Les systèmes d'information du territoire et leur exploitation en génie urbain

Autor(en): **Leclerc, G. / Golay, F. / Chevallier, J.-J.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural**

Band (Jahr): **87 (1989)**

Heft 5

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-234043

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Les systèmes d'information du territoire et leur exploitation en génie urbain

G. Leclerc, F. Golay, J.-J. Chevallier

L'ingénieur urbain, dans son travail quotidien, utilise un large éventail d'informations qu'il transforme par des modèles mathématiques. Le développement des systèmes de gestion de bases de données, des méthodes de conception assistée par ordinateur (CAO), de l'infographie et de la micro-informatique rendent faisable l'intégration des sources d'information numériques et des logiciels de calcul utilisés en génie urbain.
Cet article présente les diverses questions que cette intégration soulève et discute des transformations des données des bases permanentes en données de travail, intrants des modèles mathématiques. Ces transformations formelles ou informationnelles peuvent prendre la forme d'un algorithme, d'une interrogation interactive graphique ou d'un système-expert; elles sont illustrées par un exemple de simulation du ruissellement produit par un bassin de drainage urbanisé.

In seiner täglichen Arbeit verwendet der Stadtingenieur eine breite Palette von Informationen, die er mit Hilfe mathematischer Modelle umwandelt. Die Entwicklung der Datenverarbeitungssysteme, der computergestützten Planung, der grafischen Information und der Mikroelektronik lassen die Integration numerischer Informationsquellen und in der Stadtplanung verwendeter Rechenprogramme möglich werden.
Dieser Bericht stellt die verschiedenen Fragen vor, welche diese Integration aufwirft, und handelt von der Umwandlung permanenter Grunddaten in Arbeitsdaten durch mathematische Modelle. Diese formellen oder datenbezogenen Transformationen können in der Form von Algorithmen, grafisch-interaktiven Abfragen oder Expertensystemen vorkommen. Sie werden am Beispiel einer Simulation des durch ein städtisches Drainagebecken verursachten Sickerns erläutert.

1. Introduction

Les infrastructures urbaines constituent l'objet premier des activités de l'ingénieur urbain. Elles servent aux déplacements des personnes et des biens, à l'approvisionnement en ressources énergétiques et en eau potable, à l'élimination des déchets solides et liquides, aux communications et au support des activités de l'administration municipale. L'ingénieur urbain planifie et dimensionne leurs composantes, veille à leur construction, établit des stratégies d'opération et d'entretien et participe à la mise en œuvre de ces stratégies d'intervention.
Les décisions que l'ingénieur prend quotidiennement s'appuient sur une connaissance du milieu intégrant les informations sur l'occupation du territoire, sur le mobilier urbain, sur les demandes à satisfaire, sur les ressources disponibles et la règlementation locale et nationale. Ces informations sont regroupées en deux classes: celles indépendantes d'une localisation spécifique sur le territoire, et celles ayant une référence spatiale (directe ou indirecte); les premières peuvent être gérées dans des banques de données classiques (de type administratif), alors que les secondes doivent être gérées dans des *systèmes d'information du territoire (SIT).*
Le développement des SIT, déjà amorcé dans de nombreux pays, engendre d'intéressants gains de productivité pour les activités de l'ingénieur urbain. Ces gains de productivité dépendront toutefois en grande partie de la qualité des couplages qui seront mis en place entre les bases de données permanentes et les modules d'application des modèles mathématiques utilisés par l'ingénieur urbain. Ces couplages sont beaucoup plus qu'un simple transfert de données, ces dernières devant typiquement être transformées pour constituer les intrants aux modules d'application.
Le but de cette présentation est de situer et de discuter ces transformations. Au départ sont précisés les besoins en informations de l'ingénieur urbain dans ses différentes activités; ensuite sont répertoriées les informations qu'il peut obtenir d'un SIT, qu'il s'agisse d'informations d'intérêt général, dont la gestion est soumise à des contraintes particulières, ou d'informations d'intérêt spécifique au génie urbain, gérées en toute autonomie par les organismes compétents. Les transformations qui permettent d'utiliser les informations d'un SIT pour la réalisation d'études et de mises en œuvre sont étudiées, et une organisation adéquate des bases de données est suggérée. Ces concepts sont finalement illustrés par l'exemple d'une simulation du ruissellement d'un épisode pluvieux en milieu urbain.

Cet article est basé sur le texte d'une conférence présentée lors de la *Foire des Municipalités* à Braga (Portugal) en mai 1988. Il a été élaboré dans le cadre d'une collaboration entre l'Ecole Polytechnique de l'Université de Montréal et l'Institut des mensurations de l'EPFL.

2. Activités et besoins en informations de l'ingénieur urbain

2.1 Activités principales de l'ingénieur urbain

Les activités de l'ingénieur urbain se regroupent en deux fonctions principales [1]: l'étude et la mise en œuvre de projets.

a) Etude de projets

L'étude de projet a pour finalité l'analyse de variantes et l'élaboration de stratégies d'intervention; elle comprend les activités suivantes:

- la planification et le dimensionnement de nouveaux éléments d'une infrastructure;
- l'élaboration de plans et devis;
- la planification de l'opération des infrastructures et des activités qu'elles rendent possibles;
- l'analyse de stratégies d'entretien préventif et d'urgence.

Cette fonction est caractérisée par des besoins en informations sur le territoire et son mobilier, sur les phénomènes mis en jeu et sur les ressources disponibles pour réaliser les stratégies recommandées. Elle fait appel à des outils mathématiques, généralement informatisés et souvent intégrés à des progiciels de conception assistée par ordinateur (CAO): à titre d'exemples, le modèle SERAIL [2] pour l'analyse de l'assainissement urbain et le système CASTOR [3] pour la planification des aménagements hydroélectriques.

b) Mise en œuvre de projets

La mise en œuvre de projets a pour finalité la coordination des projets, l'allocation, le suivi et le contrôle des ressources et l'évaluation de l'efficacité des stratégies d'intervention. Elle comprend les activités suivantes:

- le contrôle et le suivi
  - des projets de construction,
  - des programmes d'exploitation et d'entretien;

- le contrôle du respect de la règlementation municipale;
- la coordination des nombreuses interventions sur les infrastructures, par des entrepreneurs aussi bien privés que publics;
- l'entretien d'urgence;
- la documentation des interventions et la rédaction de rapports de synthèse pour les administrateurs des services et de la municipalité.

Cette fonction est caractérisée par l'action, et par de courts délais pour la prise de décision; des renseignements variés sur l'évolution de la situation sont indispensables, et une base cartographique permettant de situer d'un simple regard ces informations sur le territoire est particulièrement utile. L'usage de logiciels est beaucoup moins généralisé dans les activités de mise en œuvre que dans les études, bien que l'informatisation puisse entraîner là aussi un accroissement de l'efficacité.
A titre d'exemple, et bien que ces outils de gestion ne soient pas basés sur un SIT, on peut citer:

- le module développé par le Water Department de la ville de Philadelphie [4], qui facilite la localisation précise des malfonctionnements rapportés, le choix des travaux d'urgence et la numérisation des données relatives à l'intervention réalisée;
- le module de gestion des permis de construction, mis au point par la ville de Hull au Québec [5].

Les fonctions d'étude et de mise en œuvre sont bien sûr complémentaires, et la part de son travail que l'ingénieur urbain consacre à chacune d'elles varie selon le poste qu'il occupe; il est cependant appelé à répondre aux exigences de l'une et de l'autre dans son travail.

2.2. Besoins en informations

Les types d'informations nécessaires à l'ingénieur urbain pour ses activités d'étude et mise en œuvre sont sensiblement les mêmes, leur catalogue détaillé et leur forme pouvant varier selon les objectifs poursuivis, la phase atteinte par le projet, les critères de décision, etc... Pour les deux types d'activité, la numérisation des informations, conformément à un modèle structuré adéquat, est source d'accroissement de productivité et génératrice de solutions mieux étayées. Les informations que l'ingénieur urbain utilise peuvent être regroupées en quatre classes génériques:

- informations structurelles;
- informations phénoménologiques ou de comportement;
- informations thématiques;
- informations de gestion de projet.

a) Informations structurelles

Les informations structurelles se rapportent à des objets réels ou virtuels clairement localisés sur le territoire. On peut citer, parmi les objets réels, les réseaux routiers, les bâtiments, les canalisations de tout genre, et parmi les objets virtuels, les parcelles, les lots et les limites des régions administratives. Ces objets ont une référence spatiale directe, alors que leurs caractéristiques ont une référence spatiale indirecte par association à l'objet.

b) Informations phénoménologiques (de comportement)

Les informations phénoménologiques permettent de simuler le comportement d'un système ou d'une infrastructure sous diverses conditions d'opération. La courbe hauteur-débit d'un déversoir, ainsi que la relation puissance-hauteur de charge-débit d'une pompe centrifuge, décrites par des données tabulées ou par les paramètres d'une équation, sont deux exemples d'informations essentielles pour reproduire le comportement de l'objet et du système à l'étude.

c) Informations thématiques

Il existe une variété quasi illimitée de telles informations, ciblées sur les différents thèmes qui peuvent intéresser l'ingénieur urbain dans son activité. Nous nous limiterons à considérer, dans le cadre de cette présentation, les informations thématiques à référence spatiale, qui peuvent être représentées sur des *cartes thématiques.* Elles sont souvent issues de données recueillies ponctuellement, puis transformées à l'aide de traitements statistiques simples, ou à l'aide de chaînes de traitement élaborées utilisant des logiciels de simulation spécialisés ou faisant appel à une expertise spécialisée.
Les informations thématiques constituent un mode privilégié de présentation des résultats; ils servent à la prise de décision et d'intrants aux études menées par d'autres spécialistes. Les cartographies des plaines inondables, produites par les hydrologues, sont un intrant à la planification de l'utilisation du sol par les urbanistes; les renseignements sur le zonage et sur l'évolution de la population sont un intrant à la planification du réseau de drainage municipal.
Les plans d'occupation du sol, de zonage, une carte de la répartition spatiale d'une caractéristique socio-économique (salaire annuel, enfants en âge de scolarité, etc...), la localisation des plaines inondables, des terres agricoles, sont autant d'exemples d'informations thématiques.
Par extension, des informations relatives à des phénomènes physiques tels que les précipitations, les déplacements origine-destination, la qualité des eaux souterraines seront aussi considérées comme des informations thématiques. Ces informations sont échantillonnées ponctuellement, et des cartes thématiques peuvent être élaborées sur la base des observations ponctuelles.

d) Informations de gestion de projet

Ces informations n'ont souvent pas de référence spatiale directe, puisque elles sont associées à un projet d'ingénierie. Elles se rapportent à l'utilisation des ressources humaines, matérielles et d'équipement, à la durée et au coût des différentes tâches intervenant dans un projet. Ces informations sont nécessaires à l'obtention des coûts unitaires utilisés dans l'estimation des coûts d'une variante, critère de comparaison fréquemment adopté dans les études; il est avantageux de rendre ces coûts unitaires, synthèse des coûts réels, disponibles à l'ingénieur urbain.
L'ingénieur urbain exploite donc plusieurs classes d'informations, aussi bien pour l'étude que pour la mise en œuvre des solutions qu'il préconise. Il en déduit les intrants et les paramètres des modèles mathématiques, et les informations de synthèse nécessaires à la prise de décision.
Si certaines de ces informations, à l'exemple des coûts unitaires, n'ont aucune référence spatiale, un grand nombre de ces informations ont une référence spatiale, directe ou indirecte.

3. Les systèmes d'information du territoire (SIT)

La gestion numérique des informations sans référence spatiale ne pose actuellement plus guère de problèmes techniques ou organisationnels majeurs: des systèmes d'information (SI) complexes, réalisés à l'aide de systèmes de gestion de bases de données (SGBD) cohérents et puissants, et mis en œuvre en recourant à des méthodes d'analyse éprouvées, existent depuis longtemps déjà dans les domaines administratif et bancaire.
Par contre, la gestion et la mise à disposition sous une forme adéquate des informations à référence spatiale pose encore des problèmes aussi bien techniques qu'organisationnels considérables. Un *système d'information du territoire (SIT),* appelé parfois aussi, avec quelques nuances entre les définitions, *système d'information à référence spatiale ou système d'information géographique,* est précisément une solution globale et cohérente à la gestion d'informations à référence spatiale.
Selon une définition élaborée par la Fédération internationale des géomètres [6], un SIT

«est un instrument de décision dans les domaines juridique, administratif et économique, et une aide pour la planification et le développement; il comprend, d'une

part, une base de données se rapportant au sol sur un territoire donné, et, d'autre part, les procédures et techniques nécessaires à la mise à jour systématique, au traitement et à la diffusion des données.»

Cette définition distingue clairement les *objectifs* de la *forme* des SIT:

- Des objectifs dépend principalement le *contenu* du SIT: quelles informations est-il opportun de gérer dans un SIT?
- De la forme dépend principalement la spécification des types de données par lesquels les informations conformes aux objectifs sont décrites.

3.1 Contenu des SIT: les modèles d'informations

Un SIT doit être un système évolutif, dont le contenu et les fonctionnalités doivent pouvoir être adaptés et étendus en fonction de l'évolution des besoins en informations de ses utilisateurs: nous n'allons donc pas proposer un catalogue d'informations exhaustif pour un SIT – qui ne saurait être universel et définitif! –, mais simplement suggérer quelques *modèles d'informations* susceptibles de faire partie d'un SIT. Nous définissons un modèle d'informations comme un ensemble d'informations homogène et cohérent, couvrant un domaine d'application précis du SIT.

Nous pouvons distinguer en particulier:

- des modèles de *référence générale,* décrivant les objets que l'on peut voir sur le sol, et auxquels peuvent se référer les autres modèles d'informations; il s'agit essentiellement de la topographie, regroupant le relief et la couverture du sol (routes, maisons, forêts, lacs, etc...).
- des modèles *juridiques,* regroupant les informations décrivant les assiettes de droits et de leurs restrictions, conformément à une législation donnée; parmi ces modèles, citons les cadastres juridiques et les différents zonages légaux (aménagement du territoire, protection de la nature et des ressources naturelles, ...):
- des modèles regroupant des informations d'*intérêt commun* à plusieurs intervenants sur le territoire, comme par exemple la situation des conduites souterraines;
- des modèles *spécialisés,* qui regroupent des ensembles d'informations d'intérêt exclusif à un domaine d'application particulier du SIT, comme le génie urbain, et qui relèvent de la responsabilité exclusive d'un seul et même organisme, comme le service municipal d'assainissement.

Chaque intervenant sur le territoire applique aux informations dont il dispose des traitements qui lui sont propres. Ainsi, chaque intervenant cherche, dans une première phase, à définir et à gérer lui-même

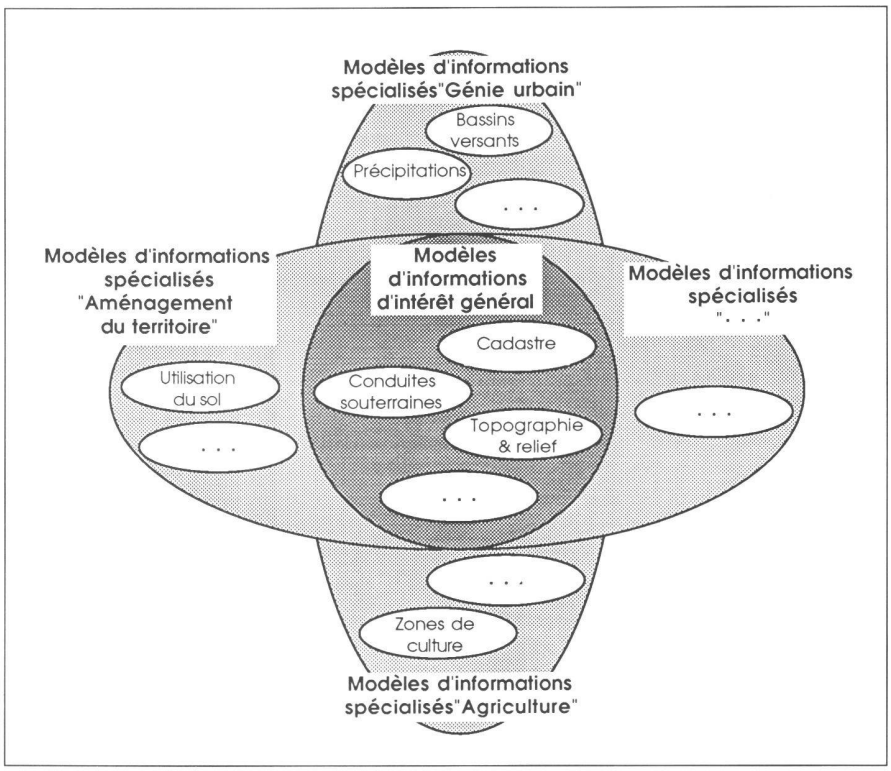

Fig. 1: Structure organisationnelle d'un SIT

les informations qui l'intéressent, sous une forme compatible avec ses propres applications; mais une telle démarche a pour conséquence une redondance coûteuse dans la gestion des informations à référence spatiale: en effet, un grand nombre de ces informations peuvent aussi intéresser d'autres intervenants sur le territoire. C'est tout particulièrement le cas des informations relatives à la topographie et à la couverture du sol (modèles de référence générale), aux infrastructures, telles que les routes et les réseaux de conduites industrielles (modèles d'intérêt commun) et à l'aménagement du territoire, telles que les zonages (modèles juridiques).

Dans une seconde phase, il cherche alors des solutions techniques et organisationnelles lui permettant de partager directement avec d'autres intéressés les informations d'intérêt général, et d'en rationaliser la gestion; le rapide développement de l'informatique ces dernières années, et plus particulièrement des bases de données et de l'infographie, a apporté les solutions techniques adéquates, alors que des solutions organisationnelles peuvent être trouvées par les intervenants dans un cadre public ou privé [7].

De manière à ce que les informations intéressant plusieurs intervenants sur le territoire puissent être partagées, elles doivent être soumises à des normes minimales très strictes, relatives à leur référence spatiale commune, à leur définition univoque, à leur qualité et leur mise à jour. Les informations qui relèvent exclusivement des modèles spécialisés doivent, quant à elles, pouvoir être mises en relation avec les autres informations du SIT, et doivent par conséquent aussi remplir certaines conditions minimales.

Ces problèmes sont abordés en détail dans [7], mais il convient de relever ici que toutes ces informations ont un *caractère de permanence élevée.*

La figure 1 illustre la structure organisationnelle d'un SIT, constitué d'un noyau de modèles d'informations d'intérêt général, autour duquel gravitent divers modèles d'informations spécialisés. Chaque intervenant sur le territoire peut avoir accès au sous-ensemble du SIT qui lui est nécessaire.

3.2 Les bases de données

Les informations regroupées dans les modèles d'informations énumérés ci-dessus doivent être décrites à l'aide de *données* permettant la gestion de ces informations sous forme analogique ou numérique.

Le stockage d'informations sous forme analogique (plans graphiques) a certes encore beaucoup d'importance aujourd'hui. Cependant, pour atteindre la flexibilité et l'évolutivité requises d'un SIT, un stockage et une gestion des informations sous forme numérique sont indispensables; dans ce cas, les données sont gérées sous forme d'ensembles structurés: les *bases de données.*

Les bases de données à référence spatiale peuvent être classifiées selon deux critères essentiels: le *type de référence spatiale,* et le *type de structure de données.*

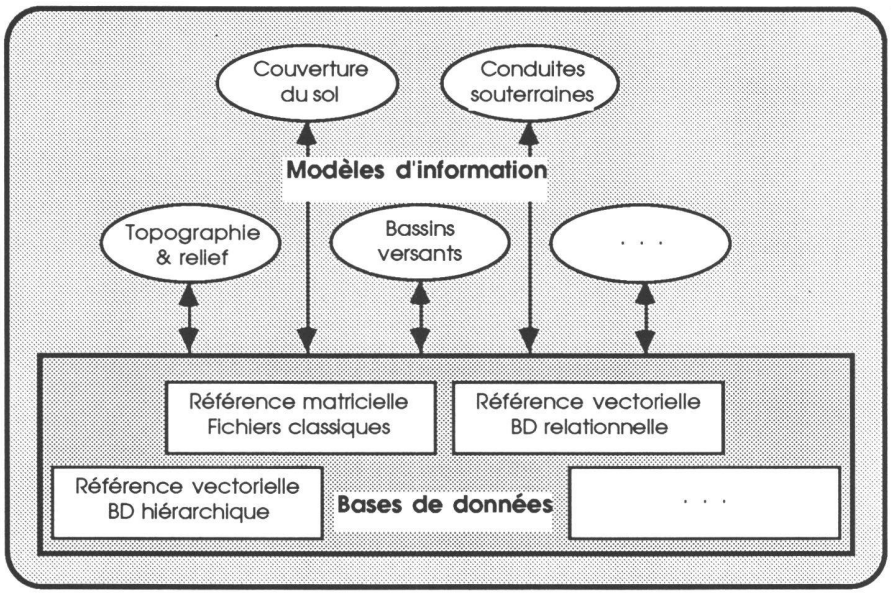

Fig. 2: Structure technique d'un SIT

On peut distinguer deux types de référence spatiale:

- la *délimitation d'objets* sur le territoire, à l'aide de primitives géométriques (points, lignes, surfaces); ce type de référence spatiale est souvent qualifié de «vectoriel». Chacun des objets ainsi délimités peut être caractérisé par un ensemble de valeurs.

  Un cas particulier de la délimitation d'objets est la discrétisation d'un ensemble de points sur le territoire, à l'exemple d'un réseau de pluviomètres.
- la définition d'une *maille régulière couvrant le territoire, chaque élément de la maille étant caractérisé par un ensemble de valeurs; ce type de référence spatiale est généralement appelé «raster» (ou «matriciel»).*

Alors que la délimitation d'objets est particulièrement bien adaptée au stockage d'informations de précision élevée et aisément délimitables, telles que les informations structurelles, les mailles régulières sont essentiellement utilisées pour le traitement d'images-satellite ou pour la compilation d'informations statistiques à l'échelle régionale ou nationale.
Indépendamment du type de référence spatiale, on peut distinguer plusieurs types de structures de données numériques:

- Dans les cas les plus simples, les données numériques nécessaires à l'exécution d'un programme informatique sont regroupées dans un *fichier,* que le programme lira séquentiellement durant son exécution.

  De telles structures de données sont étroitement liées au programme pour lequel elles ont été conçues. Mais du moment où ces données sont intégrées dans une chaîne de traitements, et qu'elles sont donc produites ou utilisées par d'autres programmes, leur stockage dans des fichiers séquentiels n'est plus du tout satisfaisant: des reformatages de données fastidieux sont en effet nécessaires entre chaque traitement.
- On préférera alors gérer ces données dans des *banques de données,* caractérisées par:
  - des structures de données indépendantes des traitements qui leur sont appliqués;
  - des fonctions d'accès aux données indépendantes des formats de stockage des données dans la mémoire du système (la structure interne des données est transparente aux applications qui y accèdent).

a) Bases de données permanentes

Toutes les données du SIT ont un caractère de permanence élevée, à l'instar des informations qu'elles représentent: on appellera donc *bases de données permanentes* les bases de données dans lesquelles sont colligées les données du SIT.
La figure 2 illustre la structure technique d'un SIT: les informations, regroupées en différents modèles d'informations, sont représentées numériquement par des données stockées dans un ensemble de bases de données qui se distinguent aussi bien par leur type de référence spatiale que par leur type de structure de données.

b) Bases de données de travail

Toutes les informations que nous avons considérées dans le cadre du SIT présentent un caractère de permanence élevée, dont la validité dépasse en principe de beaucoup la durée d'étude et de mise en œuvre d'un projet de génie urbain.
De plus, ces informations sont gérées sous une forme proche de celle de la saisie initiale, en restreignant ainsi le moins possible le domaine d'utilisation ultérieure; mais de par ce fait, elles sont inaccessibles à la plupart des modules et logiciels d'application, qui imposent des contraintes spécifiques très rigoureuses à leurs intrants.
Il paraît donc opportun de colliger toutes les données nécessaires à la réalisation d'un projet spécialisé dans une *base de données de travail,* contenant:

- des données permanentes, ad hoc ou extraites des bases de données permanentes, mais stockées sous une forme compatible avec les modules d'application qui seront utilisés dans le cadre du projet;
- des données provisoires, propres au projet en cours, et constituées en particulier par les données et les résultats propres aux différentes variantes de calcul, qui enrichissent la base de données au fur et à mesure de l'avancement du projet, et par les données de suivi de projet.

Ces bases de données sont donc évolutives, et leur durée de vie est limitée à celle du projet. En fin de projet, certaines données peuvent être réinjectées dans une base de données permanente; la plupart des données seront cependant simplement archivées.

Sous cet aspect, la base de données de travail constitue un véritable dossier numérique de projet.

3.3 Transformations de données

Le transfert de données des bases de données permanentes vers les bases de données de travail, illustré sur la figure 3, implique généralement certaines transformations de ces données, qui peuvent être de deux types:

les *transformations formelles* ne modifient que la forme des données extraites; il peut s'agir:

- d'un changement de type de référence spatiale, de type vectoriel au type raster ou réciproquement;
- d'un changement de type de structure de données (transformations entre fichiers classiques et banques de données, par exemple);
- d'un simple changement de format numérique;

les *transformations informationnelles* impliquent un enrichissement sémantique des données extraites; nous pouvons distinguer:

- les transformations de *schématisation,* qui consistent à définir une nouvelle

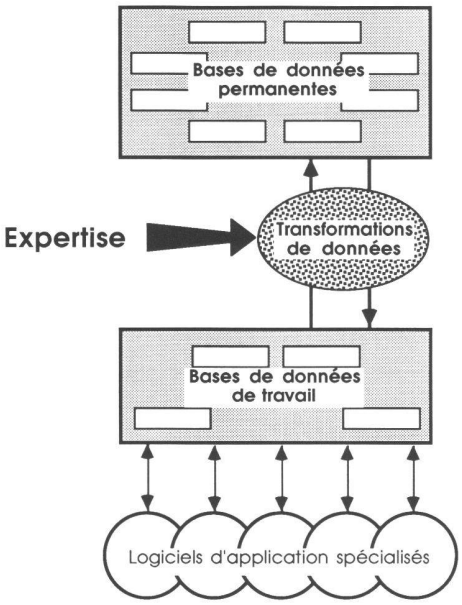

Fig. 3: Transformations de données

description géométrique des objets existants, plus simple que l'original;

- les transformations de *paramétrisation,* qui consistent à paramétrer les modules d'application spécialisés sur la base des informations permanentes disponibles;
- les transformations de *discrétisation,* qui consistent à isoler des évènements caractéristiques parmi des données temporelles.

L'exemple donné dans le chapitre suivant permettra d'illustrer ces différentes notions.

Alors que les transformations formelles sont en principe de nature algorithmique, les transformations informationnelles impliquent l'apport d'informations supplémentaires par une personne compétente dans le domaine d'application spécialisé considéré.

L'utilisation des SIT pour l'étude et la mise en œuvre de projets, ainsi que l'application aux données d'un SIT de transformations formelles et informationnelles pour alimenter des bases de données de travail, intéressent non seulement l'ingénieur urbain, mais aussi tous les ingénieurs qui utilisent des données à référence spatiale dans leurs modèles mathématiques.

Ainsi, l'Institut de génie rural de l'EPFL étudie, pour ses propres applications, la mise en œuvre de banques de données à référence spatiale [8], leur constitution et leur mise à jour à partir de données originales telles que les images satellite ou les enregistrements de stations de mesure hydro-météorologiques automatiques, ainsi que le recours à des systèmes experts pour guider les utilisateurs dans le choix d'un modèle et la préparation des données nécessaires.

4. Exemple: simulation d'un épisode pluvieux en milieu urbain

4.1. Contexte de l'exemple

Pour vérifier l'efficacité théorique d'une variante de bassin de rétention des eaux pluviales, l'hydrologue a choisi de simuler son comportement par des pluies historiques, observées en plusieurs pluviomètres. Il doit simuler les hydrogrammes à l'entrée du bassin de rétention, produits par le ruissellement de la pluie sur le bassin de drainage à l'amont.

Il est supposé que les informations sur le territoire urbanisé (occupation du sol, réseau de conduites, topographie) sont disponibles. Il est aussi supposé que l'hydrologue a choisi le modèle URBAN [9] pour simuler le processus pluie-ruissellement; URBAN est une version, qui utilise la méthode des différences finies, du modèle MITCAT [10], mis au point à la fin des années 60 au MIT.

Les transformations des données disponibles en données d'entrée à URBAN sont répertoriées ci-après, après avoir décrit le modèle URBAN.

4.2. Description du modèle pluie-ruissellement URBAN

Ce modèle transforme la pluie reçue par un territoire naturel ou urbain, schématisé par des éléments de ruissellement et de transport, en hydrogrammes de ruissellement aux points choisis par l'hydrologue.

Le calcul est basé sur les équations cinématiques de l'écoulement [11]. Un exemple d'application au bassin urbanisé GRAY HAVEN est décrit en détail dans [12].

La schématisation du bassin de drainage est basée sur une représentation rectangulaire des sous-bassins, chacun utilisant au moins un élément de ruissellement unitaire (longueur Lc et largeur unitaire) et un élément de transport (longueur Ls). Les sous-bassins sont connectés de façon à reproduire les liens des sous-bassins réels. URBAN utilise ainsi une schématisation modulaire, telle qu'illustrée à la figure 4. Les modules (éléments de ruissellement) C1, C2, C3 et C4 reçoivent la pluie et la drainent dans le sens indiqué: C1 et C2 vers l'élément de transport S1, C4 vers C3, C3 vers S2; S1 et S2 drainent ces apports latéraux vers S3, qui les draine vers l'exutoire.

La précipitation est fournie à URBAN sous forme de données observées par plusieurs pluviomètres enregistreurs. Ce sont des observations ponctuelles desquelles un modèle spatial de la pluie réelle est déduit. URBAN, dans sa version actuelle, utilise la méthode des polygones de Thiessen. Les données de chaque pluviomètre sont fournies sous forme d'un histogramme illustré à la figure 5.

Finalement, le modèle URBAN utilise comme fonction de déperdition l'équation de Horton:

$$f(t) = (f_o - f_c)e^{-kt} + f_c$$

où: f(t) est le taux d'infiltration au temps t, calculé relativement à to,
fo est le taux initial (t = to),
fc est le taux ultime, indépendant de t, et
k est un paramètre de décroissance du 1er ordre.

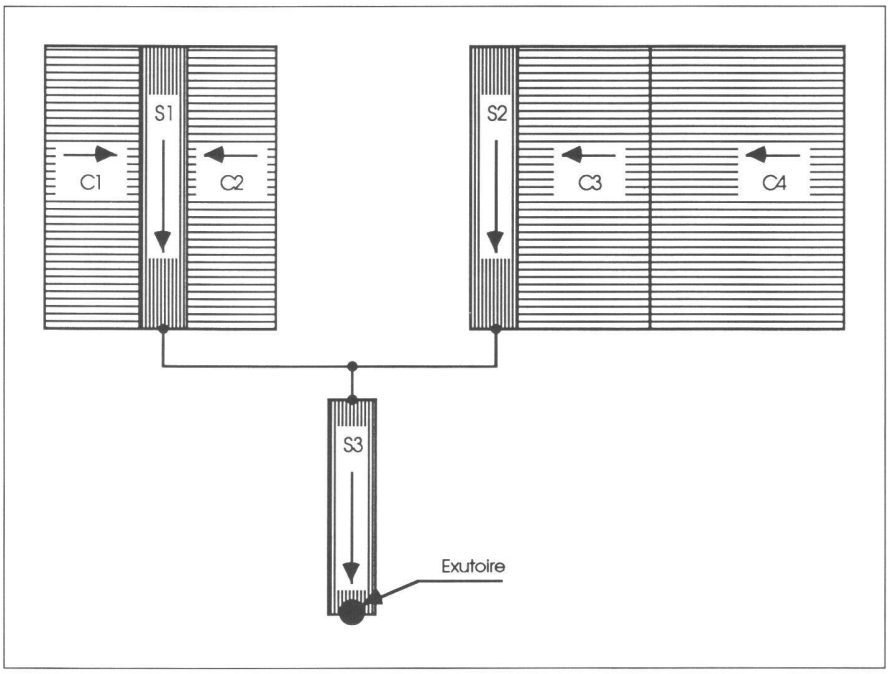

Fig. 4: Schématisation modulaire du bassin de drainage

On trouve un modèle structuré des intrants du programme URBAN dans la partie inférieure gauche de la figure 6.
Le choix du modèle URBAN pour cet exemple n'implique pas qu'il soit supérieur à d'autres modèles de pluie-ruissellement; comme tous les autres, ce modèle a ses limitations. Néanmoins, l'expérience de l'auteur principal montre que URBAN est adéquat pour les études de planification du drainage en milieu urbain.

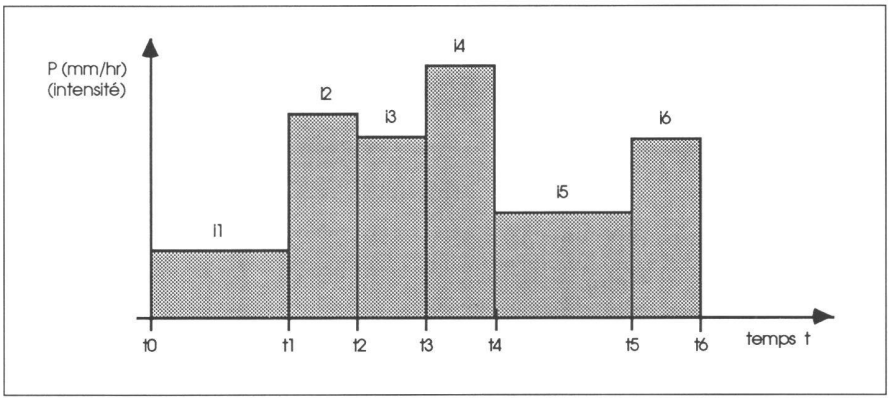

Fig. 5: Discrétisation de la pluie observée

4.3. Démarche de modélisation

Quelle que soit la forme sous laquelle les données sont mises à disposition de l'hydrologue, la procédure de modélisation suit les étapes suivantes:

a) Définition du bassin et décomposition en sous-bassins

Cette première étape a pour but de déterminer les frontières du bassin de drainage contributeur d'eau de ruissellement au bassin de rétention, et ensuite de décomposer le bassin en sous-bassins ayant des caractéristiques «homogènes».

Les informations requises sont:

- la topographie du terrain,
- la couverture du sol,
- les éléments du réseau des conduites.

Une première transformation consiste à définir le bassin de drainage. De l'exutoire dont la localisation est connue, il s'agit de déterminer, en suivant les lignes de crête, les limites du bassin versant, prenant en compte la topographie et le sens de l'écoulement dans les conduites. Cette transformation est relativement directe en zone rurale, lorsque la topographie est bien marquée. Toutefois, des ambiguïtés peuvent survenir en terrain plat ou en zone urbaine, lorsque des paramètres autres que la topographie influencent l'écoulement des eaux.
Une seconde transformation – de type informationnel – est la décomposition du bassin en sous-bassins «homogènes». Chaque sous-bassin doit avoir des carac-

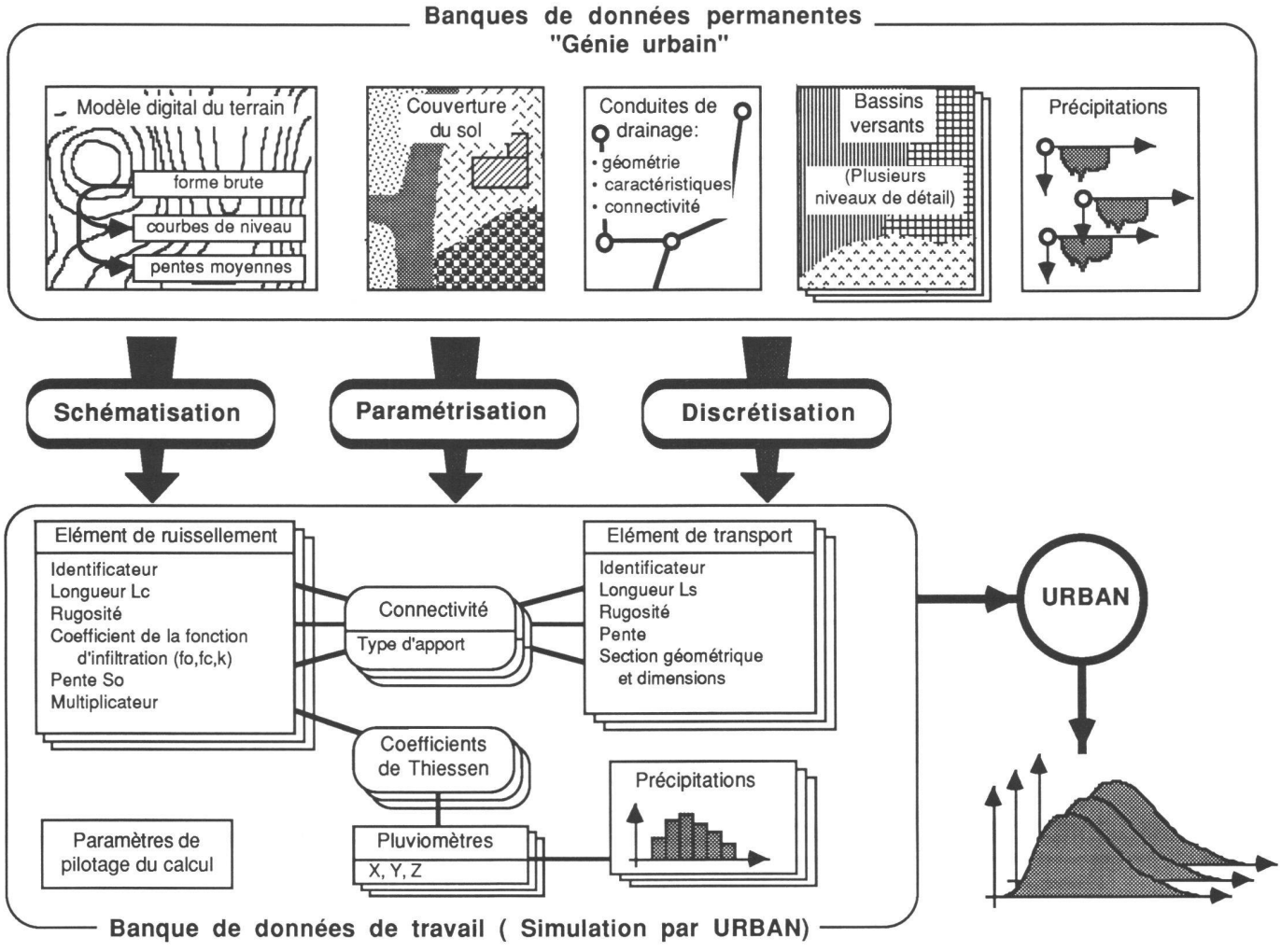

Fig. 6: Transformations informationnelles; modèle URBAN

téristiques physiographiques (couverture du sol, rugosité, pente, type de segment, etc...) assez homogènes pour qu'elles soient définies par une valeur numérique unique. L'hydrologue utilise des fourchettes de valeurs au-delà desquelles il est nécessaire de créer un nouveau sous-bassin; ces fourchettes sont obtenues par expérience et par des analyses de sensibilité des résultats à des variations dans les paramètres de schématisation du bassin. Cette seconde transformation exige donc une expertise qui, de l'avis des auteurs, doit encore être systématisée, en préalable à l'automatisation de la décomposition du bassin en sous-bassins homogènes.

Cette décomposition du bassin en sous-bassins «homogènes» requiert l'expertise d'un hydrologue.

Une troisième transformation consiste à calculer la superficie de chaque surface de ruissellement, par planimétrage ou par calcul. Cette transformation est purement algorithmique et ne pose aucune difficulté une fois les limites des sous-bassins déterminées.

b) Schématisation des sous-bassins

Il s'agit de représenter chaque sous-bassin, de forme quelconque, par des éléments de ruissellement et de transport, donc de «rectangulariser» chaque sous-bassin.
Il faut dans un premier temps choisir une longueur de ruissellement Lc qui soit représentative de la longueur réelle, et, dans un second temps, choisir la longueur Ls de l'élément de transport recevant les eaux de ruissellement. Le choix de Lc est déterminant, puisqu'il conditionne le facteur de filtrage des hautes fréquences de la pluie par le bassin.
Il faut ensuite ajuster la superficie du sous-bassin réel. Pour le cas d'une surface unique de ruissellement alimentant un caniveau, la superificie modélisée est:

$$A_{modélisée} = Lc \cdot Ls$$

Un multiplicateur, w, dont la valeur, basée sur notre expérience, doit satisfaire les contraintes:

$$0{,}75 \leq w \leq 1{,}5$$

est introduit; il est égal à:

$$w = A_{réelle} / A_{modélisée}$$

Ce multiplicateur s'applique aussi au débit de l'élément de transport correspondant:

$$Q_{réel} = w \cdot Q_{calculé}$$

Cette transformation requiert une expertise acquise par l'application du modèle URBAN à plusieurs études.
Une fois chaque sous-bassin schématisé, ils sont assemblés pour former le bassin global, la connectivité des éléments de transport et de ruissellement étant définie explicitement par des liens entre ces éléments. Cette étape est directe et ne pose aucune difficulté.

c) Paramétrisation des sous-bassins schématisés

Il s'agit de déterminer les valeurs représentatives de la pente s_o, de la rugosité, des paramètres des sections d'écoulement (diamètre, pente des côtés, ...), intrants au calcul des paramètres α et m des équations cinématiques de l'écoulement. Ce sont des valeurs «moyennes», représentatives des valeurs réelles, qui découlent des choix faits pour décomposer le bassin en sous-bassins «homogènes».

Passer du bassin réel de drainage à son modèle schématisé impose des simplifications et des agrégations. Ces transformations sont fondées sur l'expertise de l'hydrologue.

d) Schématisation spatiale de la pluie

Les observations de la pluie constituent des échantillons ponctuels des précipitations; il est nécessaire de reconstituer la précipitation reçue par chaque sous-bassin.
Diverses possibilités s'offrent à l'hydrologue; l'une d'elles, reprise par URBAN, est le modèle spatial dérivé de la méthode des polygones de Thiessen:

Soit:

$P^C(\Delta t)$ la précipitation reçue par l'élément C durant l'intervalle Δt,

CP_i^C le coefficient de Thiessen qui quantifie l'influence du pluviomètre i sur l'élément C, et

$P_i(\Delta t)$ la précipitation moyenne observée au pluviomètre i durant l'intervalle Δt.

La précipitation est estimée par:

$$P^C(\Delta t) = \sum_{i=1}^{np} CP_i^C \cdot P_i(\Delta t)$$

où np est le nombre de pluviomètres, et $0.0 \leq CP_i^C \leq 1.0$

Ce coefficient peut être obtenu directement de la localisation des pluviomètres et de celle des sous-bassins, selon la méthode de Thiessen. C'est une transformation purement algorithmique, aisément automatisable.

e) Discrétisation des observations de la pluie

Cette transformation des observations des pluviographes consiste premièrement à identifier les épisodes pluvieux, deuxièmement à choisir l'épisode à simuler et troisièmement à définir une représentation adéquate des intensités de la pluie.

Les épisodes pluvieux sont définis par un début et une fin; le début peut l'être par le moment où la pluie commence à l'un des pluviomètres, la fin par celui où elle a cessé à tous les postes d'observation, ou lorsque l'intensité est inférieure à un seuil choisi par l'hydrologue. Dans ce cas l'identification des épisodes se fait par juxtaposition des hyétogrammes observés. D'autres critères peuvent aussi s'ajouter à ceux mentionnés si la période de vidange du bassin de rétention est aussi prise en compte.
Le choix de l'épisode à simuler est basé sur des critères tels que l'intensité maximale ou le volume total de pluie. Il s'agit alors d'évaluer la valeur de ces critères pour chaque épisode, et ensuite de les ordonner.
La numérisation des intensités consiste à reproduire chaque hyétogramme par un histogramme, en choisissant les intervalles de temps pour lesquels l'intensité est à toute fin pratique constante.

Ces trois transformations de discrétisation requièrent des paramètres de pilotage basés sur l'expertise de l'hydrologue; une fois ces paramères fixés, les transformations sont plutôt de nature algorithmique.

f) Paramétrisation de l'équation de Horton

Il s'agit de fixer la valeur numérique de fo, fc et k. C'est un exercice qui s'appuie actuellement sur une expertise empirique, notamment en milieu urbain où très peu d'hydrogrammes de ruissellement observés sont disponibles. L'approche suivie consiste à choisir ces valeurs sur la base de celles données dans la littérature scientifique et sur les résultats d'études réalisées dans la région. Il serait utile de développer une relation entre ces paramètres et la couverture du sol; une telle relation dépend aussi du pas de calcul δt de la simulation, ce qui complique encore le problème.

La paramétrisation de l'équation de Horton est une transformation informationnelle, qui se fonde sur une expertise qu'il sera nécessaire de systématiser pour en permettre l'automatisation.

4.4. Conclusion de l'exemple

Les diverses données du SIT sont transformées en intrants du modèle de simulation par schématisation (bassin de drainage et décomposition en sous-bassins), par paramétrisation (paramètres des éléments de ruissellement et de transport, de l'équation de Horton, des coefficients de Thiessen) ou par discrétisation (choix et représentation de l'épisode pluvieux).
Les résultats de ces transformations sont stockés dans la base de données de travail, qui recevra de surcroît les extrants de la simulation.

Ces transformations, illustrées globalement à la figure 6, constituent l'étape préparatoire au calcul de l'hydrogramme de ruissellement à l'entrée du bassin de rétention des eaux pluviales; ce calcul pourra débuter une fois les paramètres de pilotage de la simulation fixés par l'ingénieur. Ces transformations sont couramment effectuées par l'hydrologue à partir des cartes disponibles et des registres d'observations pluviométriques; pour atteindre l'efficacité envisagée par la mise à disposition d'un SIT pour le génie urbain, elles devront être informatisées.

Les auteurs ont entrepris le maquettage informatique des transformations informationnelles décrites dans l'exemple; ce maquettage est préalable au couplage informatisé complet de URBAN à un SIT. Pour cette première maquette, l'approche retenue est celle d'une interaction graphique entre l'hydrologue et l'ordinateur; c'est aussi le point de départ à la planification d'un éventuel système-expert supportant les transformations formelles et informationnelles, et pilotant la simulation.

5. Conclusion

Les SIT, ainsi que d'autres systèmes d'information sans référence spatiale directe, peuvent fournir aux intéressés des données au caractère de permanence élevée, pour toutes sortes de projets d'étude comme de mise en œuvre.

Il est essentiel que les bases de données permanentes, mises à disposition d'intervenants diversifiés, soient constituées selon des modèles rigoureusement structurés, et qu'elles soient soumises à des normes minimales assurant la définition univoque et l'intégrité des données qu'elles contiennent.

Il est parfois nécessaire de dériver de ces données permanentes l'information requise pour certaines applications spécialisées au moyen de transformations formelles et informationnelles, permettant d'alimenter la base de données de travail. Les transformations formelles ne modifient que la forme des données transformées, alors que les transformations informationnelles ont recours à une expertise spécifique appropriée pour établir de nouvelles informations, dérivées des données permanentes.

Les transformations peuvent prendre la forme d'un algorithme dont les paramètres de pilotage sont fixés par l'ingénieur, d'une interaction ingénieur-ordinateur ou d'un système-expert.

L'automatisation des transformations formelles et informationnelles ne saurait être réalisée sans étapes de maquettage et de prototypage, au cours desquelles il sera possible de systémiser et d'améliorer les méthodes présentement suivies par les ingénieurs, et aussi de planifier les systèmes-experts dédiés à ces transformations.

Le raffinement des modèles mathématiques utilisés en génie urbain constitue un nouveau champ de recherche appliquée, qui doit leur permettre de mieux prendre en compte les nouvelles informations mises à leur disposition par les SIT et d'autres systèmes d'information. Réciproquement, ces recherches devraient permettre de définir exactement la résolution et la qualité des informations à référence spatiale que l'ingénieur attend d'un SIT.

Références bibliographiques:

[1] Leclerc, G. et Chevallier, J.-J.: SIURS et génie urbain, vers un concept d'organisation, Centre de développement technologique, Ecole Polytechnique de Montréal, Montréal, Qué. 1986.

[2] Chocat, B.: Un système d'aide à la prévision et la conception des équipements d'assainissement, Thèse de docteur d'état, INSA-Lyon et université Claude Bernard Lyon 1, Lyon 1981.

[3] Marche, C., Soulié, M. et Tinawi, R.: CASTOR ou l'importance de l'intégration des systèmes CAO, Troisième colloque canadien sur la théorie des systèmes dans le génie civil, Ecole Polytechnique de Montréal, Montréal, Qué. 1987.

[4] Pritchard, R. and Thompson, R.: Operation Information System for the Waste and Storm Water Collection System, Actes du congrès L'informatique: facteur de productivité en gestion municipale, 12–14 mai 86, Palais des Congrès, Montréal, Qué. 1986.

[5] Ville de Hull, Répertoire de la programmathèque, document interne, Hull, Qué. 1985.

[6] Andersson, S.: LIS, What ist that? An Introduction, Actes du XVI[e] congrès international des géomètres, Montreux (Suisse), août 1981.

[7] Chevallier, J.-J., Leclerc, G. et Golay, F.: Systèmes d'information à référence spatiale (SIRS) pour les municipalités: pour quels besoins, à quelles conditions? Foire nationale des municipalités, cycles de conférences Informatisation municipale et systèmes d'information géographique, Braga, 23–25 mai 1988, Braga, Portugal.

[8] Caloz, R., Musy, A.: L'outil du changement, Polyrama n° 74, Lausanne 1986.

[9] Leclerc, G. et Schaake, J. C. Jr.: Derivation of Hydrologic Frequency Curves, Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, M.I.T. Technical Report 142, Cambridge, Mass. 1970.

[10] Harley, B. M., Perkins, F. E. et Eagleson, P. S.: A Modular Distributed Model of Catchment Dynamics, Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, M.I.T. Technical Report 133, Cambridge, Mass. 1970.

[11] Eagleson, P. S.: Dynamic Hydrology, Mc Graw-Hill Co., New-York 1970.

[12] Leclerc, G. and Schaake, J. C. jr.: Methodology for Assessing the Potential Impact of Urban Development on Urban Runoff and the Relative Efficiency of Runoff Control Alternatives, Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, M.I.T. Technical Report 173, Cambridge, Mass. 1973.

Adresses des auteurs

Prof. Guy Leclerc
Département du Génie civil
Ecole Polytechnique de Montréal
C.P. 6079, succursale A
Montréal (Québec)
Canada, H3C 3A7

François Golay
Géodésie et Mensuration
Ecole Polytechnique Fédérale
CH-1015 Lausanne

Dr Jean-Jacques Chevallier
Géodésie et Mensuration
Ecole Polytechnique Fédérale
CH-1015 Lausanne