialogue à l'écran et surtout sans l'état d'esprit suffisamment dégagé qui permet de n'entrevoir aujourd'hui, dans la planification assistée par ordinateur, qu'un simple outil de référence, puissant certes, mais à mettre à disposition du bon sens, toutes ces techniques traditionnelles de pilotage sont souvent bien embarrassantes pour la gestion de chantier. Ce ne sont finalement que les importants progrès de l'informatique et la *nouvelle attitude de travail née du contact avec ces instruments* qui permettent aujourd'hui à l'utilisateur, comme par jeu, *de tester, en un temps très bref, l'influence exercée par un changement quelconque dans le processus même de la réalisation de son projet* (en modifiant par exemple la durée d'une opération, l'ordre des phases d'une réalisation, en imposant de nouveaux délais de livraison, de nouvelles tâches à effectuer, etc.) et *sur les objectifs généraux* (date de fin des travaux, enveloppes budgétaires, etc.). C'est à ce titre que ces programmes sont devenus aujourd'hui de merveilleux outils de simulation et de comparaison de variantes.

Quant au contrôle des coûts et à toute la comptabilité de chantier qui en dépend, le volume important des documents et la très longue durée d'exécution du tunnel routier du Saint-Gothard ont contribué à mettre en évidence le *besoin impératif de disposer d'un instrument efficace pour ventiler les charges selon divers critères et isoler automatiquement la part des renchérissements de l'ensemble des factures imputées.* Cette dernière opération, exigée par le contrôle du développement des

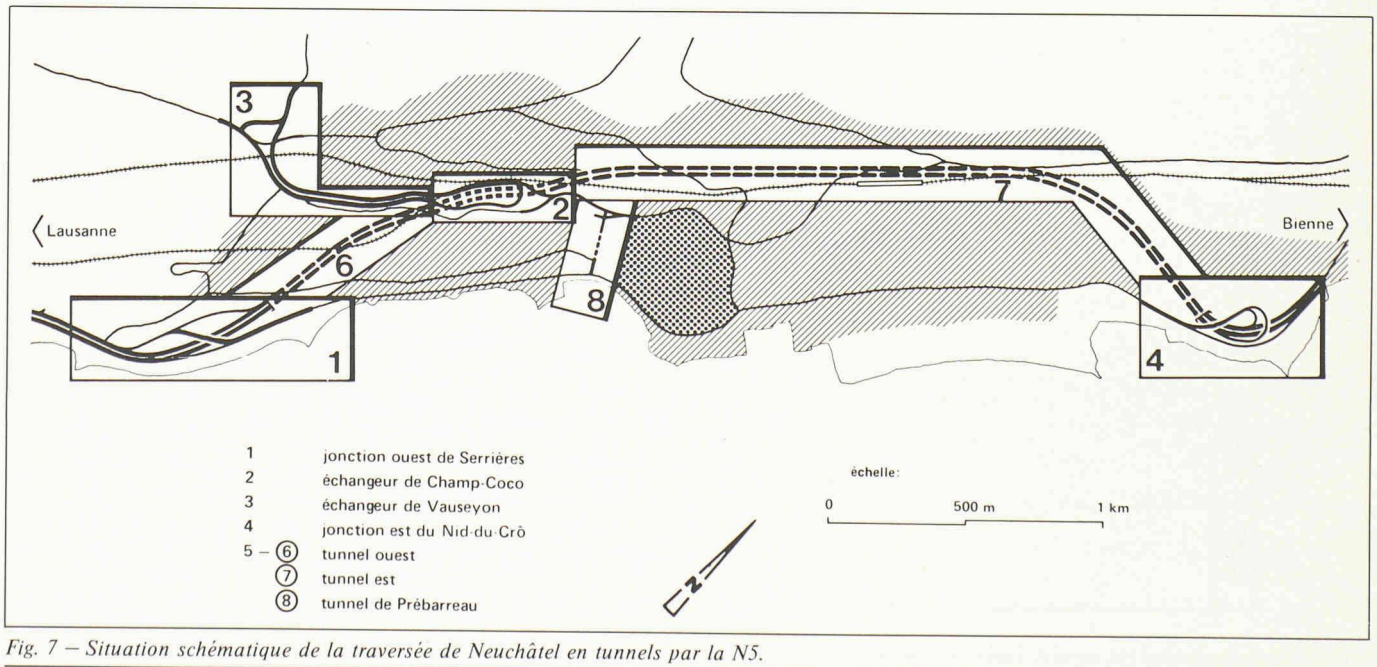


Fig. 7 – Situation schématique de la traversée de Neuchâtel en tunnels par la N5.

coûts relativement aux valeurs devisées en 1969, année du début des travaux, nécessita *une actualisation de l'ensemble des dépenses du chantier*, travail extrêmement fastidieux lorsque l'on sait que chaque facture se réfère à sa propre base de prix, celle du contrat correspondant, et qu'un chantier comme celui de notre exemple repose sur des centaines de contrats échelonnés sur plus de dix ans. On a calculé ainsi qu'au tunnel routier du Saint-Gothard le renchérissement représenta environ 50% des dépenses supplémentaires calculées par rapport au devis initial. Par ailleurs, la ventilation des coûts par ouvrage et par nature permit de déterminer que le reste des dépassements provenait, pour plus de la moitié, des imprévus liés aux conditions géotechniques. Toutes ces données sont extrêmement précieuses au directeur des travaux qui doit expliquer les raisons des écarts effectifs, voire justifier certaines données apparemment trompeuses. On comprend sans autre, sur la base de cet exemple, tout ce qu'un outil moderne de gestion peut apporter en souplesse et en gain de temps au chef d'un grand projet confronté à de telles missions.

3.2 *La traversée de Neuchâtel par la N5 en tunnels*

Pour mieux illustrer nos propos, nous prendrons maintenant l'exemple de la réalisation d'un autre projet autoroutier plus récent, celui de la traversée de Neuchâtel par la Route nationale 5 (fig. 7), actuellement en phase d'exécution. Présenté en quelques mots, ce grand chantier s'articule géographiquement de la manière suivante: venant de Lausanne, l'autoroute à 2 × 2 voies traverse d'abord en trémie la jonction de Serrières et s'enfonce dans le *tunnel Est* à 2 tubes, d'une longueur de 750 m environ. Elle aboutit ensuite à l'échangeur couvert de Champ-Coco, ouvrage assurant toutes les liaisons avec le T20 (La Chaux-de-Fonds–Neuchâtel), sauf celle du mouvement descendant repris par le réseau local et le tunnel de Prébarreau, d'une longueur de 116 m; le raccordement à la T20 se prolonge quant à lui jusqu'à la jonction de Vauseyon. Depuis Champ-Coco, la N5 entre à nouveau dans le *tunnel Ouest* à 2 tubes, d'environ 2600 m, jusqu'à la jonction du Nid-du-Crô, pour continuer ensuite vers Bienne.

L'ensemble du projet a été subdivisé en *sept secteurs*, concrètement identifiables, dont trois en souterrain (tunnels Est, Ouest et de Prébarreau) et quatre chantiers à ciel ouvert (jonctions Est du Nid-du-Crô et Ouest de Serrières, Echangeur de Champ-Coco et Secteur de Vauseyon). Chacune de ces parties a été placée sous la responsabilité d'un groupement d'ingénieurs, le tout étant coiffé par le Bureau N5 de l'Etat de Neuchâtel. Ce dernier désirait connaître aussi exactement que possible, dès la fin des années 70 déjà, *la manière dont s'articulerait la réalisation de l'ensemble des travaux en termes de délais, de moyens à mettre en œuvre et de coûts,* en respectant diverses exigences et certains vœux relatifs à ces mêmes aspects du problème. L'effort devait aussi se porter sur la *planification budgétaire*, le problème de l'obtention des crédits accordés par la Confédération au canton (caractéristique du principe de financement des routes nationales) devant faire l'objet de pourparlers réguliers durant toute la construction.

L'Etat de Neuchâtel étant le seul maître d'ouvrage pour l'ensemble du projet, *l'ébauche de la planification* put être mise sur pied dès que les grandes lignes du complexe autoroutier furent définies. A ce stade, les événements marquants furent définis par des dates correspondant à des délais désirés (début ou fin des travaux pour chacun des secteurs – fig. 8). La *représentation détaillée d'une solution d'ensemble sur ordinateur* ne put cependant être mise en œuvre que lorsque la plupart des informations nécessaires à la définition des attributs des activités (durées, ressources consommées, etc.), à l'organisation logique du projet, aux ressources disponibles et à la formulation précise des objectifs furent à disposition. Pour cette récolte d'informations, les différents secteurs furent d'abord traités séparément, ce qui nécessita une étroite collaboration entre les différents mandataires et le service de l'Etat chargé de la coordination : des plannings par secteurs furent ainsi constitués. Un petit groupe de planification extérieur fut d'abord mandaté pour lancer la méthode dont la mise en œuvre devait être reprise ensuite progressivement par le maître d'ouvrage lui-même. Les interrelations fondamentales entre secteurs, les budgets à long terme et les objectifs globaux déjà pressentis lors de l'ébauche de la pla-

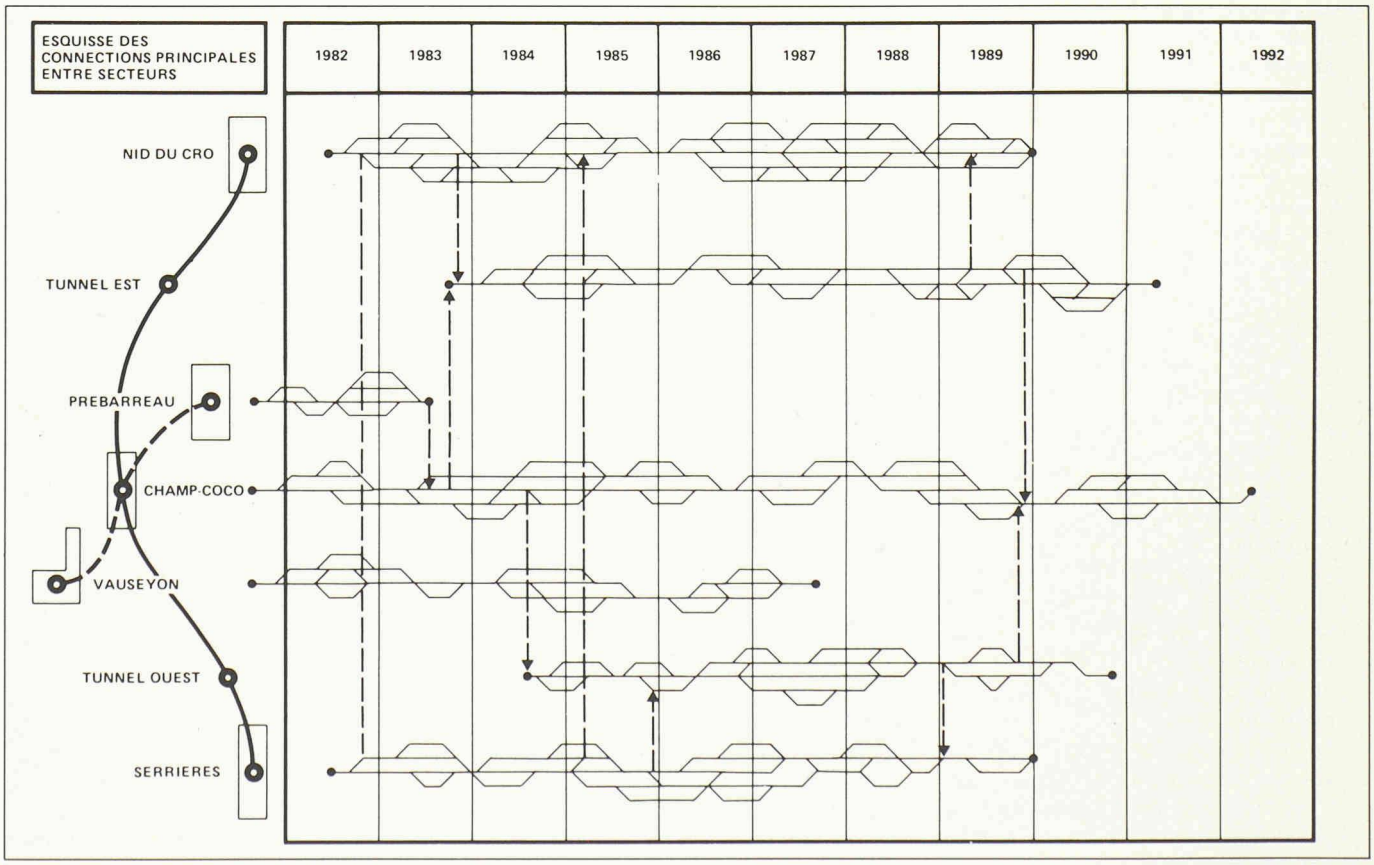


Fig. 8 – Esquisse très générale d'une des premières versions de la planification des travaux liés à la traversée de Neuchâtel en tunnels par la N5.

nification et utilisés comme cadre de référence lors des discussions avec les divers mandataires, ne furent introduits précisément qu'en fin d'analyse détaillée des diverses zones: dans notre exemple, ce travail de synthèse incomba principalement au service de coordination générale de l'Etat. L'analyse de la solution globale dut bien sûr remettre en cause quelques solutions partielles. Certaines variantes d'organisation des tunnels, liées aux *divers procédés de creusement présentés* par les consortiums lors de l'appel d'offres, furent analysées de cette manière.

Le Bureau RN5 du canton créa donc un poste de planificateur pour la gestion des délais, des budgets annuels et des plans à plus long terme. Les représentations graphiques élaborées par cette instance, sur ordinateur, furent et sont toujours largement utilisées en tant *qu'instruments de négociation et de référence.* On peut y suivre régulièrement l'évolution des travaux, y déceler les retards et leurs conséquences, intervenir au bon endroit, au bon moment. Ces documents font partie des éléments principaux du tableau de bord du responsable de la N5. L'information courante est recueillie systématiquement dans les divers secteurs en chantier, analysée et introduite périodiquement sur terminal. Tous les états de sortie sont créés par l'utilisateur même, selon ses vœux.

La planification de la traversée de Neuchâtel en tunnels présente surtout deux aspects significatifs, par rapport à d'autres projets semblables, qui méritent d'être relevés ici:

- *le chemin critique*, définissant la durée totale du chantier sur quelque dix années, voyage alternativement d'un secteur à l'autre au cours de déroulement des travaux, tout en se glissant longuement, la plupart du temps, dans le creusement même des tunnels routiers. Dans le planning, la présence de «liaisons logiques» entre zones géographiques, matérialisées concrètement par la construction des deux grands tunnels et du raccordement à la T20, se traduit finalement par un ensemble de contraintes venant des secteurs adjacents, qui agissent parfois impérativement sur chacune des directions locales: *les chantiers sont en effet assez interdépendants*, ce qui nécessite précisément une bonne coordination d'ensemble. D'autres parties du planning, par contre, situées hors des chemins critiques, réservent heureusement des marges importantes à l'exécution des travaux et une plus grande souplesse au maître de l'ouvrage;
- quoique exercé en tenant compte des vœux d'organismes extérieurs (CFF, PTT, Services industriels, etc.), *le management est entre les mains d'un seul maître d'ouvrage* qui a bien sûr délégué une part des tâches à ses mandataires. Cette situation très centralisée (courante dans le cas des routes nationales, mais particulièrement délicate pour la réalisation de tunnels à faible profondeur en milieu urbain) n'est surtout pas à considérer comme privilégiée par rapport à celle d'autres projets où les désirs de plusieurs maîtres d'ouvrage se trouvent confrontés l'un à l'autre. L'absence d'un processus de négociation progrssive rend souvent la tâche du dirigeant plus complexe. On entrevoit donc ici une occasion unique qui s'offre au planificateur de tester, d'imaginer et de comparer entre elles les diverses conséquences liées au choix des solutions à retenir.

(à suivre)

Adresse de l'auteur:
Marcel Bourquin
Ing. dipl. EPFZ/SIA
et dipl. MBA/HEC
Rue J.-J.-Lallemand 1
2000 Neuchâtel

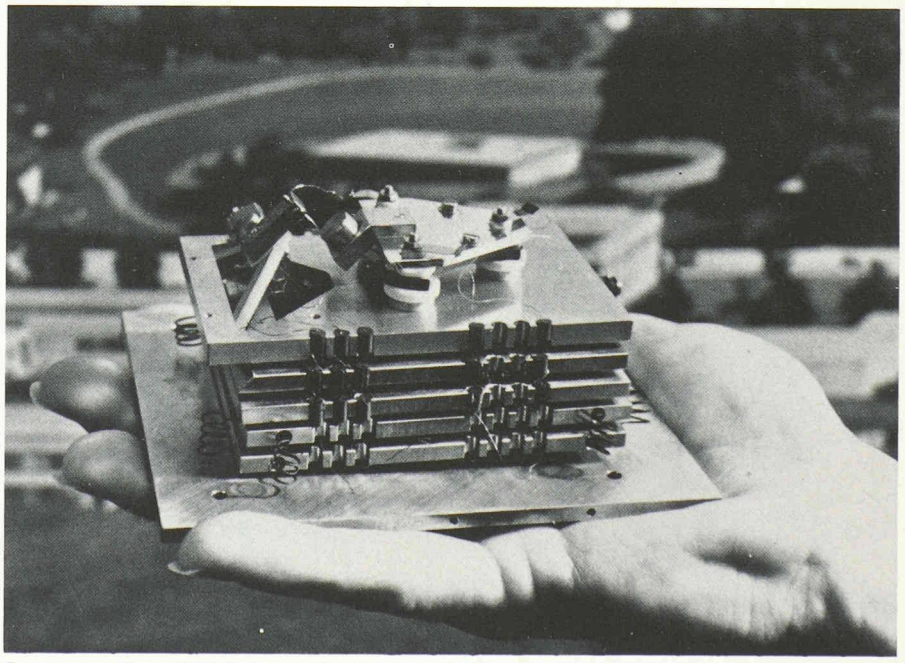
Industrie et technique

Nouveau microscope pour l'obtention d'images d'atomes

Le Laboratoire suisse de recherche fondamentale d'IBM construit un nouvel instrument. Des scientifiques travaillant au Laboratoire de recherche IBM de Rüschlikon, près de Zurich, ont construit un nouveau microscope à effet-tunnel dont le dispositif de balayage est suffisamment petit pour tenir dans la main. Grâce à sa taille réduite, ce nouvel instrument innovateur peut être utilisé avec d'autres microscopes pour faire un «zoom» sur des structures atomiques superficielles et en produire des images. Il s'agit là du dernier développement en date d'une technique scientifique, la microscopie à effet-tunnel, inventée et utilisée pour la première fois par le Laboratoire IBM de Rüschlikon en 1981. Le dispositif de balayage du premier microscope à effet-tunnel était beaucoup plus grand. Les deux instruments sont toutefois basés sur le même principe physique et utilisent une électronique similaire.

Le microscope à effet-tunnel sert à montrer l'arrangement des différents atomes sur une grande variété de surfaces. Il produit notamment des images des atomes tels qu'ils apparaissent réellement à la surface de matériaux comme l'or, le silicium et le graphite. IBM l'utilise pour ses recherches sur les propriétés et le comportement de plusieurs matériaux au niveau atomique et notamment pour l'étude de surfaces et d'interfaces qui joueront un grand rôle dans les futurs circuits d'ordinateur.

La microscopie à effet-tunnel «voit» les atomes par balayage horizontal bidirectionnel d'un petit crayon émetteur positionné à quelques diamètres atomiques au-dessus du matériau que l'on veut étudier. Bien que leurs atomes ne se touchent pas, un courant électrique circule entre la pointe du crayon et la surface du matériau, croissant et décroissant de manière extrêmement sensible lorsque la pointe s'en rapproche ou s'en éloigne. Quand la pointe se déplace latéralement, la position verticale est asservie pour garder un courant constant. Cela signifie que sa distance par rapport à la surface est maintenue constante elle aussi et que le crayon émetteur trace un profil de la sur-



Le nouveau dispositif de balayage du microscope à effet-tunnel tient dans une seule main. Il est pourtant suffisamment élaboré pour permettre aux scientifiques de voir les atomes à la surface de certains matériaux.