

## **Exemple d'utilisation d'un SIG pour la gestion des données d'un modèle hydrologique à mailles carrées**

**F. DELCLAUX & G. BOYER**

*Laboratoire d'Hydrologie, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM), B.P. 5045, 34032 Montpellier, France*

**Résumé** Le couplage SIG-modèle hydrologique est d'un intérêt particulier pour la gestion de données spatialisées dans la modélisation hydrologique. Nous examinons ce problème sous le double aspect pratique et méthodologique à partir d'outils existants, le modèle distribué à mailles carrées MODLAC (ORSTOM) et le SIG ILWIS (ITC). Après une description de leurs fonctionnalités, nous définissons les opérations à réaliser dans le SIG pour traiter les informations nécessaires au modèle, puis nous évaluons les capacités d'ILWIS à réaliser ces tâches. Nous définissons enfin les caractéristiques minimales d'un SIG que l'on désire interfacer avec un modèle hydrologique distribué ou global.

### **INTRODUCTION**

Le cadre de cette étude est la connexion entre logiciels hydrologiques et géographiques existants et non conçus l'un en fonction de l'autre. Nous avons utilisé le modèle hydrologique distribué MODLAC (Girard, 1992) ce modèle, basé sur une discrétisation de l'espace en mailles carrées, nécessite une quantité importante d'informations géographiques. En ce qui concerne le SIG, nous avons utilisé le logiciel ILWIS (ITC, 1992) mis au point par ITC (Pays Bas).

Cependant, au delà du travail particulier du couplage d'un SIG avec un modèle hydrologique, nous avons essayé de répondre à une question plus générale et plus pragmatique : quel SIG pour quel modèle ?

### **DESCRIPTION DU MODELE HYDROLOGIQUE MODLAC**

MODLAC est un modèle hydrologique conceptuel basé sur une discrétisation du bassin versant en mailles carrées et fonctionnant au pas de temps journalier. Ses objectifs sont la mise à disposition d'un outil mathématique permettant de simuler divers scénarios d'aménagement.

#### **Le conceptuel discrétisé**

Le mode conceptuel repose sur deux fonctions qui simulent le fonctionnement du bassin versant :

- (a) la fonction de production qui évalue la partie de la pluie qui contribue à l'écoulement et qui répartit la lame d'eau écoulée entre les différentes formes de l'écoulement;
- (b) la fonction de transfert qui transforme les lames d'eau produites en

débits écoulés à l'exutoire du bassin.

La discrétisation permet de diviser le bassin en surfaces élémentaires homogènes sur chacune desquelles ce schéma conceptuel est appliqué.

### Les données géographiques

**Le maillage** Le bassin est inscrit dans un premier maillage régulier (quadrillage primaire) qui permet une première approche de la discrétisation et un calage aisé des photographies aériennes ou images satellite. Ce quadrillage initial étant trop grossier pour représenter correctement la complexité spatiale du bassin, il est découpé en mailles plus fines, les mailles secondaires, qui permettent de respecter les caractéristiques de la zone étudiée : superficie, localisation des postes pluviométriques et des aménagements hydrauliques, informations physiographiques.

**Caractéristiques et attributs des mailles** Des attributs sont définis pour chaque maille : physiographie, altitude minimale, sens de drainage, type de fonction de production, nature de la maille (une maille est déclarée "rivière" si elle contient un poste hydrométrique ou un aménagement hydraulique, ou si elle est comprise entre deux mailles "rivière". Sinon elle est dite maille "bassin").

### Les données hydrologiques

Les données hydrologiques sont classées en deux catégories, les séries chronologiques (pluie, débit, hauteur d'eau, ETP) et les données des aménagements.

**Les séries chronologiques** Les données de pluie et d'ETP sont les seules données chronologiques fournies en entrée. On attribue à chaque station sélectionnée une aire d'influence. Les séries de hauteurs d'eau dans les retenues et de débits aux stations hydrométriques sont utilisées pour le calage du modèle. Le pas de temps est journalier.

**Les données des aménagements** Chaque aménagement hydraulique est localisé sur une maille et possède des caractéristiques propres. Pour une retenue, nous aurons par exemple : le niveau d'eau, la relation hauteur/surface, la date de mise en service, les débits dérivés, etc.

### Les paramètres du modèle

Ce sont les paramètres des fonctions de production qui optimisent la restitution des données. L'opération de calage nécessite une bonne connaissance du fonctionnement mathématique et hydrologique du modèle car la procédure est manuelle, de type essai/erreur. Ces paramètres sont classés en deux groupes :

---

**Tableau 1** Les paramètres du modèle MODLAC - 1er groupe.**Stockage dans le sol par classe physiographique**

CRT : niveau correspondant à la capacité moyenne de rétention dans le sol. Une diminution de sa valeur conduit à une augmentation de la lame d'eau écoulée;

DCRT : capacité minimale de rétention dans le sol. Une augmentation de sa valeur conduit à une augmentation des forts débits (pics) sans trop faire varier le volume global;

RI : quantité d'eau initiale dans le sol : une augmentation de sa valeur conduit à une légère augmentation du volume écoulé total et à une forte augmentation en début de période.

**Tableau 2** Les paramètres du modèle MODLAC - 2ème groupe.**Réservoir conceptuel par classe physiographique**

FN : valeur maximale possible de l'infiltration : sa variation doit aller en parallèle avec celle de CQI; une augmentation de sa valeur implique une répartition plus importante de l'écoulement souterrain dans l'écoulement global;

**Écoulement superficiel par classe physiographique**

QRMAX : niveau maximal du réservoir superficiel : une augmentation de sa valeur conduit à une diminution du nombre de grandes crues;

CQR : coefficient de vidange du réservoir superficiel : une diminution de sa valeur conduit à une diminution de l'écoulement dans la période de crue;

**Infiltration par classe physiographique**

QIMAX : niveau maximal du réservoir souterrain : une augmentation de sa valeur conduit à une augmentation du volume écoulé dans la période d'étiage;

CQI : coefficient de vidange du réservoir souterrain : une augmentation de sa valeur conduit à une augmentation rapide des débits de base dans la période d'étiage.

les paramètres intervenant dans l'ajustement du volume écoulé global et les paramètres intervenant dans la forme de l'hydrogramme. (cf. Tableaux 1 et 2.)

## DESCRIPTION DU SIG ILWIS

### Principes, fonctionnalités

ILWIS, mis au point par ITC (Pays Bas), est un SIG qui fonctionne dans un environnement informatique de type compatible PC.

**La base ILWIS** gère les données vecteur, raster et table. On peut à tout moment importer de nouvelles cartes, modifier ou détruire une couche. ILWIS permet à chaque type d'information d'être géré indépendamment, de mettre directement en relation les données géographiques avec les attributs. ILWIS dissocie pour une même couche les informations descriptives, les informations géographiques (stockées dans des tables) et les données purement graphiques. Les attributs sont gérés par un gestionnaire de base de données relationnelle (pseudo SQL).

**Les traitements** ILWIS inclut les traitements nécessaires à l'analyse spatiale. On peut appliquer toute forme de combinaison sur les couches d'information : arithmétique, logique, relationnelle et mathématique. Il possède également des fonctions de traitement d'image (histogramme, fonctions de transfert, filtrage, classification). Sont également inclus des modules de géoréférencage et de calculs statistiques. Enfin l'utilisation d'ILWIS peut être entièrement automatisée par un langage de commande (fichiers "batch").

**Les entrées/sorties** ILWIS possède un module de digitalisation de cartes et d'import/export pour les données vectorielles, raster et table : format .DXF, .ARC pour les couches vectorielles; TIFF, GIS, BMP en raster; .DBF, .DIF pour les tables.

## L'INTERFACAGE MODLAC/ILWIS

### Méthodologie

L'utilisation d'un SIG a pour but de faciliter la mise en oeuvre du modèle dans l'acquisition et la préparation des données géographiques. Le problème se pose de savoir comment va s'organiser le flux des données entre les deux outils et quelle sera la nature des traitements à effectuer. Notre travail s'effectuera en deux temps :

- (a) description des fonctions nécessaires au SIG pour opérer sur les informations MODLAC;
- (b) évaluation du potentiel d'ILWIS à résoudre les problèmes posés.

### Définition des liaisons MODLAC/SIG

**Caractérisation des mailles** La complexité et le savoir-faire hydrologique nécessaires à la génération du maillage ne permettent pas d'imaginer un SIG possédant cette fonction. Nous supposons donc que le maillage a été généré à l'extérieur du SIG et mis sous forme d'un fichier vecteur polygone où chaque maille est référencée par un numéro d'ordre. De manière classique, le modélisateur superpose manuellement la représentation du maillage à la carte thématique et en déduit les valeurs à attribuer à chaque maille. Un SIG effectuera cette discrétisation automatiquement par des opérations de croisement de couches: le plan de base est constitué par le maillage, les autres plans contenant les informations thématiques. La couche résultante sera constituée par les mailles caractérisées par les données projetées. Le maillage ainsi défini est exporté sous forme de tables pour mettre à jour le fichier géométrie du modèle (voir Figure 1):

- (a) attribut "type de fonction de production": on combine les plans "occupation du sol" et "géologie". La couche résultante est classifiée et

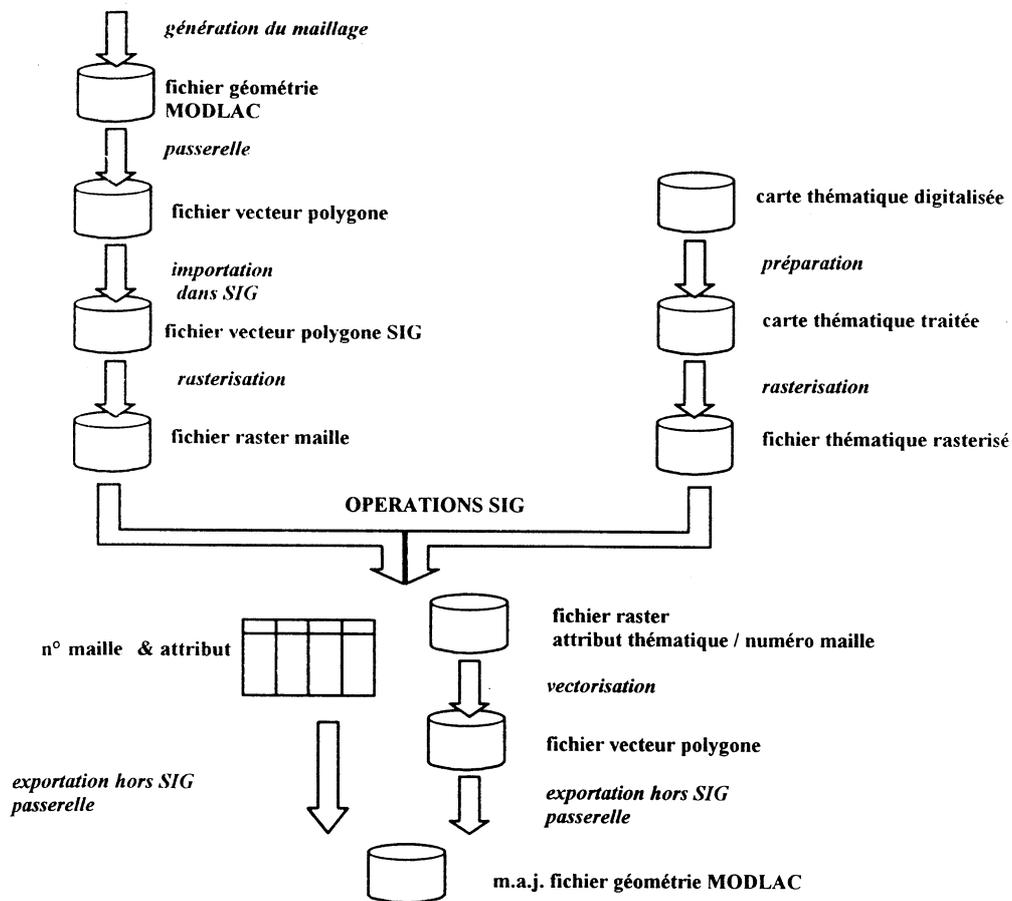


Fig. 1 Caractérisation du maillage - Procédure générale.

projetée sur la couche maillage. La couche finale est alors constituée de mailles dont l'attribut est l'index correspondant au type de fonction de production. La détermination des paramètres des fonctions de production sera examinée ultérieurement;

- (b) attribut "altitude minimale": le SIG utilisera un MNT, soit généré à partir des courbes hypsométriques importées, soit calculé par un logiciel externe. Le MNT est projeté sur le maillage, puis, à l'intérieur de chaque maille, on retient l'altitude minimale;
- (c) attribut "sens de drainage": l'utilisation d'un MNT est ici évidente. Néanmoins, la détermination du sens de drainage est complexe car MODLAC gère un sens de drainage par maille et non par pixel. Une première solution consiste à utiliser un MNT importé. Il faut regrouper les pixels appartenant à une même maille, puis rechercher la maille contigue d'altitude minimale. Le résultat final sera une table des indices de mailles associés aux mailles drainantes. Cette méthode n'est pas satisfaisante car il n'y a pas de procédure de contrôle par l'utilisateur sur les incohérences topographiques. Une autre solution consiste à préparer

une couche "réseau de drainage" à l'aide d'un logiciel adapté et possédant ses propres outils de vérification et de correction, puis à faire subir à cette couche les opérations décrites plus haut;

- (d) attribut "type de maille": la recherche des mailles "rivière" s'effectue en parcourant le réseau hydrographique de l'exutoire jusqu'à la dernière retenue. C'est cette portion de réseau définissant les mailles "rivière" qui sera projetée sur le maillage: les mailles correspondantes seront déclarées et codées en "rivière".

**Les données de pluie et d'ETP** La gestion des données de pluie et ETP a deux aspects : les séries chronologiques par station (tables) et les aires d'influence des stations (données géographiques).

- (a) La gestion des séries chronologiques par le SIG nous semble peu réaliste : (1) la simulation du fonctionnement d'un bassin versant sur une dizaine d'années conduirait le SIG à gérer des tables de plusieurs milliers de lignes par station, et (2) ces données sont généralement gérées par d'autres logiciels, ce qui multiplierait le nombre de fichiers correspondants. Nous choisirons donc une gestion externe des données

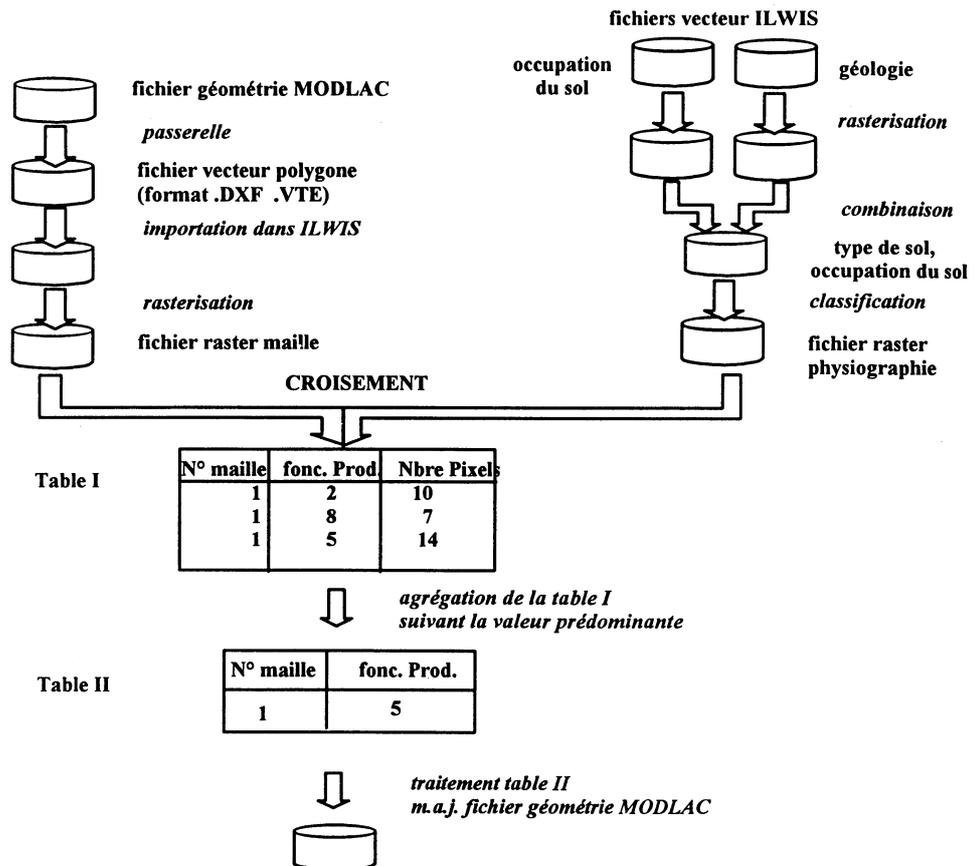


Fig. 2 Détermination indice fonction de production par maille.

- de pluie par des outils spécialisés, tel le logiciel PLUVIOM (ORSTOM).
- (b) Le calcul des aires d'influence et le croisement avec le maillage est par contre typiquement une opération SIG. Celui-ci devra être équipé d'une fonction automatique de délimitation d'aires (méthode de Thiessen par exemple). Sinon, il sera nécessaire de calculer ou de digitaliser cette information et de l'importer dans le SIG. La projection de la couche "aires d'influence" sur la couche maillage attribuera à chaque maille le descriptif de la station qui la caractérise.

**Les données de débit et hauteur d'eau** Les données de débit n'ont pas besoin de spatialisation. La gestion des données de débit est laissée, elle aussi, à un outil spécialisé (HYDROM ORSTOM).

**Les données des aménagements** Le SIG peut être utilisé pour déterminer plus facilement la localisation des retenues, le pourcentage d'occupation de la maille par la retenue, les surfaces irriguées, etc.

**Les paramètres du modèle** Les paramètres dépendent des classes physiographiques précédemment définies. Ces paramètres peuvent être estimés par une relation entre les thèmes "occupation du sol", "géologie" ou d'une autre variable caractéristique de l'état du bassin versant : l'utilisation du SIG sous cet aspect facilitera la détermination systématique de ces paramètres et leur optimisation.

### **ILWIS, le potentiel**

Nous présentons les procédures à utiliser sous forme d'organigrammes. La majorité des opérations décrites dans ces organigrammes ont été réalisées dans ILWIS. Par contre, les manipulations externes à ILWIS n'ont pas été programmées et sont à l'état de projet. La Figure 2 permet de générer la table n° maille  $\Leftrightarrow$  indice fonction de production. Le problème principal est hydrologique : comment combiner les informations occupation du sol et géologie pour définir une valeur de la physiographie. La Figure 3 montre le cheminement effectué pour déterminer une altitude minimale par maille. Le résultat final est une table n° maille  $\Leftrightarrow$  altitude minimale. La Figure 4 indique comment générer la table n° maille  $\Leftrightarrow$  n° station. Nous avons ici utilisé un module d'ILWIS de calcul d'aire suivant la méthode de Thiessen.

Aucun diagramme satisfaisant n'a pu être réalisé pour l'affectation d'un sens de drainage aux mailles. Cette question pourrait être résolue à l'échelle du pixel d'un MNT, entre autres grâce au logiciel DEMIURGE (ORSTOM). Mais MODLAC utilise des mailles de taille variable (1 à 32 pixels) : il faut donc travailler sur des ensembles de pixels. De plus, nous ne disposons dans ILWIS d'aucun moyen de contrôle interactif lors de la constitution de ce réseau : nous ne sommes donc pas à l'abri des incohérences hydro-topographiques parfois contenues dans un MNT.

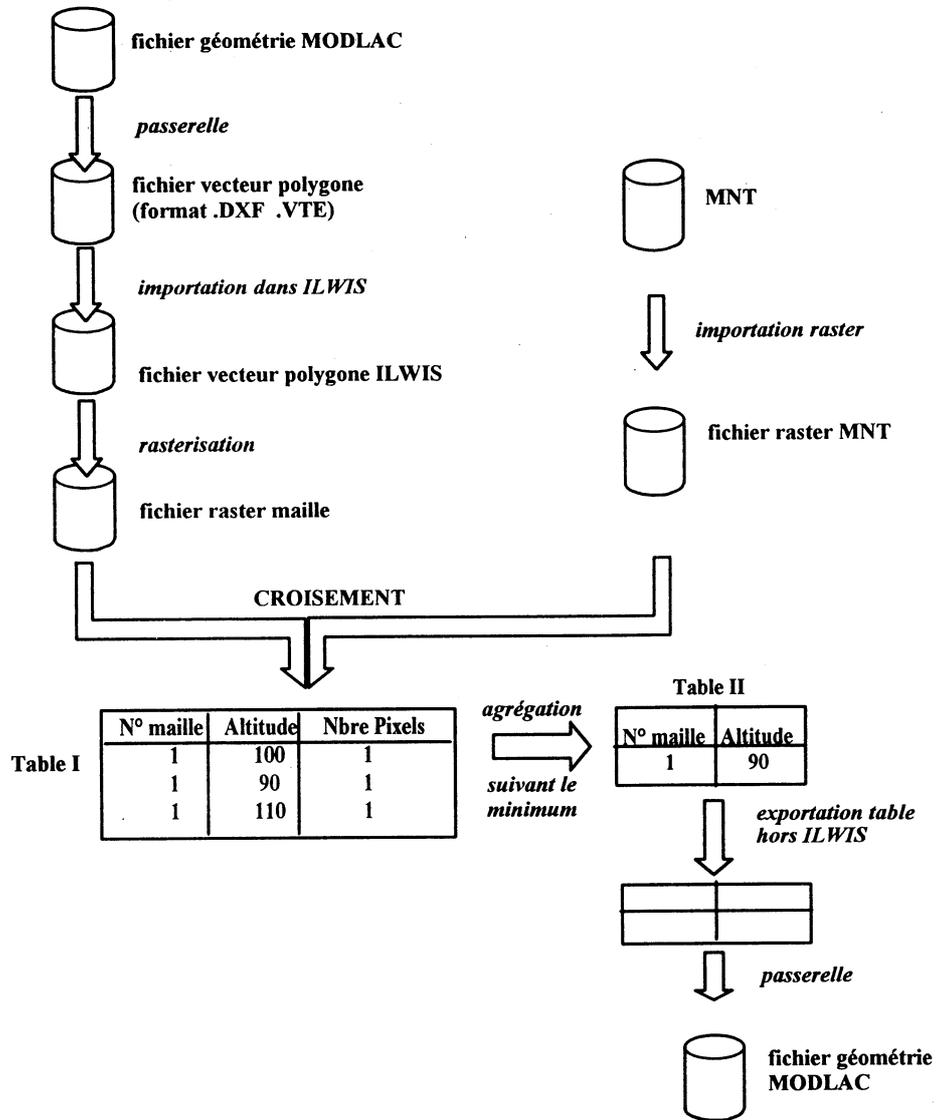


Fig. 3 Détermination de l'altitude minimale par maille.

## CONCLUSIONS

### Adéquation MODLAC/ILWIS

Certaines contraintes imposées par MODLAC dépassent les possibilités d'ILWIS (génération du maillage, sens de drainage). Ainsi, il sera difficile de mettre en oeuvre ce genre de procédure. En ce qui concerne les autres opérations, ILWIS répond aux problèmes de discrétisation des données géographiques sur un maillage de type MODLAC. Le travail est à compléter

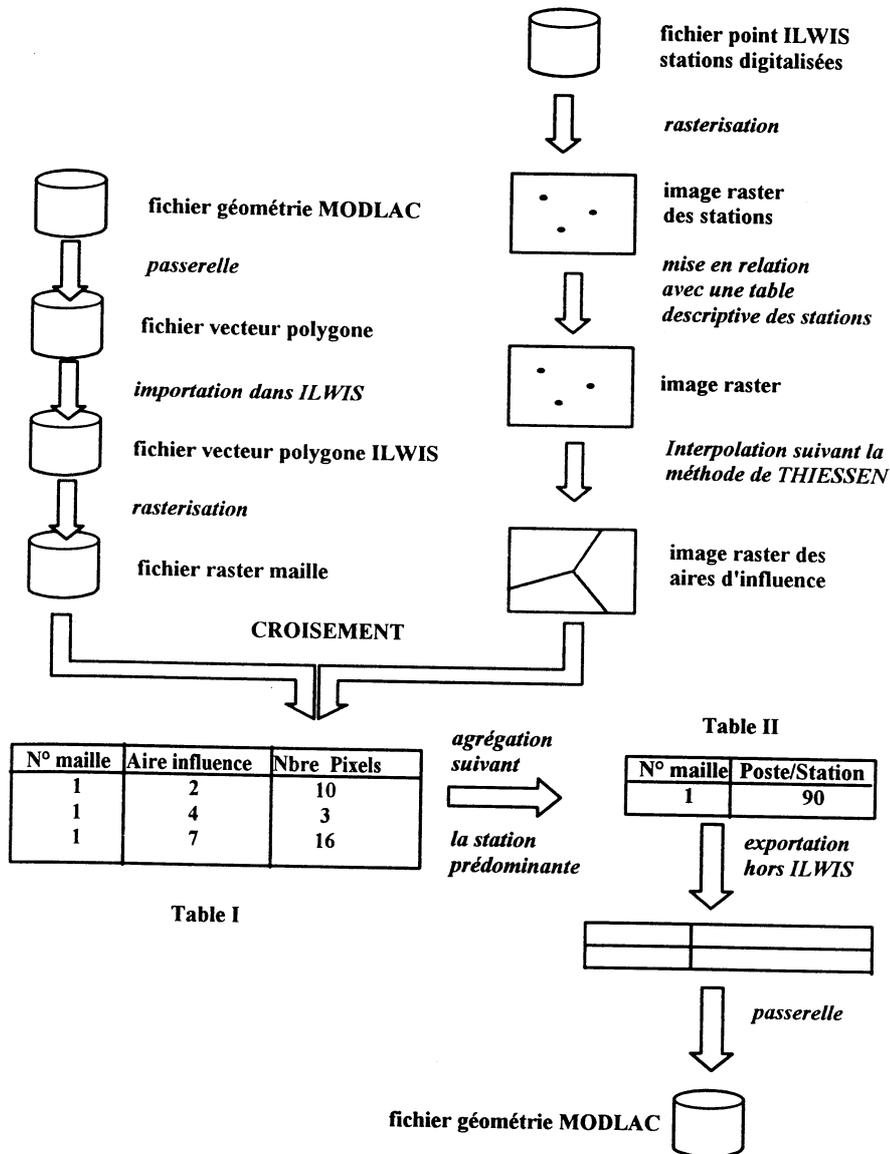


Fig. 4 Détermination des aires d'influence de stations.

par le développement des outils nécessaires pour assurer les passerelles entre formats de fichiers.

### Quel SIG...

Un SIG utilisé dans une optique de couplage avec un modèle hydrologique doit pouvoir offrir les fonctionnalités suivantes :

- (a) capacité à travailler en mode raster et vecteur et à pouvoir passer d'un mode à l'autre pour faciliter l'intégration d'informations pixel (image

- télé-détection, photo aérienne, MNT);
- (b) existence de fonctions d'analyse spatiale élargies Il faut pouvoir élaborer de nouvelles informations par des opérations mathématiques, logiques ou relationnelles sur les divers plans thématiques disponibles;
  - (c) ouverture aux structures de données standard L'utilisation de données d'origine très diverse, la liaison avec les logiciels existants (tableurs, outils cartographiques) et avec les périphériques facilitent le travail d'interfaçage entre produits existants;
  - (d) possibilité de travailler en mode "batch" L'automatisation de tâches de calcul et du déroulement de procédures permet : (1) de multiplier les traitements et de faciliter des opérations de tests et de calage; (2) de répéter les mêmes opérations sur des sites différents, pour définir des liens entre bassins versants dits représentatifs ou dans la perspective de tâches opérationnelles;
  - (e) existence de fonctions dédiées à l'environnement Des procédures telles que le traitement de MNT, la gestion de réseau ou l'interpolation spatiale élargissent le potentiel du modèle hydrologique associé.

### ... pour quel modèle ?

Le choix du modèle dépend principalement de la problématique hydrologique, de la nature du site étudié et du type et du volume de données à traiter.

L'intérêt d'un SIG dans le cas de modèles distribués est évident : la saisie et la gestion de données géographiques, l'élaboration de nouvelles informations spatiales, les possibilités de cartographie automatique et de restitution sont autant de facteurs permettant une optimisation dans la mise en oeuvre de ce type de modèle.

Le cas des modèles globaux est différent. Dans cette approche le bassin versant est considéré comme une entité unique, il y a peu d'informations spatiales à traiter, les paramètres du modèle ont un sens physique difficile à définir, et il n'est pas certain que le travail d'acquisition des données représente réellement un gain. On peut néanmoins envisager le couplage SIG-modèle global dans l'étude de la représentativité de bassins versants : la recherche systématique de corrélations entre le comportement des bassins versants et leurs caractéristiques géographiques peut être grandement facilitée par le SIG.

### REFERENCES

- Girard, G. (1992) *Manuel d'utilisation et d'exploitation du modèle MODLAC*. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM), Rapport interne
- ITC (1992) *Integrated Land and Water Information System, ILWIS, User's Manual, Version 1.3*. Computer Department ITC, May 1992. International Institute for Aerospace and Earth Sciences, Enschede, The Netherlands.