

PLANIFICATION DU RÉSEAU HYDROMÉTRIQUE MINIMAL

1^{ère} Partie : Règles méthodologiques

2^{ème} Partie : Application à une région type :

le bassin de la MAINE

Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer
Service Hydrologique

Ministère de l'Agriculture
Service de l'Hydraulique

PLANIFICATION

du

RESEAU HYDROMETRIQUE MINIMAL

1ère partie : Règles méthodologiques

par

| | | |
|-------------------------|----|----------------------|
| P. DUBREUIL | et | J. GUISCAFRE |
| Directeur de Recherches | | Maître de Recherches |
| à l'O.R.S.T.O.M. | | à l'O.R.S.T.O.M. |

Le marché d'études, dont le présent rapport est l'aboutissement, passé entre le Service de l'Hydraulique et l'O.R.S.T.O.M. a pour but d'élaborer les règles méthodologiques permettant de planifier l'implantation des stations du réseau hydrométrique minimal de base, et d'appliquer ces règles à des régions types afin de servir de modèles à d'ultérieures planifications que le Service de l'Hydraulique envisage d'établir pour diverses régions.

C'est pourquoi chaque volume de ce rapport contient en première partie les règles méthodologiques et en seconde partie l'application à une région qui est tantôt la LORRAINE, tantôt le bassin de la MAINE.

S O M M A I R E

ière partie : Règles méthodologiques

| | Pages |
|--|--------|
| 1. PLACE et LIMITES de la PLANIFICATION dans l'EVOLUTION du RESEAU | 1 |
| 1.1 La place de la planification | 1 |
| 1.2 Le contenu et les limites de la planification | 4 |
| 2. RASSEMBLEMENT de la DOCUMENTATION et ENQUETE REGIONALE | 6 |
| 2.1 Documentation générale | 6 |
| 2.2 Enquête régionale | 6 |
| 3. ETUDE des CARACTERES du MILIEU PHYSICO-CLIMATIQUE REGIONAL | 7 |
| 3.1 La nature du sous-sol ou sa perméabilité | 9 |
| 3.2 Le relief | 11 |
| 3.2.1 Détermination de la classe de relief d'un bassin | 12 |
| 3.2.2 Détermination des régions de même classe de relief | 15 |
| 3.3 Le climat | 16 |
| 3.4 La végétation | 18 |
| 3.5 Détermination des zones hydrologiques théoriquement homogènes | 19 |
| 4. CHOIX des IMPLANTATIONS de STATIONS | 20 |
| 4.1 Moyens et critères | 20 |
| 4.2 Mode opératoire | 22 |
| 5. NATURE des DOCUMENTS de PLANIFICATION | 23 |
| BIBLIOGRAPHIE | 25 |

2ème partie : Application à une région type : La MAINE

| | Pages |
|---|-------|
| 1. La REGION | 29 |
| 1.1 Description sommaire | 29 |
| 1.2 Délimitation de la zone à planifier | 30 |
| 2. FACTEURS PHYSICO-CLIMATIQUES | 30 |
| 2.1 Nature du sous-sol ou perméabilité | 31 |
| 2.1.1 Esquisse géologique régionale | 31 |
| 2.1.2 Classes de perméabilité | 31 |
| 2.2 Le relief | 33 |
| 2.3 Le climat | 33 |
| 2.3.1 Aperçu sur le climat | 33 |
| 2.3.2 Classes de climat ou de pluviosité | 34 |
| 2.4 Végétation | 34 |
| 3. Les ZONES HYDROLOGIQUES HOMOGENES et le CHOIX des STATIONS REPRESENTATIVES | 35 |
| 3.1 Les zones imperméables | 37 |
| 3.1.1 Le Massif Armoricain | 37 |
| 3.1.2 Argiles et Marnes du Jurassique Supérieur | 41 |
| 3.2 Les zones à perméabilité moyenne ou faible | 41 |
| 3.2.1 Haute-SARTHE, Plaine d'ALENÇON, Côte de PERCHE | 41 |
| 3.2.2 Faux PERCHE, PERCHE VENDOMOIS, GATINE | 41 |
| 3.2.3 Haut MAINE-Sud, PLATEAU CALAISIEEN, MONTAGNE MANCELLE | 42 |
| 3.3 Les zones perméables à aquifère drainé | 42 |
| 3.3.1 Le PERCHE SABLEUX, REGION MANCELLE | 42 |
| 3.3.2 BEAUGEOIS et GATINE Calcaire | 42 |
| 3.4 Les zones perméables à aquifère "drainant" | 42 |
| 4. Le RESEAU COMPLEMENTAIRE des GRANDS BASSINS | 43 |
| 5. DENSITE du RESEAU PROPOSE | 43 |
| 6. LISTE des CARTES ETABLIES | 45 |
| DOCUMENTATION | 47 |
| 1. Cartographie | 47 |
| 2. Ouvrages et Documents | 47 |

A D D E N D U M

p. 10 - Remplacer le paragraphe 3, lignes 12 à 14 par :

P₁ - Zone perméable à aquifère "drainant" ou non drainé :

Terrain perméable apte à constituer un aquifère important et généralisé,

- l'aquifère est qualifié de "drainant", lorsque, le terrain étant très perméable, les précipitations s'infiltrent en presque totalité, et qu'en surface le réseau hydrographique est très peu ou pas du tout développé;

- l'aquifère est non drainé, lorsqu'il n'alimente pas ou peu le réseau hydrographique en place.

Il semble nécessaire, dans un premier chapitre faisant office d'introduction, de rappeler la définition d'un réseau hydrométrique, comment il se conçoit, se crée et se développe à partir des besoins des divers utilisateurs tout au long d'un cheminement historique. Ces considérations d'aspect théorique découlent en fait de la réalité telle qu'elle se manifeste en France, comme en d'autres pays.

Ces considérations permettent de mieux situer dans l'évolution d'un réseau hydrométrique l'intérêt et la place qu'occupe, ou plutôt que devrait occuper, la planification du réseau à son stade de densité minimale. Beaucoup d'idées exprimées ici sont extraites d'études antérieures sur l'extension rationnelle du réseau hydrométrique du Ministère de l'Agriculture [1] .

I. PLACE et LIMITES de la PLANIFICATION dans l'EVOLUTION du RESEAU

1.1 La place de la planification

Le réseau hydrométrique, ensemble des points de mesures des hauteurs et des débits des cours d'eau, est composé de trois sous-ensembles dans lesquels, les points de mesures sont qualifiés de stations primaires, secondaires ou tertiaires.

- Les stations primaires sont théoriquement pérennes et fixes.
- Les stations secondaires sont théoriquement pérennes (dans leur nombre) mais déplaçables en position après une certaine durée de fonctionnement en un point donné.

Les stations primaires et secondaires constituent l'ossature de base du réseau. On y observe et mesure la totalité de la gamme de hauteurs et de débits.

- Les stations tertiaires répondent aux multiples demandes concernant la ressource "eau de surface" en vue de son utilisation. Certaines de ces stations sont à vocation exclusivement pratique et sont spécifiques d'un problème posé; elles n'ont, a priori, aucune raison d'être pérennes si leur but ne l'exige pas, et en conséquence beaucoup d'entre elles fonctionnent souvent moins de cinq ans : c'est le groupe des stations tertiaires "de projet", d'autres, tout en étant permanentes, ont pour tâche de satisfaire un but précis et dans cela souvent n'exploitent qu'une partie des gammes de hauteurs ou de débits : c'est le groupe tertiaire "de contrôle".

A l'origine, les points de mesures sont installés pour répondre à un problème précis d'utilisation de la ressource en eau de surface; ces stations sont tantôt hydrométriques - on y mesure les hauteurs et les débits -, tantôt limnimétriques - on y mesure seulement les hauteurs. Or, la multiplicité des besoins en eau entraîne la multiplicité des points de mesures; rien n'interdit théoriquement qu'un besoin ne soit à satisfaire

tout au long de chaque cours d'eau français et que l'on ne crée en réponse un point de mesure sur chacun d'eux; ainsi devant ce risque d'exorbitance, il faut modérer cette croissance, pour au moins deux raisons :

a) la fermeture d'un point de mesures est toujours possible quand le problème qui l'a motivé est résolu; cette fermeture entraîne un tarissement de l'information collectée. Or, les études hydrologiques à base de statistique exigent des chroniques de longue durée que cette information limitée dans le temps ne fournit pas. Maintenir des stations de mesures permanentes et complètes est donc une nécessité;

b) le coût de création et d'exploitation d'un nombre considérable de postes de mesures risque d'être exagéré et donc doit être minimisé. Il faut obtenir le maximum d'information pour le moindre prix.

La solution paraît donc être la disponibilité de stations permanentes sources d'une information riche, susceptible de valoriser les observations de courte durée ou de portée limitée, collectées aux points de mesure installés pour répondre à un besoin précis.

Ainsi se justifient la notion de réseau et la hiérarchie établie entre les stations de base - primaires et secondaires - lieux pérennes d'observations complètes et les stations tertiaires, à vocation pratique et limitée soit dans la portée, soit dans le temps.

Mais il est logique que l'objectif tertiaire ait été et reste prioritaire dans la création de stations. La notion de réseau lui est postérieure. Si l'ensemble des stations tertiaires ne constitue pas un réseau, celui-ci s'édifie a posteriori et de préférence par prélèvement dans cet ensemble tertiaire pour mettre en place l'ossature de base primaire-secondaire.

Les stations tertiaires les plus susceptibles de devenir stations de base sont celles qui fournissent théoriquement une information complète sur les hauteurs et les débits et d'autant plus que leur durée d'exploitation continue est longue.

La première sélection de stations pour le réseau de base conduit à la notion de densité minimale, on parle alors de réseau minimal lorsqu'il assure une couverture correcte, sans lacune, du paysage géographique du territoire.

Au début, le réseau minimal se crée en quelque sorte librement par choix a priori ou par ponction dans l'ensemble tertiaire. Cette liberté peut subsister sans entrave jusqu'à ce qu'un certain seuil de densité soit franchi, alors il importe de procéder à la planification du réseau minimal, c'est-à-dire à l'établissement d'un plan de localisation des stations de mesures destinées à former l'ossature de base permanente de ce réseau, en tenant compte des considérations physiques, climatiques et économiques du milieu régional considéré. Ce seuil de densité constitue un critère à utiliser pour statuer sur l'état de développement du réseau et décider de l'opportunité ou de l'urgence de la planification.

On appelle :

- D : la densité de toutes les stations existantes, exprimée en nombre de stations pour 1 000 km²,
- D' : la densité des stations de plus de 10 ans d'âge, exprimée en nombre de stations pour 1 000 km², D' étant évidemment plus petit que D,
- D_m : la densité seuil pour le réseau minimal, elle est égale à 3,4 stations pour 1 000 km² en zone montagneuse ou méditerranéenne et à 1,4 station pour 1 000 km² dans le reste du pays, les stations devant être réparties également entre bassins de moins de 1 000 km² et de plus de 1 000 km².

Cette densité seuil a été choisie par références aux normes de densité minimale proposées par l'O.M.M., normes qui ont été adaptées aux paysages et conditions économiques du développement de la France.

Cette densité seuil n'est qu'un indicateur, un "clignotant" informant sur le degré d'évolution du réseau. Elle ne préjuge pas étroitement de la densité finale que l'étude de planification recommandera pour le réseau minimal d'une région.

La conjugaison des conditions en D et D' par rapport à D_m permet d'évaluer l'opportunité des opérations de planification.

Si D' est inférieure à D_m ($D' < D_m$), la planification est :

- à prévoir, c'est-à-dire à faire dès que possible, si D est aussi inférieure à D_m ($D < D_m$),
- urgente, c'est-à-dire à exécuter sous peine d'inutilité à brève échéance, si D est comprise entre D_m et son double ($D_m < D < 2 D_m$).

Si D est supérieure au double de D_m ($D > 2 D_m$) ou D' supérieure à D_m ($D' > D_m$), la planification est peu utile ou inutile, ce qui signifie que le nombre de stations existantes est alors tellement élevé que la planification, en risquant de proposer a priori beaucoup de fermetures ou déplacements, serait soit peu efficace, soit onéreuse et, par conséquent, risquerait de n'être pas mise à exécution, et qu'en tout état de cause, il vaut mieux rationaliser, c'est-à-dire choisir parmi les stations de base celles qui seront primaires et secondaires, et préciser si le nombre de stations de base actuel est suffisant ou non; la rationalisation conduit à la détermination du réseau optimal. C'est le stade final d'évolution du réseau. Il ne peut être atteint qu'après 15 à 20 ans ou moins d'observations continues.

La planification du réseau minimal de base est sur le plan pratique l'établissement d'un plan de localisation des stations de mesures destinées à former l'ossature de base permanente de ce réseau, en tenant compte des conditions physiques, climatiques et économiques du milieu régional considéré.

C'est une opération qui s'effectue a priori, c'est-à-dire sans tenir compte de l'existence éventuelle de stations hydrométriques.

Bien entendu, il y a toujours quelques stations existantes. On doit donc envisager que la première étape pratique après une planification est leur prise en compte effective, c'est-à-dire une confrontation station par station des postes qu'elle propose et de ceux qui existent et une décision résultante de fermeture ou de maintien de postes existants et d'ouverture de postes proposés. Des arbitrages sont concevables.

Nous limitons notre étude à la planification car il n'y a pas de règles pour cette confrontation, sinon qu'il est recommandable de ne pas fermer les postes ayant déjà plus de dix ans d'âge, mais que l'on peut le faire sans scrupule pour les postes plus jeunes si leur implantation est décevante sous l'angle des critères de la planification.

1.2 Le contenu et les limites de la planification

La planification s'effectuera en trois phases :

- deux phases pour l'étude des conditions physiques et climatiques :
 - une phase d'étude théorique (sur documents généraux) des caractéristiques du milieu physico-climatique,
 - une seconde phase, d'aspect plus pratique, consistant à confronter l'étude théorique avec les réalités régionales (renseignements locaux sur la géographie physique).

A l'issue de ces deux phases menées conjointement, on aboutit au dessin d'une carte des zones hydrologiques théoriquement homogènes.

- une troisième phase, consistant à la prise en compte des objectifs généraux de l'Administration quant à l'aménagement des bassins et à l'emploi des ressources en eau, afin de choisir les biefs des cours d'eau dans lesquels devraient être implantées de préférence les stations hydrométriques.

L'on aboutit au plan de localisation des stations de mesures destinées à former le réseau minimal de base.

La planification est réalisable au plan régional pour les petits cours d'eau - moins de 1 000 km² ou même quelques milliers - mais pour les grands fleuves - LOIRE, RHONE, GARONNE, SEINE etc... - elle ne peut s'exécuter correctement qu'à l'échelle de chaque grand bassin hydrographique.

Comme le réseau de l'Agriculture est composé de stations situées pour la plupart sur des petits cours d'eau (moins de 5 000 km² et même moins de 1 000 km²), la planification peut se faire à l'échelle de la région ou administrative ou hydrographique, région d'une superficie pouvant varier entre 10 000 et 25 000 km² environ.

A cette échelle, on peut attendre une relative homogénéité de la géographie, ce qui facilite l'établissement des règles de planification.

La structure régionale d'action de l'Administration en matière hydraulique, donc de gestion de réseau hydrométrique, étant la région de programme, celle-ci a d'abord été retenue comme cadre pour élaborer la planification.

Cependant, on rencontre un inconvénient dans le cas de la région administrative : généralement, aucune région ne correspond dans ses limites à celle du bassin hydrographique. Le problème se pose devant cette non-concordance de savoir si l'on doit ou non rester strictement dans les limites de la région, ou bien en déborder pour tenir compte des cours d'eau sortant ou entrant dans la région en provenance ou se dirigeant vers une autre région ou un pays voisin étranger. La réponse ne peut être que spécifique de chaque cas, cependant quelques règles générales peuvent être dégagées :

a) Doit être étudié dans une région tout le bassin d'une rivière dont la plus grande partie de celui-ci a été incluse dans cette région, même si ses sources sont hors de la région, ce haut-bassin ne représentant qu'une très petite partie du bassin complet.

b) Doit être également étudiée dans une région toute tête du bassin hydrographique d'une importance suffisante pour que l'aménagement hydraulique de ce haut-bassin intéresse la région, indépendamment du devenir de ce bassin dans la région voisine. On pourra négliger dans une région les têtes de grands bassins qui se développent essentiellement dans une région voisine si ces têtes sont très réduites en surface.

c) Le problème particulier des bassins frontaliers ne peut faire l'objet que d'une réponse particulière (manque d'information sur les parties étrangères des bassins).

d) Il paraît impossible de dresser à l'échelle d'une région la planification du réseau d'un grand fleuve qui traverse plusieurs régions, ce problème ne pouvant être vu qu'à l'échelle du bassin de ce grand fleuve.

En réalité, les critères de planification des grands fleuves sont plus simples et d'une autre nature que ceux qui s'appliquent aux petits et moyens cours d'eau, comme on le verra dans cette étude.

Le Service de l'Hydraulique n'ayant pas compétence en matière de grands fleuves domaniaux, les critères de leur planification seront seulement esquissés.

A cette étude quelque peu théorique, destinée à dégager les règles méthodologiques de planification du réseau hydrométrique minimal, est joint en seconde partie un exemple d'application. Cet exemple est tantôt la région de LORRAINE, tantôt le bassin de la MAINE. Les différences géographiques de ces deux exemples permettent un examen plus large des règles de planification.

Pour ce qui est de la LORRAINE, par exemple, la prise en compte des contraintes de limites administratives est envisagée comme suit, avec référence aux règles proposées précédemment :

- prise en compte de la Haute-MEUSE (règle a),
- prise en compte de la Haute-SAONE et des affluents de la Haute-SEINE (règle b),
- étude limitée au tronçon français de la CHIERS et de la SARRE (règle c),
- non-prise en compte de la Haute-MODER (règle b).

2. RASSEMBLEMENT de la DOCUMENTATION et ENQUETE REGIONALE

La phase préliminaire à toute étude est le rassemblement de tous renseignements, données et documents nécessaires à celle-ci.

2.1 Documentation générale

La documentation générale consiste surtout en documents cartographiques, nécessaires généralement à la détermination des différents critères.

Pour la topographie, nous avons à notre disposition en France, un assez grand nombre d'échelles de cartes.

Notre choix s'est fixé sur deux cartes de France (IGN), de même système de projection (Projection LAMBERT) et publiées intégralement ou sur le point de l'être (1/250 000^{ème}) ; ce sont les cartes de France au 1/100 000 et 1/250 000^{ème}.

L'échelle du 1/100 000^{ème} a été choisie de manière à obtenir une précision acceptable dans la détermination du critère de pente, comme nous le verrons ci-dessous.

Pour la représentation et la mise en forme des documents de synthèse, l'échelle au 1/250 000^{ème} a été jugée la plus satisfaisante car, d'une part, elle permet d'établir un document maniable correspondant à une région variant entre 10 000 et 25 000 km², d'autre part, une surface de 4 cm², réduction d'un petit bassin versant de 25 km², y est appréciable.

Pour la géologie, nous disposons des cartes géologiques de France au 1/80 000^{ème} et 1/320 000^{ème}.

Pour l'hydrogéologie, il n'existe point de carte générale, mais il existe des documents pouvant couvrir certaines régions naturelles, telle la carte hydrogéologique du Bassin Parisien au 1/500 000^{ème} (BRGM 1967).

Pour la climatologie, nous disposons de documents généraux tels que l'Atlas Climatologique de France ou des publications de l'O.N.M., mais ils doivent être complétés sur le plan local.

Pour la pédologie, la géomorphologie, ou la végétation, la documentation est ou trop localisée, ou trop générale, elle peut très bien ne pas exister à l'échelle régionale.

2.2 Enquête régionale

L'enquête locale permet de compléter cette documentation générale en rassemblant les documents originaux éventuels, tels que les inventaires régionaux des ressources en eau, les monographies hydrologiques, les études locales des phénomènes karstiques, etc...

L'on recherche aussi les études et monographies géographiques qui aideront à la définition des "pays", c'est-à-dire des portions de région constituant pour le géographe des entités homogènes; une certaine concordance peut exister entre ces pays et les zones hydrologiques théoriquement homogènes.

Une reconnaissance éventuelle du terrain peut quelquefois être nécessaire pour visualiser les pays ainsi définis.

3. ETUDE des CARACTERES du MILIEU PHYSICO-CLIMATIQUE REGIONAL

Cette étude doit nous conduire à faire apparaître des zones à caractéristiques hydrologiques homogènes déterminant une certaine aptitude au ruissellement et à l'intérieur desquelles un bassin pourrait être représentatif.

Plusieurs secteurs d'une région étudiée peuvent présenter les mêmes caractéristiques, donc faire partie de la même zone hydrologique théoriquement homogène.

A priori nous ne connaissons pas les caractéristiques hydrologiques d'une zone puisque l'implantation d'une station a pour but de les déterminer et de faire apparaître les liaisons quantitatives existant entre lesdits caractères et les facteurs physico-climatiques de la zone, facteurs physico-climatiques qui sont en général assez bien connus.

Le problème pourra donc être résolu par le biais des caractéristiques physico-climatiques : une zone physico-climatique homogène correspondra à une zone hydrologique théoriquement homogène.

Par définition, à l'intérieur d'une zone hydrologique homogène, on admet que les caractères du régime hydrologique prennent des valeurs peu variables; on admet également que d'une zone homogène à une autre voisine, au moins l'un des caractères du régime hydrologique change nettement.

Les caractères hydrologiques dépendent fortement des caractères physico-climatiques. Lorsque ces derniers caractères ont une valeur stable et qu'aucun ne varie brutalement, on admet que la zone où ils sont observés ainsi peut être qualifiée de zone physico-climatique homogène.

Il importe donc de définir des zones à caractéristiques physico-climatiques, en classant les facteurs par ordre d'influence décroissante sur le ruissellement et en négligeant les facteurs secondaires.

Les quatre principales caractéristiques jouant un rôle sur le régime hydrologique sont :

- le climat,
- les caractéristiques du sol et du sous-sol,
- le relief,
- et la couverture végétale.

Dans quel ordre classer ces facteurs ?

Dans la note "Contribution à l'étude d'implantation des bassins représentatifs des régions homogènes" [2] , l'ordre proposé pour une zone tropicale voisine de 100 000 km² est :

- le climat,
- la nature du sous-sol (ou sa perméabilité au sens très large),
- le relief,
- la végétation.

Cet ordre se justifiait pour une région peu accidentée, à végétation naturelle homogène plus ou moins défrichée et où alternaient terrains perméables et imperméables. L'abondance de l'écoulement y dépendait essentiellement de celle des précipitations, la région étant presque semi-aride en certains secteurs.

Un examen comparable doit permettre dans chaque cas de classer au mieux de leur influence les facteurs du milieu.

Si nous considérons chacun de ces facteurs, en France, pour une région limitée à quelques milliers de km², nous nous apercevons que :

- le climat, en zone tempérée non montagneuse, est assez homogène donc devient un facteur secondaire, alors qu'il reste prépondérant en zone de montagne et en zone méditerranéenne,
- le relief, pouvant modifier la répartition en infiltration et ruissellement, estimé sous le simple aspect de la perméabilité, cède le pas à la perméabilité du sous-sol en zone non montagneuse, mais en zone montagneuse ou en zone méditerranéenne il peut être un facteur d'importance suivant les cas,
- la végétation, bien qu'influencée par l'homme, reste plus ou moins liée à un ou plusieurs des trois précédents facteurs, aussi garde-t-elle une importance secondaire.

Nous proposons en règle générale, comme ordre d'importance des principaux facteurs physico-climatiques, pour la France :

- en zone tempérée non montagneuse
 - la nature du sous-sol (ou perméabilité)
 - le relief
 - le climat
 - la végétation
- en zone montagneuse ou en climat méditerranéen
 - le climat
 - la perméabilité et le relief (l'ordre de ces deux facteurs variant suivant le cas)
 - la végétation

Bien entendu, dans certaines situations particulières, l'inversion des facteurs ou l'introduction d'autres facteurs peut être envisagée.

Nous sommes donc conduits dans un premier stade à diviser, pour chacun de ces facteurs physico-climatiques, la région étudiée en zones où celui-ci présente une certaine homogénéité dans son ensemble; pour cela il faudra déterminer la clé de division en secteurs homogènes. Or, si qualitativement les facteurs physico-climatiques d'une région sont assez bien connus a priori, il en va autrement lorsque l'on veut les estimer quantitativement pour en justifier l'homogénéité.

3.1 La nature du sous-sol ou sa perméabilité

Les caractéristiques du sol et du sous-sol s'imposent au premier stade de division en secteurs de caractéristiques homogènes. Cette division paraît devoir s'accomplir selon le critère de la perméabilité du sol et du sous-sol afin d'individualiser des zones à dominance imperméable ou à dominance perméable; plus précisément le critère de perméabilité doit s'entendre comme le critère de l'existence ou non de nappes plus ou moins liées à l'écoulement de surface, critère qui paraît être le plus intéressant en matière de régime d'écoulement des eaux de surface. On pourra également tenir compte dans les critères de division de la vitesse de liaison entre écoulement de cours d'eau et nappe, ou encore du temps de réponse d'une nappe aux précipitations; de ces deux facteurs de temps découle un effet plus ou moins "tampon" du sous-sol sur la restitution des eaux infiltrées à l'écoulement de surface. On est ainsi conduit à séparer les zones où la majorité des écoulements sont superficiels de celles où existe une nappe aquifère qui participe quantitativement de manière non négligeable à l'écoulement des cours d'eau.

La clé de la division réside donc dans l'existence ou l'absence d'un sous-sol perméable et dans le fait que la nappe aquifère de ce terrain perméable, si elle existe, est drainée ou non, en totalité ou partiellement, rapidement ou lentement, par le réseau hydrographique. La perméabilité du sol intervient généralement de façon secondaire et reste un facteur variable déterminant la plus ou moins grande potentialité de ruissellement (ou d'infiltration) dudit sol. En effet, sous cet angle de la perméabilité, sol et sous-sol sont liés mais peut-être pas d'une manière aussi étroite qu'on pourrait le supposer, les conditions de la pédogénèse pouvant très bien modifier, voire inverser relativement la plus ou moins grande perméabilité d'un sol vis-à-vis du sous-sol. On veillera donc à tenir compte des influences du sol sur le sous-sol surtout lorsqu'elles sont contradictoires.

Sur le plan quantitatif, on affronte la difficulté de la séparation entre ces deux types de zones entre lesquelles il n'y a pas de frontière précise.

Si la nappe aquifère est drainée par le réseau hydrographique local, on pourrait prendre comme limite un certain pourcentage de l'écoulement total moyen annuel fourni par le drainage (peut-être 40 % pour la limite inférieure de la zone à dominance perméable et 10 % pour la limite supérieure de celle à dominance imperméable).

En l'absence de drainage local, on pourrait reporter le choix du critère distinctif sur la valeur de la perméabilité moyenne des terrains K mesurée dans des conditions bien déterminées (méthodes d'analyse hydrodynamique des sols en laboratoire ou au champ selon les procédés de MUNTZ ou PORCHET par exemple). On pourrait admettre ainsi comme zone perméable celle où la perméabilité K est supérieure à $2,10^{-5}$ m/s, soit 35 mm/h (1) environ et comme imperméable celle où K est inférieure à $4,10^{-6}$ m/s, soit 15 mm/h (1) environ.

(1) Ne pas confondre ces valeurs de perméabilité avec celles de l'infiltration réelle in situ ou encore celles du seuil inférieur de précipitation utile, toutes deux assez différentes ne serait-ce que par la microhétérogénéité du terrain, l'action mécanique de la pluie etc...

Dans les deux cas, la bande intermédiaire représente une zone sans dominance particulière en matière de perméabilité.

Il est certain que le choix des limites quantitatives est un peu arbitraire; nous n'en avons parlé que pour en montrer les difficultés car en pratique on ne possède ni les renseignements (critère du pourcentage d'écoulement), ni les moyens de calcul rapide (critère de perméabilité moyenne) ni la certitude que le critère quantitatif de distinction soit significatif (nous pensons à K). La séparation des zones doit donc se faire qualitativement. Le choix est peut-être plus arbitraire, mais il est plus rapide et plus aisé pour un spécialiste averti. On pourrait proposer les normes suivantes de division :

- P₁ - Zone perméable à aquifère drainant ou non drainé : Terrain perméable apte à constituer un aquifère important et généralisé, aquifère n'alimentant pas ou peu le réseau hydrographique en place;
- calcaire de BEAUCE (Stampien)
- P₂ - Zone perméable à aquifère drainé : Terrain perméable ayant un aquifère important et généralisé alimentant en tout ou partie le réseau hydrographique en place;
- alluvions récentes sablo-argileuse et limoneuse : Quaternaire - Pliocène
- sables : Eocène, Sénonien, Turonien, Cénomaniens, Albien
- calcaires poreux et craie : Aquitanien - Ludien
- grès : Trias inférieur
- P₃ - Zone à perméabilité moyenne ou faible : Principalement terrains à perméabilité moyenne et faible mais aussi terrain perméable de faible extension et puissance, susceptibles de ne former qu'un aquifère d'importance et d'extension réduites;
- domaines sableux ou crayeux avec couverture d'argile à silex
- calcaire de TOURAINE : Sannoisien
- sables, grès et calcaires : Bartonien - Lutétien
- calcaires et marnes : (Portlandien) Oxfordien
Lias indifférencié
- P₄ - Zone karstique : Terrain à perméabilité en grand présentant un écoulement souterrain très irrégulier prédominant, c'est-à-dire possédant un réseau karstique important :
- calcaires karstifiés : Portlandien
Lusitanien
Bathonien - Bajocien
Muschelkalk
- P₅ - Zone imperméable : Terrain imperméable sans aquifère notable;
- marnes et argiles : Sannoisien inférieur - Ludien
Cénomaniens - Albien
Oxfordien - Callovien
Kimméridgien
Lias supérieur
Keuper et Lettenkohle
- schistes : Carbonifère moyen
Dévonien
Silurien
Précambrien
- massifs granitiques

S'il existe une carte hydrogéologique de la région, comme pour le Bassin Parisien, on s'y réfère de préférence à la carte géologique puisqu'elle en est déjà une interprétation avec classement du sous-sol en types de terrain perméable, faiblement perméable ou imperméable. Sinon, il faudra avoir recours aux cartes géologiques soit au 1/80 000ème, soit au 1/320 000ème et en faire l'interprétation, en précisant les points suivants (souvent après enquête régionale et examen d'études locales hydrogéologiques) :

- existence ou non d'un drainage de nappe par les cours d'eau - présence de sources - ;
- existence de zones karstiques : pertes, résurgences.

En pratique la détermination en régions de perméabilité homogène se fait en deux stades.

Au premier stade, sur calque avec fond de carte atténué au 1/250 000ème, sont représentés les principaux terrains ou zones de terrains composant le sous-sol de la région, affectés de leur indice de perméabilité (P_1, P_2, P_3, P_4, P_5); il est souhaitable que ce calque soit établi par un hydrogéologue, sinon qu'il le soit au moins sous ses conseils.

Puis au second stade, sur un autre calque, l'hydrologue établit la carte définitive des régions de perméabilité homogène en réunissant les terrains voisins ayant le même indice et en stylisant le pourtour de ces régions. Il sera amené ainsi à réunir en une seule zone des terrains de classes différentes, opposées, même extrêmes (P_1 et P_5 par exemple) qui, par leur faible extension et leur succession, forment en quelque sorte une zone de perméabilité moyenne mais hétérogène; cette zone sera indicée P_{3-H} et ne sera prise en considération, lors du choix des bassins, qu'une fois épuisées les possibilités de la zone P_3 .

Il est à signaler qu'il est beaucoup plus facile d'agrandir, lors du report sur document au 1/250 000ème, les limites des différentes zones d'après un document de plus faible échelle, comme c'est le cas avec la carte hydrogéologique précitée, que de réduire et de styliser celles fournies par des documents à plus grande échelle tels que la carte géologique au 1/80 000ème; il est alors recommandé de s'inspirer pour la stylisation de la carte géologique au 1/320 000ème.

3.2 Le relief

Le relief est un facteur d'importance capitale sur la plus ou moins grande aptitude au ruissellement des terrains; il peut modifier la répartition entre infiltration et ruissellement, estimée sous le simple aspect de la perméabilité; il est surtout un facteur de répartition des eaux de pluie entre le ruissellement et l'évapotranspiration réelle.

La préhension du relief doit être la plus globale possible; elle peut rester qualitative comme pour la perméabilité mais il est facile d'en donner une vision quantitative sans avoir à effectuer des calculs complexes. Pour cela, on adopte une classification des bassins en sept classes de relief, définie ci-dessous, ce qui permet ensuite une subdivision du paysage en zones de même classe de relief.

3.2.1 Détermination de la classe de relief d'un bassin

Le relief d'un bassin est pleinement représenté par ses indices de pentes I_p ou I_G .

L'indice de pente I_p a été défini par M. ROCHE [3] . On le calcule en appliquant la relation :

$$I_p = L^{-1/2} \sum (a_i d_i)^{1/2} \quad (1)$$

dans laquelle :

- a_i représente la portion (%) de la surface A du bassin comprise entre les courbes de niveau voisines c_i et c_{i-1} ;
- $d_i = c_i - c_{i-1}$ dénivelée entre les deux courbes de niveau voisines cotées c_i et c_{i-1} ;
- L la longueur du rectangle équivalent déterminée par la formule :

$$L = A^{1/2} \frac{C}{1,128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{C}\right)^2} \right] \quad (2)$$

où C est l'indice de compacité ou coefficient de forme

$$\text{avec } C = 0,282 P A^{-1/2} \quad (3)$$

Outre le tracé des courbes de niveau (il en faut trois au moins pour que l'indice ait une certaine précision), il faut délimiter le bassin, mesurer la surface A, son périmètre P, calculer C et L, puis mesurer les surfaces intermédiaires entre les diverses courbes de niveau. L'unité de base de calcul de tous ces caractères est le kilomètre; P, L, d_i s'expriment en kilomètres, A en km^2 , C et I_p sont des nombres sans dimension.

Ce travail assez facile peut cependant être considéré comme trop long, pour une prospection cartographique générale n'ayant pour but que de distinguer des régions à relief homogène et au cours de laquelle plusieurs centaines de bassins doivent faire l'objet de mesures.

On simplifie la tâche en se contentant de calculer l'indice de pente globale I_G qui s'exprime, lui, en m/km ou en ‰.

Rappelons qu'il ne s'agit pas d'un indice de pente précis, comme I_p bien qu'il lui soit assez étroitement lié, mais d'un indice simple dont la formule est :

$$I_G = \frac{D}{L} \quad (4)$$

La dénivelée D, évaluée en mètres, est prise égale à celle qui sépare les altitudes ayant approximativement 5 % de la surface du bassin au-dessus et au-dessous d'elles; H_5 et H_{95} se déterminent à l'estime au vu de la carte altimétrique sans tracer la courbe hypsométrique :

$$D = H_5 - H_{95}$$

L'indice de pente global I_G a été primitivement conçu pour faciliter l'étude des bassins représentatifs de faible superficie [4], [5]. C'est pourquoi la première subdivision en classes de relief d'après I_G (on peut le faire aussi d'après I_p) a-t-elle eu pour base 25 km^2 .

Pour une surface de base de 25 km^2 , il a été établi une division arbitraire du relief en sept classes, à partir d'une division logarithmique des indices de pente I_p et I_G . Cela a donné le tableau de classement suivant, en fonction de I_G :

| | | | |
|-------|---------------------|------------------|------|
| R_1 | Relief très faible | $I_G < 2$ | m/km |
| R_2 | Relief faible | $2 < I_G < 5$ | m/km |
| R_3 | Relief assez faible | $5 < I_G < 10$ | m/km |
| R_4 | Relief modéré | $10 < I_G < 20$ | m/km |
| R_5 | Relief assez fort | $20 < I_G < 50$ | m/km |
| R_6 | Relief fort | $50 < I_G < 100$ | m/km |
| R_7 | Relief très fort | $I_G > 100$ | m/km |

L'indice de pente d'un bassin, I_p ou I_G , diminue quand la superficie du bassin croît. Cette variation est à peu près linéaire entre les logarithmes des indices et de la superficie.

Ainsi pour savoir dans quelle classe ranger un bassin d'une superficie donnée on calcule son indice de pente global, puis par application d'un coefficient déterminé en fonction de la superficie (obtenu par tâtonnement sur divers bassins homogènes emboîtés), on obtient l'indice de pente d'un bassin de 25 km^2 d'aptitude comparable au ruissellement; c'est l'indice I_G "ramené à 25 km^2 ", qui fournit la classe de relief recherchée. On a ensuite porté sur un graphique log-log les plages de classes de relief en fonction de S afin de n'avoir plus à calculer d'indice ramené à 25 km^2 .

Pour s'affranchir de cette dernière opération, nous avons introduit un caractère nouveau, répondant à l'appellation provisoire de "dénivelée spécifique" D_s s'exprimant en mètres dont la formule est :

$$D_s = I_G A^{1/2}$$

ou $D_s = D \times K$

avec $K = \frac{A^{1/2}}{L}$

Or, d'après la formule (2), nous déduisons que :

$$\frac{1}{K} = \frac{L}{A^{1/2}} = \frac{C}{1,128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{C}\right)^2} \right] = f(C)$$

d'où il apparaît que K n'est fonction que de C, c'est-à-dire de la forme du bassin.

Par conséquent, D_S est le produit de la dénivelée D par un coefficient dépendant de l'indice de compacité C , lequel coefficient est égal à 1 lorsque $C \leq 1,128$.

La dénivelée spécifique D_S est donc indépendante de la surface du bassin, et par conséquent ses valeurs pour différents bassins sont immédiatement comparables entre elles.

Cela nous permet de dresser un nouveau tableau de classement, déduit du précédent établi pour une surface de 25 km^2 , et applicable, celui-ci, à tout bassin quelle que soit sa superficie :

| | | | |
|-------|---------------------|-------------------|---|
| R_1 | Relief très faible | $D_S < 10$ | m |
| R_2 | Relief faible | $10 < D_S < 25$ | m |
| R_3 | Relief assez faible | $25 < D_S < 50$ | m |
| R_4 | Relief modéré | $50 < D_S < 100$ | m |
| R_5 | Relief assez fort | $100 < D_S < 250$ | m |
| R_6 | Relief fort | $250 < D_S < 500$ | m |
| R_7 | Relief très fort | $D_S > 500$ | m |

Le fait que D_S ne soit fonction que de D et de C , nous affranchit des calculs intermédiaires; cela nous a permis en outre de dresser un abaque à points alignés assez simple (gr. 1).

Sur cet abaque, l'alignement A.P. nous définit le point C; par une courbe auxiliaire nous obtenons la valeur et le point K, l'alignement K D nous donne le point R c'est-à-dire la valeur D_S ou directement la classe de relief R_i .

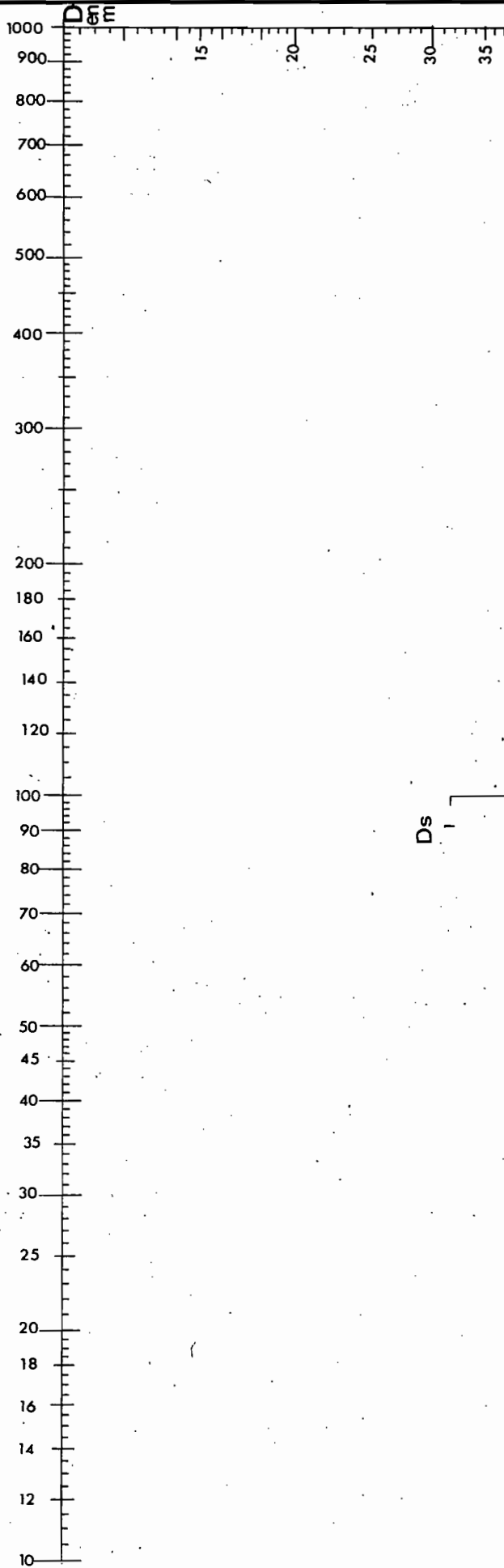
Rappelons qu'au planimètre se mesure la surface A du bassin et au curvimètre le périmètre P ; et qu'à l'estime s'évalue la dénivelée D .

Pour la mesure du périmètre P , il faut styliser le dessin du contour du bassin en éliminant dentelures et festons qui n'ont aucune influence sur les temps d'écoulement et accroissent la valeur du périmètre. Ces irrégularités du contour dépendent de la minutie apportée au tracé du contour et leur dessin est donc très variable.

Pour que A et P soient évalués avec une précision acceptable, il faut que l'aire à mesurer sur le document soit supérieure à 5 cm^2 et le périmètre à 10 cm [5] ; ce qui fixe pour la carte au 1/100 000ème, la limite supérieure de surface admissible à 7 km^2 ; or nous sommes dans une gamme bien supérieure de bassin pour la planification du réseau de base puisqu'il est peu vraisemblable, sauf régions très accidentées et particulières (îles par exemple) que des stations de réseau soient implantées en dessous d'environ 50 km^2 de bassin versant.

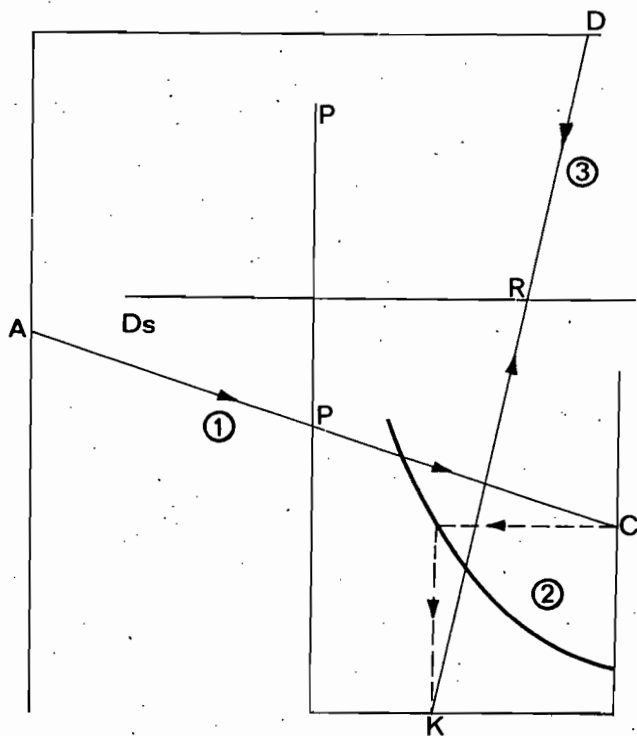
Gr.1

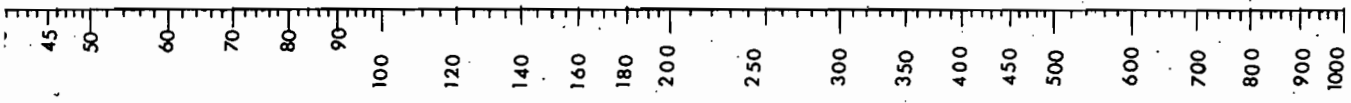
A en km²



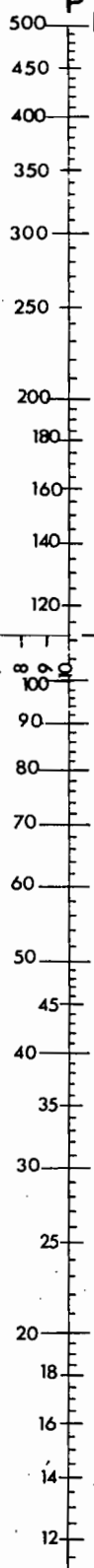
ABAQUE DE CALCUL DE LA DENIVELEE SPECIFIQUE ET DES CLASSES DE RELIEF

Mode opératoire

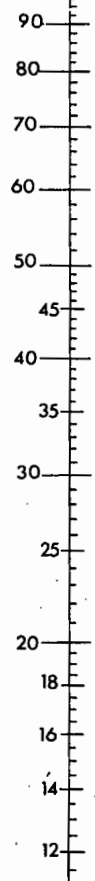
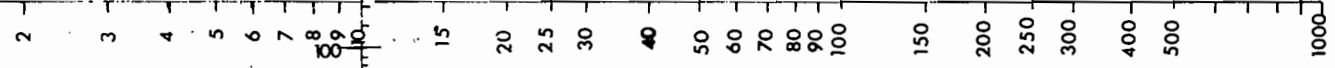




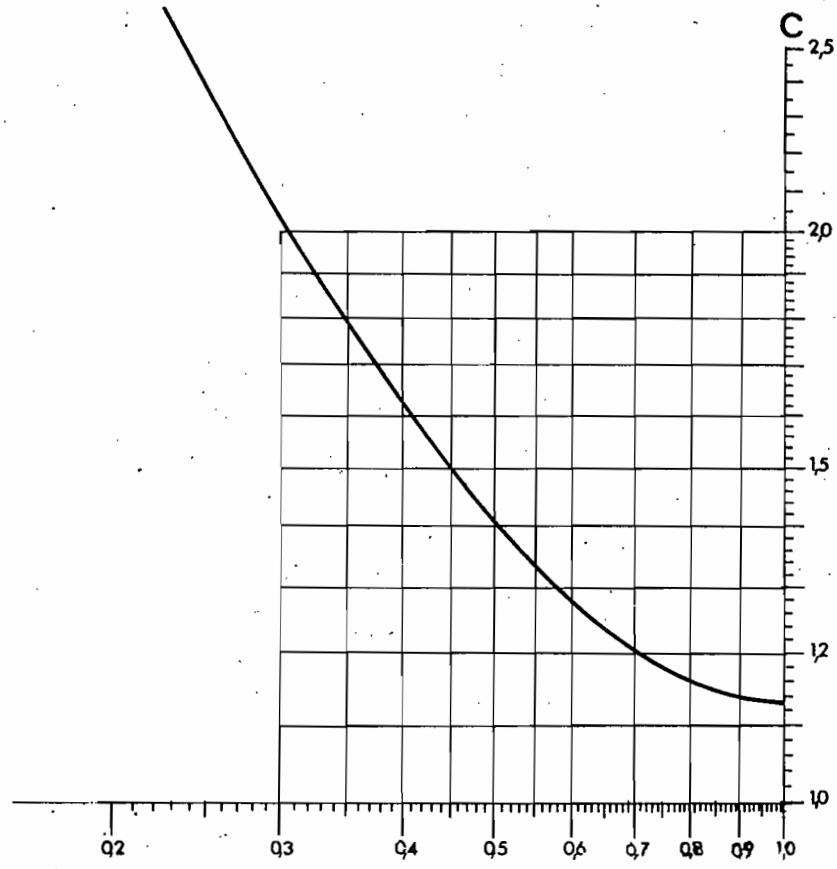
P
km



R1 R2 R3 R4 R5 R6 R7



C



$$K = \frac{\sqrt{VA}}{L}$$

Quant à la limite inférieure de dénivelée D (m) recommandée pour le calcul de I_p et de I_G elle est $D = 3 d_i$. L'équidistance des courbes pour la carte au 1/100 000ème est de 20 m en général et de 10 m en plaine, ce qui porte la limite inférieure de la dénivelée à 30 m pour qu'une précision acceptable soit obtenue [5] .

En zone de plaine, pour un bassin ayant un coefficient de capacité $C \leq 1,128$, on a alors $K = 1$ d'où $D_S = D = 3 d_i$ et la limite inférieure de D_S est de 30 m, il sera classé en limite inférieure de R_3 (relief assez faible). Il faudrait donc en plaine une carte d'échelle plus grande. En fait, il ne faut pas oublier que la limite $D = 3 d_i$ est fixée surtout pour que l'indice de pente I_p soit déterminé avec une précision acceptable, pour D_S nous pouvons descendre sans inconvénient au-dessous de cette limite dans le cadre d'une prospection cartographique générale n'ayant pour but que de distinguer des régions à relief homogène. La carte au 1/100 000ème convient donc à cette prospection.

3.2.2 Détermination des régions de même classe de relief

Compte tenu, d'une part, qu'il est peu vraisemblable qu'un réseau hydrométrique possède des stations à l'issue de bassin de moins de 25 km², et, d'autre part, que les bassins ne sont jamais homogènes sous l'angle des pentes, surtout lorsque les superficies dépassent quelques centaines de km², la délimitation des classes de relief s'effectue sur bassins unitaires oscillant de préférence entre 50 et 100 km². On peut envisager, pour des bassins de plus grande superficie, composés de sous-bassins unitaires, de déterminer leur classe de relief tant que la complexité du relief des sous-bassins le permet (c'est-à-dire qu'il n'y a pas trop d'hétérogénéité entre eux - écart d'une classe de relief au plus -), mais la limite supérieure pour une telle détermination semble être de l'ordre de 500 km².

Une région de l'ordre de 25 000 km² sera donc subdivisée en 400 bassins unitaires environ.

Dans ce cas, il semble préférable pour déterminer les différents facteurs A , L , D et D_S ou R , d'effectuer chaque opération, planimétrage, curvimétrage, estimation de D et détermination de R , pour une série de bassins groupés en grands ensembles (bassin ou sous-bassin fluvial) que bassin par bassin.

Il est également préférable de tracer les limites des bassins dans un certain ordre, par exemple de les prendre dans l'ordre des confluences en partant de la source du cours principal, et de les identifier : nom, si possible, du cours principal drainant le bassin considéré et du lieu le plus proche de l'exutoire dudit bassin, et numérotation.

Lors du tracé des bassins unitaires, l'on recherchera, dans la mesure du possible une bonne compacité de manière à diminuer l'influence de la forme du bassin dans la détermination de D_S et de la classe de relief R .

On arrêtera son choix sur la limite inférieure d'un bassin unitaire d'après diverses considérations : rupture visible de pentes dans le paysage, confluence proche ... etc...

La détermination des régions de même classe de relief se fera en deux temps.

Toujours sur calque et à l'échelle de synthèse (1/250 000ème), on reporte d'abord les limites des bassins versants étudiés; on peut y ajouter les limites de grands ensembles ou tous ensembles hydrographiques dont on n'a déterminé que la superficie. Pour chaque bassin l'on indique son numéro et la classe de relief à laquelle il appartient - R_4 par exemple - ou mieux l'indice de cette classe - 4 - . Si le bassin est à la limite de 2 classes de relief, les deux classes seront indiquées : R_{3-4} ou 3-4, pour un bassin à la limite des classes de relief R_3 et R_4 .

Ce calque de travail sera très utile lors du choix des stations.

Puis sur un deuxième calque, élaboré d'après le premier, sont tracées les limites des zones de même classe de relief, limites englobant les bassins versants unitaires appartenant à cette classe ou à la limite de celle-ci : un bassin d'indice 3-4 peut aussi bien être intégré dans une zone de relief R_4 ou R_3 si les bassins l'environnant sont respectivement d'indice 4 ou d'indice 3.

Un bassin isolé ayant son indice voisin de celui de l'ensemble des bassins adjacents sera inclus dans la même zone de relief que ces bassins.

Il s'agit, comme lors du tracé de la carte des perméabilités, d'une opération de stylisation des zones de relief. C'est pourquoi après le travail de découpage stylisé en zones hydrologiques homogènes, il est très utile de revenir à la carte des pentes des bassins unitaires pour la sélection des stations.

3.3 Le climat

Le climat intervient généralement dans le bilan hydrologique essentiellement par les précipitations (hauteur annuelle, irrégularité interannuelle, répartition mensuelle, type de précipitations, hauteurs de précipitations exceptionnelles, intensités-durées - surfaces des chutes de pluie, etc...), secondairement par les températures (moyenne annuelle, variation mensuelle, maximums, minimums et écarts, etc...) et beaucoup plus accessoirement par le régime des vents et l'humidité.

Or, en France, la faible superficie d'une région fait que le climat qui y règne est assez peu homogène et sans grande variabilité, ce qui permet de négliger les facteurs secondaires : humidité, insolation, etc...

Il reste que le climat peut être caractérisé sous le seul aspect de la pluviosité et de la température, sans exclure tout autre facteur sélectif dans des cas particuliers, pour discriminer les régions homogènes.

En région de climat tempéré, non montagneux, la quantité réduite de jours de gel et de neige peut permettre de négliger le facteur température et de s'en tenir seulement à la pluviosité.

La pluviosité sera représentée par deux termes : la hauteur moyenne annuelle de précipitations d'une part; et si besoin est, et si des informations sont disponibles, le pourcentage des précipitations dues à la neige en saison d'hiver, d'autre part.

Cette dernière influence peut être caractérisée également par un isotherme ou une altitude plus ou moins précise.

On sait en effet que dans une région peu étendue tous les autres caractères du régime des précipitations sont assez étroitement liés à la hauteur annuelle de pluies.

Donc, dans la plupart des cas, la hauteur moyenne annuelle sera la clé de la division en zones climatiquement homogènes; cette diversification se fera en fonction du gradient pluviométrique régional.

Par exemple, en LORRAINE, la majeure partie du plateau a une pluviométrie comprise entre 650 et 1 000 mm, puis au contact des VOSGES la pluviométrie passe de 1 000 à 2 200 mm environ, aussi avons-nous pris le découpage suivant en classe de climat homogène, de pluviosité croissante :

- H₁ Précipitations annuelles moyennes inférieures à 800 mm
- H₂ Précipitations annuelles moyennes comprises entre 800 mm et 1 000 mm
- H₃ Précipitations annuelles moyennes comprises entre 1 000 mm et 1 400 mm
- H₄ Précipitations annuelles moyennes comprises entre 1 400 mm et 1 800 mm
- H₅ Précipitations annuelles moyennes supérieures à 1 800 mm

La limite des zones climatiques homogènes sera le tracé des isohyètes moyennes interannuelles correspondantes; soit pour la LORRAINE les isohyètes 800 - 1 000 - 1 400 et 1 800. Ces isohyètes seront portées comme de bien entendu sur calque à l'échelle de synthèse.

Nous n'avons pas eu besoin, pour traiter les deux exemples choisis, de faire appel au critère de température, aussi est-il assez difficile de préciser sous quel aspect quantitatif il convient de l'appliquer.

On peut considérer que pour des pays plus ou moins tempérés comme la France l'effet thermique le plus net sur le régime des écoulements en cours d'eau est l'existence ou non de gel plus ou moins prolongé : rupture des conditions d'infiltration sur sol gelé, risque de prise en glace totale ou partielle des biefs des cours d'eau.

Les critères quantitatifs seraient à choisir entre :

- tracé de l'isotherme moyen mensuel de 0° C
- tracé de l'isotherme minimal moyen mensuel de 0° C
- nombre moyen annuel de jours continus de gel

En pays chaud, méditerranéen ou intertropical, la température intervient comme facteur de l'évapotranspiration potentielle, laquelle influe sur la possibilité qu'ont les pluies de donner ou non de l'écoulement.

Il n'est pas certain alors que la prise en compte des seuls isothermes moyens ou maximums moyens mensuels suffise, peut-être faudrait-il faire appel à l'une des formules de calcul de l'évapotranspiration potentielle (THORNTHWAITE, TURC ou PENMAN ? ...).

3.4 La végétation

La couverture végétale est le dernier élément du milieu naturel qui puisse intervenir pour la détermination de régions homogènes du point de vue hydrologique.

Le choix des différents facteurs précédents implique plus ou moins, a priori, une prise en considération de la végétation naturelle.

La végétation ne peut donc intervenir comme élément de différenciation, en quatrième stade, sous son aspect botanique et naturel mais sous son aspect de couverture du sol, plus ou moins modifiée sous l'influence de l'homme.

A la division du couvert végétal proposée par les géomorphologues de l'équipe du professeur TRICART à l'occasion d'une cartographie du bassin de la SEINE, [6] : labour, prairie, vigne, verger et cultures maraîchères, friche et lande, forêt, sans oublier les zones rocheuses et les zones urbaines, nous préférons la division suivante qui tient compte de la nature et de la période de couverture, et qui est extraite d'une note de recommandations du B.E.P. relatives aux bassins d'investigation [7] :

A - Végétations pluri-annuelles

- a - forêt et bois
- b - culture arbustive (verger et vignes)
- c - prairie, pâture non fauchées

B - Végétations annuelles (labours et assolements)

- a - céréales d'hiver et prairie à faucher
représentant en France le cycle hiver, printemps, été
c'est-à-dire une longue période de couverture
- b - céréales de printemps et plantes sarclées
représentant le cycle de printemps; automne, c'est-à-dire
une courte période de couverture.

Cette division très fine peut être légèrement simplifiée pour des grands bassins et pour l'objectif qui nous préoccupe :

- a - forêt, bois et cultures arbustives
- b - prairies non fauchées
- c - prairies fauchées et grandes cultures

Il n'est pas certain que l'on dispose d'éléments cartographiques permettant une étude fine aussi du couvert végétal. En tout état de cause on devra au moins caractériser le groupe végétal dominant dans une zone donnée, étant entendu, comme une récente étude l'a montré - "Etude des affluents alsaciens du Rhin" par J. HERBAUD - [8], que le groupe forêt, lorsqu'il est présent en grands ensembles, semble être le plus caractéristique : il influe sur le déficit annuel, la répartition saisonnière et le débit spécifique instantané de crue. Le taux de boisement peut alors être pris comme critère de division du facteur végétation, ce qui a été fait pour la LORRAINE.

Dans le bassin de la MAINE, le paysage de bocage est complexe, aussi a-t-on retenu pour un tel cas de conserver une division fine comprenant les trois groupes de végétations pluri-annuelles individualisés et le groupe de végétation annuelle (cultures) concentré.

Cette division du couvert végétal se concrétise par le tracé de zones homogènes dans lesquelles la couverture végétale considérée dominante occupe tout ou partie du paysage (pourcents de la superficie supérieurs à certains seuils, 75 ou 50 % par exemple), suivant les régions le paysage offre plus ou moins de complexité dans sa couverture végétale et l'on doit faire appel au facteur végétal dominant ou à tout ou partie des cinq groupes de la division fine inspirée du B.E.P.

3.5 Détermination des zones hydrologiques théoriquement homogènes

La conjugaison des différents facteurs P_i , R_i , H_i , V_i fait apparaître des groupements de facteurs qui caractérisent les zones hydrologiques théoriquement homogènes.

La superposition des calques représentant les zones homogènes relatives à chaque critère fait apparaître les limites de secteurs de zones physico-climatiques homogènes correspondant aux zones hydrologiques théoriquement homogènes. Il est en effet souvent possible qu'une zone, par exemple $P_1 R_1 H_1 V_1$, occupe plusieurs emplacements géographiques distincts, que nous appellerons des secteurs.

A ce stade, il faut prendre garde de ne pas pousser à l'excès les sectorisations et zonifications, car à l'extrême tous les bassins sont différents à un titre quelconque.

Aussi est-il préférable de superposer successivement les tracés relatifs aux différents critères par ordre d'importance, et, pour éviter la création de bandes marginales ou de secteurs de trop faible superficie pour contenir un bassin unitaire de 50 km² environ (8 cm² au 1/250 000ème), on peut confondre le tracé assez simple de limite d'un critère avec celui plus rigide d'un autre, par exemple le tracé d'une isohyète avec la limite de deux zones de perméabilité non voisines (P_1 et P_3).

Il est même parfois préférable de n'utiliser que les trois premiers critères - perméabilité, climat, relief - lors de la première détermination graphique des zones homogènes, et de ne faire intervenir la végétation qu'à un stade ultérieur.

Le tracé définitif représente la carte des zones hydrologiques théoriquement homogènes.

On procède alors à un inventaire des groupements hydrologiques homogènes et de leurs secteurs, avec leur importance superficielle, en prenant successivement chaque critère suivant son aptitude au ruissellement : $P_5 R_6 H_5$, $P_5 R_6 H_4$..., $P_5 R_5 H_5$... etc ... par exemple.

Ceci afin d'obtenir un classement grossier des zones par aptitude probable au ruissellement. De la sorte, la substitution d'un bassin par un autre situé dans une zone d'aptitude voisine est grandement facilitée lors de l'opération de sélection des stations.

Cet inventaire fait apparaître qu'un groupement peut très bien ne pas être représenté, ou alors l'être par un ou plusieurs secteurs d'importance inégale.

Lors de cet inventaire, pour une classe donnée d'un critère, il sera bon de grouper ensemble les secteurs pouvant présenter un caractère secondaire, par exemple parmi des groupements en $P_1 R_1 H_1$ dégager les secteurs karstiques et les grouper.

C'est à ce stade qu'apparaît la concordance entre le "pays" du géographe défini par une unité du paysage avec les zones hydrologiques théoriquement homogènes.

Le "pays" peut correspondre à un seul secteur de zone important créant un paysage monotone ou bien à la juxtaposition de petits secteurs de zones différentes parfois d'aptitude au ruissellement voisine, parfois d'aptitude éloignée, présentant des paysages très variés mais dont l'ensemble forme une entité pour le géographe.

4. CHOIX des IMPLANTATIONS de STATIONS

4.1 Moyens et critères

Il s'agit d'implanter des stations pour répondre à deux besoins :

- a) saisir la particularité de la plupart des zones hydrologiques théoriquement homogènes précédemment définies,
- b) répondre aux objectifs généraux de l'Administration.

Ces deux points exigent de la part de l'Administration, dans sa politique d'aménagement des bassins hydrauliques et de mobilisation des ressources en eau pour faire face aux différents besoins en présence, de définir :

- des zones cruciales dans lesquelles les ressources sont faibles en face de besoins importants,
- des secteurs susceptibles de faire l'objet à court ou moyen terme d'aménagements hydrauliques, c'est-à-dire où des projets sont déjà suffisamment élaborés.

A partir de ces éléments, carte et inventaire des zones hydrologiques homogènes (classement par aptitude au ruissellement et localisation des secteurs); carte des zones cruciales et d'aménagements, on effectue l'implantation des stations en tenant compte de quelques autres critères tenant soit aux conditions physiques, soit aux conditions économiques, soit au régime hydrologique, soit aux règles de répartition de stations.

a) Critères physiques

- Nature du chevelu hydrographique

Les apports d'un affluent important modifient le régime du cours principal; la connaissance de ces modifications implique donc l'implantation de stations aux grandes confluences.

- Existence de points singuliers

Présence de perte ou résurgence importante modifiant tout ou partie du régime d'écoulement surtout en étiage, modifications qu'il est souvent important de connaître.

b) Critères économiques

Une modification importante de l'écoulement sous l'action de l'homme, telle qu'une prise ou un rejet de tout ou partie des débits d'un cours d'eau vers ou dans un autre, interdit le choix d'un tel bief pour une station de base, à moins que les règles hydrauliques de gestion soient bien connues et permettent aisément le calcul des débits naturels à partir des débits influencés.

L'intervention croissante de l'homme sur l'écoulement naturel est inéluctable, aussi ce critère négatif ne doit-il être appliqué qu'avec une grande souplesse.

c) Critères hydrologiques

La plupart des caractères quantitatifs du régime hydrologique varient avec la superficie, ou mieux avec le logarithme de la superficie du bassin drainé. Il importe donc de répartir les stations à l'issue de bassins occupant des superficies différentes, en faisant en sorte que le nombre de stations soit à peu près le même pour des gammes de superficie d'amplitude logarithmique constante. Ceci permet un échelonnement régulier des stations en fonction du log. des superficies.

La bande de superficie la plus exploitée lors de la planification est sensiblement celle d'un module logarithmique allant de 50 à 500 km².

On peut pour fixer les idées donner un exemple indicatif de découpage de gammes équidistantes en log :

- soit en 2 intervalles par module

50 - 150 / 150 - 500

ces intervalles étendus aux bassins plus grands donnent la gamme de base :

50 - 150 / 150 - 500 / 500 - 1 500 / 1 500 - 5 000 / etc...

- soit en 3 intervalles par module

50 - 100 / 100 - 250 / 250 - 500

d) Critère de répartition des stations et de densité minimale d'un réseau hydrométrique

La densité minimale que nous avons admise en France, rappelons-le, est égale à 3,4 stations pour 1 000 km² en zone de montagne ou méditerranéenne et 1,4 station pour 1 000 km² en zone de plaine [9].

Si la région considérée présente à la fois des zones montagneuses et de plaine, il faudra faire une pondération pour déterminer le nombre minimal de stations du réseau de base et la densité minimale régionale.

En réalité, la planification qui a pour but de faire "coller" le nombre de stations à la nature géographique de la région va servir à mieux définir la densité souhaitable du réseau minimal pour la région étudiée. Aussi doit-on se contenter de ne pas trop s'éloigner (2 fois plus ou moins ?) des densités choisies a priori.

Les stations doivent théoriquement être réparties également entre bassins de moins de 1 000 km² et de plus de 1 000 km².

Cette répartition est valable au stade d'un grand bassin hydrographique où sont alors prises en compte les stations implantées pour raison économique ou de grande confluence, le long des grands axes fluviaux mais elle ne l'est pas dans le cadre d'une planification régionale, où la densité des stations implantées pour les bassins de moins de 1 000 km² ne peut qu'être supérieure à la moitié de la densité minimale régionale.

4.2 Mode opératoire

Pour effectuer le choix des implantations de stations, on procède par éliminations successives. On superpose le calque des zones hydrologiquement homogènes et celui des limites des bassins versants étudiés (il s'agit du calque des pentes des bassins unitaires). On obtient ainsi un inventaire des bassins inclus entièrement ou presque (80 à 90 %) dans les différentes zones répertoriées avec les exceptions suivantes :

- possibilité d'assimilation d'un bassin portant sur plusieurs zones à une de ces zones si elles ne sont différenciées entre elles que par un critère pondérable, critère de pluviométrie en général : un bassin portant sur les zones $P_i R_i H_{i+1}$, $P_i R_i H_i$ et $P_i R_i H_{i-1}$ pourra être assimilé à la zone $P_i R_i H_i$;
- hypothèse, pour les grands bassins, de variation normale décroissante du critère relief avec la surface.

Il est conseillé d'établir cet inventaire en tenant compte de la superficie des bassins de manière à faciliter le choix suivant l'une des gammes des surfaces drainées; par exemple en classant les bassins suivant le découpage :

| | | | | | | | | | | |
|---|----------|---|-----------|---|-----------|---|-----------|---|-------|---|
| : | 1 | : | 2 | : | 3 | : | 4 | : | 5 | : |
| : | 50 - 100 | : | 100 - 150 | : | 150 - 250 | : | 250 - 500 | : | > 500 | : |

le groupement des classes 1 + 2 et 3 + 4 dans la gamme de base à 2 intervalles entre 50 et 500 et celui des classes 1, 2 + 3 et 4 dans la gamme à 3 intervalles.

On procède alors, sur le lot des bassins retenus, à une nouvelle sélection par superposition de la carte des zones cruciales et d'aménagements, sélection qui détermine ou une priorité dans le choix d'un bassin ou son élimination.

On procède enfin au choix définitif. Il est possible que pour certaines stations une alternative soit proposée entre tel ou tel pays, tel ou tel bassin hydrographique, ce qui signifie que plusieurs bassins sont aptes a priori à représenter une certaine zone homogène.

Il est entendu que la carte d'implantation n'a pour but que la définition d'un bief à l'intérieur duquel peut se situer la station choisie. Le choix de la section de mesure est évidemment un problème de gestion et non plus de planification.

La planification du réseau comme la définition des biefs d'implantation des stations est menée sans tenir compte du classement juridique des cours d'eau.

5. NATURE des DOCUMENTS de PLANIFICATION

Les documents de planification du réseau hydrométrique minimal d'une région ou d'un bassin sont essentiellement constitués d'un jeu de cartes et d'une notice explicative.

Les cartes qui sont dressées à l'échelle du 1/250 000ème, échelle de synthèse, sont les suivantes :

- une carte du réseau hydrographique, d'après la carte IGN, qui contient tous les cours d'eau figurant sur celle-ci et tous les noms de ces cours d'eau si possible sans oublier surtout ceux des cours d'eau dont les bassins entiers ou partiels font l'objet d'une détermination de classe de relief;
- une carte pour chaque critère du milieu physico-climatique, c'est-à-dire une carte de classes de perméabilités ou d'influence du sous-sol, une carte de classes de relief et une carte des couvertures végétales; si le critère de climat se limite à la hauteur annuelle de pluies, les courbes isohyètes peuvent être portées sur une autre carte de critère de milieu. Toutes ces cartes, comme les suivantes, ont un fond hydrographique simplifié et muet permettant un repérage facile;

- une carte des bassins unitaires étudiés, portant limites et classes de relief indiquées;
- une carte de synthèse des zones hydrologiques théoriquement homogènes,
- une carte de synthèse des zones cruciales d'utilisation des eaux et des aménagements hydrauliques existants ou en projet;
- une carte de planification indiquant les biefs à l'intérieur desquels une station hydrométrique du réseau de base devrait être implantée, dite carte de proposition d'implantation des stations du réseau.

B I B L I O G R A P H I E

- 1 - P. DUBREUIL - 1968-1969 - "Etude de l'extension rationnelle du réseau hydrométrique du Ministère de l'Agriculture" - ORSTOM - Service Hydrologique et Ministère de l'Agriculture - Direction de l'Equipement et de l'Hydraulique (2 Tomes) - PARIS -
- 2 - P. DUBREUIL - Février 1965 - "Contribution à l'étude d'implantation de bassins représentatifs de régions hydrologiques homogènes" - Cahiers ORSTOM - Série Hydrologie n° 2 -
- 3 - M. ROCHE - "Hydrologie de surface" - ORSTOM et GAUTHIER-VILLARS éd.
- 4 - Septembre 1967 - "Données de base des bassins représentatifs et expérimentaux - Notice explicative de la fiche, description des observations et mesures effectuées et les caractères physiques et morphologiques" - ORSTOM - Service Hydrologique - PARIS -
- 5 - P. DUBREUIL - Décembre 1966 - "Les caractères physiques et morphologiques des bassins versants - leur détermination avec une précision acceptable" - Cahiers ORSTOM - Série Hydrologie n° 5 -
- 6 - Centre de Géographie Appliquée de l'Université de Strasbourg - "Bassin de la SEINE - Carte de la couverture végétale au 1/750 000ème" - D.A.T.A.R. - PARIS -
- 7 - B.E.P. - 1970 - "Recommandations relatives à un programme minimum commun des études menées sur bassins versants d'investigation" - D.A.T.A.R. - Action concertée Eau - PARIS -
- 8 - J. HERBAUD - 1968-1969 - "Etude des Affluents alsaciens du Rhin" - ORSTOM - Service Hydrologique et Ministère de l'Agriculture - Direction de l'Equipement et de l'Hydraulique - PARIS -
- 9 - P. DUBREUIL - 1969 - "Nature et répartition des stations hydrométriques de réseaux en France au début de 1968" - Cahiers ORSTOM - Série Hydrologie - Vol. VI, n° 2 -