

MEMOIRE PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME

de

D.E.A

à

L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES DE PARIS

et à

L'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE - PARIS VI

par

BOUKERMA BAGHDADI

APPLICATION DU PROGRAMME GEOCOU : GEOMETRIE DE LA MODELISATION
INTEGREE DES ECOULEMENTS DE SURFACE ET DES ECOULEMENTS SOUTERRAINS
SUR UNE MAILLE CARREE DE 100 Km DE COTE DANS LE SUD-OUEST DE LA FRANCE

I - PREFACE

La présente étude menée sous la Direction de Messieurs G. GIRARD et E. LEDOUX a été réalisée grâce au bon esprit de collaboration et de suivi que s'attribuent conjointement le Centre d'Informatique Géologique de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris et le Laboratoire de Géologie Dynamique de l'Université Pierre et Marie Curie - Paris VI sous la direction respective de Monsieur G. de MARSILY et Monsieur R. LETOLLE.

Je me permets d'adresser ici le témoignage de ma profonde reconnaissance à Messieurs R. LETOLLE et G. de MARSILY qui n'ont ménagé aucun effort pour mon admission dans leurs Laboratoires respectifs et pour leurs fructueux conseils.

Messieurs G. GIRARD et E. LEDOUX auprès desquels j'ai trouvé une large compréhension et une aide efficace que le temps ne me fera pas oublier, m'ont très attentivement suivi.

Ils n'ont cessé de me prodiguer leurs fructueux et utiles conseils tout au long de ce travail qu'ils trouvent ici l'extression de ma profonde gratitude.

Ma reconnaissance s'adresse à Monsieur BESBES auprès duquel j'ai trouvé assistance et conseils lors du stage de modélisation au sein du CEFIGRE à SOFIA ANTIPOLIS en Août 1982.

Mes remerciements iront à l'ensemble du personnel du Centre d'Informatique Géologique. Je dois également ma reconnaissance aux responsables de la Direction de la Formation du Ministère Algérien de l'Hydraulique tout particulièrement à Monsieur le Directeur de la formation BENFHALFA ADELRAHMANE pour sa compréhension et sa gentillesse.

Ma gratitude s'adresse enfin à tous ceux qui m'ont aidé et encouragé de loin ou de près pour la concrétisation du présent travail.

SOMMAIRE

	Page
I - PREFACE	
II - AVANT-PROPOS	1
III - APERCU SUR LE PRINCIPE ET LA CONCEPTION DU MODELE COUPLE	7
A - Objectifs du modèle couplé	7
1) Synthèse des informations	7
2) Etude de sensibilité	7
3) Simulation du comportement du système hydraulique	7
4) Accueil de nouvelles données	8
B - Description du système hydrologique	8
1) Définition de la structure du système hydrologique	8
1.1 - Le domaine d'étude	8
1.2 - Discrétisation spatiale	8
1.3 - Définition du réseau de drainage superficiel	9
1.4 - Définition des caractéristiques physiographiques	
2) Calcul du bilan hydrique	9
2.1 - Zones météorologiques	9
2.2 - La fonction production	9
3) Le transfert dans la zone saturée	10
4) Les transferts conjoints superficiels et souterrains	10
4.1 - Le transfert souterrain	10
4.2 - Le transfert sur les zones de ruissellement pur	11
4.3 - Le transfert dans le réseau hydrographique principal	11
4.4 - La relation nappe-rivière	11
C - Architecture du modèle	
1) Programme GEOCOU	11
2) Programme MODSUR	13
3) Programme NONSAT	13
4) Programme MODCOU	13
IV - APPLICATION DU PROGRAMME GEOCOU SUR LA MAILLE CARREE DE 100 km DE COTE DANS LE SUD-OUEST DE LA FRANCE	15
A - Présentation géographique et hydrologique de la zone d'étude ...	15
1) Cadre géographique	15
2) Hydrométrie	17
3) Les écoulements	17
4) Hydrogéologie	23
B - Choix de la maille carrée de 100 km de côté	24
C - Les données disponibles	27
1) Les précipitations	27
2) Evapotranspiration potentielle	27
3) Les mesures hydrométriques	34
4) La piézométrie	34
5) Aménagement	34

D - Modélisation du système hydrologique	34
1) Modélisation des écoulements de surface	34
1.1 - Discrétisation spatiale du domaine	34
1.2 - Définition du réseau de drainage	38
1.3 - Evaluation de l'altitude	40
1.4 - Définition des fonctions production	40
2) Modélisation des écoulements souterrains	43
2.1 - Définition du domaine	43
2.2 - Conditions aux limites	44
2.3 - Discrétisation du domaine	44
3) Mise en oeuvre du programme GEOCOU et résultats obtenus	44
3.1 - Domaine de surface	44
3.2 - Domaine souterrain	47
V - CONCLUSION GENERALE	51
VI - BIBLIOGRAPHIE	52

II - AVANT PROPOS

Le présent rapport rentre dans le cadre du projet de recherche du CNRS, regroupant différents organismes scientifiques dont le Centre d'Informatique Géologique de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris à Fontainebleau.

Le projet s'intitule : Modélisation du bilan hydrique à l'échelle climatique et son contrôle ou programme "MOBILHY" rattaché au Programme National d'Etude de la Dynamique du climat du CNRS.

Objectif du projet

Le projet MOBILHY se propose de résoudre le problème suivant lequel présente deux aspects principaux :

1) Maîtriser les propriétés hydriques et thermiques des sols et celles des végétations qui sont directement responsables de la façon dont la répartition des flux de chaleur sensible et latente équilibre le bilan radiatif de surface et le flux de conduction dans le sol, le flux radiatif étant défini par son évolution en fonction des caractéristiques de la masse d'air et du bilan énergétique du sol.

2) Savoir passer de l'échelle assez locale à l'échelle climatique en prenant correctement en compte l'hétérogénéité des propriétés physiques et biologiques des surfaces et les caractéristiques de la masse d'air. De nos jours plusieurs communautés scientifiques allant des modélisateurs de la circulation générale de l'atmosphère aux "Microphysiciens" de surface se sont penchés sur les différents aspects très restreints du problème sans pour autant conjuguer leurs efforts respectifs.

Ainsi en essayant de faire fructifier les expériences de certaines de ces communautés, on est conduit à adopter une stratégie basée essentiellement sur la mise en oeuvre progressive de moyens expérimentaux concernant la surface, la subsurface et la couche limite sur un domaine d'emprise totale d'environ 100 x 100 km avec un maillage inférieur à 10 km de côté, complétés par une modélisation des phénomènes atmosphériques à moyenne échelle destinée à fournir un cadre de validation à ces données et à permettre certaines extrapolations ou interpolations. Ces données ainsi organisées seront alors utilisées pour tester à l'échelle convenables des modèles d'échanges à l'interface sol-atmosphère disponibles déjà mais non examinés à l'échelle considérée, ou bien pour en proposer des modifications et améliorations les rendant plus aptes à une utilisation fiable au niveau des modèles de circulation générale de l'atmosphère (M.C.G.).

Aussi et à cette fin plusieurs niveaux d'activation seront mis en oeuvre par la stratégie générale du projet à savoir :

1) Implantation d'un réseau au sol. Ce réseau dénommé PATAG (cf. figure 3) déjà en cours d'implantation dans le Sud-Ouest servira à collecter des données concernant :

a) les données d'entrée du système (thermiques, hydriques, radiométriques, rayonnement global et pluviométriques) et les données d'évolution des réserves en eau (de surface et souterraine...).

b) les vérités-terrain pour la télédétection (rayonnement, température de surface, humidité de surface, flux de surface...).

c) les données d'entrée des modèles atmosphériques de moyenne échelle.

2) Intensification des mesures locales en quelques points ceci dans le but de permettre aux modèles d'échanges à l'interface de reproduire de façon satisfaisante les transferts verticaux en situation homogène localement. Ces points de mesures serviront de points tests pour le calage des méthodes de télédétection et pour la modélisation atmosphérique.

3) Mesure directe du flux d'évaporation sur la maille carrée de 100 km de côté (maille M 100) par le moyen d'avions instrumentés en mesures fines de fluctuation de la vitesse et de l'humidité.

4) Télédétection spatiale dont le but est de discriminer entre les parties chaleur latente et chaleur sensible du bilan énergétique de la surface.

5) Modélisation du bilan hydrologique et flux d'évaporation à l'échelle globale de la maille M100.

Constituant l'élément moteur de tout le projet, ce niveau doit faire une approche du bilan hydrique du sol et estimer le flux d'évaporation comme terme manquant du bilan en eau d'un cube atmosphérique de $100 \times 100 \times 3 \text{ km}^3$ sur l'emprise de la maille M 100.

Il s'agira ici, essentiellement de la mise en oeuvre du modèle couplé (modélisation intégrée des écoulements de surface et des écoulements souterrains) auquel sera associé la modélisation des phénomènes atmosphériques.

Le couplage entre ces deux modélisations sera réalisé grâce à l'introduction de la même modélisation de l'interface. Nous reviendrons plus en détail sur les principes et la conception du modèle couplé dans les chapitres qui suivront.

De ce qui précède et compte-tenu de l'outil expérimental qui se met en place dans le cadre du projet PATAC dans le Grand Sud-Ouest et de l'ampleur du projet, il est évident que le choix définitif s'est porté sur le vaste domaine expérimental qui est la maille M 100 située au sein de la zone couverte par le projet PATAC.

Le site retenu (cf. figures 1 et 2) présente une situation favorable par rapport aux masses d'air cyclonique d'Ouest. Il permet d'éviter les effets côtiers et ceux relatifs aux forts reliefs : Pyrénées ou Massif Central.

Dans une première partie constituant notre mémoire, l'étude se limitera à la définition de la structure du système hydrologique, base de la mise en oeuvre du modèle couplé sur la maille carrée M 100 dans le Sud-Ouest de la France. Cette maille se compose elle-même d'un ensemble de mailles carrées emboîtées de dimensions respectives de 1,25 km - 2,5 km et 5 km de côté faisant partie ainsi de plusieurs bassins versants (Adour-Gélise-Avance-Ciron-Leyre etc...).

Mis au point et utilisé pour répondre aux questions qui se posent en matière de ressources en eau des systèmes hydrologiques où l'eau de surface et l'eau souterraine sont étroitement associées, le modèle couplé doit, en ce qui concerne le projet MOBILHY, permettre, à l'échelle de temps de 30,10 ou d'une journée et selon les caractéristiques physiographiques et géologiques locales de simuler sur de longues périodes les variations de débits et de la piézométrie et approximativement les "contenus en eau" moyens sur chacune des mailles à divers moments choisis de chaque année.

Ainsi le présent exposé s'assigne comme objectif la mise en oeuvre du programme de base du modèle couplé, à savoir le programme GEOCOU (ou Géométrie du modèle couplé). Il s'agira ici de définir la structure du système hydrologique de la maille M 100.

FIGURE N°1 : PLAN DE SITUATION DE LA MAILLE CARRÉE M 100.

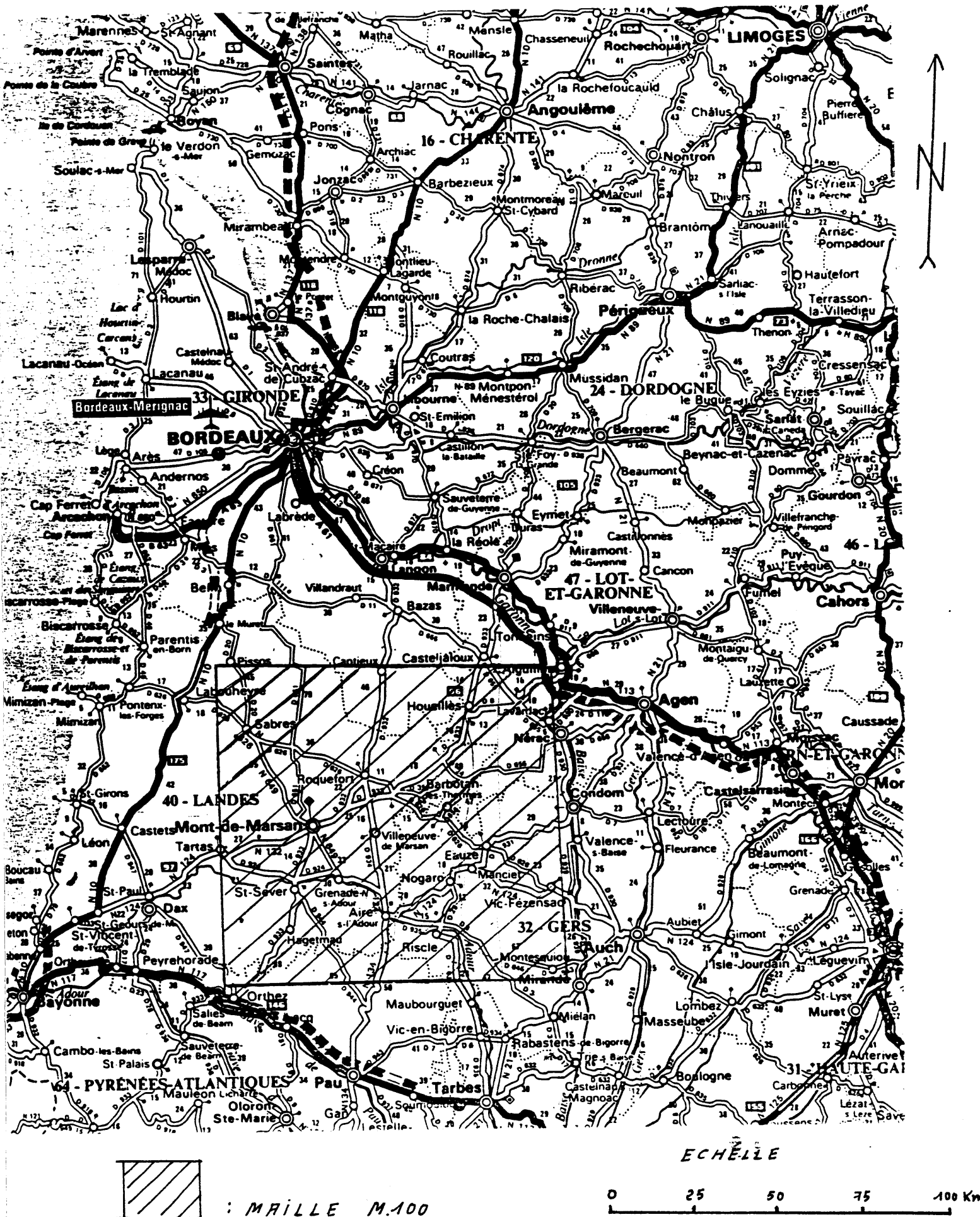


FIGURE N°2 : ZONE DU PROJET MOBILHY (RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE)

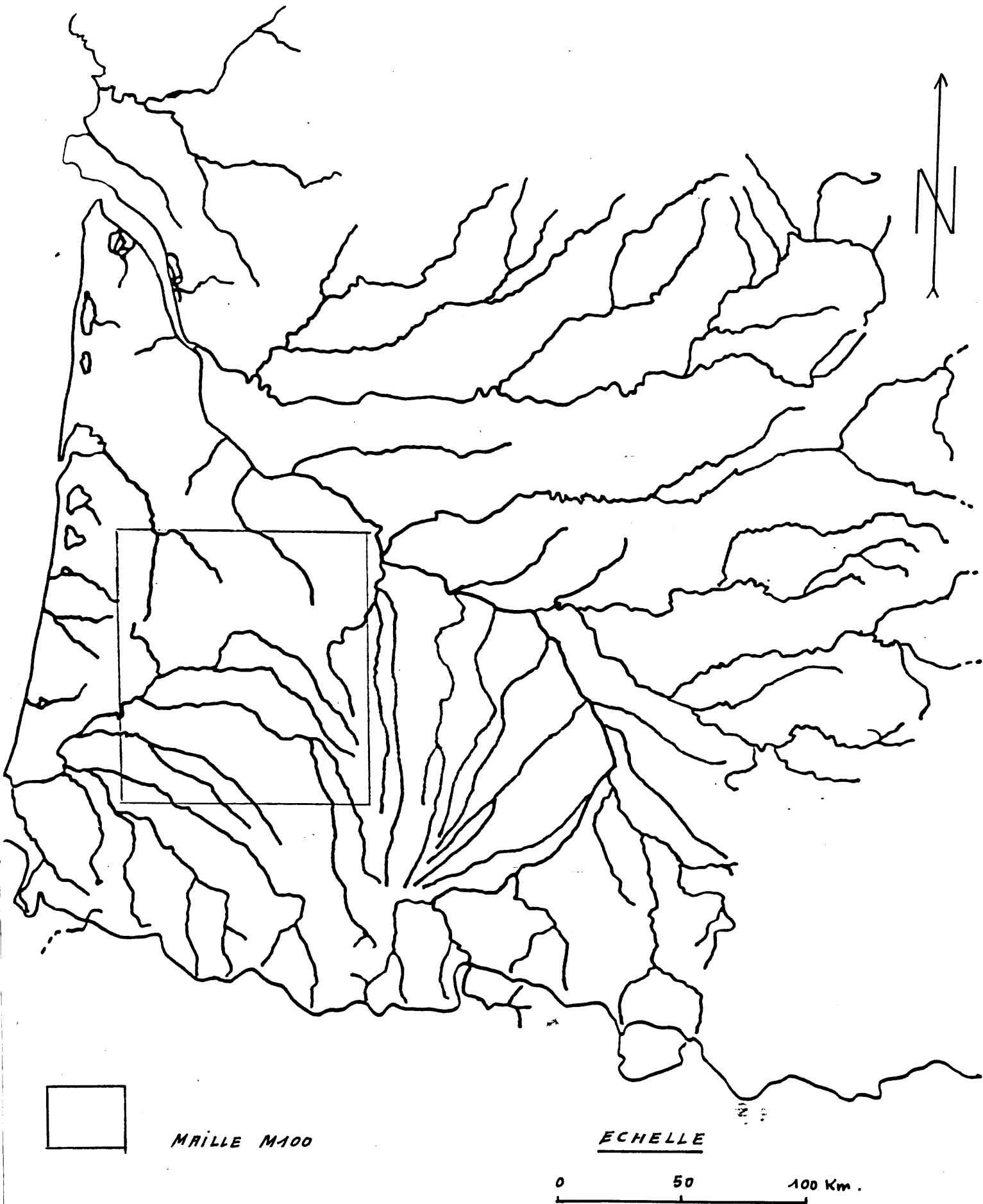
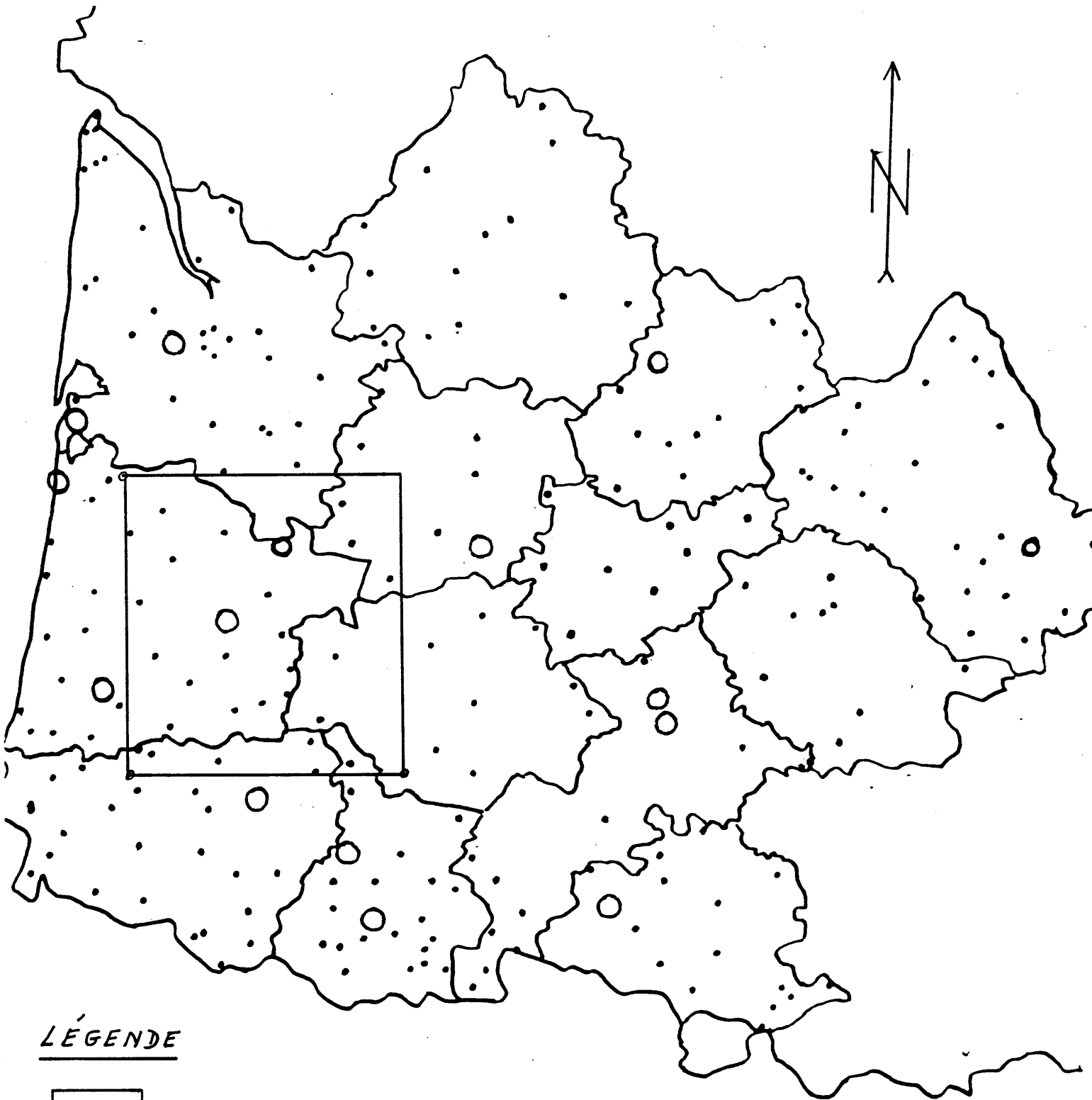
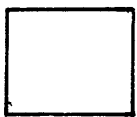


FIGURE N°3 : ZONE DU PROJET PATAC.



LÉGENDE



MAILLE M100



: STATION MÉTÉO EXISTANTE

● : STATION METEO EN COURS d'implantation

ECHELLE

0 50 100 Km.

III - APERÇU SUR LE PRINCIPE ET LA CONCEPTION DU MODÈLE COUPLÉ

Dans le souci majeur de rapprocher et de fusionner deux maillons essentiels et contigus du cycle de l'eau, soit les eaux de surface et les eaux souterraines constituant à eux seuls la quasi-totalité des ressources en eau exploitables, le modèle couplé a été mis au point dans le cadre d'une coopération franco-québécoise entre le CIG de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris, l'ORSTOM et l'INRS-Eau de Québec, dans le but de simuler conjointement les écoulements superficiels et les écoulements souterrains et de ce fait concilier les deux approches théoriques développées séparément dans le domaine des sciences de l'eau. Ainsi le modèle couplé considère le devenir de l'eau entre le moment où elle se trouve mobilisable en surface sous forme de précipitation et le moment où elle atteint les exutoires du système hydrologique, suite aux différents modes de transfert pouvant exister dans le système.

A - Objectifs du modèle couplé

Le modèle couplé considérant en bloc la totalité du cycle de l'eau permet :

- 1) de réaliser la meilleure synthèse des informations quantitatives et même qualitatives à l'échelle régionale concernée.
- 2) une étude de sensibilité dont l'application comporte deux objectifs :
 - a) parmi les mécanismes physiques responsable du comportement du système, dégager ceux dont l'importance est prépondérante, et, par suite, ceux qu'il convient d'étudier en particulier.
 - b) apprécier la variabilité de la réponse du système aux variations des paramètres et en déduire une estimation de la confiance à accorder aux résultats du modèle.
- 3) dans la mesure du possible, une simulation précise du comportement du système hydraulique d'où l'intérêt :
 - a) d'engendrer les sorties du système lorsque seules les entrées sont observées et d'accroître l'information.
 - b) d'évaluer quantitativement l'impact d'un aménagement modifiant l'état du système.
 - c) de rechercher un aménagement optimal en incluant le modèle de simulation dans un système d'outils d'aide à la décision.

4) l'accueil de nouvelles données intervenant en cours d'étude ce qui lui confère un caractère évolutif.

La caractéristique essentielle du modèle couplé se situe dans le fait de décomposer la chaîne des mécanismes constituant le cycle de l'eau en étapes qui seront considérées, comme indépendantes et dont les manifestations seront contrôlables séparément ce qui autorise une simulation globale d'un système hydrologique d'une part et la vérification séparée de la validité de certains mécanismes internes au système d'autre part.

B - Description du système hydrologique :

Le modèle s'articule sur quatre parties principales concernant :

- la définition de la structure;
- le bilan hydrique des précipitations ou production;
- le transfert dans la zone non saturé;
- les transferts conjoints superficiels et souterrains.

1 - Définition de la structure du système hydrologique

1.1 - Le domaine d'étude : à l'échelle régionale la zone d'étude est l'ensemble d'un domaine superficiel se composant d'un ou plusieurs bassins versants complets ou partiels et d'un domaine souterrain englobant généralement une série de formations géologiques aquifères ayant éventuellement des relations entre-elles ainsi qu'avec le domaine de surface. Le système ainsi défini est ouvert et les échanges avec le milieu extérieur sont :

- échanges avec l'atmosphère;
- sorties par les exutoires superficiels;
- apports latéraux en limite du domaine de surface;
- apports latéraux en limite du domaine souterraine.

1.2 - Discretisation spatiale du domaine

La structure du système est basée sur la discretisation spatiale du domaine en éléments dites mailles auxquels sont rattachées les caractéristiques physiques superficielles et souterraines du milieu. Dans ce contexte le modèle couplé distingue :

- a) une couche de surface où s'effectue l'infiltration, le ruissellement et le transfert superficiel.
- b) un nombre variable de couches profondes, sièges d'écoulements souterrains, éventuellement connectées hydrauliquement entre elles.

1.3 - Définition du réseau de drainage superficiel

Le réseau de drainage revêt la forme d'une ou de plusieurs arborescences qui sont définies par la connaissance pour chaque maille de surface d'une direction unique de vidange. Ce réseau se subdivise ensuite en deux catégories selon l'appartenance d'une maille au réseau hydrographique principal ou bien à la zone de ruissellement pur. Cette subdivision est motivée par un souci d'allègement des calculs.

1.4 - Définition des caractéristiques physiographiques

Sur chacune des mailles on définit :

- a) - l'altitude minimale du réseau de drainage, utilisé ultérieurement pour le calcul des temps de transfert.
- b) la nature des sols, exprimée en fraction de superficie d'une maille permettant par la suite d'effectuer le bilan hydrique.

2 - Calcul du bilan hydrique

Le calcul du bilan hydrique, effectué au moyen des fonctions production, a pour but la répartition de la lame d'eau disponible au sol entre ruissellement, évaporation, infiltration et quantité d'eau stockée dans le sol.

Ce calcul se fait en fonction du pas de temps des données des précipitations et ce pour chacun des postes pluviométriques, attribué à une zone météorologique et pour chacune des catégories de sol.

2.1 - Zones météorologiques

Chaque maille de la surface est affectée à un poste pluviométrique définissant un certain nombre de zones météorologiques caractérisées par une lame d'eau disponible au sol à chaque pas de temps.

2.2 - La fonction production

Chaque fonction production correspondant à une catégorie de sol, fonctionne selon un mécanisme adapté par l'utilisateur à la nature du problème.

Cependant vu la complexité des mécanismes physiques régissant le bilan hydrique, il est fait appel à des modèles paramétriques simples et classiques dits modèles à réservoirs dont le principe de fonctionnement est le suivant : (voir figure 4).

Le bilan hydrique est effectué dans le réservoir de bilan à chaque pas de temps en fonction de la lame d'eau précipitée P, de l'évapotranspiration potentielle ETP et de l'état du stock en eau R du réservoir. La quantité EAU disponible pour l'écoulement est alors déterminée par 2 paramètres DCRT et CRT représentant les niveaux minimal et moyen du réservoir sol. Le premier réservoir de transfert a ensuite pour tâche de répartir l'eau disponible en une lame ruisselée QR et une lame infiltrée QI en fonction d'un seuil d'infiltration FN. Deux autres réservoirs de transfert apportent éventuellement un retard à ces quantités, selon un mécanisme de vidange exponentielle avant de les introduire dans le système hydrologique.

Toutefois la fonction production sera engagée dans un module, facile d'accès au sein du programme et pourra donc être adaptée éventuellement à un problème particulier par l'utilisateur, ce qui peut être le cas dans le projet MOBILHY en ce qui concerne la liaison avec les modèles atmosphériques.

3 - Le transfert dans la zone non saturée

La quantité d'eau mise en circulation dans le système ayant été déterminée au moyen des fonctions production, la zone non saturée se trouve susceptible de moduler l'infiltration selon la profondeur de la première nappe souterraine et selon les caractéristiques hydrodynamiques du milieu qui la constitue.

Vu l'impossibilité à l'échelle régionale de connaître la répartition verticale de la perméabilité de la zone non saturée, on se propose d'adopter le modèle à réservoirs en cascade de Nash (voir figure 5) dont le principe est le suivant :

Un tel modèle dépend de deux paramètres : le nombre N de réservoirs reflétant l'épaisseur de la zone non saturée, supposée décomposée en N couches horizontales homogènes. La constante de temps de vidange des réservoirs caractérisant la vitesse de percolation verticale de l'eau. Aussi ces paramètres doivent être précisés par calibrage du modèle, notamment au moyen des historiques piézométriques.

4 - Les transferts conjoints superficiels et souterrains

4.1 - Le transfert souterrain

Ce transfert est fondé sur l'intégration numérique de l'équation de diffusivité régissant les écoulements en milieu poreux. Dans le système multicouche on distingue des niveaux dits aquifères, subhorizontaux sièges d'écoulements

considérés bidimensionnels en nappe, séparés par des niveaux dits semi-perméables où les circulations sont faibles et considérées monodimensionnelles subverticales mais capables d'assurer des transferts notables entre les aquifères à l'échelle régionale.

4.2 - Le transfert sur les zones de ruissellement pur

L'eau disponible pour le ruissellement est acheminée jusqu'au réseau hydrographique principal selon un algorithme basé sur la notion d'isochronisme.

4.3 - Le transfert dans le réseau hydrographique principal

Le transfert en rivière achemine l'eau produite par ruissellement vers les exutoires des différents bassins en tenant compte des échanges nappes-rivières.

L'algorithme de transfert considère le réseau hydrographique principal comme une arborescence de réservoirs se vidant les uns dans les autres de l'amont vers l'aval suivant une loi de tarissement exponentielle.

4.4 - La relation nappes-rivières

Cette relation règle au niveau du réseau hydrographique principal la liaison entre le transfert souterrain et le transfert superficiel. Le couplage est effectué à chaque pas de temps entre une maille-rivière et les mailles des couches souterraines qui lui correspondent verticalement; deux situations sont possibles (voir figure 6).

1) Rivière et nappe connectées hydrauliquement et ainsi la rivière impose son niveau à la nappe moyennant une perte de charge à travers son lit. Le sens de circulation peut varier au cours du temps. Dans ce cas, nous calculerons le débit échangé au niveau d'une maille rivière par la formule :

$$QNAP = TP(H_0 - H)$$

avec H : niveau piézométrique de la nappe;

H₀ : niveau de la rivière;

TP: coefficient de transfert réglant la perte de charge entre nappe et rivière

QNAP > 0 lorsque la circulation s'effectue de la rivière vers la nappe.

2) La rivière et la nappe sont déconnectées par la présence entre elles d'une zone non saturée. Nous admettrons dans ce cas que le transfert s'effectue toujours dans le sens rivière-nappe avec une valeur Q₀ connue de débit :

$$QNAP = Q_0$$

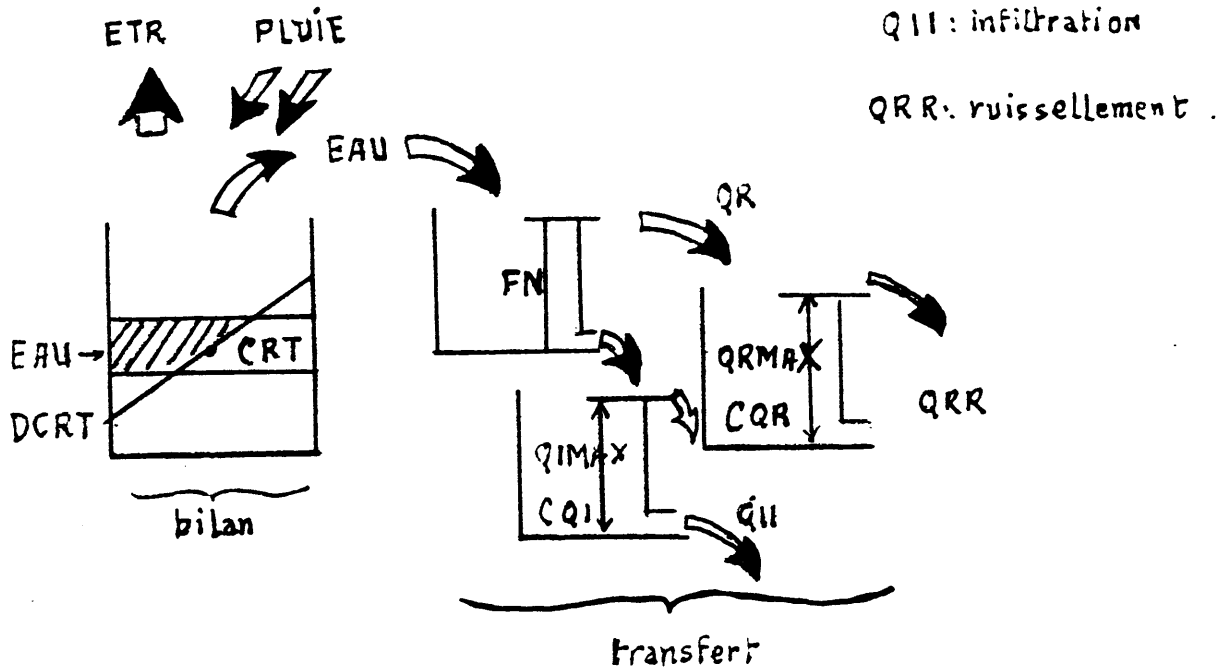


Figure 4: Principe de fonctionnement d'une fonction-production

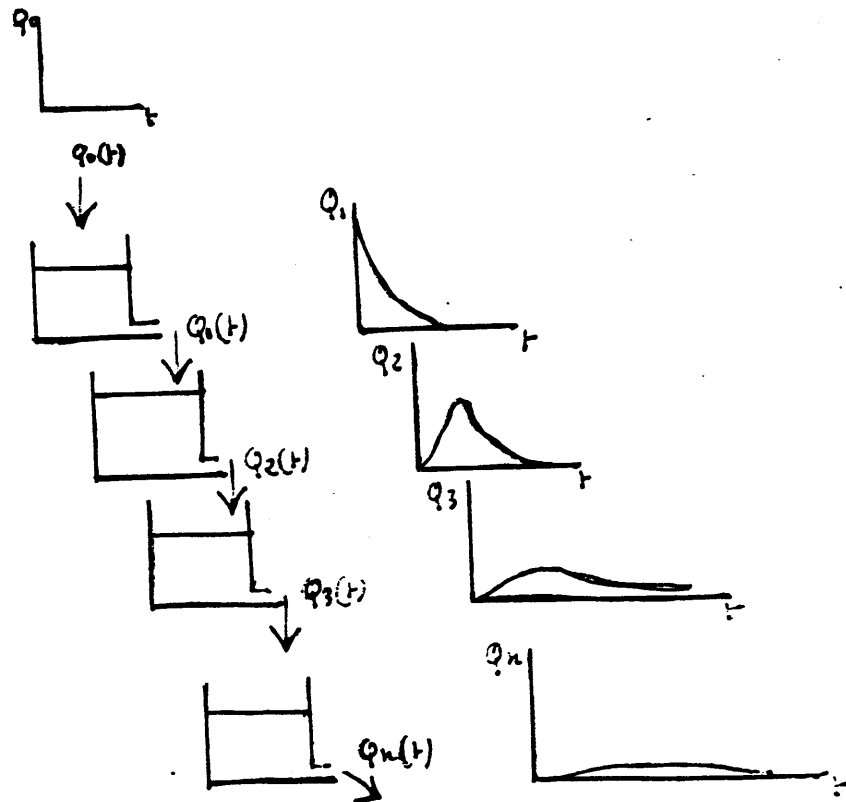


Figure 5: Principe de modelisation du transfert dans la zone non saturée

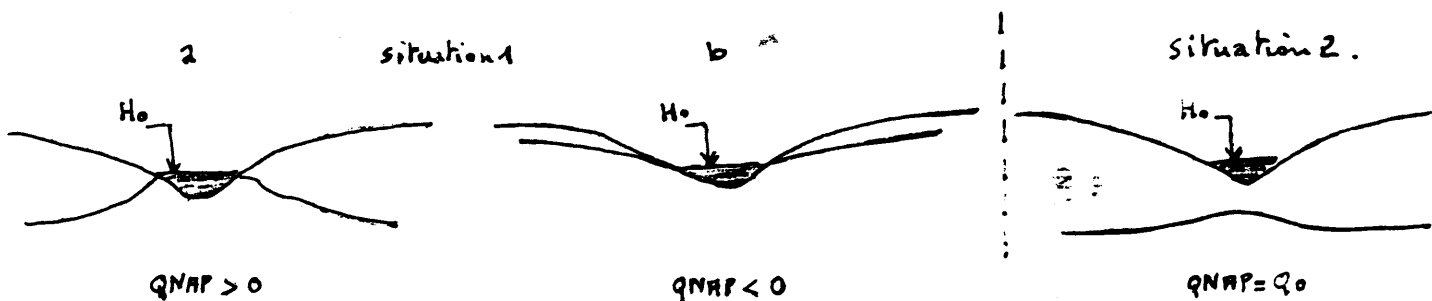


Figure n° 6: Principe de la Relation nappe-Rivière

C - Architecture du modèle

L'ensemble du modèle couplé est articulé en quatre programmes de calcul écrits en langage FORTRAN et destinés à opérer séquentiellement (voir figure 7)

1 - Programme GEOCOU (Géométrie du modèle couple)

Il concerne la définition de la structure du système qui assurera la description des caractéristiques physiques des aquifères et caractéristiques physiographiques des bassins versants.

2 - Programme MODSUR (modélisation des transferts de surface)

Il se charge d'établir les bilans hydriques à partir des fonctions production et conduit à une première évaluation de l'écoulement permettant un précalibrage du bilan hydrologique global.

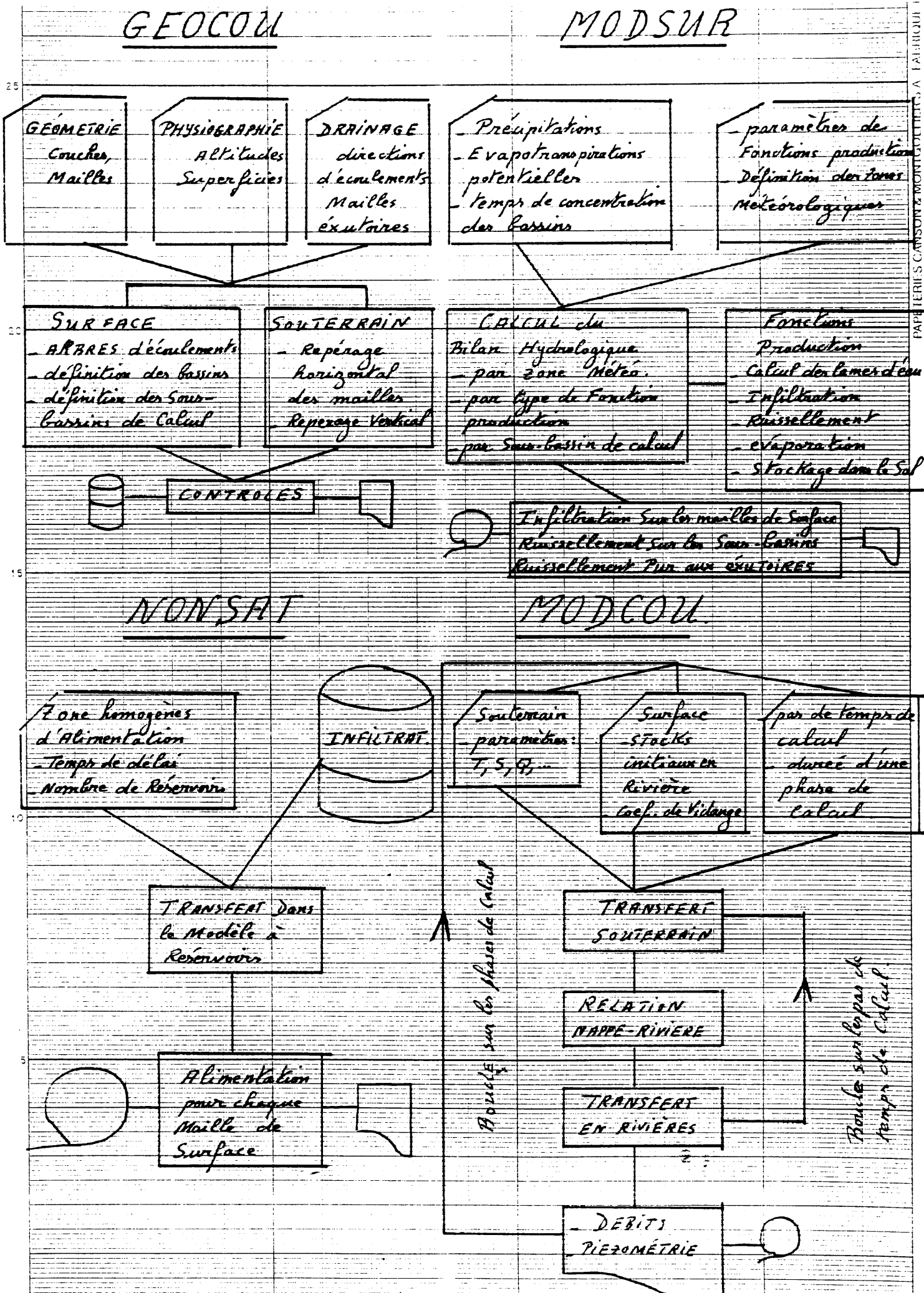
3 - Programme NONSAT (Modélisation des transfert dans la zone non saturée)

Il a pour rôle d'assurer la transformation du débit d'infiltration issu des fonctions production en débit d'alimentation parvenant aux nappes dans le cas où ce problème n'a pu être réglé correctement par l'emploi de ces seules fonctions, aux moyens du réservoir de transfert.

4 - Programme MODCOU (simulation conjointe des transferts de surface et des transferts souterrains).

Ce dernier programme réalise la simulation conjointe des transferts superficiels et souterrains, et calcule les débits aux stations hydrométriques et exutoires des bassins ainsi que les variations de l'état piézométriques des nappes.

FIGURE N° 7: SCHEMAS DES PROGRAMMES DU MODELE COUPLE.



IV - APPLICATION DU PROGRAMME GEOCOU (GEOMETRIE DU MODELE COUPLE) SUR MAILLE
CARREE DE 100 Km DE COTE DANS LE SUD-OUEST DE LA FRANCE

A - Présentation géographique et hydrologique de la zone d'étude

1- Cadre géographique

La région étudiée du projet MOBILHY couvre une portion du Bassin d'Aquitaine occupant une superficie de plus de 10.000 Km² (voir figure 8). Elle englobe une grande partie des bassins du fleuve Adour, du fleuve côtier le Leyre et de quelques affluents rive gauche du fleuve de la Garonne.

Le fleuve Adour de longueur 355 km draine une partie des Pyrénées et du Bassin d'Aquitaine. Il prend sa source près du col du Tourmalet vers 3290 m d'altitude, dans la vallée de Campan, passe à Bagnères de Bigorre et à Tarbes, puis décrit une vaste courbe vers le Nord par Aire, Saint Never, Dax et après s'être infléchi vers le Sud, arrose Bayonne avant de se jeter dans l'Atlantique.

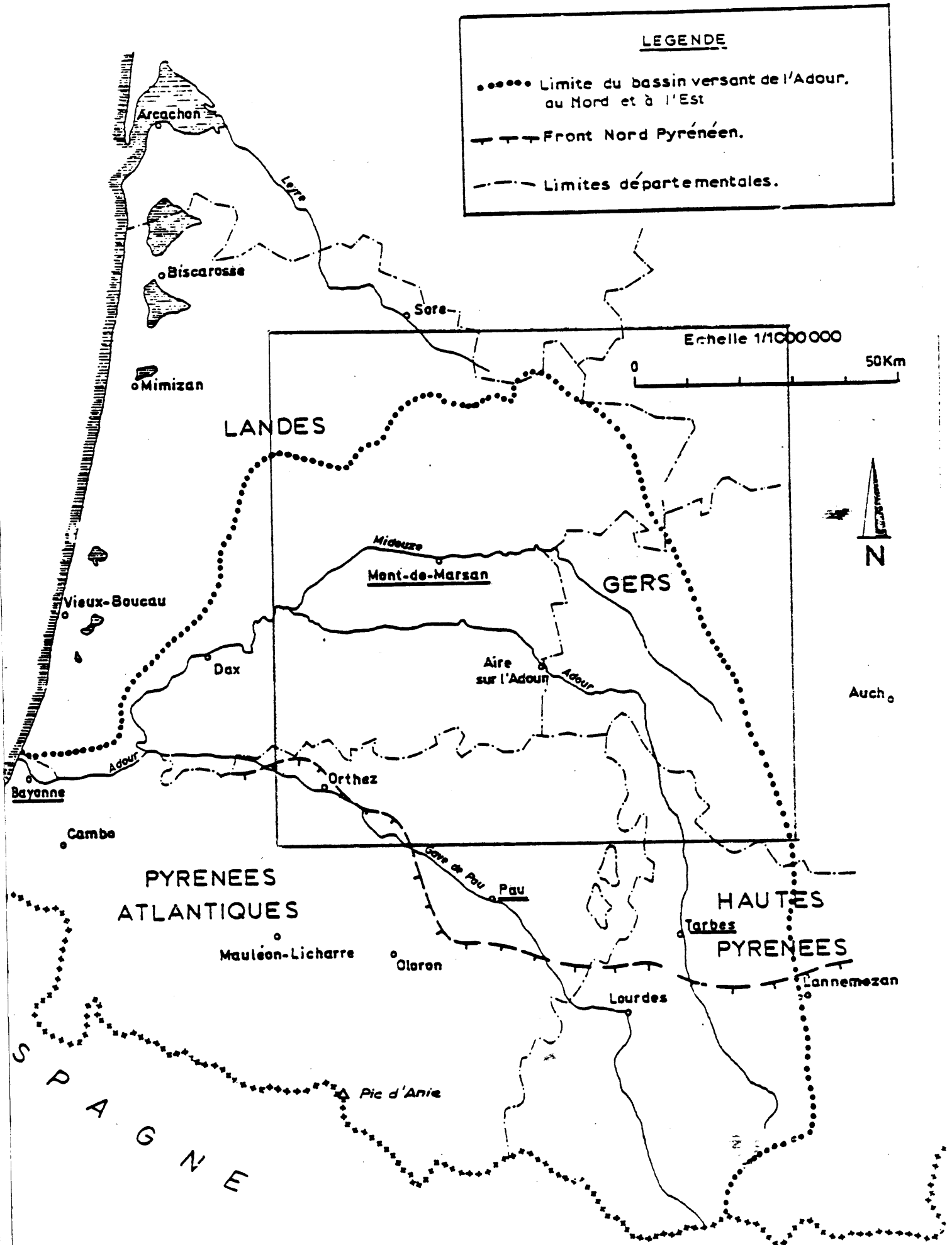
L'Adour reçoit l'Arros et la Midouze sur la rive droite, et sur sa rive gauche, en dehors de ses affluents les plus importants (les gaves pyrénéens et le gave de Pau) les deux Luy.

L'Adour dont le bassin occupe plus de 60% de la maille d'étude est un torrent de régime pluvio-nival qui, en cas de crue, roule 1500 m³/s et peut dépasser 3600 m³/s. Son débit moyen est de 360 m³/s.

Le fleuve est navigable en aval de Saint Never sur 132 km. Son embouchure se trouve depuis 1578 entre Anglet et le Boucau. Le bassin amont du fleuve côtier des Landes de Leyre, qui n'occupe que 12% de la zone d'étude, long de 80 km draine la partie centrale des grandes Landes peu élevées (127 m d'altitude maximum).

Les bassins des affluents aval rive gauche de la Garonne, du Ciron à la Gélise occupent 26% de cette maille d'étude. Le tiers de ces bassins fait partie des Grandes Landes tandis que les autres se rattachent aux côteaux de Gascogne (altitude maximale 600 m)

De ce qui précède on retiendra finalement que le domaine d'étude est occupé à 40% par les Grandes Landes et à 60% par les côteaux de Gascogne. Parmi les bassins versants de la maille, certains ont fait l'objet d'aménagements importants voilà plus de 2 siècles.



2 - Hydrométrie

Les principales crues anciennes qui ont fait l'objet d'observations dans le bassin de l'Adour et de la Midouse, datent de 1700, juin 1855, Juin 1875, Mai 1905. Ce n'est que depuis 1918 que l'on observe régulièrement les niveaux d'eau en un nombre croissant d'emplacements (voir figure 9). Ce nombre a été triplé vers les années 1966-70 après la création de l'Agence de Bassin Adour-Garonne.

Le tableau I précise l'état des stations hydrométriques en 1974 existantes sur l'Adour et la Midouze.

3 - Les écoulements

Sur la zone d'étude les précipitations annuelle croissent de l'Est à l'Ouest de 690 mm à 1100 mm avec une légère augmentation du Nord au Sud.

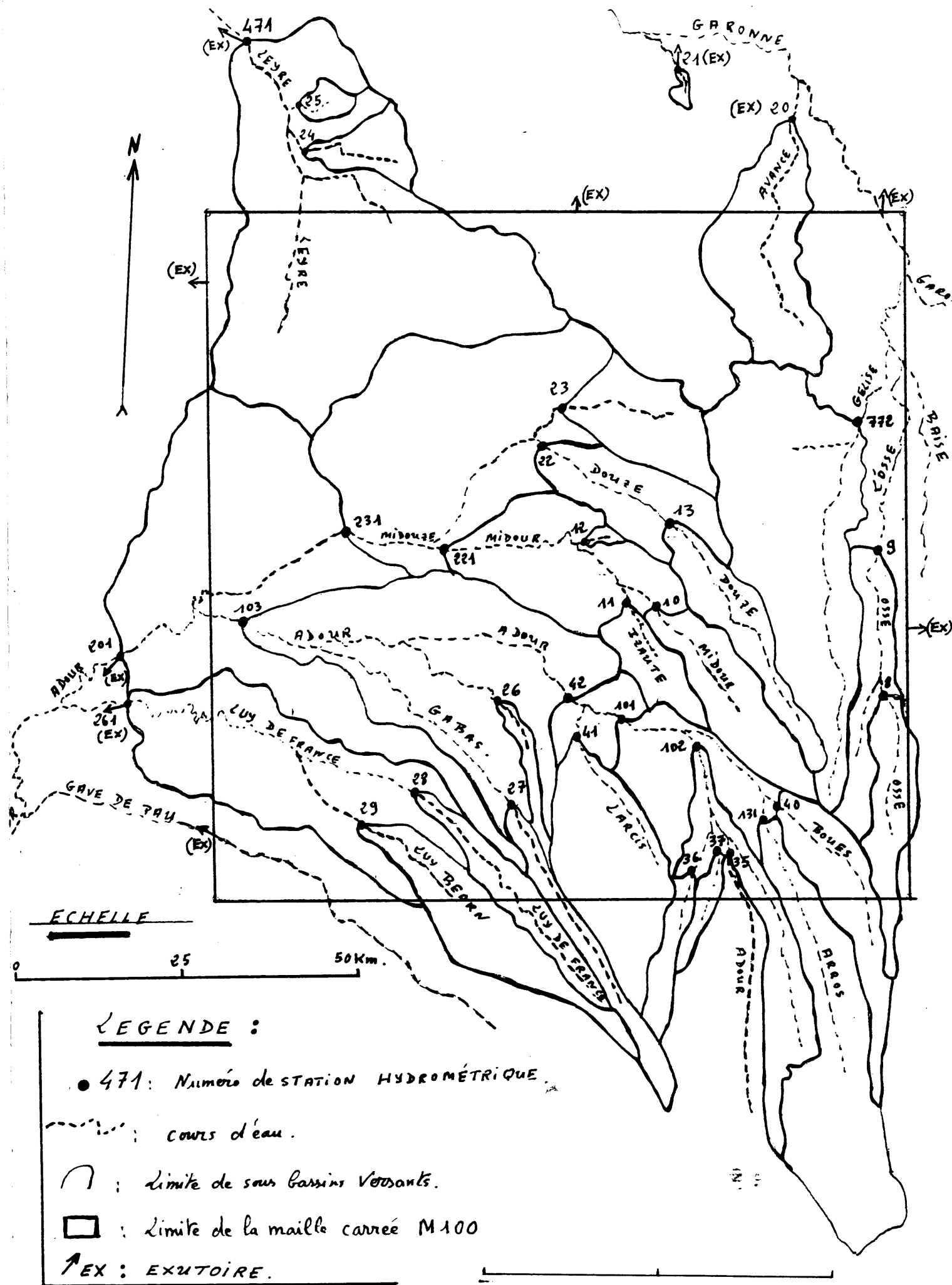
Avec des évapotranspirations potentielles Penman de 500 à 800 mm par an, les écoulements observés s'échelonnent entre 200 et 600 mm selon la position géographique de ces bassins versants et leurs propres caractéristiques physiographiques.

Les rapports des valeurs extrêmes des lames mensuelles écoulées témoignent soit de l'abondance des périodes humides soit de la pauvreté des périodes sèches. Ils varient de 3,5 à 12. Les lames spécifiques d'étiage oscillent de 1,4 à 20,0 l/s/km² pour les bassins des côtes de Gascogne aux bassins pyrénéens à étiage soutenu par la fonte des neiges en été.

Le tableau II rassemble les débits, lames et débits spécifiques moyens mensuels et annuels mesurés en 1977 aux stations publiées par l'annuaire national des débits des cours d'eau.

Les débits d'étiage ont fait l'objet d'étude par la compagnie des côtes de Gascogne et sont résumés sur le tableau III (emprunté à des rapports de cet organisme).

FIGURE N° 2 Sous-bassins Versants et Réseau hydrographique



LEGENDE :

● 471: Numéro de STATION HYDROMÉTRIQUE

--- cours d'eau.

— limite de sous bassins versants.

□ : limite de la maille carrée M100

↑ EX : EXUTOIRE.

Bassin de la Midouze

		S. B. V. km ²				
Izaute	à MONTLEZUN	111	1966-1974	9 ans	C.A.C.G.	En service
Midour	à LAUJUZAN	256	1966-1974	9 ans	C.A.C.G.	En service
Douze	à CAZAUBON	217	1969-1974	6 ans	C.A.C.G.	En service
Midour	à VILLENEUVE-DE-MARSAN	600	1923-1942	20 ans	C.E.S.O.	Hors service
Douze	à ROQUEFORT	880	1924-1943	20 ans	C.E.S.O.	Hors service
Midour	à MONT-DE-MARSAN	800	1967-1974	8 ans	C.E.S.O.	En service
Midouze	à MONT-DE-MARSAN	2 020	1924-1948	20 ans	C.E.S.O.	Hors service
Midouze	à CAMPAGNE	2 500	1967-1974	8 ans	C.E.S.O.	En service
Midouze	Confluent de l'Adour	3 100	Estimation SRAE à partir de CAMPAGNE & MONT-DE-MARSAN			

Bassin de l'Adour

Adour	à ASTÉ	272	1920-1974	53 ans	C.E.S.O.	En service
Adour	à CORNEILLAN	2 350	1955-1972	13 ans	C.E.S.O.	En service
Adour	à AIRE	2 930	1918-1945	28 ans	C.E.S.O.	Hors service
Adour	Confluent de la Midouze		Estimation SRAE à partir de DAX et MIDOUZE			
Adour	à DAX	7 830	1918-1974	55 ans	C.E.S.O.	En service
Bouès	à JUILLAC	236	1969-1973	5 ans	SRAE MP	En service
Arros	à JUILLAC	590	1967-1974	8 ans	C.E.S.O.	En service
Arros	à GOURGUE	173	1969-1973	5 ans	SRAE MP	En service
Grand Lees	à LANNUX	423	1969-1973	5 ans	SRAE MP	En service
Banus	à EUGENIE	486	1970-1975	5 ans	SRAE Aquit.	En service
Gabar	à POURSIUGUES	142	1968-1975	8 ans	SRAE Aquit.	En service
Juy de Béarn	à SAINT-MEDARD	257	1970-1975	6 ans	SRAE Aquit.	En service
Juy de France	à MONGET	186	1970-1975	6 ans	SRAE Aquit.	En service
Juy	à SAINT-PANDELON	1 150	1967-1974	8 ans	C.E.S.O.	En service

TABLEAU I - Etat des stations hydrométriques en 1974 sur l'Adour et le Midouze.

TABLEAU II - Débits, lames et débits spécifiques moyens mensuels 1977

Code	Cours d'eau	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
471	SYRE													
Q	à SALLES	28,8	42,0	29,1	22,7	18,3	17,0	10,0	8,05	7,95	8,55	12,6	23,5	18,9 m ³ /s
L	11 années	46	63	47	36	30	27	16	13	12	14	20	38	361 mm
/skm ²	BV=1650Km ²	17,2	25,9	17,6	13,8	11,1	10,3	6,06	4,88	4,82	5,48	7,64	14,2	11,5
001	ADOUR													
Q	à Pt d'ASTE	7,80	7,90	8,95	11,8	15,6	15,7	9,95	6,15	5,45	5,95	7,60	8,95	9,30 m ³ /s
L	47 années	77	70	88	112	154	150	98	61	52	59	72	88	1080 mm
/skm ²	BV=272 Km ²	28,7	29,0	32,9	43,4	57,4	57,7	36,6	22,6	20,0	21,9	27,9	32,9	34,3
101	ADOUR													
Q	à CORNEILLAN	50,0	51,5	44,5	44,2	48,5	42,1	19,2	11,8	13,0	15,4	25,6	58,5	34,8 m ³ /s
L	18 années	57	53	51	49	55	46	22	13	14	18	28	61	467 mm
/skm ²	BV=2350Km ²	21,3	21,9	18,9	18,8	20,6	17,9	8,17	5,02	5,53	6,55	10,9	22,6	14,8
102	ADOUR													
Q	à CAHUZAC	10,0	29,9	31,2	31,3	38,9	28,4	21,3	14,5	12,4	20,4	30,9	28,0	25,5 m ³ /s
Q	4 années	40	55	65	64	81	57	44	30	25	43	62	58	624 mm
/skm ²	BV=1285Km ²	14,1	22,6	24,3	24,7	30,3	22,1	16,6	11,3	9,65	15,9	24,0	21,8	19,8
103	ADOUR													
Q	à AUDON	54,0	96,0	97,5	80,5	89,0	60,0	41,7	30,6	26,1	49,7	79,0	84,0	65,5 m ³ /s
L	4 années	35	57	64	51	58	38	27	20	16	32	50	55	503 mm
/skm ²	BV=4100Km ²	13,2	23,4	23,8	19,6	21,7	14,6	10,2	7,46	6,36	12,1	19,3	20,5	16,0
131	ARROS													
Q	à JUILLAC	10,6	13,6	11,4	11,2	10,8	8,05	4,55	3,29	2,97	3,72	6,65	9,65	6,00 m ³ /s
L	11 années	48	56	52	49	49	35	21	15	13	17	29	44	428 mm
/skm ²	BV=590Km ²	18,0	23,1	19,3	19,0	18,3	13,6	7,71	5,58	5,03	6,31	11,3	16,4	13,6
161	GABAS													
Q	POURSUIGUES	3,81	5,40	3,83	3,11	3,15	2,06	0,845	0,505	0,496	1,24	2,29	3,97	2,54 m ³ /s
L	11 années	72	92	72	57	59	38	16	10	9	23	42	75	564 mm
/skm ²	BV=142 Km ²	26,8	38,0	27,0	21,9	22,2	14,5	5,95	3,56	3,49	8,73	16,1	28,0	17,9
A211	MIDOUR													
Q	Mt de MARSAN	10,4	17,5	11,1	8,00	9,50	7,40	5,70	3,57	3,67	4,66	5,90	12,7	8,30 m ³ /s
L	11 années	35	53	37	26	32	24	19	12	12	16	19	43	327 mm
/skm ²	BV=590 Km ²	13,0	21,9	13,9	10,0	11,9	9,25	7,13	4,46	4,59	5,83	7,38	15,9	10,4

TABLEAU II (Suite)

Code	Cours d'eau	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
A221	DOUZE													
Q	à ROQUEFORT	4,38	8,60	4,64	3,10	4,22	3,26	1,83	0,775	0,625	1,29	2,38	3,93	3,20 m
L	8 années	26	46	27	18	25	19	11	5	4	8	14	23	224 m
/sKm ²	BV=450 Km ²	9,73	19,1	9,91	6,89	9,38	7,24	4,07	1,72	1,39	2,87	5,29	8,73	7,12
A231	MIDOUZE													
Q	à CAMPAGNE	30,0	44,0	32,6	25,1	27,2	22,3	15,1	11,2	11,0	12,7	16,7	27,9	2,30 m
L	11 années	33	43	35	26	29	23	16	12	11	14	17	30	290 mm
/sKm ²	BV=2500Km ²	12,4	18,0	18,0	10,0	10,9	8,92	6,04	4,48	4,40	5,08	6,68	11,2	9,20
A261	LUY													
Q	St PANDELON	31,6	45,0	29,5	21,7	21,4	15,4	5,70	5,10	5,00	10,2	18,5	34,5	20,2 m
L	11 années	74	95	69	49	50	35	13	12	11	24	42	80	553 mm
/sKm ²	BV=1150Km ²	27,5	39,1	25,7	18,9	18,6	13,4	4,96	4,44	4,35	8,87	16,1	30,0	17,5
772	GELISE													
Q	MEZIN-COURBLAN	7,10	11,8	7,40	5,65	7,10	5,05	3,10	1,77	1,36	1,72	3,33	5,80	5,05m ³
L	11 années	23	35	24	18	23	16	10	6	4	6	10	19	193 mm
/sKm ²	BV=825Km ²	8,61	14,3	8,97	6,85	8,61	6,12	3,76	2,15	1,65	2,09	4,04	7,09	6,13

TABLEAU III
 CARACTERISTIQUES DES REGIMES D'ETIAGE SUR LE BASSIN DE D'ADOUR

		S.B.V. km ²	Débits moyens Août			Coef. variat. Décen.	Module Moyen l/s/km ²	Module Décen. l/s/km ²	Observations
			Biennal m ³ /s	Quinq. m ³ /s	Décen. m ³ /s				
Midouze	(confluent)	3 100	11,5	9,2	8,2	0,71	3,7	2,65	
Midour	(MONT-DE-MARSAN)	800	3,3	2,7	2,4	0,73	4,1	3,0	
Douze	(MONT-DE-MARSAN)	1 220	5,2	4,1	3,7	0,72	4,3	3,0	
Douze	(ROQUEFORT)	880	2,3	1,5	1,1	0,48	2,6	1,25	
Midour	(VILLENEUVE)	600	0,52	0,32	0,23	0,44	0,9	0,38	
Adour	(DAX)	7 830	24,2	17,0	14,0	0,58	3,1	1,79	
Adour	(Confluent Midouze)	4 060	12,7	7,0	4,6	0,36	3,1	1,13	
Adour	(AIRE)	2 930	9,4	6,3	5,0	0,53	3,2	1,71	
Adour	(ASTE)	272	5,0	3,7	3,2	0,64	18,3	11,8	(Septembre)
Arros	(JUILLAC)	590	2,3	1,36	0,96	0,42	3,9	1,63	
Luy	(ST-PANDELON)	1 150	3,1	1,8	1,2	0,39	2,7	1,04	
Grand Lées	(LANNUX)	423	0,37	0,21	0,15	0,41	0,9	0,35	(≈GABAS, LOUTS, BAHUS)
Gave de PAU	(Pont de BERRENX)	2 580	41,0	29,0	24,5	0,60	16,0	9,5	
Gave de PAU	(LOURDES)	1 120	25,0	19,0	16,0	0,64	25,0	14,3	(Septembre)
Gave d'OLORON	(ESCOS)	2 456	28,0	19,0	15,0	0,54	11,4	6,1	
Gave d'OLORON	(OLORON)	1 090	18,8	12,7	10,3	0,55	17,0	9,5	
Nive	(ITXASSOU)	850	11,1	9,5	8,8	0,79	13,0	10,4	

4 - Hydrogéologie

La région étudiée correspond à une partie de l'ensemble hydrogéologique du Bassin Aquitain qui s'étend sur plus de 100.000 km². De nombreuses études entreprises antérieurement sur ce système aquifère ont abouti en 1974 à un modèle mathématique des écoulements. L'analyse résultante de ce modèle permet de retenir sur cet ensemble dans son entier : huit réservoirs souterrains principaux allant du Quaternaire au Jurassique séparés entre eux par des couches semi-perméables assurant une connexion hydraulique.

Disposition des aquifères (de haut en bas) :

- l'aquifère Plio-quaternaire constitué par les sables des Landes et les graviers pliocène renferme la nappe phréatique. L'infiltration moyenne est estimée à 200 mm/an, se répartissant entre l'écoulement direct vers l'océan et les cours d'eau limitrophes d'une part et l'alimentation des aquifères profonds d'autre part.

- le réservoir Miocène constitue un aquifère continu limité à l'Est par la Gironde et la Garonne et au Sud par le fleuve Adour. L'alimentation s'effectue au toit à partir du Pliocène. Les exutoires se trouvent en mer et vers l'aquifère sous-jacent de l'Oligocène.

- le réservoir Oligocène est bien développé à l'Ouest du Bassin où il présente un faciès carbonaté détritique. L'alimentation se fait essentiellement par le toit en provenance du Miocène et aussi par le mur de la part de l'Eocène vers le Sud. L'exutoire principal est constitué par la Garonne mais il existe aussi un écoulement en mer par le biais du Miocène .

- le réservoir Eocène s'étend sur l'ensemble du Bassin Aquitain constituant ainsi l'aquifère le plus important de la région. La nappe s'écoule vers l'estuaire de la Gironde et est alimentée essentiellement par ses affleurements de bordure.

- les réservoirs du Secondaire sont situés à grande profondeur et reconnus par les sondages pétroliers. Alimentés sur les reliefs de bordure, ils s'écoulent vers l'océan et par percolation verticale vers l'Eocène.

On distingue quatre couches aquifères :

- le sommet du Crétacé supérieur;
- la base du Crétacé supérieur;
- le Crétacé inférieur et le Portlandien;
- le Jurassique moyen et supérieur.

Le bilan en eau sur l'ensemble du bassin a pu être établi pour l'année de référence 1965 à l'aide du modèle mathématique en 1974; ce bilan est schématisé sur la figure 10 (empruntée au rapport du modèle souterrain du Bassin Aquitain). Le bilan fera l'objet d'analyse plus loin. La figure 11 montre l'étendue de la nappe Plio-quaternaire introduite dans le modèle globale du Bassin Aquitain.

B - Choix de la maille carrée de 100 km de côté

Quoique généralement et non nécessairement le modèle couplé fut utilisé sur des unités complètes de bassin versant, son application dans le cas présent, à une portion du bassin aval du cours d'eau Adour nous mettra sous la dépendance de l'obtention des débits moyens journaliers du cours d'eau Adour, à la station de Estirac. Ces débits seront considérés comme une entrée du domaine de surface dans le modèle.

16 cartes Institut Géographique National au 1/100.000 du Sud-Ouest de France ont été consultées :

- Agen
- Aire/sur/Adour
- Arcachon
- Angeles Gazest
- Auch
- Bagnères de Luchon
- Bazas
- Condom
- Dax
- Langon
- Marmande
- Mimizan
- Mont de Marsan
- Pau
- Soutons
- Tarbes

Sur ces cartes ont été tracées les limites de tous les sous-bassins versants hydrologiques des stations inventoriées par l'Agence de Bassin Adour-Garonne.

FIGURE N°10: BILAN EN EAU DU BASSIN AQUITAIN POUR L'ANNÉE DE RÉFÉRENCE 1965 (Modèle Sous Terrain du Bassin aquitain)

1974

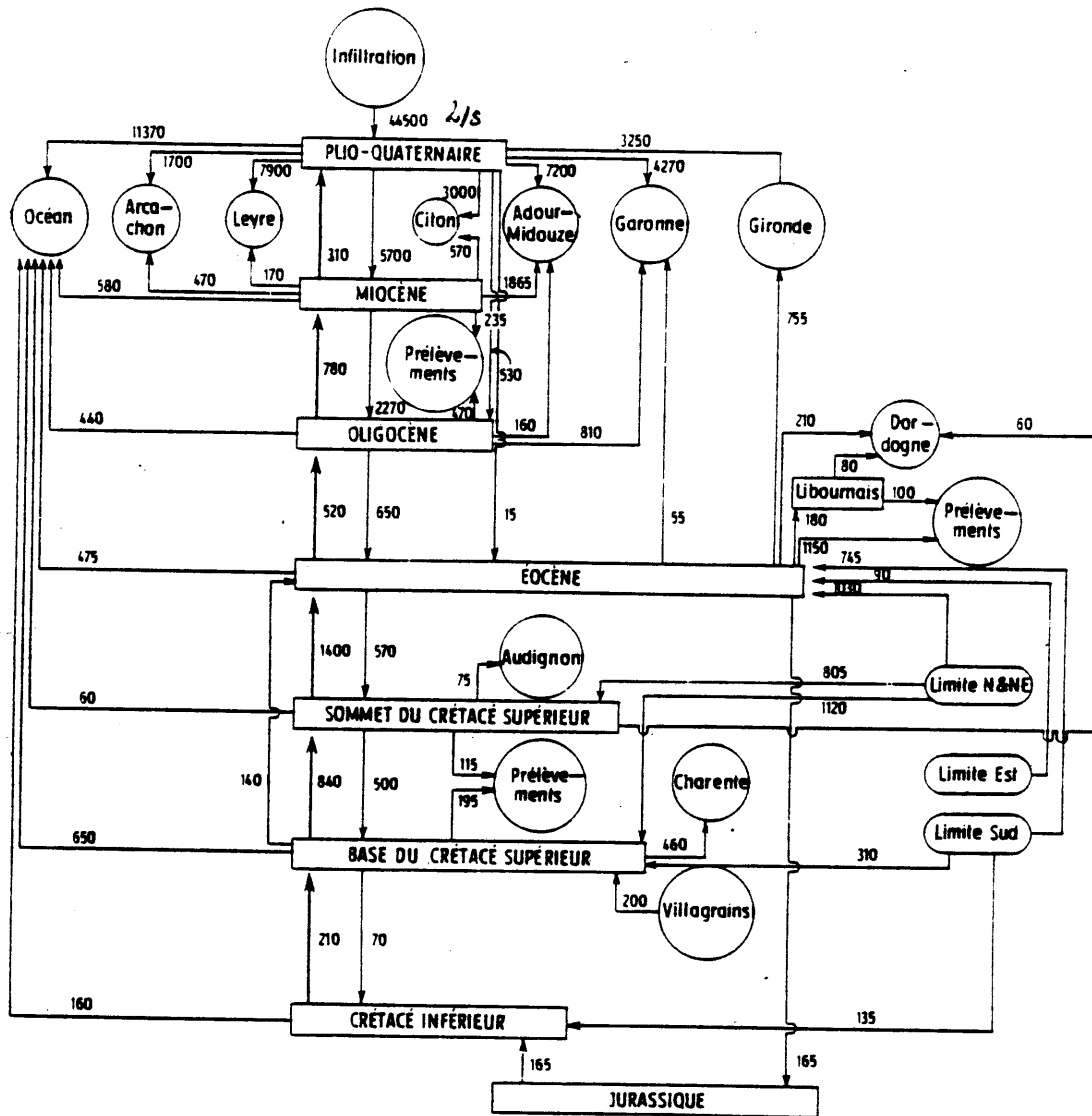
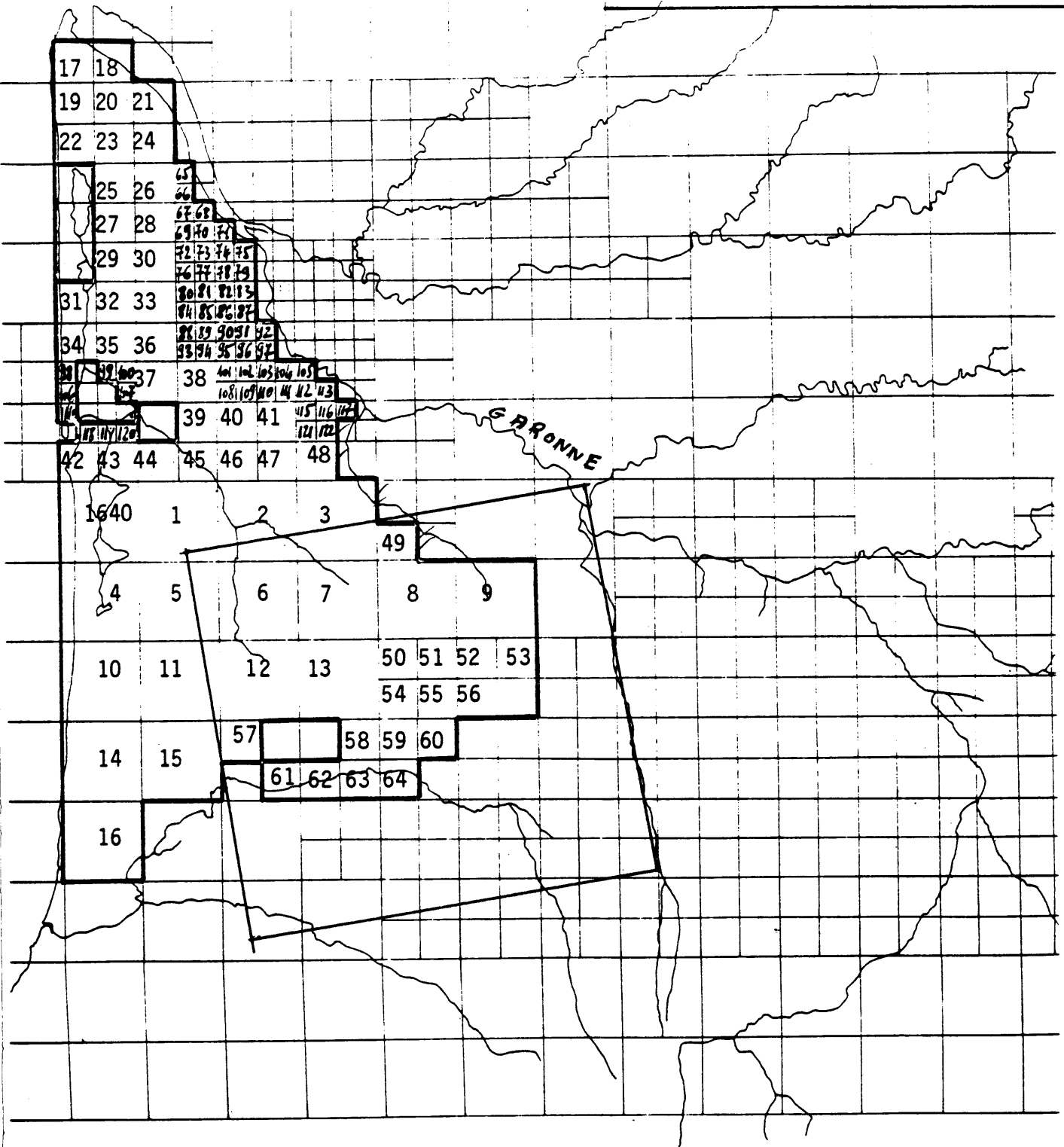


FIGURE N° 11 ETENDUE DE LA NAPPE PLIOQUATERNAIRE (CARTE EMPRUNTÉE AU MODELE SOUTERRAIN DU BASSIN AQUITAIN - 1974).



LEGENDE

□ : MAILLE M100

⌚ : limite de la couche plioquaternaire.

ECHELLE

0 50 100 Km.

Etant présumé que les données hydrométriques aux stations de Juillac sur le cours d'eau Arros et de Juillac sur le cours d'eau Boues, du fait de leurs proche situation vis à vis de la confluence de ces deux cours d'eau, peuvent être entachées d'erreurs et qu'il est impératif de réduire les entrées du modèle dans le domaine superficiel, le choix définitif s'est porté sur la maille carrée repérée en coordonnées Lambert (340-440; 130-230). En outre ce choix se justifie par l'emplacement du domaine d'étude qui se situe au sein de la zone couverte par le projet PATAC dont nous avons évoqué plus haut l'intérêt et l'utilité. La maille est également repérée sur la figure 12.

Il est à noter qu'avec ce choix, le pourcentage hydrologiquement contrôlé de la maille carrée est de 88% (cf figure 13) et que la surface globale donnant lieu au réglage du modèle futur s'élève à 14500 km² (surface résultant du test GEOCOU).

C - Les données disponibles

1 - La pluviométrie

Le nombre de stations pluviométriques journalières situées à l'intérieur de la maille carrée est au maximum de 59.

Le besoin d'étendre le domaine de simulation fait que le nombre total retenu est de 66 (réf. tableau 3 et figure 14).

Le nombre exact de postes pluviométriques effectivement utilisés est fonction de la continuité des observations et de l'homogénéité de celles-ci. Dans notre cas ce nombre correspond à la période allant de 1974 à 1982.

2 - Evapotranspiration potentielle

Les données d'ETP décadaires seront à utiliser en fonction des valeurs calculées.

Les postes d'ETP retenus sont les suivants (figure 15) :

NOM DU POSTE	N° DU POSTE
MONT DE MARSAN	2
DAX	7
PAU UZEIN	3
AGEN	1
CAZAUX	4
BIARRITZ	6
TARBES	5

FIGURE N° 10 REPERAGE DE LA MAILLE M 100

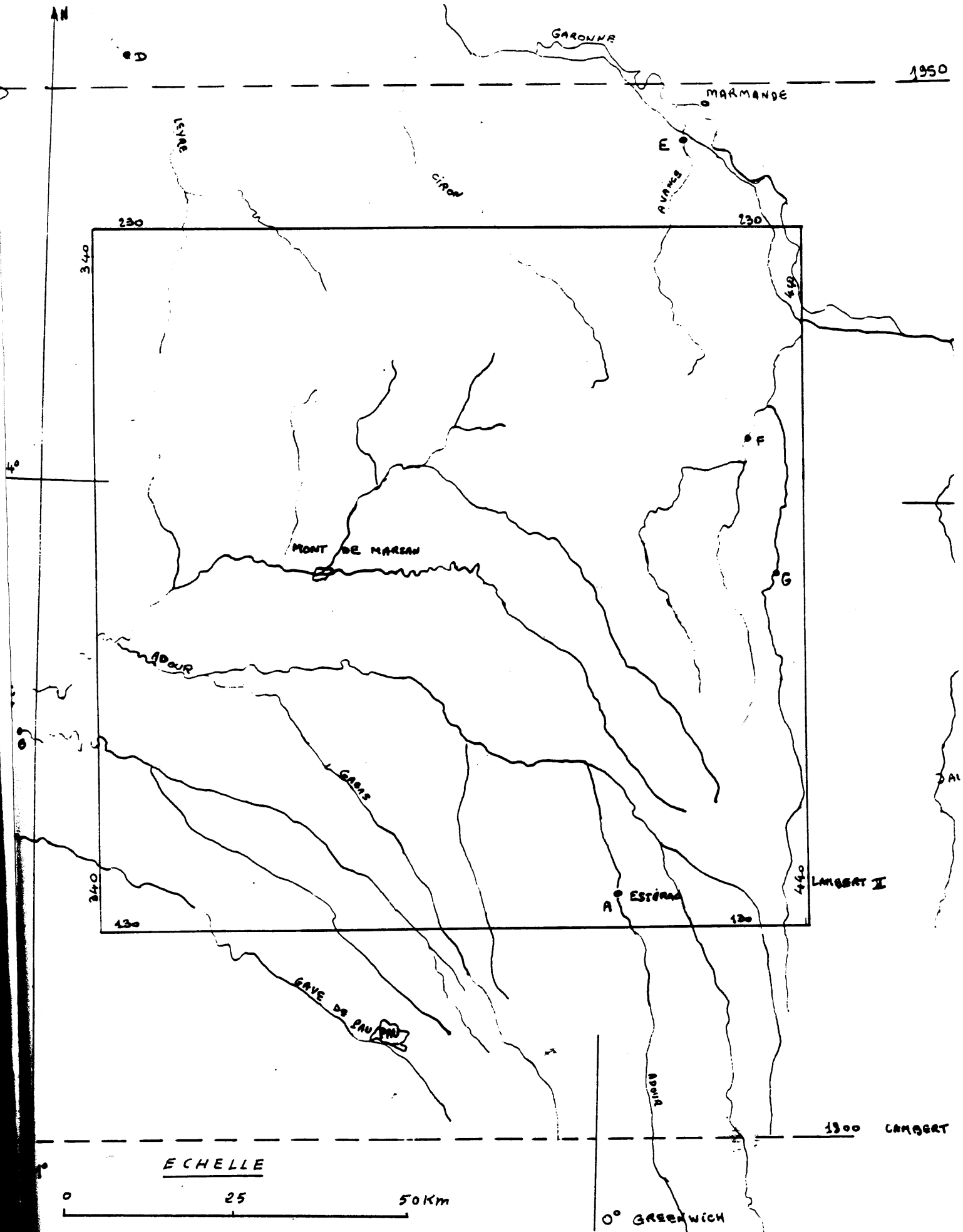


FIGURE N° 13 CONTOURS EXTERIEURES DES BASSINS VERSANTS.

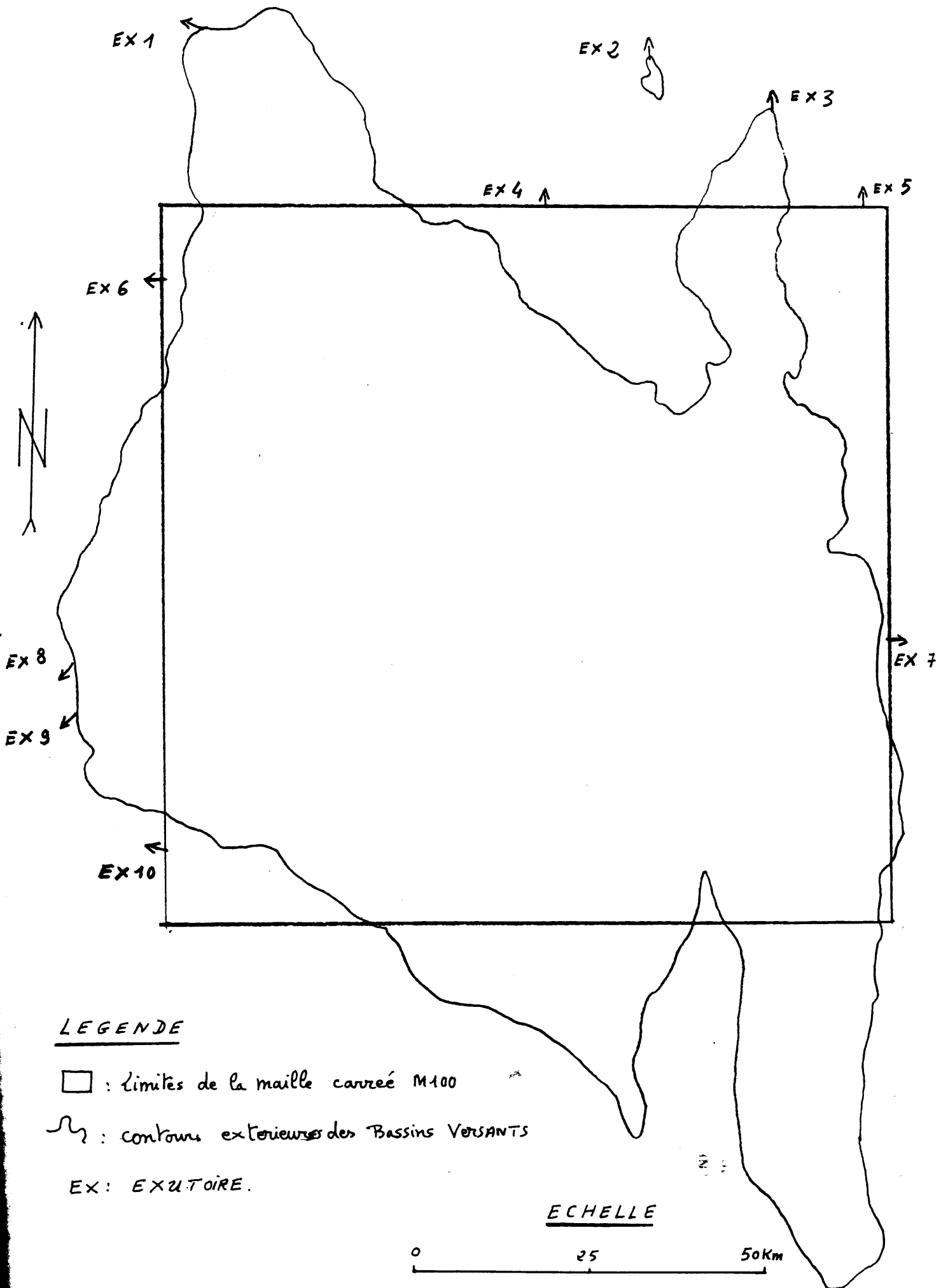


TABLEAU N° 3 : LISTE DES POSTES PLUVIOMETRIQUES RETENUS

30

Nom du poste	Coordonnées		Numéro d'identité Météo	Numéro du poste	N° de Maille
	X	Y			
1	2	3	4	5	6
ANZOS	402,6	247,0	330 211	14	(54)
BEGARR	343,8	174,5	400 311	24	487
MUGRON	351,5	165,8	402 011	37	541
BOOS	332,6	182,4	400481	27	390
CASTETS	320,5	181,7	400751	28	(389)
ONESSE	327,3	201,5	40 2101	38	1146
ARJURANX	344,3	195,4	400091	22	282
ARENGOSSE	349,4	194,2	400061	21	321
HOUELLES	416,0	213,5	47 1191	49	186
ST-MARTIN-CURTON	414,5	228,5	472541	51	84
VILLEFRANCHE	429,3	225,4	47 3201	52	89
XAINTRAILLES	434,0	214,0	473271	53	195
BELIS	376,0	200,0	40 0331	25	256
MONT DE MARSAN	371,5	183,0	40 1921	36	398
BENQUET	372,0	174,5	400372	26	499
SALLES D'ARMAGNAC	408,8	170,7	32 4081	11	515
LUSSAGNET	393,2	167,2	40 1661	34	549
GRENADE/S/ADOUR	377,0	167,5	40 1171	31	546
ST SEVER	366,0	166,0	40 2821	45	544
MONTANT	358,7	164,5	40 1911	35	599
PARENTIS	328,0	233,5	40 2171	39	1125
PISSOS	351,5	228,0	40 2271	42	65
LABOUMEYRE	340,0	217,5	40 1342	32	1139
SABRES	354,0	210,0	40 2461	44	199
ST SYMPHORIEN	375,0	240,5	33 4842	18	1186
SORE	367,5	229,0	40 3071	47	68
BAZAS	397,0	240,0	330361	15	(1101)
GRIGNOLS	410,0	234,5	33 1951	17	(83)
CAPTIEUX	393,0	224,5	330951	16	108
RETJONS	389,5	203,4	40 1641	33	258
REAUPE	427,8	201,3	47 2211	50	278
GABARRET	413,5	190,0	40 1021	30	343
CONDOM	424,0	186,0	32 1071	4	382
PARLEBOSCO	413,0	185,0	40 2181	40	425

TABLEAU N° 3 ³¹ (Suite)

1	2	3	4	5	6
GONDRIN	431,4	178,4	32 1491	5	476
BEAUCHAIRE	443,0	172,7	320351	2	(528)
LANNEPAX	430,3	168,8	32 1901	6	572
VIC FEZENSAC	436,0	164,0	32 4621	13	630
AIRE SUR ADOUR	390,6	159,2	400011	19	654
BAHUS SOUBIRAN	383,0	156,2	400221	23	652
SARRAGACHIES	407,3	156,6	32 4141	12	662
MAUMUSSON	403,3	148,3	32 2451	9	760
LEMBEYE	402,0	130,7	64 3311	59	909
URGONS	375,8	153,6	40 3211	48	695
SAMADET	372,2	152,7	40 2861	46	691
POMPS	367,5	136,8	64 4501	60	846
GARLIN	389,3	143,5	64 2331	57	806
ARGELOS	383,0	131,5	64 0431	54	902
GERDERSET	396,5	126,5	64 2391	58	943
DAX	325,5	160,3	400881	29	(587)
PEYREHORADE	322,0	144,3	40 2241	41	(729)
POUILLON	331,0	150,5	40 2331	43	680
PUYOO	337,5	141,2	64 4611	61	(834)
HAIGTS de BERN	343,3	139,6	640871	55	835
AMOU	351,0	148,0	400021	20	735
BIRAN	445,3	156,7	320541	3	(678)
UPIAC	426,2	155,8	32 2191	7	669
ASSOUES	431,3	144,3	320321	1	832
ARCIAC	424,2	138,3	32 2331	8	876
IELAN	437,7	127,4	32 2521	10	(967)
AUBOURGUET	413,8	132,2	65 3041	63	917
ABASTENS	423,0	124,2	65 3751	64	955
SPOES	396,6	108,0	64 2161	56	(1053)
IE SUR BAISE	440,5	115,5	65 4521	66	(1031)
MURNAY	430,0	100,5	65 4471	65	1080
IGNERES	422,0	87,0	650596	62	(1088)

N.B. (967) : Maille la plus proche du poste située en dehors du domaine d'étude

FIGURE N° 14 LOCALISATION DES POSTES PLUVIOMETRIQUES SUR LE MAILLAGE DE SURFACE.

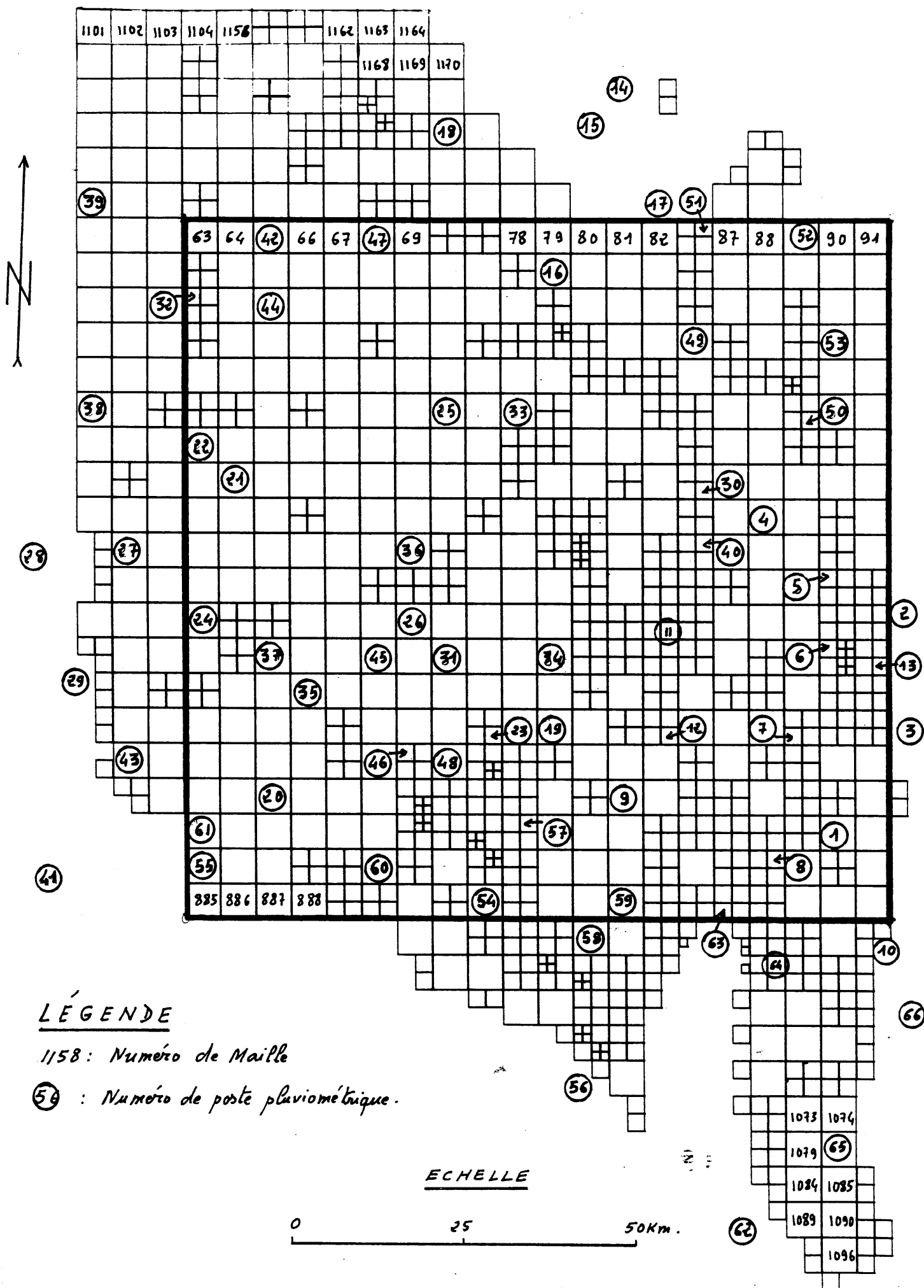
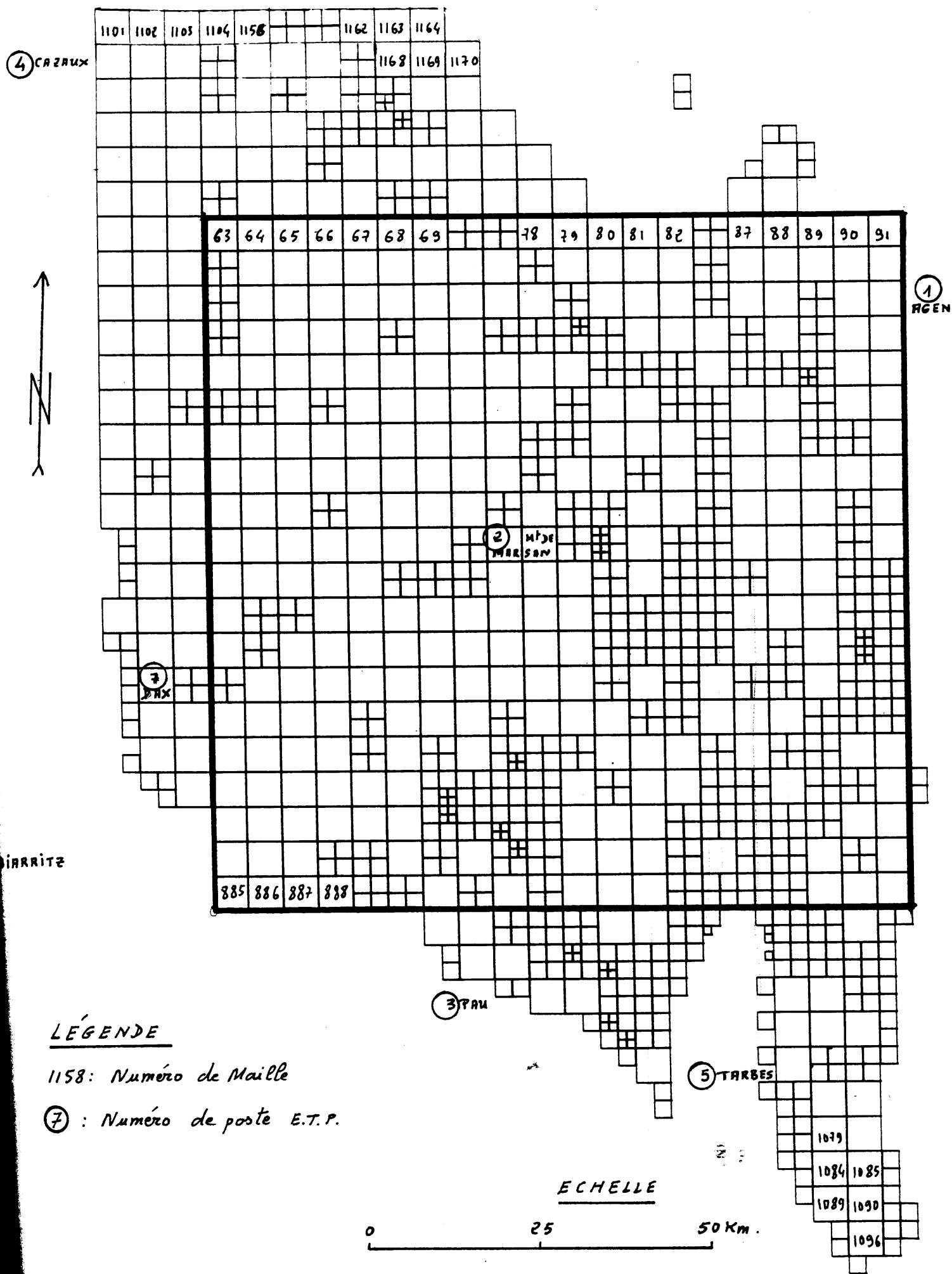


FIGURE N° 15 LOCALISATION DES POSTES D'E.T.P SUR LE MAILLAGE DE SURFACE.



3 - Les mesures hydrométriques

Les débits journaliers aux 32 stations retenues (réf. tableau 4 et figure 16) permettront d'assurer le calage du modèle futur. Ceux de la station d'Estirac sur l'Adour sont une des données indispensables pour le modèle.

4 - La piézométrie

Afin d'assurer le réglage des paramètres souterrains du modèle couplé, nous retiendrons la carte piézométrique de la couche Plioquaternaire, conçue par le modèle souterrain du Bassin Aquitain - 1974 (réf. figure 17).

5 - Aménagement

On note sur le domaine d'étude, l'existence de deux retenues : celle d'Uby et celle de Mielan, dont les capacités d'eau superficielle et les débits mensuels transférés apportent des informations pouvant éventuellement être utilisées.

L'Agence a répertorié 15 zones de transfert d'eau superficielle.

D - Modélisation du système hydrologique

1 - Modélisation des écoulements de surface

1.1 - Discretisation spatiale du domaine

Le domaine de surface représenté par le modèle couplé implique en majorité la superficie des 32 sous-bassins versants hydrologiques des stations inventoriées par l'Agence de Bassin Adour-Garonne (cf. tableau 4). La figure 9 illustre la position de ces sous-bassins versants.

Cependant vu l'extension de la nappe des sables des Landes (Plioquaternaire) qui déborde notablement vers l'Ouest de la maille carrée M 100 et qui devra être prise en compte par la modélisation de manière à atteindre les limites hydrauliques du domaine souterrain, la zone d'étude s'est vu adjoindre plus de 4500 Km² soit au total une surface de 14500 km².

Après avoir situé la maille M 100 sur une carte au 1/200.000, nous avons reporté l'ensemble des limites des sous-bassins versants sur les 16 cartes IGN. (citées plus haut).

Le tracé du maillage régulier Lambert II sur toutes ces cartes nous a permis d'obtenir un sous-maillage comprenant trois tailles de maille : 5 km-2,5 km et 1,25 km de côté, facilement repérable d'une coupure à l'autre.

TABLEAU N° 4 : LISTE DES STATIONS HYDROMETRIQUES

Nom de la STATION	coordonnées		N° de la Station	point K	code hydrologique	N° maille correspondante
	x	y				
1	2	3	4	5	6	7
SALLES	345,2	254,7	471	983,95	S 22425	5
Moulin Moine	352,7	245,2	25	998,05	S 22 356	14
BIGANON	354,0	239,4	24	996,80	S 22246	37
PONDAURAT	407,3	251,6	21	998,45	Q 91962	53
MONPOUILLAN	424,0	242,7	20	996,20	Q 91340	56
RETJONS	390,0	201,3	23	992,00	Q 23540	261
ROQUEFORT	387,3	195,8	22	970,10	Q 22 929	294
MERIN	432,6	199,5	772	993,00	Q 67 933	313
CAMPAGNE	359,5	183,2	231	976,80	Q 25933	396
MONT MARSAN	373,0	180,7	221	999,65	Q 21 925	401
LANNEMAIGNAN	395,2	182,2	12	998,20	Q 21 253	413
CAZAUBON	406,0	184,8	13	942,10	Q 22 429	420
MOUCHAN	436,0	180,4	9	960,20	Q 68746	480
AUDON	344,7	170,4	103	897,65	Q 14200	490
MONLEZUN	399,8	172,6	11	997,50	Q 20943	510
LAUZUZAN	402,0	171,2	10	945,05	Q 20625	511
ST-VINCENT	327,0	162,7	201	928,30	Q 31200	586
ST-PANDELAN	328,0	158,4	261	986,10	Q 34640	634
EUGENIE-BAIN	381,3	158,8	26	952,25	Q 12240	652
AIRE/SUR ADOUR	390,7	159,2	42	831,25	Q 11000	654
ROQUEBRUNE	437,4	159,6	8	927,00	Q 68346	676
LANNUX	392,6	153,0	41	994,70	Q 10960	710
CORNEILAN	398,0	154,5	101	820,90	Q 07400	712
CAHUZAC	410,0	151,8	102	799,25	Q 04500	762
MONGET	369,4	145,3	28	963,90	Q 32240	787
POURSUIGUES	382,8	143,0	27	952,25	Q 13240	804
JUILLAC	421,2	141,8	40	997,30	Q 06640	826
SOMBRUN	409,2	134,0	36	985,50	Q 04140	913
VILLEFRANQUE	412,0	135,8	37	993,00	Q 04350	914
ESTIRAC	413,2	135,7	35	777,20	Q 02800	915
ST. MEDARD	361,2	141,0	29	977,00	Q 33540	843
JUILLAC	420,0	141,0	131	975,50	Q 06125	872

FIGURE N° 16 LOCALISATION DES STATIONS HYDROMÉTRIQUES SUR LE MAILLAGE DE SURFACE.

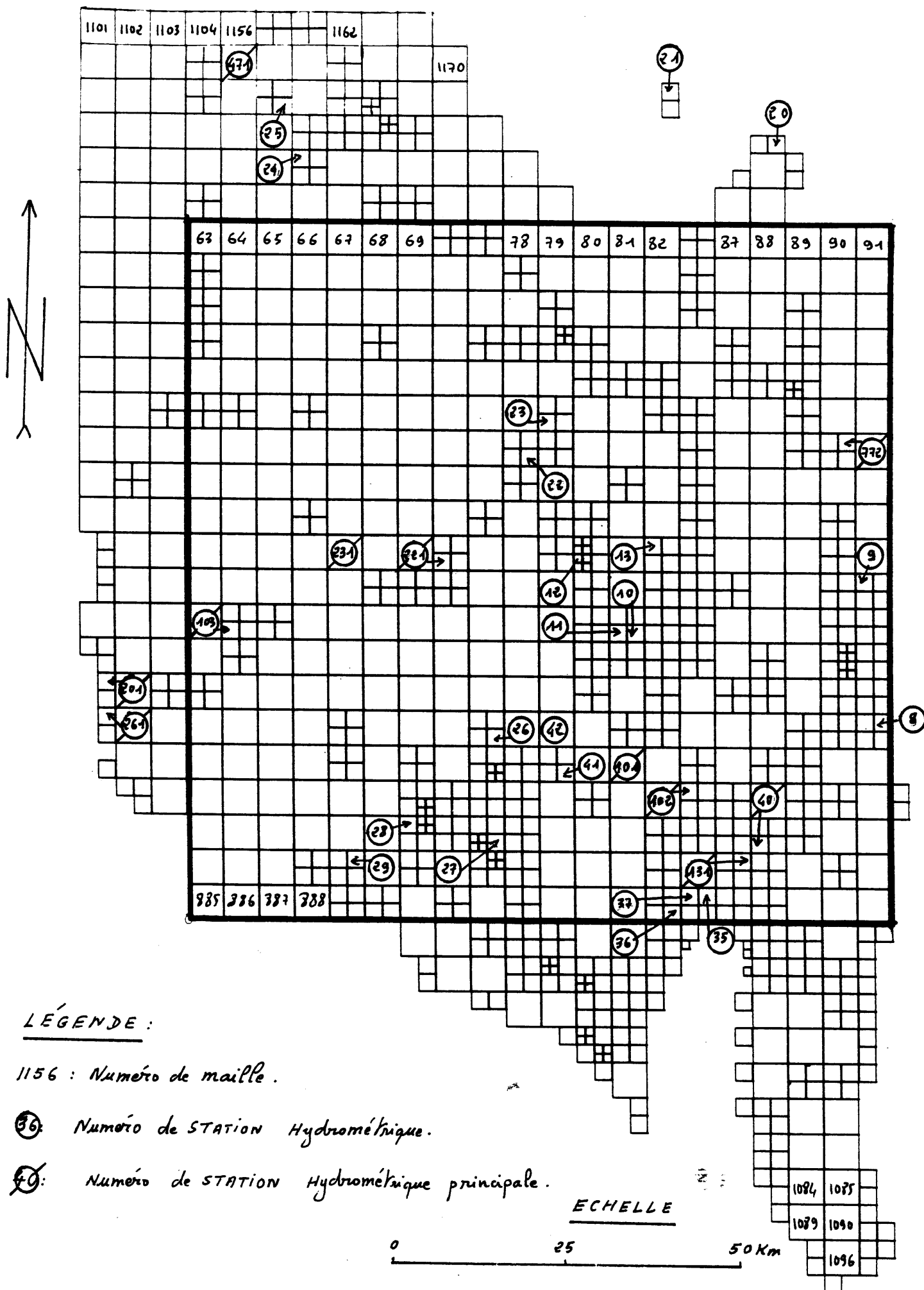
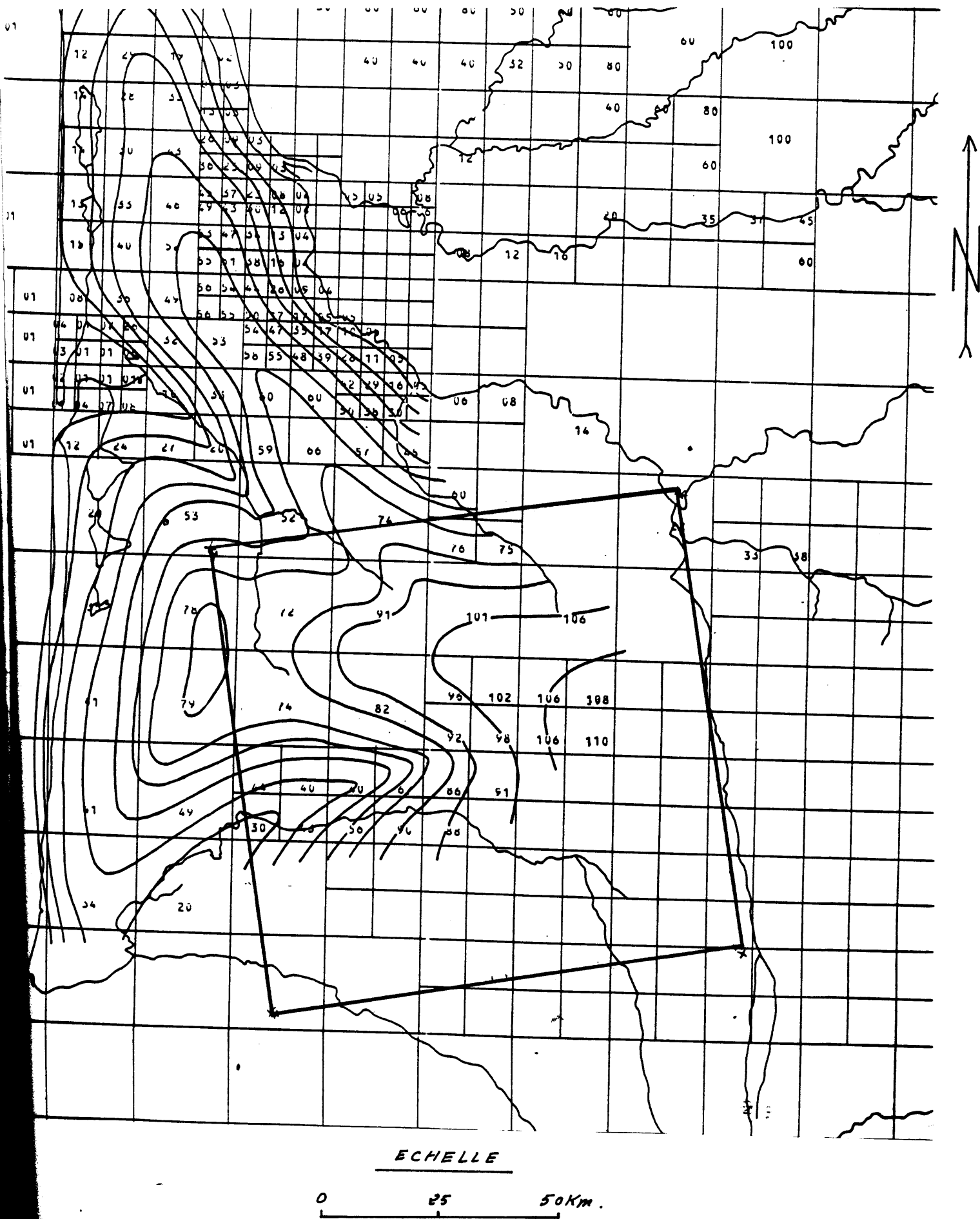


FIGURE N° 17 CARTE PIEZOMETRIQUE DE LA COUCHE PLIOQUATERNAIRE, EMPRUNTEE A L'ETUDE DU MODELE SOUTERRAIN DU BASSIN AQUITAIN (1974.).



Le raffinement du maillage se caractérise particulièrement en bordure des limites des sous-bassins versants situés en amont du domaine (Sud-Est) et ce vu l'aspect filiforme de ces sous-bassins et aussi le long du tracé des rivières, compte-tenu des exigences de la simulation des échanges surface-souterrain.

Le maillage complet de la couche de surface comprend ainsi 1208 mailles dont la position est donnée sur les figure 18 et 19 pour chacune de ces mailles.

Il est à noter que 99 mailles (N° 1101 à 1198 réf. figure 18) situées en dehors des zones de contrôle des exutoires permettront seulement le calcul de l'infiltration vers la nappe du souterrain. Ces mailles sont localisées en particulier à l'Ouest et au Nord de la zone d'étude (maille M 100).

1.2 - Définition du réseau de drainage

Nous retiendrons dans ce domaine 10 exutoires attribués à 10 bassins versants dont 5 sont sous contrôle de stations hydrométriques et 5 non contrôlés par des stations.

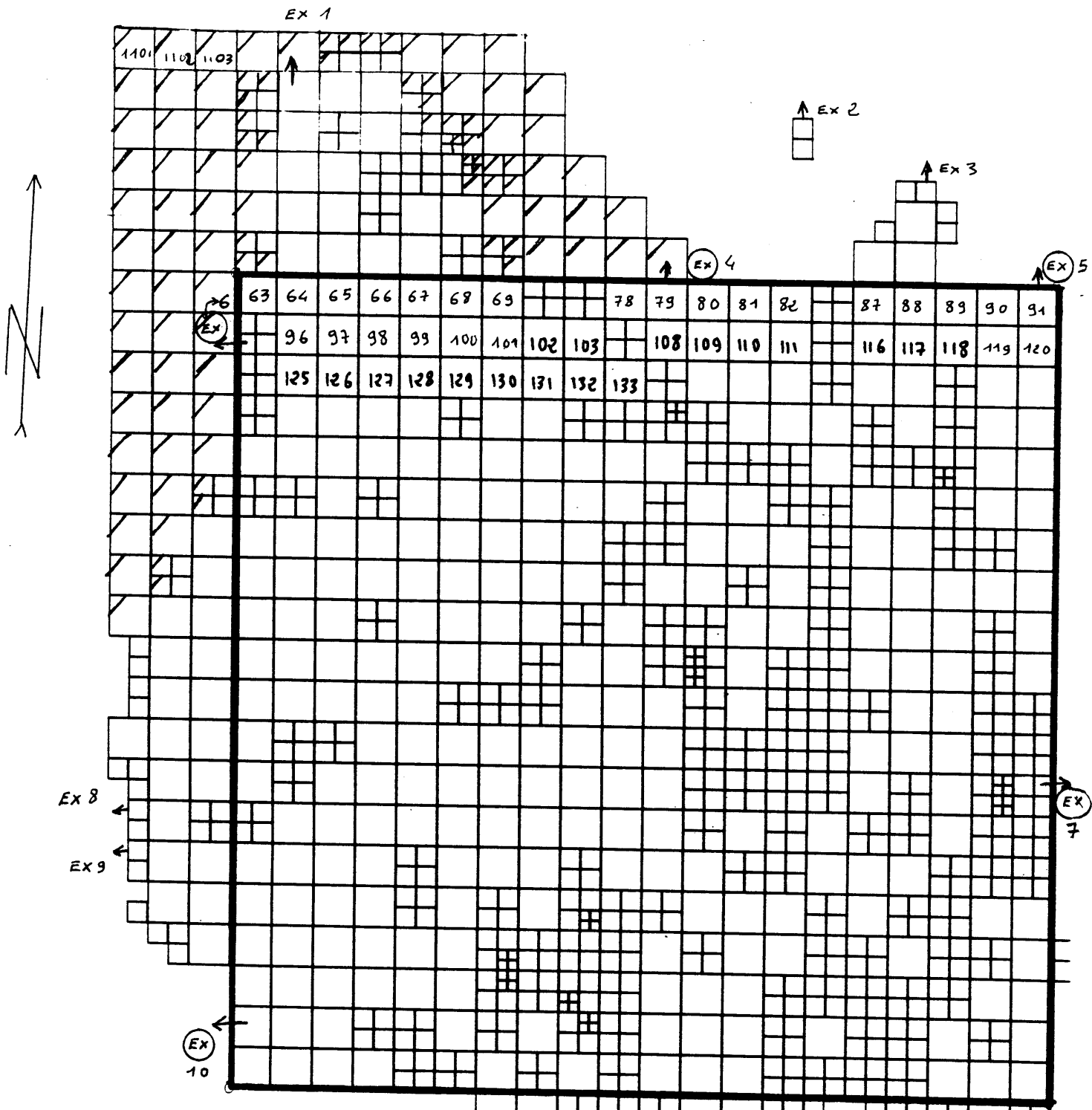
Ces bassins non contrôlés ont été introduits par souci de prendre en considération les écoulements dans les parties situées en dehors des bassins sous contrôle dans la maille M 100 englobant ainsi la totalité de la zone d'étude.

Les exutoires se répartissent comme suit (ref. figure 18).

Bassins sous contrôle

Maille n°56	figurant la station hydrométrique de Montpouillon sur le cours d'eau Avance.
Maille n°53	figurant la station hydrométrique de Pondaurat sur le cours d'eau Cadanne.
Maille n°5	figurant la station hydrométrique de Salles sur le cours d'eau Leyre.
Maille n°586	figurant la station hydrométrique de Saint Vincent sur le fleuve Adour.
Maille n°634	figurant la station hydrométrique de Saint Pandelon sur le cours Luy.

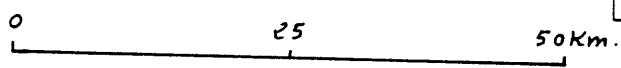
FIGURE N°18: DISCRETISATION DE LA COUCHE DE SURFACE



LEGENDE

- EX: EXUTOIRE DE BASSIN VERSANT SOUS
CONTROLE DE STATION HYDROMETRIQUE
- ⊗: EXUTOIRE DE BASSIN NON CONTROLE
- : maille hors Bassins.

ECHELLE



Bassins non contrôlés

- Maille n°91 figurant la sortie du fleuve Garonne de la maille M 100 à l'extrême Nord-Est.
- Maille n°835 figurant la sortie du cours d'eau Gave de Pau à l'extrême Ouest-Sud de M 100.
- Maille n°94 a l'extrême Ouest-Nord de M 100.
- Maille n°79 au Nord de M 100.
- Maille n°583 à l'Est de M 100.

Pour chacune des 1208 mailles, la direction et le sens de déversement ont été déterminés d'après les 16 cartes IGN au 1/100.000 (citées plus haut) définissant ainsi le réseau de drainage superficiel illustré sur la figure 19. Remontant à partir des 5 exutoires de bassins sous contrôle en sélectionnant les mailles-rivières, nous établirons 5 réseaux hydrographiques principaux en arborescence dont le tracé est donné sur la figure 20.

1.3 - Evaluation de l'altitude

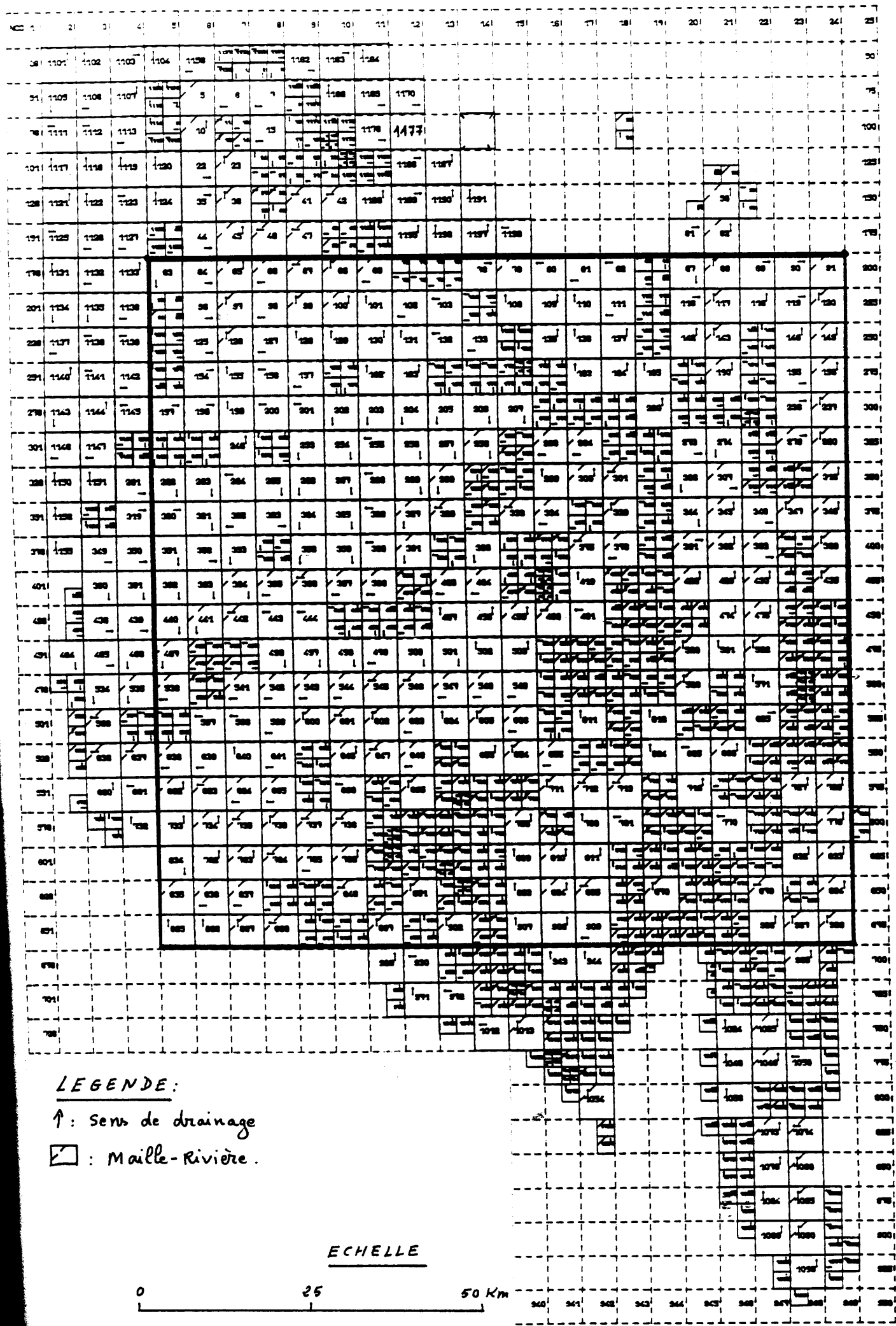
Sur chaque maille a été déduite l'altitude du point le plus bas à partir des cartes topographiques IGN au 1/100.000ème. Cette donnée sera utilisée par le modèle couplé, pour établir le temps de transfert de surface d'une part, et les niveaux de drainage des nappes d'autre part.

1.4 - Définition des fonctions production

Pour déterminer les fonctions production, 12 cartes géologiques à l'échelle 1/80.000, ont été consultées :

- la Teste de Buch
- la Réole
- Sore
- Grignols
- Agen
- Mont-de-Marsan
- Montreal
- Lectoure
- Orthez
- Castelnau
- Auch
- Tarbes

FIGURE N° 19 RÉSEAU DE DRAINAGE SUPERFICIEL.



LEGENDE:

↑ : sens de drainage

☐ : Maille-Rivière.

ECHELLE

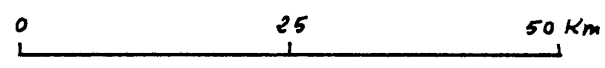
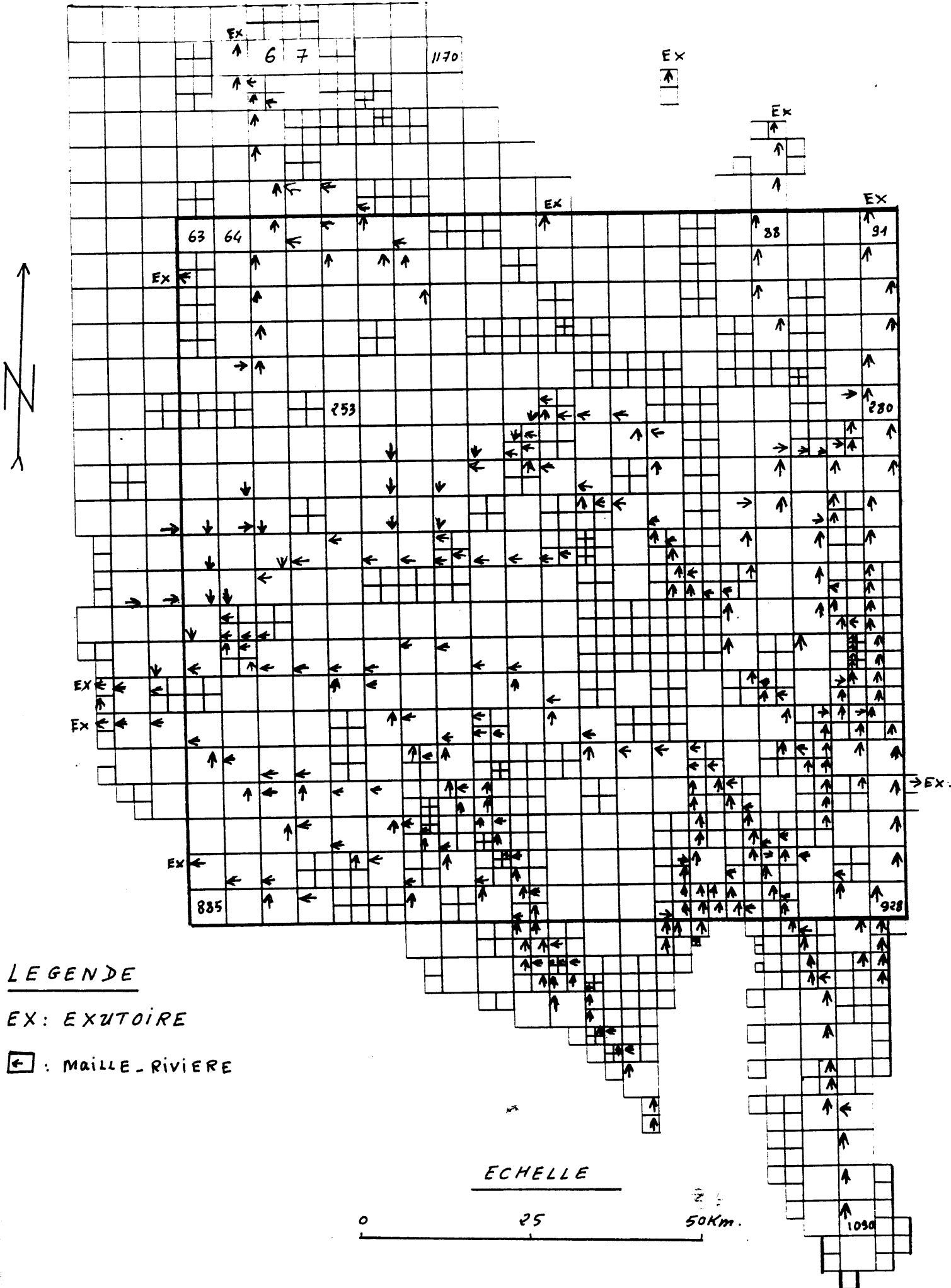


FIGURE N° 20 RESEAUX HYDROGRAPHIQUES PRINCIPAUX.



Etant donné l'échelle au 1/80.000 des cartes géologiques de la région considérée, nous avons reporté l'ensemble du domaine préalablement discrétisé au 1/100.000 sur un maillage au 1/80.000. D'après ces cartes géologiques, négligeant la couverture végétale en se basant essentiellement sur les caractéristiques lithologiques des formations affleurantes retenues à priori comme significatives, notre choix s'est porté sur 10 catégories de fonctions production (exprimées en pourcentage pour chaque maille) soit le total en pourcentage :

- 3 sols couverts par les alluvions récentes du Quaternaire: 9,92%
- 4 sols couverts par les alluvions anciennes du Quaternaire : 17,28%
- 5 sols des glaises bigarrées : 4,51%
- 6 sols des sables fauves : 11,20%
- 7 sols des molasses, marnes et argiles : 14,33%
- 8 sols des calcaires : 1,68%
- 9 sols des marno-calcaires : 1,92%
- 11 sols imperméabilisés (zones urbanisées) : 0,27%
- 1 sols des sables des Landes du Plioquaternaire : 38,85%
- 2 surface des plans d'eau (lac...) : 0,05%

On remarque que l'extension des sables des Landes est prépondérante à près de 40% sur l'ensemble des 10 bassins.

2 - Modélisation des écoulements souterrains

2.1 - Définition du domaine

Sur l'emprise du site MOBILHY, les formations géologiques affleurantes sont représentées par les sables aquifères Plioquaternaires au Nord-Est et par la molasse imperméable Oligo-Miocène recouvrant l'aquifère Eocène.

L'examen de la figure 10 représentant le bilan en eau, déduit par le modèle souterrain du Bassin Aquitain (12 GIG 1974) montre que l'essentiel de l'infiltration alimentant l'aquifère Plioquaternaire transite par celui-ci.

A l'échelle de l'étude MOBILHY il est donc raisonnable de restreindre a priori le modèle hydrogéologique à la seule couche souterraine du plioquaternaire.

En ce qui concerne l'alimentation des aquifères inférieurs, les résultats du modèle du Bassin Aquitain permettent d'évaluer correctement cette perte dans la modélisation entreprise. Mise à part la limite Sud-Est qui est matérialisée par la limite d'extension des sables des Landes, les limites du domaine souterrain reflètent l'image du domaine de surface.

2.2 - Représentation des conditions aux limites dans le domaine du souterrain

Les cours d'eau figurant les réseaux hydrographiques principaux (cf. figure 22 - domaine de surface) ainsi que les petits affluents de leurs cours amont seront dans le domaine souterrain représentés par une zone de drainage dont les débits seront récupérés dans les mailles rivières du modèle de surface, permettant ainsi la simulation du débit en un point quelconque de ces cours d'eau.

Les autres rivières figurant les limites hydrauliques de la nappe des sables des Landes en dehors de l'ensemble des bassins versants étudiés, seront traitées comme des conditions de drainage simple sans possibilité de contrôle du débit en rivière.

2.3 - Discrétisation du domaine

La discrétisation du domaine souterrain reprend la même configuration que la partie sus-jacente du maillage de surface, à laquelle partie ont été ajoutés des éléments plus fins pour représenter le tracé des cours d'eau.

Le maillage complet de la couche souterraine comprend ainsi 756 mailles dont la position est donnée sur la figure 21 pour chacune de ces mailles.

3 - Mise en oeuvre du programme GEOCOU et résultats obtenus

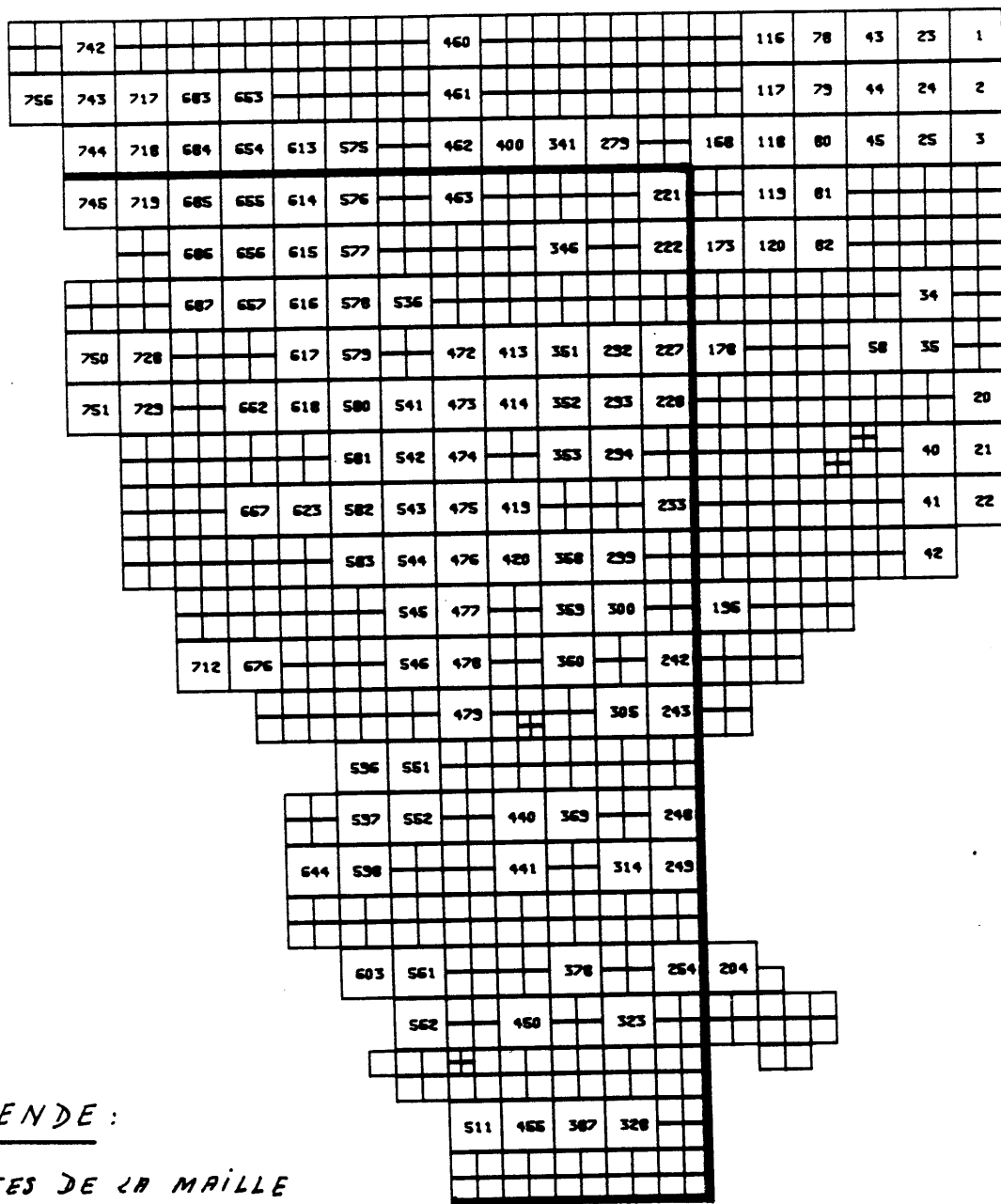
La mise en oeuvre du programme GEOCOU nous a permis de définir la structure géométrique du système hydrologique étudié. Ce système se composant de 2 couches (une de surface et une souterraine) se définit comme suit :

3.1 - Domaine de surface

- Nombre de bassins : 10
- Nombre de sous-bassin (équivalent au nombre de mailles-rivières : 399
- Nombre de mailles total : 1208 .
- Nombre de mailles total, mailles-rivières et surface par bassin :

Numéro Bassin	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mailles	113	2	36	45	155	6	3	634	104	11
Mailles-rivières	29	1	7	1	75	1	1	241	38	5
Surface (km ²)	1625	13	403	572	1766	56	19	6925	1184	219

FIGURE N°24 DISCRETISATION DE LA COUCHE SOUTERRAINE.



LÉGENDE:

□ : LIMITES DE LA MAILLE

CARRÉE M 100

ECHELLE

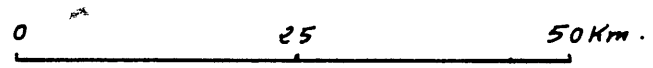
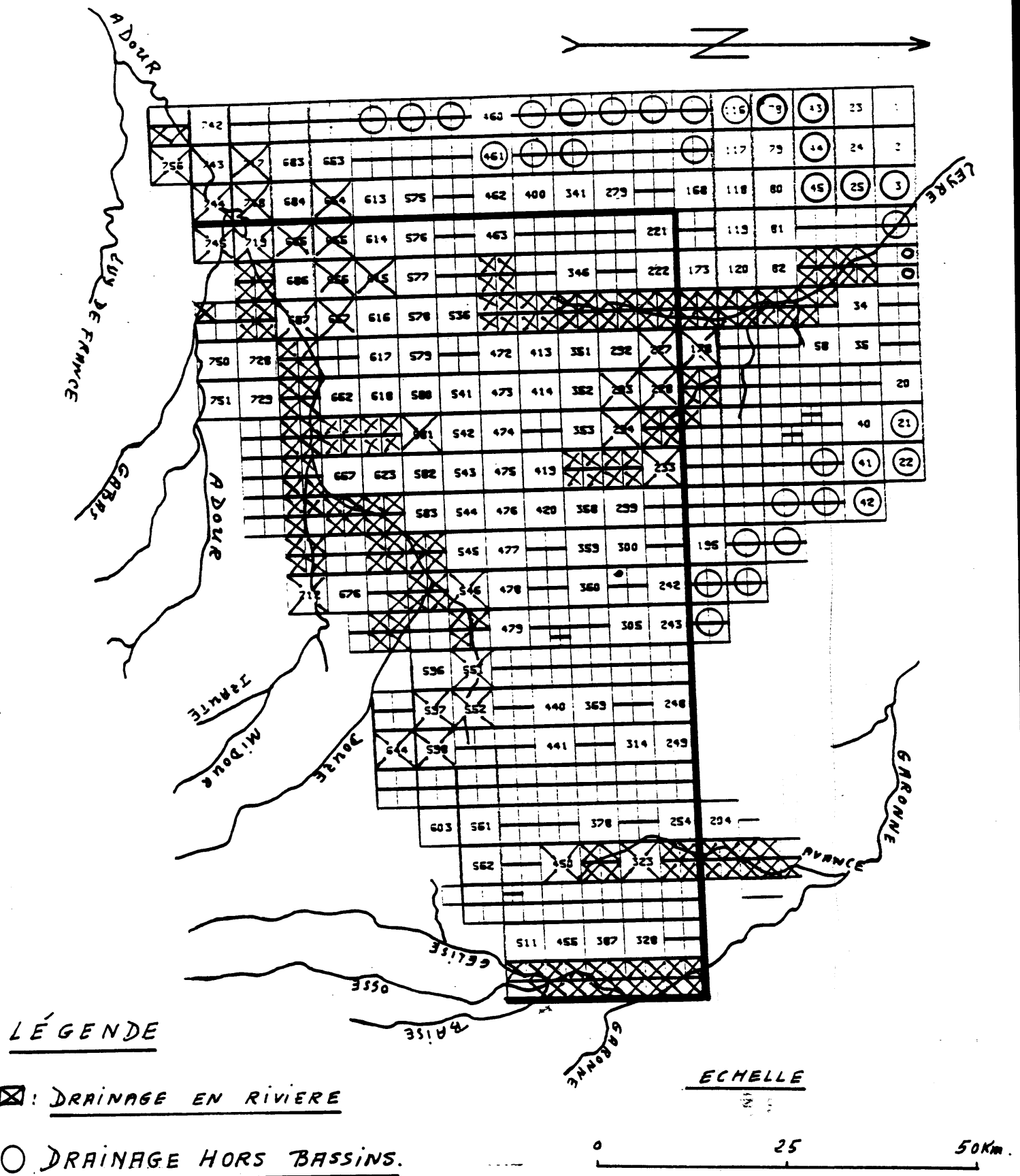


FIGURE N°22 Représentation des conditions aux limites dans le domaine souterrain.



- Nombre de mailles de surface sur les bassins : 1109
- Nombre de mailles de surface hors bassins : 99
- Distribution de la nature des sols (superficie en km²) :
 1. sols des sables des Landes : 4965 km²
 2. surface des plans d'eau : 6 km²
 3. sols couverts par les alluvions récentes du quaternaire : 1268 km²
 4. sols couverts par les alluvions anciennes du quaternaire : 2209 km²
 5. sols des glaises bigarrées : 577 km²
 6. sols des sables fauves : 1431 km²
 7. sols des molasses, marnes et argiles : 1831 km²
 8. sols des calcaires : 215 km²
 9. sols des marno-calcaires : 245 km²
 10. sols imperméabilisés (villes...) : 34 km²
- Dimensions du schéma-type : 25 x 38 (mailles)
- Côté de la maille schéma-type : 5000 mètres
- Positionnement de chaque maille de surface par rapport aux mailles voisines (en plan, en haut et en bas)
- Nombre de mailles de surface par sous-bassin
- Données (nature des sols en %) par maille des sous-bassins de calcul
- Données (nature des sols en %) par maille hors bassins
- Caractéristiques (nature des sols en superficie : 100 km²) des sous-bassins de calcul par bassin
- Caractéristiques (nature des sols en superficie : 100 km²) des bassins réels par bassin.

Le tableau 5 représente la répartition de la nature des sols sur les sous-bassins versants sous contrôle des principales stations hydrométriques (superficie en km²) particulièrement implantées sur le bassin versant de l'Adour. Le tableau 6 figurant la comparaison des superficies réelles et calculées des sous-bassins versants schématisés sur la figure 23 nous donne une appréciation notable du tout premier passage du programme GEOCOU.

Toutefois on note un décalage relativement faible concernant la station de Audon sur le fleuve Adour.

3.2 - Domaine souterrain

- Nombre de mailles total : 756
- Positionnement de chaque maille souterraine par rapport aux mailles voisines (en plan et en haut).

Tableau 5 : Répartition de la nature des sols sur les sous-bassins versants
sous contrôle des principales stations hydrométriques (superficie km²)

NOM DU POSTE	N° du poste	N° de la mail. (ex.)	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₁	TOTAL
SALLES	471	5	1574	4	1	0	43	3	0	0	0	0	1625
MEZIN	772	313	210	0	47	142	23	130	254	37	0	2	845
CAMPAGNE	231	396	1250	2	151	138	80	580	251	13	9	9	2484
MONT MARSAN	221	401	126	0	78	59	21	350	163	0	0	2	798
St VINCENT	201	586	2163	2	728	1396	423	967	1030	13	180	23	6925
St PANDELAN	261	634	0	0	243	456	82	288	108	5	1	2	1184
JUILLAC	131	872	0	0	79	119	13	0	220	0	154	3	588
JUILLAC	40	826	0	0	26	68	16	0	126	0	0	6	238

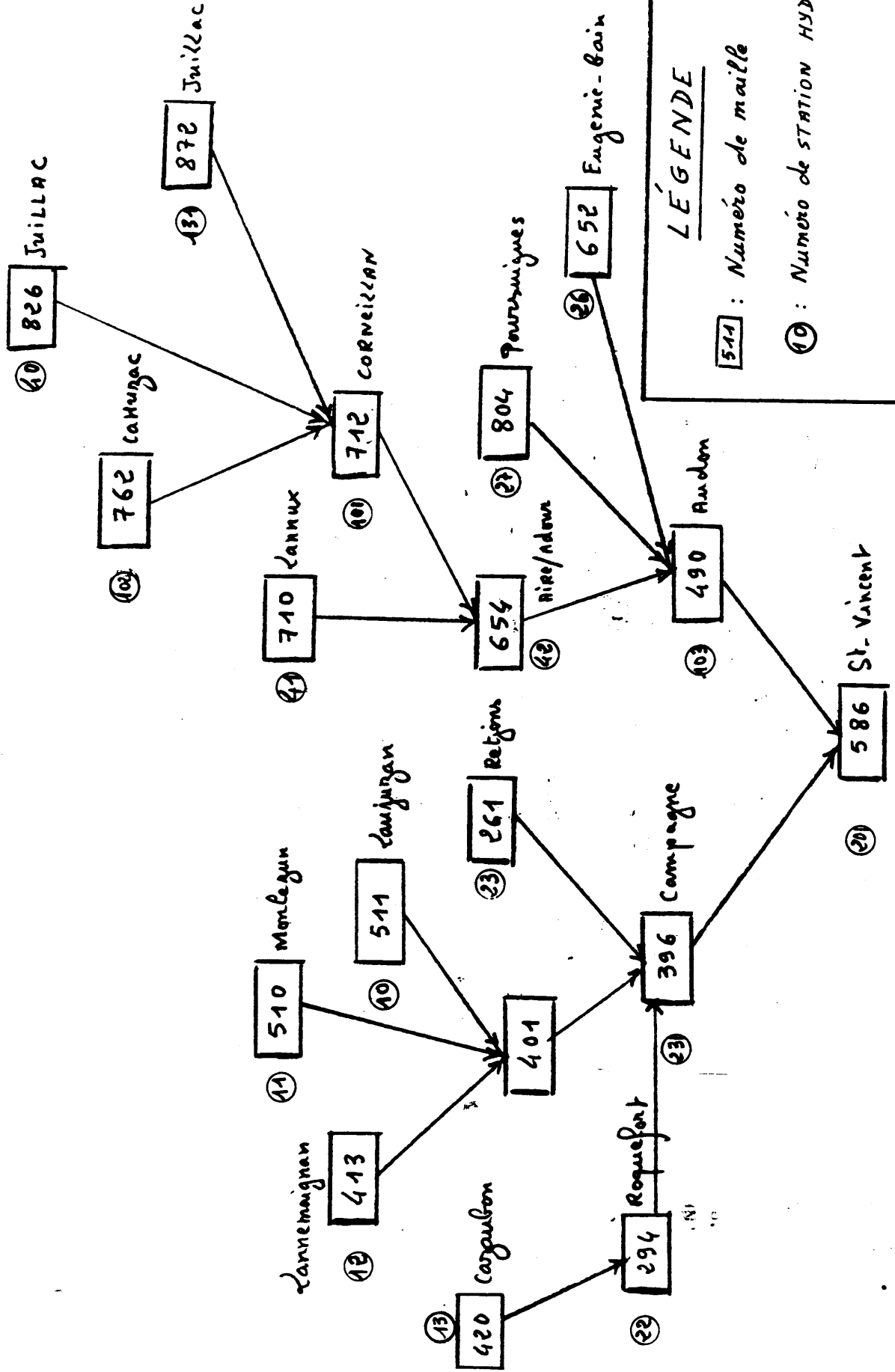
REMARQUES

- Z₁ Sols couverts par les sables des Landes du Plioquaternaire
 Z₂ Surface des plans d'eau
 Z₃ Sols couverts par les alluvions récentes du Quaternaire
 Z₄ Sols couverts par les alluvions anciennes du Quaternaire
 Z₅ Sols des glaises bigarrées
 Z₆ Sols couverts par les sables fauves
 Z₇ Sols des molasses, marnes et argiles
 Z₈ Sols calcaires
 Z₉ Sols des marno-calcaires
 Z₁₁ Sols imperméabilisés (ville, routes,....)

TABLEAU N° 6 COMPARAISON DES SUPERFICIES DES BASSINS VERSANTS

NOM DE LA STATION	COORDONNÉES		N° DE LA STATION	POINT H.	N° DE MAILLE	Surface calculée du B.V. (Km ²)	Surface donnée du B.V. (Km ²)	Δ S (Km ²)
	X	Y						
SALLES	345,2	254,7	471	983,95	5	1625	1650	-25
Moulin Moine	352,7	245,2	25	998,05	14	37,5	36	+1,5
BIGANON	354,0	239,4	24	996,80	37	103,1	108	-5
PONDARAT	407,3	251,6	21	998,45	53	12,5	9,7	+2,8
MONPOUILLAN	424,0	242,7	20	996,20	56	403,1	405	-2
RETJONS	390,0	201,3	23	992,00	261	256,2	270	-14
ROQUEFORT	387,3	195,8	22	970,10	294	470,3	450	+20
MERIN	432,6	199,5	772	993,00	313	845,3	825	+20
CAMPAGNE	359,5	183,2	234	976,80	396	2484	2500	-16
MONT MARSAN	373,0	180,7	221	999,65	401	798,5	800	-1,5
LANNEMAIGNAN	395,2	182,2	12	998,20	413		4,4	
CAZARON	406,0	184,8	13	942,10	420	225	217,0	+8
MOUCHAN	436,0	180,4	9	960,20	480	387,5	398	-12
AUDON	344,7	170,4	103	897,65	490	4049	4100	-51
MONLERUN	399,8	172,6	11	997,50	510	125	111	14
LAUZUN	402,0	171,2	10	945,05	511	256	256	0
ST-VINCENT	327,0	162,7	201	928,30	586	7815	7830	+15
ST-PANDELAN	328,0	158,4	261	986,10	634	1184	1150	+34
EUGENIE-BAIN	381,3	158,8	26	952,25	652	46,9	48,	
AIRE/SUR ADOUR	390,7	159,2	42	831,25	654			
ROQUEBRUNE	437,4	159,6	8	927,00	676	187,5	193	-6
LANNEX	392,6	153,0	41	994,70	710	423	423	0
CORNEILAN	398,0	154,5	101	820,90	712	2384	2350	+34
CAHIZAC	410,0	151,8	102	799,25	762	1302	1285	+17
MONGET	369,4	145,3	28	963,90	787	201,6	186	+15
POURSUIGUES	382,8	143,0	27	952,25	804	143,7	142	+1,7
JUILLAC	421,2	141,8	40	997,30	826			
SOMBRUN	409,2	134,0	36	955,50	913	87,5		
VILLEFRANQUE	412,0	135,8	37	993,00	914	3276		
ESTIRAC	413,2	135,7	35	777,20	915			
ST-MEDARD	361,2	141,0	29	977,00	843	262,5	257,4	+5
JUILLAC	420,0	141,0	131	975,50	872	593,7	590	+3,7

FIGURE N°23 ARBORESCENCE REPRÉSENTANT LES STATIONS HYDROMÉTRIQUES DE L'AMONT VERS L'AVAL



V - CONCLUSION GENERALE

Dans le présent exposé, il s'avère trop tôt pour se prononcer sur une quelconque solution concernant le couplage des deux modélisations précitées : La modélisation intégrée des écoulements de surface et des écoulements souterrains d'une part et la modélisation des phénomènes atmosphériques d'autre part.

Cependant dans le cadre du projet MOBILHY et une fois le modèle couplé, ajusté et devenu opérationnel, il n'est pas exclu d'envisager l'introduction d'un nouveau mécanisme de fonctionnement de la fonction production figurant le maillon dominant du modèle couplé.

Ce mécanisme de fonctionnement interviendra par le biais de modèles paramétriques adéquats, appartenants à la famille des modèles à réservoirs. Ainsi la question pourra être résolue ne serait-ce qu'à moyenne échelle dans un premier temps.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 LEDOUX E. Modélisation intégrée des écoulements de surface et des écoulements souterrains sur un bassin hydrologique. Thèse de Docteur-Ingénieur, Ecole des Mines de Paris - Université Pierre et Marie Curie, Paris 1980.
- 2 BESBES M., MARSILY G. de, EMSELLEM Y. Modèle hydrogéologique de l'ensemble du Bassin Aquitain. Centre d'Informatique Géologique, Fontainebleau LHM/RD/74/7.
- 3 GIRARD G. Projet MOBILHY rattaché au programme PNEDC. Proposition de modélisation des écoulements superficiels et souterrains sur la maille de 100 x 100 km dans le Sud-Ouest de la France. Centre d'Informatique Géologique, Fontainebleau LHM/RD/84/10.
- 4 LEDOUX E., GIRARD G. Projet MOBILHY : Présentation géographique et hydrologique du site. Centre d'Informatique Géologique, Fontainebleau LHM/RD/84/26.
- 5 DESCHENES J., VILLENEUVE J.P., LEDOUX E., GIRARD G. Modélisation intégrée des écoulements de surface et souterrains. Application du modèle couplé au bassin versant du lac Laflamme au Québec, 1983.
- 6 BURGEAP : Service du Génie Rural des Hautes Pyrénées. Etude hydrogéologique préliminaire de la plaine alluviale de l'Adour. Zone de Montgaillard à Castelnau - Rivière-basse, 1965.