

ACADEMIE DE MONTPELLIER  
UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC

DIPLOME D'ETUDES APPROFONDIES  
OPTION : SCIENCES DE L'EAU ET AMENAGEMENT

GRADEX-VALEURS EXTREMES

Rapport bibliographique

par

ZAHAR Yadh

Soutenu le 27 Fevrier 1986

USTL

Laboratoire d'Hydrologie  
Mathématique

ORSTOM

Institut Français de  
Recherche Scientifique pour  
le Développement en  
Coopération

## - SOMMAIRE -

### -INTRODUCTION-

-CHAPITRE UN- Présentation succincte des différentes méthodes d'évaluation des débits extrêmes.

A- Les procédés empiriques :

- 1- La méthode historique.
- 2- Les méthodes utilisant les caractéristiques du bassin versant.
- 3- Les méthodes des courbes enveloppes.

B- Les méthodes statistiques basées sur l'analyse de la fréquence des crues.

C- Les méthodes hydrométriques basées sur la relation de cause à effet pluie-débit.

- 1- Les méthodes analytiques.
- 2- La méthode statistique.

-CHAPITRE DEUX- La méthode du Gradex pour la prédiction de crues de fréquence rare :

A- Hypothèse probabiliste.

B- Hypothèse déterministe.

-CHAPITRE TROIS- Applications pratiques de la méthode du Gradex :

A- Mise en oeuvre de la méthode du Gradex :

- 1- Choix du pas de temps.
- 2- Passage de la pluie ponctuelle à la pluie moyenne d'un bassin.
- 3- Passage du débit journalier maximal annuel au débit de pointe.
- 4- Coïncidence de la loi des débits avec la série des valeurs extrêmes de débits observés.
- 5- Estimation du paramètre "a" gradient des valeurs extrêmes.

B- Perspectives envisageables pour le domaine d'application :

- 1- Validité du comportement exponentiel de la fréquence des précipitations pour d'autres types de climats.
- 2- Affectation de la méthode à de grands bassins.
- 3- Validité de la méthode du Gradex à des bassins perméables.

-CHAPITRE QUATRE- Orientation du sujet de recherche.

-CONCLUSION-

-BIBLIOGRAPHIE-

I N T R O D U C T I O N

On sait l'intérêt fondamental qu'attache l'homme à l'évaluation des catastrophes naturelles et à sa protection contre leur soudaineté et leur rare violence.

Hélas! tremblements de terre, éruptions volcaniques, inondations etc... n'épargnent toujours pas notre planète, et provoquent encore des dégâts importants, souvent inestimables en matériel et en vies humaines...

Les hydrologues, qui s'intéressent plus particulièrement aux phénomènes caractérisant le cycle de l'eau (outre leurs travaux pour une meilleure gestion des ressources en eaux) concentrent une grande partie de leurs efforts sur la prédiction des crues réputées "catastrophiques".

C'est dire l'intérêt du problème dont on conçoit bien les incidences économiques, tant au niveau des villes, qu'en région rurale.

En effet, prenons le cas des villes; l'histoire des civilisations montre que l'implantation des cités s'est faite là où il y a de l'eau (au bord des cours d'eau, à la limite des zones d'épandage, dans les cuvettes etc...). Il y a par conséquent une concentration importante en vies humaines, en équipements et en infrastructure des villes à sauvegarder des risques d'inondation.

Dans les zones agricoles le problème n'est pas moins grave, et mis à part le cas rare où les inondations peuvent être bénéfiques aux cultures (rizières etc...) sans causer de dégâts importants, il est indispensable dans tous les autres cas de prévoir des aménagements de protection contre les inondations.

Pour prévoir les crues dommageables, les hydrologues ont mis au point un certain nombre de méthodes, dont aucune n'a la prétention d'être universelle. Chaque cas d'application a ses particularités, et les informations dont disposent les hydrologues présentent des caractéristiques différentes. Elles sont de fiabilité parfois douteuse, et de durées plus ou moins longues.

La méthode du Gradex (GUILLOT & DUBAND : 1967) sans pour autant être révolutionnaire, présente une approche nouvelle du problème. Elle s'appuie sur deux constatations que nous pouvons admettre aisément :

- Les grandes crues sont dûes à des pluies intenses.
- La rétentions du bassin versant n'est pas illimitée.

Comme toute autre méthode, elle présente des avantages, et trouve aussi ses limites.

Dans le présent rapport bibliographique consacré à la

méthode du Gradex, on commencera par faire un inventaire succinct des quelques méthodes de prédiction de crues de fréquence rare, ce qui nous permettra ensuite de situer la méthode du Gradex. Le troisième chapitre sera consacré à une synthèse bibliographique des applications de la méthode, ainsi que des critiques qu'elle soulève. C'est à partir de cette synthèse que sera définie l'orientation du sujet de recherche.

CHAPITRE UN

PRESENTATION SUCCINCTE DES DIFFERENTES  
METHODES D'EVALUATION DES CRUES EXTREMES

Les crues sont liées à deux paramètres, hauteur d'eau, et débit de crue. Ces deux paramètres sont fluctuants dans le temps et dans l'espace, ils dépendent de plusieurs facteurs, de nature hydrologique, hydraulique, topographique etc...

Les méthodes utilisées pour la prédétermination de crue, permettent à l'ingénieur d'exploiter rationnellement telle ou telle catégorie de données (souvent incomplètes) dont il dispose. Ces méthodes sont utilisées généralement seules mais parfois concurremment, la synthèse de divers modes d'estimation pouvant donner des résultats plus sûrs, qui ne risque pas d'exagérer ou de sous-estimer les risques encourus.

L'objet du présent chapitre est de présenter brièvement les principales méthodes. Nous nous contenterons d'en esquisser les principes en insistant principalement sur celle d'entre elles qui fera l'objet des recherches de ce mémoire de DEA.

Nous distinguons :

- les procédés empiriques.
- les méthodes statistiques basées sur l'analyse de la fréquence des crues.
- Les méthodes hydrométriques basées sur une relation de cause à effet pluie-débit.

## A - LES PROCEDES EMPIRIQUES:

### 1 - LA METHODE HISTORIQUE :

Cette méthode repose sur le résultat enregistré à la suite de la plus forte crue connue dans un passé plus ou moins long.

On recherchera à cet effet des repères (officiels ou non) indiquant sur les ouvrages d'art ou bâtiments riverains, les hauteurs d'eau atteintes par la rivière au cours des crues antérieures, on dépouillera les vieilles archives éventuellement, et les chroniques locales.

Une fois l'enquête terminée, on fait un examen critique des différentes données (de valeurs souvent très inégales) pour déterminer le débit de "la plus grande crue observée". Celui de la "crue maximale à craindre" s'obtient en multipliant la valeur du débit observé par un "coefficient de sécurité" dont l'estimation est subjective (elle peut dépendre du régime du cours d'eau, de la durée des observations disponibles, du régime pluviométrique de la région...)

Ce genre de méthode a été utilisé en France jusqu'à ces dernières décades. Elle continue à être appliquée dans les régions où on ne dispose pas de données suffisantes pour utiliser des méthodes plus modernes.

Cette méthode permet aussi de donner des ordres de grandeur des valeurs de crues exceptionnelles, et éventuellement la révision des calculs établis par d'autres procédés.

Toutefois elle trouve ses limites par le caractère très aléatoire des valeurs qu'elle fournit. La variation des conditions d'écoulement (évolution au cours du temps du profil en long du cours d'eau, aménagements nouveaux etc...) ne fait qu'augmenter les imprécisions.

### 2 - METHODES UTILISANT LES CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT :

L'absence d'observations hydrométriques de longue durée sur de nombreux cours d'eau a suscité l'établissement de très nombreuses formules pour le calcul du débit maximum de crue probable d'après les caractéristiques essentielles du bassin considéré (superficie, pluviométrie, fréquence des crues...)

A ce titre nous pouvons citer la formule de MYER qui fait intervenir uniquement l'aire du bassin versant pour déterminer la valeur du débit (REMINIERAS : 10). D'autres formules font intervenir le régime pluviométrique du bassin ou l'intensité de la pluie : formule de TURRAZA (REMINIERAS : 10).

Les formules que nous venons de citer ne précisent pas



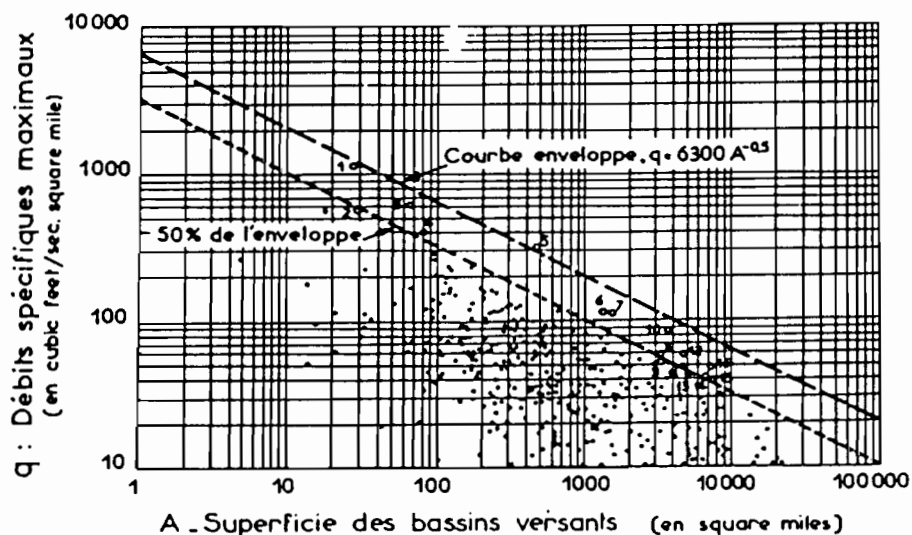
la fréquence du débit de crue qu'elles permettent de calculer, ce qui est gênant pour le concepteur qui conçoit des dispositifs de sécurité pour une période de retour donnée. Nous trouvons par conséquent d'autres formules qui font intervenir ce paramètre supplémentaire : formule de FULLER (REMINIERAS : 10).

Notre but n'est pas de rentrer dans les détails de chaque formule, qui sont d'ailleurs développées dans la littérature, toutefois nous tenons à dire que d'une manière générale ces formules présentent l'avantage de donner sous une forme simple le résultat d'un calcul hydrologique rationnel. Mais on ne peut sans vérification, les extrapoler à des régions topographiquement et climatiquement différentes de celles pour lesquelles elles ont été établies. Il arrive souvent que pour une même valeur des paramètres pris en compte, ces formules conduisent à des résultats très différents.

### 3 - METHODES DES COURBES ENVELOPPES :

il s'agit d'un procédé graphique qui condense les renseignements disponibles sur les crues, survenues dans le passé sur un ensemble de bassins versants. On reporte sur un graphique à échelle logarithmique les débits des plus fortes crues en fonction des aires des bassins versants correspondants. On trace par la suite l'enveloppe du nuage de points ainsi représentées qui peut être ajusté par une courbe analytique.

certaines de ces "courbes enveloppes" ont été élaborées pour une région particulière dont les bassins sont autant que possibles homogènes: Voir figure 1, d'après (REMINIERAS : 10)



— Courbes-enveloppes des débits de crue maxima pour les bassins du sud et du sud-est des Etats-Unis

-Figure 1-

D'autres auteurs ont essayé de donner un caractère plus universel à ce genre de procédé : "Essai de classification des crues maximales observées dans le monde" (FRANCOU ET RODIER : 4).

Comme la méthode historique, les méthodes des courbes enveloppes sont utiles dans les régions où on dispose de très peu de données.

Mais les années passent et de nouveaux records sont homologués, on ne cesse donc de réajuster les courbes enveloppes. De plus les bassins considérés présentent souvent des caractéristiques (topographiques, morphopédologiques...) différentes .

En résumé, cette catégorie de méthodes repose sur l'emploi d'informations globales provenant d'un certain nombre de bassins réputés plus ou moins analogues pour une méthode considérée. On a vu qu'elles étaient particulièrement adaptées aux cours d'eau sur lesquels on possède peu de données. Ces méthodes rendent de grand services dans plusieurs régions d'Afrique, dans les îles de l'océan indien et du pacifique...

## **B - LES METHODES STATISTIQUES BASEES SUR L'ANALYSE DE LA FREQUENCE DES CRUES :**

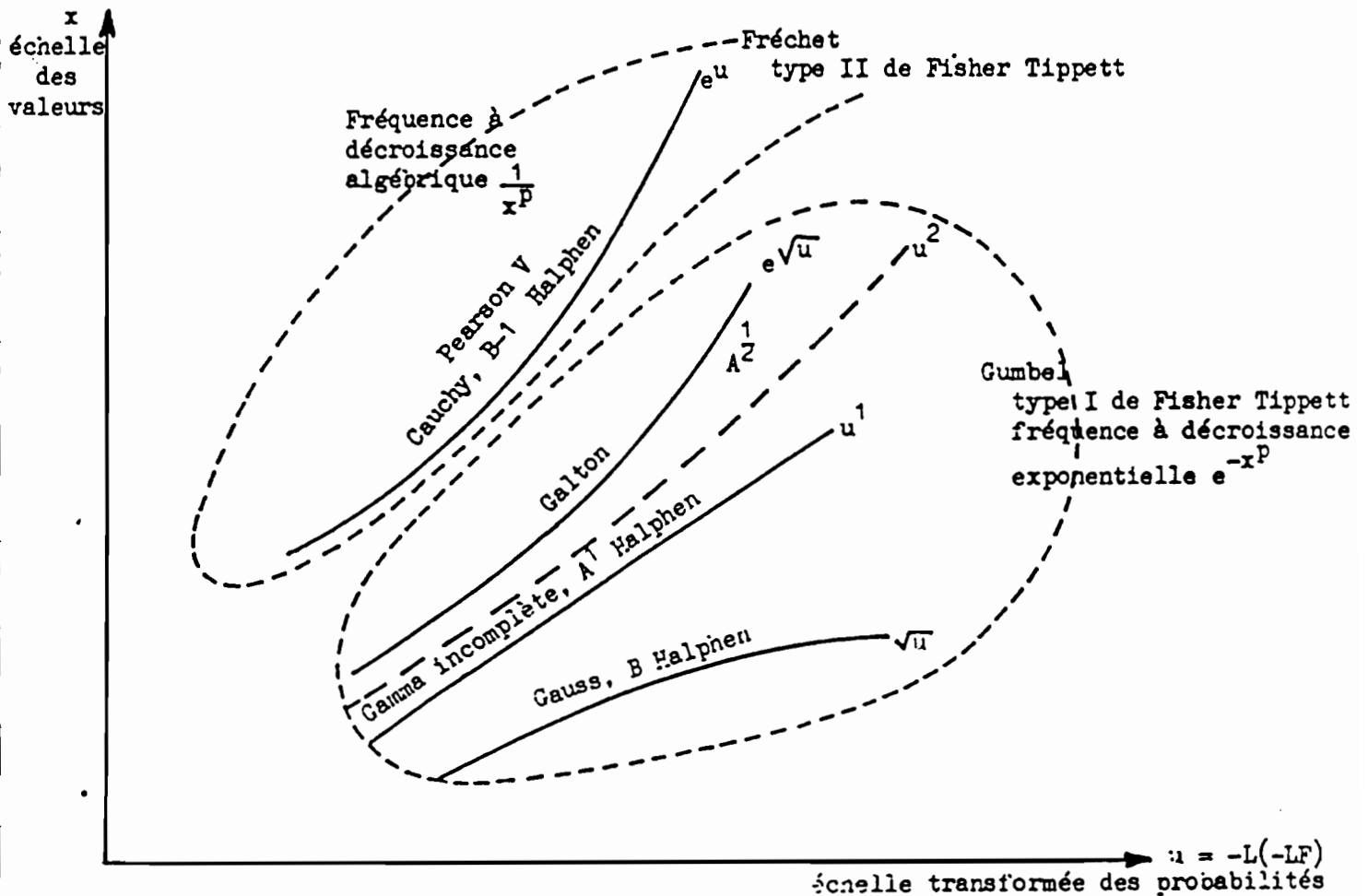
Dans le cas où les données sont nombreuses, une autre façon d'aborder le problème est de s'attacher à utiliser au maximum les relevés de débits de la station pour laquelle on cherchera à faire de la prédiction de crue .

Le principe de ces méthodes est d'ajuster une loi de probabilité de forme analytique donnée à une série "homogène" de débits observés au préalable, et à extrapoler la courbe ainsi obtenue pour estimer la crue d'occurrence centennale, millénaire, décennaire...

Pour obtenir une série "homogène" il y aura lieu, tout d'abord, de critiquer les données pour éliminer les valeurs notoirement erronées ou pour tenir compte des modifications apportées par l'homme à l'écoulement (aménagements nouvellement réalisés). Le problème suivant est d'ajuster une loi théorique de probabilité à la série retenue. Cette loi devra représenter aussi fidèlement que possible les résultats expérimentaux.

En pratique, on choisit a priori l'une des lois suivantes : GAUSS, GUMBEL, PEARSON, FRECHET etc... Dont le fondement théorique et l'emploi sont explicités dans divers manuels classiques d'hydrologie (REMINIERAS : 10, ROCHE : 11, MASSON : 9).

La figure 2 (GUILLOT : 12) représente le comportement dans les grandes valeurs des diverses formes analytiques de fonction de répartition; on a indiqué les parties principales des fonctions.



-Figure 2-

On peut constater sur ce schéma, que des lois ayant des comportements voisins dans la partie inférieure de la distribution, divergent par la suite largement. Le risque encouru en sélectionnant une loi plutôt qu'une autre est donc d'extrapoler de façon hasardeuse à partir d'observations ne concernant que des fréquences moyennes.

Ce type de méthode pourrait être utilisé chaque fois que l'on disposerait d'une série homogène d'observations de débits relative à une période aussi longue que possible.

## C - LES METHODES HYDROMETEOROLOGIQUES BASEES SUR LA RELATION DE CAUSE A EFFET PLUIE-DEBIT :

On ne dispose pas toujours de renseignements hydrométriques suffisants sur les bassins versants à étudier, pourtant le principal facteur conditionnant l'écoulement est la pluviométrie.

Les mesures pluviométriques, contrairement aux mesures de débits qui sont assez délicates (changement du profil en long du cours d'eau, aménagements nouveaux, matériel endommagé ou emporté lors des crues violentes etc...) présentent l'avantage d'être généralement, assez bien suivies.

Ces deux raisons font des mesures pluviométriques une information intéressante pour la prédétermination de crues...

### 1 - LES METHODES ANALYTIQUES :

le principe consiste à introduire les précipitations dans un "schéma mathématique" (plus ou moins complexe) tentant de reproduire le processus physique de l'écoulement.

L'intérêt de ce type de méthodes est d'utiliser l'information pluviométrique et par une "fonction de transfert" la transformer en débit. Ainsi la référence à un mécanisme physique permet d'évaluer assez précisément le débit maximum correspondant à une averse donnée.

Sans vouloir rentrer dans les détails de mise en oeuvre des différentes méthodes analytiques qui du reste sont très nombreuses (modèles de ruissellement, modèles à réservoir ...) nous retiendrons simplement que :

- \* Le calage d'un modèle n'est pas une opération aisée, et demande un certain temps avant que le modèle soit fonctionnel.

- \* Le modèle est calé sur des observations de pluies ayant une certaine période de retour, il s'agit de savoir s'il est possible de l'utiliser pour des crues ayant une période de retour beaucoup plus élevée que celle retenue pour le calage.

- \* Les modèles sont difficilement extrapolables d'un bassin versant à un autre, chaque bassin ayant ses propres caractéristiques d'écoulement. D'autre part le changement des conditions d'écoulement sur le bassin considéré (aménagements nouveaux etc...) peut porter préjudice au fonctionnement du modèle.

- \* S'il est possible d'évaluer assez précisément et grâce au modèle le débit maximum correspondant à une averse donnée, le problème est ensuite d'affecter une probabilité

au débit ainsi obtenu.

On conçoit alors que pour la prédiction de crue, ces méthodes ne sont pas tout à fait appropriées, elles trouvent par contre plus de succès pour les projets de gestion des ressources en eau qui justifient une telle approche mathématique.

## 2 - LA METHODE STATISTIQUE UTILISANT L'INFORMATION PLUVIOMETRIQUE :

GUILLOT & DUBAND ont proposé en 1967 une alternative à l'utilisation des modèles, s'appuyant uniquement sur l'analyse fréquentielle conjointe des séries climatologiques de pluies et de débit : C'est "la méthode du GRADEX" qualifiée par les auteurs de "solution simple, pratique qui associe des hypothèses physiques élémentaires" .

Cette méthode est exposée dans le chapitre suivant.

CHAPITRE DEUX

LA METHODE DU GRADEX POUR LA PREDICTION  
DE CRUES DE FREQUENCE RARE.

La méthode du gradex vise à estimer des débits de crue à partir des pluies, correspondant à des périodes de retour très élevées : supérieures à 100 ans.

Cette méthode concerne des bassins versants de superficie moyenne (de 0 à 5000 km<sup>2</sup> environ) dont le terrain est relativement imperméable, pour les régions de climat tempéré et homogène.

Cette méthode repose sur deux hypothèses fondamentales:

- Une hypothèse probabiliste.
- Une hypothèse déterministe.

## A - HYPOTHESE PROBABILISTE :

La fréquence des pluies est à décroissance asymptotiquement exponentielle (du type  $\exp(-p/a)$ ) qui se traduit sur le graphique de GUMBEL par une droite de pente "a" .

-Explicitons cette hypothèse :

En considérant la plus forte hauteur pluviométrique "p" sur un intervalle de temps d'une période calendaire quelconque de l'année, il est couramment admis que cette variable aléatoire a une fonction de répartition qui tend pour les fortes valeurs de p vers la forme :

$$F(p) = 1 - \exp(-u)$$

$$\text{avec } u = (p - p')/a$$

a et p' étant des constantes positives.

Par ailleurs une loi fréquemment utilisée pour modéliser la distribution des maxima pluviométriques est la loi de GUMBEL, dont la fonction de répartition est de la forme :

$$F'(p) = \exp(-\exp(-u))$$

En exprimant le développement en série de cette expression nous obtenons :

$$F'(p) = 1 - \exp(-u) + 1/2 (\exp(-u))^2 \dots$$

Ainsi lorsque p tend vers l'infini on a :

$$F'(p) \rightarrow F(p)$$

Ceci implique que sur "le papier à graduation de GUMBEL" gradué en abscisse selon la variable u avec report des valeurs F(p) et F'(p) en ordonnée, F(p) est asymptotique à F'(p).

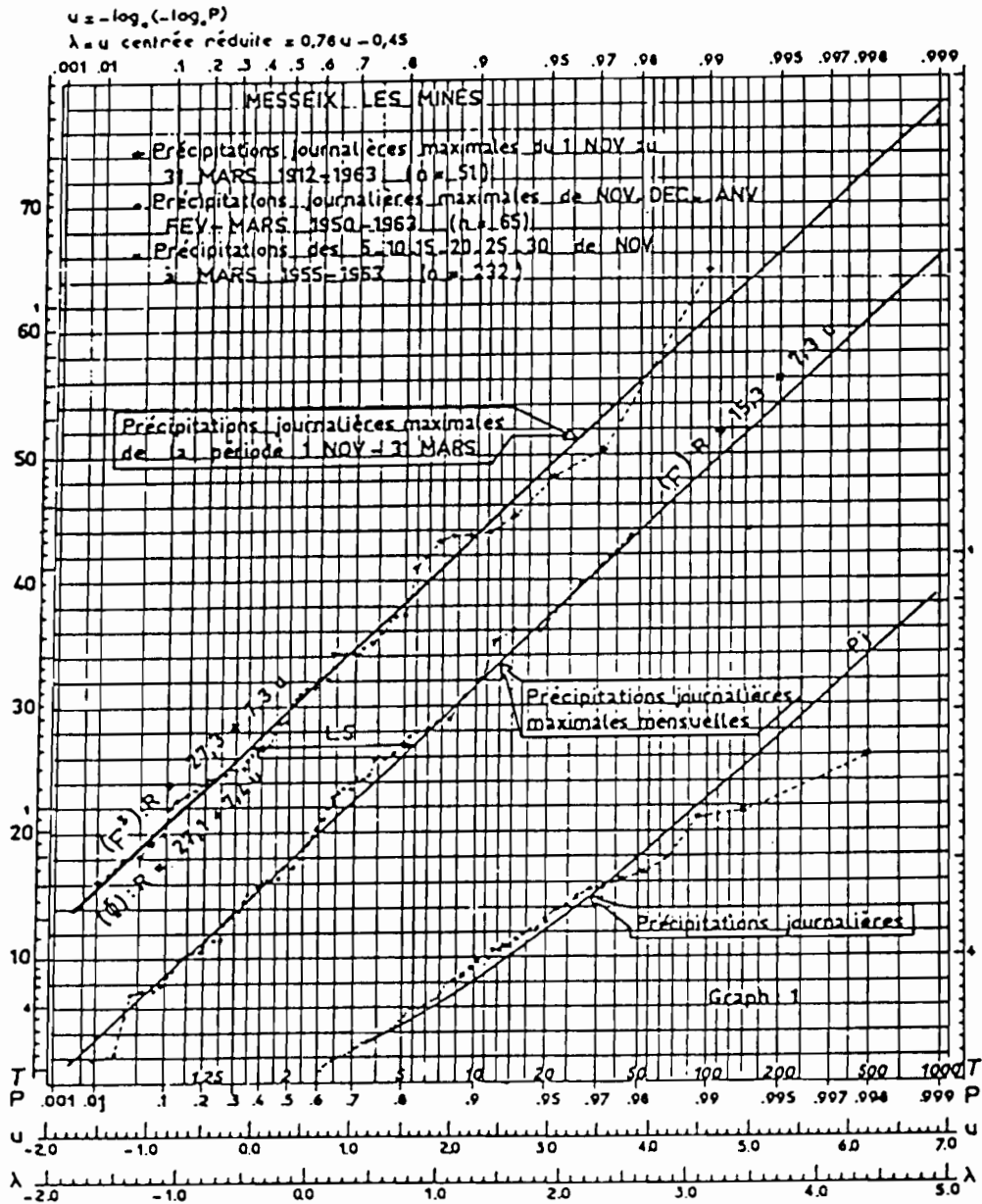
L'équation de l'asymptote est :

$$u = (p - p')/a$$

ou encore :

$$p = a.u + b$$





-Figure 3- (GUILLOT & DUBAND : 5)

L'adéquation de cette loi est conforme aux observations de précipitations maximales sur plus de 300 stations en divers régions de France. Ces observations ont été effectuées pour les différentes saisons de l'année (GUILLOT & DUBAND : 5).

Cette hypothèse semble aussi adoptée aux EU, en Afrique du sud, en Australie... (GUILLOT & DUBAND : 5)

D'autre part l'étude de HERSHFELD & KOHLER (1960), selon GUILLOT & DUBAND, a montrée que la loi de GUMBEL ajustée

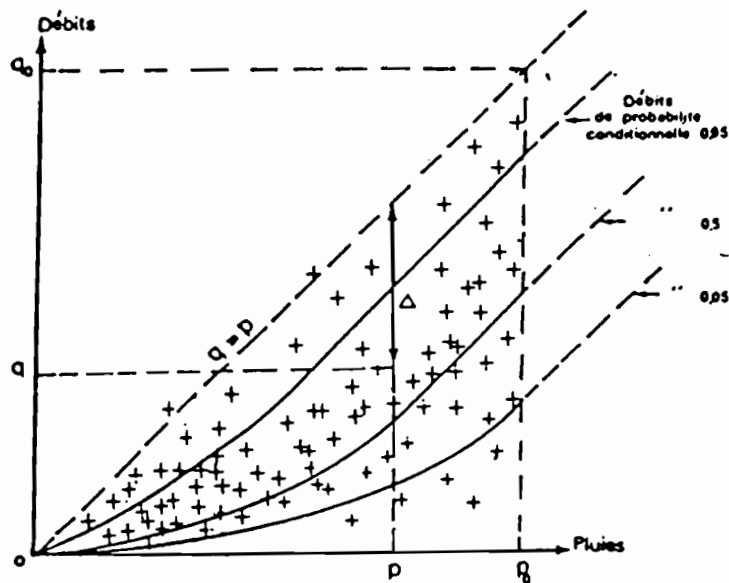
sur les maximums annuels constitue un bon modèle pour extrapoler jusqu'aux pluies extrêmement rares.

Le paramètre "a", baptisé "GRADEX" par GUILLOT & DUBAND (ce qui correspond à "gradient de l'exponentielle" ou "gradient des valeurs extrêmes") est égal à la pente de la droite de GUMBEL.

Sa valeur est fournie par la série d'observations pluviométriques, il dépend de la situation géographique et de la saison.

## B - HYPOTHESE DETERMINISTE :

En période de hautes eaux, quand on s'approche de la saturation du bassin, tout accroissement  $dp$  de la précipitation produit un accroissement  $dQ$  du débit qui tend à devenir égal à  $dp$ .



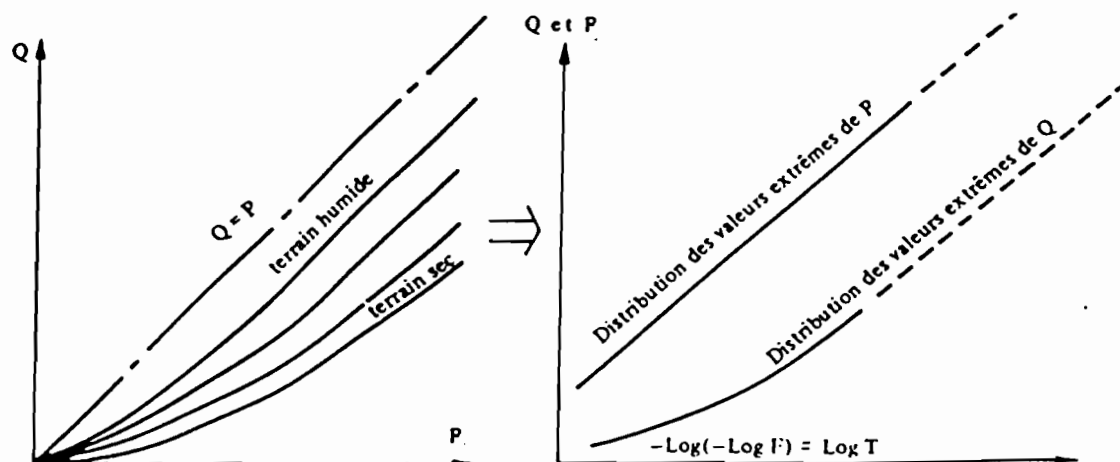
-Figure 4- (GUILLOT & DUBAND : 5)

Explicitement :

La position de chaque "courbe quantilique" et sa forme limite traduit un certain état d'humidité initiale du sol. Le déficit d'écoulement  $H_p(Q)$  a une répartition liée à  $p$  par les quantiles (5%, 10%, ..., 95%) qui sont aléatoires et représentent le pourcentage de la pluie ruisselée vers l'exutoire.

Ainsi, selon GUILLOT & DUBAND Le débit ruisselé  $Q$ , engendré par les précipitations  $p$ , peut suivre plusieurs trajets différents. Lorsqu'on s'approche de la saturation du bassin, tout supplément de précipitation tend à se retrouver intégralement dans le débit. Ceci se traduit sur le graphique par le redressement des différentes courbes quantiliques qui deviennent asymptotiquement parallèles à la première bissectrice. La distribution liée  $H_p(Q)$  tend à devenir homoscedastique. Les débits engendrés seront infiniment

grands, du même ordre que les pluies génératrices et leur fonction de répartition  $G(Q)$  sera alors semblable à celle des pluies extrêmes  $F(p)$  d'où une extrapolation possible de la distribution des débits parallèlement à celle des pluies (suivant une droite de pente "a" le Gradex des pluies). Cette droite nous permet d'estimer les débits de période de retour élevée.



-Figure 5- (GUILLOT & DUBAND : 5)

REMARQUE :

Nous avons préféré employer le terme "déficit d'écoulement" là où les auteurs de la méthode utilisent l'expression "rétention du bassin versant". Car le terme "rétention du bassin versant" nous paraît trop restrictif. La différence entre pluies et débits telle qu'elle ressort de la méthode du Gradex, est une combinaison statistique complexe des facteurs suivants :

- \* Rétention par le sol et le sous sol.
- \* Evapotranspiration.
- \* Report d'une partie de l'écoulement hors de l'intervalle de temps considéré.
- \* Vitesse d'infiltration dans le sol pour les fortes intensités.

En conclusion de ce chapitre nous pouvons dire que la méthode du Gradex présente les avantages suivant :

- Sa mise en oeuvre est rapide.
- Elle s'appuie sur l'information pluviométrique, beaucoup plus importante que l'information hydrométrique en termes de stations années, et dont on connaît mieux le compor-

tement asymptotique.

Toutefois, nous retenons la conclusion de GUILLOT & DUBAND : "la poursuite de l'application de la méthode du Gradex sera l'occasion d'éclaircir et d'assurer des points d'appui"...

CHAPITRE TROIS

APPLICATION PRATIQUE DE  
LA METHODE DU GRADEX

"La méthode du Gradex exige des précautions, et ne peut être simplement considérée comme l'application d'une recette valable en toutes circonstances".

En commentant par ces termes la méthode du Gradex le CTGREF a jugé bon de présenter une note sur la méthode et sur ses applications (CTGREF : 3) , dans laquelle il essaye d'apporter des précisions concernant certains points qui demandent à être plus développés.

A ce sujet d'autres notes ont suivi : (BEN ZVI : 1, BERAN : 2, GUILLOT : 6 - 7 - 12, MASSON : 9). C'est la synthèse de ces différentes notes que nous développons dans le présent chapitre. Nous avons retenu les points qui nécessitent un développement plus approfondi par rapport à l'exposé théorique sur la méthode, du chapitre précédent.

Nous examinerons tour à tour :

-La mise en oeuvre de la méthode du Gradex.

-Les perspectives envisageables pour son domaine d'application.

## A - MISE EN OEUVRE DE LA METHODE DU GRADEX :

Il ressort des différentes notes citées auparavant, que pour la mise en oeuvre de la méthode du Gradex, la "réflexion" sur les points suivants s'impose :

- \* Le choix du pas de temps à adopter.
- \* Le passage de la pluie ponctuelle à la pluie moyenne d'un bassin.
- \* Le passage du débit journalier maximal annuel au débit de pointe.
- \* La coïncidence de la loi des débits  $G(Q)$  avec la série des valeurs extrêmes des débits observées.
- \* L'estimation du paramètre "a" gradient des valeurs extrême.

### 1 - CHOIX DU PAS DE TEMPS :

"Qu'elle est le pas de temps à adopter pour un bassin versant donné ?" .(CTGREF : 3, BERAN : 2, GUILLOT : 6)

D'après la note du CTGREF plusieurs utilisateurs de la méthode adoptent une valeur de l'ordre du temps de concentration  $T_c$ . Les auteurs de la méthode semblent recommander un temps plus court, légèrement supérieur au temps de montée.

A propos de temps une autre question se pose :

"Quel est le découpage de temps à effectuer ?".Faudrait il relever les hauteurs pluviométriques dans des intervalles fixes, ou dans des intervalles variables choisis de telle façon que l'on obtienne la plus grande valeur possible.

La première solution risque de couper une averse exceptionnelle en deux.

La deuxième, n'est applicable que lorsqu' on dispose de relevés pluviographiques sur le bassin considéré.

### 2 - PASSAGE DE LA PLUIE PONCTUELLE A LA PLUIE MOYENNE D' UN BASSIN VERSANT :

la distribution des pluies extrêmes n'est connue que ponctuellement, et pas toujours aux endroits les plus intéressants pour l'hydrologue. Par ailleurs la variable qui conditionne réellement l'écoulement est la pluie moyenne tombée sur le bassin.

Il faut donc disposer d'une méthode permettant de déduire les paramètres caractéristiques de cette pluie moyenne à partir de ceux de la pluie ponctuelle.

La solution rigoureuse de ce problème est particulièrement complexe car elle met en oeuvre des compositions de lois statistiques essayant de respecter la structure spatiale de la pluie. Les auteurs de la méthode font deux hypothèses qui leur permettent d'estimer le Gradex de la pluie moyenne de façon approchée :

\* La pluie moyenne reçue par un bassin versant semble avoir elle aussi une fréquence à décroissance exponentielle. Cette hypothèse est toutefois contestée par d'autres auteurs (BERAN : 2, CTGREF : 3).

\* Les précipitations moyennes sur un bassin versant, où les précipitations sont fortement corrélées entre elles, a pour Gradex la moyenne des Gradex sur le bassin.

La détermination de la moyenne pluviométrique d'un bassin versant, n'est pas un problème spécifique à la méthode du Gradex, il constitue pour la plupart des travaux en hydrologie une difficulté de taille, ceci malgré les nombreuses méthodes déjà existantes. De la méthode de THIESSEN jusqu'à plus récemment la méthode du KRIGEAGE, on conçoit aisément que les résultats obtenus par les différentes techniques ne sont qu'une simulation du phénomène pluvieux considéré. Cette simulation étant plus ou moins proche de la réalité de l'événement suivant que la méthode est plus ou moins simplifiée.

### **3 - PASSAGE DU DEBIT JOURNALIER MAXIMAL ANNUEL AU DEBIT DE POINTE :**

Ayant défini la fonction de répartition des débits journaliers maximaux annuels, il serait intéressant de pouvoir passer au débit instantané de pointe qui est l'information essentielle.

Seulement il se trouve que le rapport  $R = \text{débit de pointe} / \text{débit moyen journalier maximal}$ , ainsi défini n'est pas corrélé avec le débit. (GUILLOT & DUBAND : 5).

GUILLOT & DUBAND, après examen d'échantillons de crues, pour certaines rivières de bassins montagneux de l'ordre 1000 km<sup>2</sup>, trouvent que le rapport  $R$  est compris entre 1,2 et 1,8 avec en moyenne  $\bar{R}$  de l'ordre 1,4. Aussi proposent ils de déduire la distribution du débit de pointe de celle du débit moyen journalier maximal par une affinité de  $\bar{R}$ ,  $\bar{R}$  étant le coefficient de passage. Plusieurs auteurs considèrent toutefois cette solution comme provisoire faute de mieux (BEN ZVI : 1, BERAN : 2, CTGREF : 3)

### **4 - COINCIDENCE DE LA LOI DES DEBITS $G(Q)$ AVEC LA SERIE DES VALEURS EXTREMES DES DEBITS OBSERVES :**

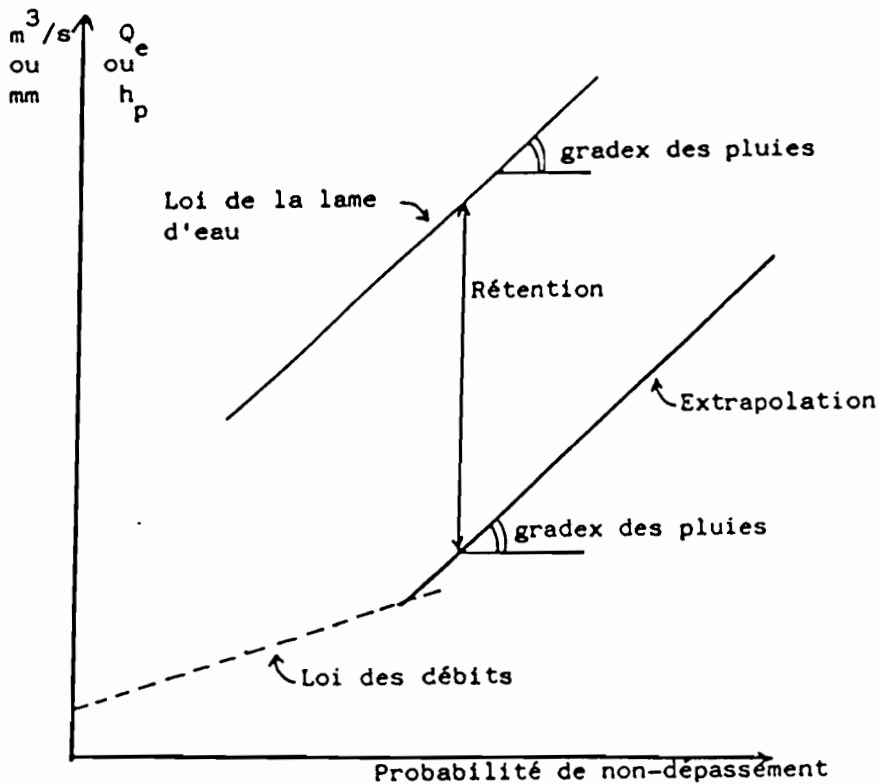
La loi des valeurs extrêmes de pluie considérées sur un pas de temps donné s'obtient à l'aide de quelques dizaines



d'années d'observations.

Par contre on dispose rarement de longues séries de débits (30 ans, 40 ans...) pour constater la coïncidence de  $G(Q)$  estimée par la méthode avec la loi des plus forts débits observés.

Nous avons vu au (chapitre 1, paragraphe B) que les quantiles empiriques ont une dispersion d'échantillonnage importante, surtout vers les grandes valeurs. Or ces valeurs sont prépondérantes dans le calcul de la distance entre la fonction de répartition des pluies  $F(p)$  et celle des débits  $G(Q)$ , qui correspond au déficit d'écoulement.



-Figure 6- (MASSON : 9)

Toutefois l'incertitude qui apparaît ici n'entache que l'ordonnée à l'origine de la fonction  $G(Q)$ , la pente "a" de la droite restant la même, ce qui fait dire aux auteurs de la méthode que cette incertitude est "d'importance secondaire, la mesure des pluies, qui donne le Gradex étant l'information essentielle."

##### 5 - ESTIMATION DU PARAMÈTRE "A" GRADIENT DES VALEURS EXTREMES :

Nous venons de le dire, le paramètre "a" constitue l'information essentielle pour la mise en oeuvre de la mé-

thode du Gradex. Ce paramètre représente la pente de la distribution des maxima pluviométriques représentés sur un papier de GUMBEL, mais aussi la pente de la droite des débits extrêmes à partir de laquelle on fait l'estimation des débits de période de retour élevée. On conçoit alors que cette estimation est d'autant plus correcte que l'estimation du Gradex "a" l'est aussi.

Ce paramètre varie en fonction de l'espace et de la saison :

a) Variation spatiale du Gradex :

Le Gradex "a" est un paramètre climatique, il a la dimension de la pluie; on l'exprime en "millimètres".

Les auteurs de la méthode recommandent de cartographier le Gradex car il "caractérise le risque de crue extrême". Ces risques sont évidemment différents suivant la région considérée, et les variations géographiques du Gradex sont importantes. En France le Gradex est estimé à environ 8 mm à l'ouest, et passe à 80 mm sur le sud des Alpes. (GUILLOT & DUBAND : 5)

b) Variation saisonnière du Gradex :

Les auteurs montrent aussi que le Gradex varie en fonction des saisons.

GUILLOT constate en particulier que la relation entre le Gradex et la durée de la pluie diffère avec les saisons.

Il met en évidence que les pluies orageuses de saisons chaudes ont un fort Gradex de pluie horaire, mais la faible corrélation entre les heures successives entraîne que le Gradex en 24 heures est à peine supérieur au Gradex en 12 heures. Au contraire en saison froide, la pluie horaire a un Gradex plus faible, mais la continuité des pluies cycloniques fait que le Gradex en 24 heures est plus élevé qu'en été, et continu à croître jusqu'à une durée de plusieurs jours. (GUILLOT : 6)

Ceci explique la raison pour laquelle les crues orageuses d'été sont les plus dangereuses dans les petits bassins, alors qu'au contraire les grandes crues ont lieu en automne et en hiver dans les bassins de quelques milliers de km<sup>2</sup> qui ont une durée d'hydrogramme de quelques jours.

Donc il faudrait non seulement faire la cartographie du Gradex, mais aussi tenir compte des saisons afin de grouper les mois où le Gradex est stationnaire.

**B - PERSPECTIVES ENVISAGEABLES POUR LE DOMAINE D'APPLICATION DE LA METHODE :**

Dans l'introduction de la méthode du Gradex (Chapitre

deux), nous avons définie un certain domaine d'application pour celle-ci.

Nous avons dit que la méthode du Gradex était valable pour des bassins versants :

-De régions climatiques tempérées et homogènes.

-De superficie moyenne, pouvant aller jusqu'à 5000 km<sup>2</sup> environ.

-Le terrain étant relativement imperméable.

Nous allons examiner tour à tour ces trois conditions dans le but de mieux comprendre les limites de la méthode et de voir s'il y a des possibilités de les dépasser, afin d'accorder à la méthode un domaine d'application qui soit le plus large que possible.

## **1 - VALIDITE DU COMPORTEMENT EXPONENTIEL DE LA FREQUENCE DES PRECIPITATIONS POUR D'AUTRES TYPES DE CLIMATS:**

HERSHFIELD & KOHLER (1960) , ont constaté que la loi de GUMBEL ajustée à la distribution de la pluie maximale de l'année (ou d'une saison) défini sur un pas de temps donné, fournit une estimation expérimentale valable de la fréquence des pluies extrêmement rares (GUILLOT : 7).

GUILLOT & DUBAND affirment que cette hypothèse est vérifiée en France, mais aussi quelle a été retenue par de nombreux auteurs aux EU, en Afrique du sud, en Australie...

Toutefois, il ressort de la note du CTGREF que cette hypothèse est contestée par certains hydrologues pour les climats des régions proches de l'équateur (du type ; Equatorial, Tropical, aride, semi-aride etc ...) en particulier pour les régions susceptibles d'être affectées par les cyclones.

En effet, pour ces types de climats, les régimes pluviométriques sont rarement homogènes (RODIER : 12). L'irrégularité saisonnière, l'irrégularité interannuelle, et les précipitations exceptionnelles (pluies orageuses, tornades etc...) font qu'il est difficile parfois d'ajuster une loi de probabilité à la série des valeurs extrêmes de pluies observées.

D'aure part, la faible taille des échantillons de pluies observées constitue aussi un handicap pour l'ajustement d'une loi donnée.

## **2 - APPLICATION DE LA METHODE A DE GRANDS BASSINS VERSANTS :**

Pour de grands bassins versants de l'ordre de plusieurs milliers de km<sup>2</sup>, les auteurs proposent de décomposer les

bassins de grande superficie en sous bassins auxquels ils appliqueraient indépendamment la méthode du Gradex, et dont ils recomposeraient ensuite les résultats.

Mais selon la note du CTGREF, la répartition spatiale des phénomènes constitue déjà un "sérieux problème" : exemple le passage de la pluie ponctuelle à la pluie moyenne sur le bassin versant (Chapitre trois - paragraphe A - partie 2) qui ne peut que se compliquer si on envisage des phénomènes exceptionnels ; passage du débit moyen journalier au débit de pointe, entre autres (Chapitre trois - paragraphe A - partie 3)

Selon (MASSON : 9), l'application de la méthode à des sous bassins doit être complétée par "une loi de probabilité multiple décrivant la simultanéité des événements et prendre en compte les temps de transferts et les possibilités de stockages intermédiaires".

### 3 - VALIDITE DE LA METHODE DU GRADEX A DES BASSINS PERMEABLES :

GUILLOT & DUBAND recommandent d'affecter la méthode à des bassins relativement imperméables, car le problème posé selon (MASSON : 9), c'est que les possibilités de stockage sont telles qu'il est difficile de trouver un intervalle de temps  $dt$  qui fasse correspondre la pluie et son écoulement.

Il reste à savoir si une corrélation entre la pluie, et le déficit d'écoulement, peut être mise en évidence. Dans le déficit d'écoulement, on tiendrait compte des paramètres de pédomorphologie du terrain, du couvert végétal, du stock hydrique du sol etc... Ceci nous permettra peut être de mieux envisager l'application de la méthode suivant la perméabilité du terrain, ou encore d'estimer d'une manière plus évidente la distance entre la distribution des pluies  $F(p)$  et la distribution des débits  $G(Q)$ ; c'est à dire le déficit d'écoulement (Cf : Chapitre trois - paragraphe A - partie 4).

CHAPITRE QUATRE

Orientation du sujet de recherche

Le sujet de recherche abordé à l'occasion de ce DEA consiste à étudier à partir de simulations les questions suivantes, soulevées au chapitre trois.

- Le choix d'un pas de temps a-t-il une forte influence sur les résultats de la méthode ?

- Le rapport  $R$  des volumes de crue au débit instantané est-il sensiblement constant et indépendant du débit ?

Le principe est d'utiliser un générateur stochastique de pluies moyennes horaires mis au point à partir des données de pluies observées sur un bassin de 500 km<sup>2</sup> environ. On commencera par vérifier le comportement asymptotiquement exponentiel des pluies ainsi simulées, et on s'affranchira ainsi des problèmes expérimentaux liés à la constitution de longues séries pluviométriques, ceci afin de concentrer notre étude sur le passage de la distribution des pluies à celle des débits.

Les pluies seront transformées en débits à l'aide d'au moins deux modèles systémiques. On pourra alors étudier l'influence de la nature du modèle et de ses paramètres, sur la rapidité avec laquelle la distribution des débits devient parallèle à celle des pluies. On pourra également étudier les courbes isoquantiliques.

Une telle étude à partir de données simulées ne peut prétendre apporter des réponses sur la validité intrinsèque de la méthode, mais elle devrait permettre d'améliorer notre compréhension sur ses fondements.

CONCLUSION

Les différentes références bibliographiques auxquelles nous avons fait allusion nous ont permis de mieux nous "familiariser" avec la méthode du Gradex, à travers ses fondements théoriques et ses particularités ; qui sont présentés dans le présent rapport bibliographique.

Ceci dit, la suite de notre travail sera pour nous, l'occasion d'étudier de plus près certains points de cette méthode.



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

- (Ref : 1) - ARIE BEN-ZVI : 1980  
 "Letter to the Editor". Dans : Hydrological sciences-Bulletin-des sciences hydrologiques, 25.
- (Ref : 2) - MAX BERAN : 1981  
 "Letter to the Editor". Dans : Hydrological sciences-Bulletin-des sciences hydrologiques, 26.
- (Ref : 3) - CTGREF : 1972  
 "note intérieure"
- (Ref : 4) - FRANCOU J., RODIER J. : 1967  
 "Essai de classification des crues maximales observées dans le monde". Dans : cahier ORSTOM, série hydrologie, Vol IV, n°3. Pages 19 - 46.
- (Ref : 5) - GUILLOT P., DUBAND D : 1967  
 "La méthode du Gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies". Dans : les crues et leur évaluation (Actes du colloque de Leningrad) : AIHS publication n° 84. Pages 560 - 569.
- (Ref : 6) - GUILLOT P. : 1973  
 "Prévisions sur la méthode du Gradex. Utilisation de l'information hydrométéorologique pour l'évaluation de la crue de projet". XI<sup>ème</sup> congrès International des grands barrages (Madrid), Q 41, R 8. Pages 131 - 136.
- (Ref : 7) - GUILLOT P. : 1979  
 "Evaluation des crues extrêmes dans les régions de faibles précipitations". Dans : The hydrologie of Areas of low precipitation (Proc. Canberra Symposium) : AIHS publication n° 128. Pages 79 - 86.
- (Ref : 8) - GUILLOT P. : 1981  
 "Le Gradex des précipitations". Dans : crues et précipitations intenses ; Système d'annonce - prévisions - valeurs extrêmes (ENSH, Fascicule 4). Pages 1 - 3.
- (Ref : 9) - MASSON J.M. : 1983  
 "La loi de GUMBEL". Laboratoire d'hydrologie mathématique. USTL.
- (Ref : 10) - REMINIERAS G. : 1976  
 "L'hydrologie de l'ingénieur". Collection de la direction des études de recherches d'électricité de France. Edition EYROLLES.
- (Ref : 11) - ROCHE M. : 1963  
 "Hydrologie de surface". Edition GAUTIER-VILLARDS.
- (Ref : 12) - RODIER J. : 1964  
 "Régimes hydrologiques de l'Afrique noire à

l'ouest du Congo. Thèse ; Faculté des sciences de  
Toulouse.

## INDEX DES SIGLES UTILISEES

ORSTOM : INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR  
LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION.

CTGREF : CENTRE TECHNIQUE DU GENIE RURAL DES EAUX ET FORETS.

ENSHG : ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE DE  
GRENOBLE.

INPG : INSTITUT NATIONAL POLYTECHENIQUE DE GRENOBLE.

AIHS : ASSOCIATION INTERNATIONNALE DES SCIENCES  
HYDROLOGIQUES.