

# Estimation de l'aléa pluvial en France métropolitaine

Patrick Arnaud, Jacques Lavabre





# Estimation de l'aléa pluvial en France métropolitaine

Patrick Arnaud, Jacques Lavabre

## Collection Guide pratique

Les requins. Identifier les nageoires

Pascal Deynat

2010, 380 p.

Cactus et plantes succulentes du monde

Francis Bugaret

2010, 240 p.

Mieux intégrer la biodiversité dans la gestion forestière

Marion Gosselin, Yoan Paillet

2010, 156 p.

Les Lamproies en Europe de l'Ouest

Catherine Taverny, Pierre Élie

2010, 112p.

Le potager familial méditerranéen

Charles-Marie Messiaen, Fabienne Messiaen-Pagotto

2009, 192 p.

Utilisation des bois de Guyane pour la construction

Sylvie Mouras, Michel Vernay

2009, 2<sup>e</sup> édition, 160 p.

Les filets maillants

Gérard Deschamps, coordinateur

2009, 272 p.

Durabilité naturelle et préservation des bois tropicaux

Daniel Fouquet

2009, 128 p.

Forêts de protection contre les aléas naturels. Diagnostics et stratégies

Freddy Rey, Jean Ladier, Antoine Hurand, Frédéric Berger, Guy Calès,

Sylvie Simon-Teissier

2009, 112 p.

Les termites dans le monde

Alba Zaremski, Daniel Fouquet, Dominique Louppe

2009, 96 p.

Les orchidées sauvages de Paris

Coordination éditoriale de Sébastien Lesné

2009, 136 p.

© Éditions Quæ 2010 ; ISBN : 978-2-7592-0862-3 ; ISSN 1952-2770

Le code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, Paris 6<sup>e</sup>.

# Remerciements

Cet ouvrage a été réalisé à l'initiative du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire (direction de la Prévention des pollutions et des risques, bureau des Risques naturels), avec le suivi de l'avancement du travail par Marie Renne. Il a été rédigé pour décrire de façon détaillée la méthode SHYREG – Pluie, développée par le Cemagref ; elle a conduit à l'élaboration de la base de données de quantiles de pluies de durée d'une heure à 72 heures pour les périodes de retour de deux à 100 ans. Ce guide accompagne la mise à disposition de ces données *via* la Climathèque de Météo-France.

La rédaction a été coordonnée par Patrick Arnaud et Jacques Lavabre du Cemagref à Aix-en-Provence, avec la participation de Luc Neppel (partie « Comparaison à une approche statistique régionale ») et Aurélie Muller (partie « Intervalles de confiance »).

Les auteurs remercient vivement les membres du comité de relecture qui ont contribué à la lisibilité de cet ouvrage et à sa validation. Ce comité de validation est composé d'experts en hydrométéorologie :

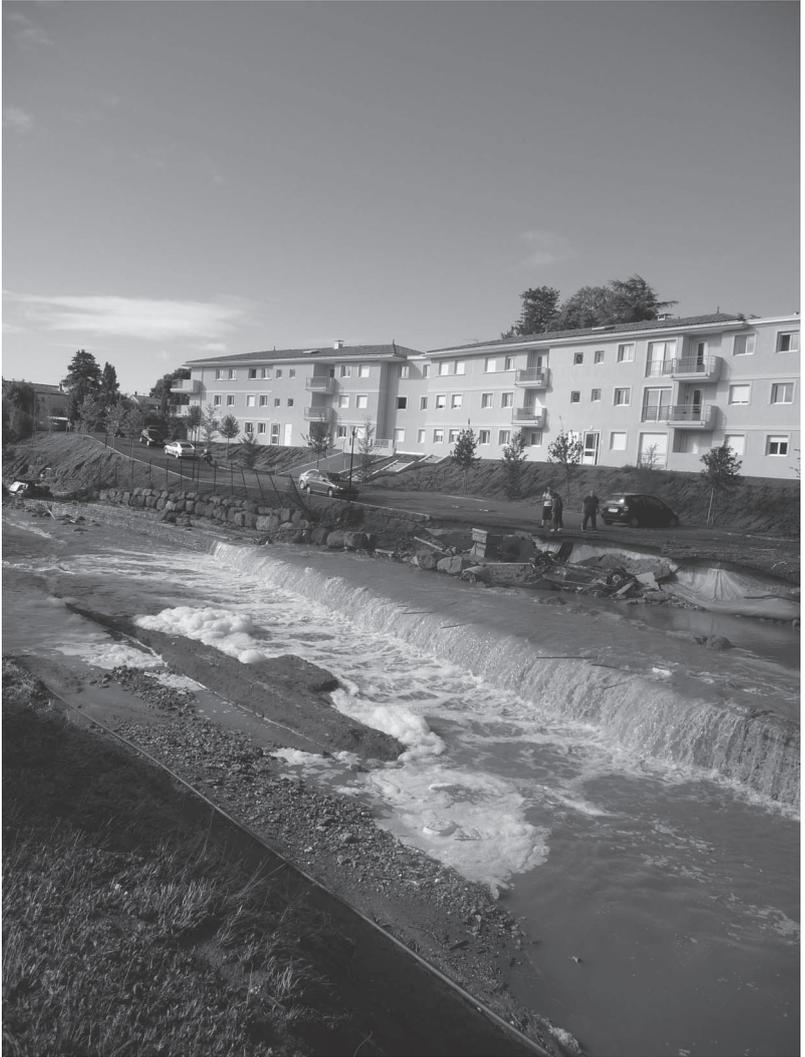
Jacky Astier	BRL Ingénierie Nîmes
Rémi Garçon	EDF – DTG Grenoble
Jean-Pierre Laborde	Université de Nice
Michel Lang	Cemagref, groupement de Lyon
Luc Neppel	Université Montpellier II – Hydrosociences
Jean-Michel Veysseire	Météo-France Toulouse

Qu'ils en soient tous ici remerciés, de même que ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'émergence de la méthode SHYREG.



# Sommaire

<b>Problématique</b>	7
Introduction	7
Difficultés des statistiques classiques	10
Autres approches	18
<b>Simulation de chroniques de pluies horaires</b>	23
Les générateurs de pluie	23
Principe du modèle de pluie horaire de SHYPRE	27
Particularités du générateur	39
Application	56
<b>Paramétrisation par l'information journalière</b>	67
Les paramètres fixés	68
Paramètres « journalisés »	71
Corrections systématiques	78
Application sur 2 812 postes journaliers	84
<b>Régionalisation des paramètres journaliers</b>	97
Descriptif de la méthode utilisée	97
Cartes résultantes	100
Contrôle de la régionalisation des paramètres	107
Restitution des quantiles journaliers	111
Analyse des pluies horaires	118
<b>Analyse des résultats. Discussion</b>	125
Les cartes induites	125
Robustesse	127
Stabilité spatiale	133
Comportement à l'infini	135
Intervalle de confiance (Muller, 2006)	138
Comparaisons à une approche statistique régionale d'après Neppel <i>et al.</i> , 2007	143
Conclusion	151
<b>Références bibliographiques</b>	153



Crue du Réal aux Arcs, © P. Cantet, 2010.

# Problématique

## Introduction

L'évaluation des risques hydrologiques est l'une des préoccupations essentielles des hydrologues. Elle est nécessaire pour la gestion de l'aménagement du territoire rural ou urbain, pour le dimensionnement d'ouvrages hydrauliques, de ponts, de voies de communication à proximité de cours d'eau, etc.

Parmi les risques hydrologiques, le risque de crue est le plus souvent étudié. Classiquement, les études sur le risque hydrologique sont effectuées sur les bassins versants concernés, et passent essentiellement par l'analyse statistique des événements passés pour estimer la probabilité d'apparition d'un événement hydrologique. C'est ce que l'on appelle couramment la prédétermination des débits.

La prédétermination d'un risque se résume en général à l'association d'une fréquence à une caractéristique de ce risque. Cela revient à associer une valeur de cette variable à sa probabilité de dépassement, généralement ramenée à l'année (notion de période de retour). Une distribution empirique est établie à partir d'un échantillon de valeurs observées. Cette distribution guidera alors le choix d'un modèle théorique qui permettra d'extrapoler vers des fréquences plus rares pour estimer différents niveaux de l'aléa en fonction des enjeux (figure 1).

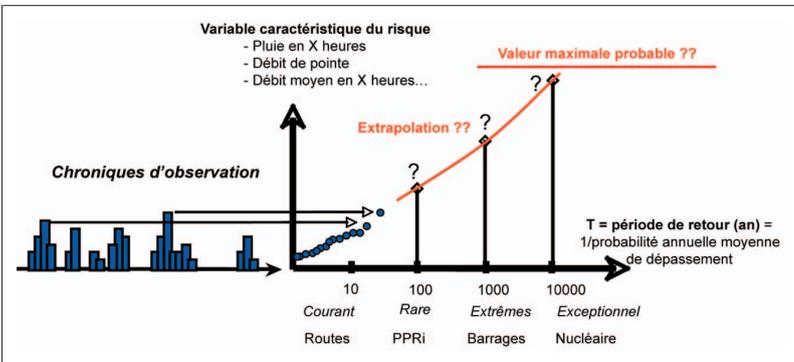


Figure 1. Principe général de la prédétermination.

Si la prédétermination des débits peut être étudiée uniquement à partir de l'information des débits observés (lorsque la chronique d'information est suffisamment longue, et pour les événements de fréquence rare à extrême), les hydrologues préféreront l'utilisation de l'information pluviométrique pour la connaissance des écoulements de fréquence encore plus rare (Lang, Lavabre, 2007). Ainsi, l'information pluviométrique est largement utilisée pour l'estimation des débits de crue sur l'ensemble de la plage des fréquences, du courant à l'exceptionnel. Généralement, cette étude amène à la détermination

d'une pluie de projet liée à une probabilité d'apparition. La pluie de projet peut être appréhendée de deux façons (CIGB, 1992) :

– **par une approche maximaliste ou d'événement maximal probable** : la pluie de projet est alors définie comme la plus forte précipitation physiquement possible sur une surface donnée, pour un site et une époque donnés (Hershfield, 1961), (Collier, Hardaker, 1996), (Koutsoyiannis, 1999). Cette approche est cependant peu utilisée en France ;

– **par une approche probabiliste** : la pluie de projet est liée à une probabilité de dépassement ou une période de retour. Son élaboration repose sur l'analyse statistique de divers éléments (hauteur, durée, forme) des événements pluvieux (Sighomnou, Desbordes, 1988).

En France, c'est l'approche probabiliste qui est utilisée. Dans l'approche probabiliste, la prise en compte de la pluviométrie se résume généralement à l'ajustement d'une loi de probabilité sur la distribution de fréquences empirique des pluies maximales observées. Les pluies de fréquences rares se déduisent de l'extrapolation de la loi statistique ajustée. Les quantiles de pluie ainsi estimés sont utilisés ensuite pour la construction de pluies de projet, pour le calcul de quantiles de débits, pour l'extrapolation des distributions de fréquences des débits. C'est le principe notamment de la méthode du Gradex, initiée par EDF et actuellement largement utilisée en ingénierie en France (Guillot, Duband, 1967).

On mesure alors l'importance de l'extrapolation des pluies vers les fréquences rares, qui conditionne largement les estimations des débits de crues. Or, la prédétermination des quantiles de pluies extrêmes reste très délicate pour différentes raisons : le problème de l'identification d'une loi de probabilité sur un échantillon réduit de valeurs observées qui reste sensible à la période d'observation, le poids des valeurs extrêmes, l'influence du choix de la loi de probabilité qui conditionne son comportement en extrapolation vers les fréquences rares, l'impossibilité de valider pour les fréquences rares...

À cela se rajoute la difficulté d'associer une « pluie de projet » à une fréquence donnée. En effet, un événement pluvieux se caractérise par différents critères, et en analyse multicritère, un événement ne peut avoir qu'une seule fréquence. La notion même de « pluie de projet » est critiquable puisqu'elle ne prend pas en compte les différentes formes de pluie, qui peuvent être associées à une même période de retour à travers une de ses caractéristiques. De plus, l'attribution de la même fréquence à la « pluie de projet » et à la « crue de projet » qui en résulte, n'est pas non plus évidente.

L'utilisation de l'information pluviométrique améliore la connaissance des quantiles de crues rares. Cependant, l'absence de chroniques suffisamment longues, les problèmes de métrologie lors de l'observation de forts événements (pluviomètres qui débordent, stations limnimétriques noyées ou emportées, extrapolation hasardeuse de la courbe d'étalonnage...) et la difficulté d'attribuer une fréquence aux valeurs exceptionnelles observées, rendent les résultats de ces méthodes statistiques extrêmement sensibles à l'échantillonnage des valeurs fortes.

Les recherches en milieu non jaugé ont conduit certains chercheurs à introduire, dans l'estimation des quantiles de crues, l'utilisation de générateurs de pluie couplés à une transformation de la pluie en débit. Cette nouvelle approche (Eagleson, 1972) est utilisée dans de nombreuses autres études. La méthode est basée sur deux éléments principaux (Cadavid *et al.*, 1991) :

- un modèle probabiliste qui introduit une composante stochastique à travers un modèle de génération de pluie ;
- un modèle de transformation de la pluie en débit qui fournit un hydrogramme pour une pluie efficace donnée.

Par la combinaison de ces deux éléments, on calcule la distribution de probabilité des débits de pointe. Différents modèles hydrologiques ont été utilisés : ceux basés sur la théorie de l'onde cinématique (Cadavid *et al.*, 1991 ; Eagleson, 1972 ; Shen *et al.*, 1990), comme ceux basés sur l'hydrogramme unitaire (Hebson, Wood, 1982 ; Rodriguez-Iturbe, Valdes, 1979). Peu d'études ont cependant comparé les distributions générées aux distributions observées. C'est le cas de certains travaux qui présentent le couplage d'un modèle stochastique de pluie avec le modèle hydrologique TOPMODEL (Beven, 1987 ; Beven, Kirkby, 1979 ; Blazkova, Beven, 1997).

C'est à ce type d'approche que s'apparente la méthode SHYPRE pour laquelle un modèle stochastique de génération de hyétogrammes au pas de temps horaire a été développé. Une fois couplé à une modélisation de la transformation de la pluie en débit, ce modèle permet la génération de multiples scénarios de crues de diverses formes qui remplacent les crues de projet classiques et fournissent une information temporelle complète à l'aménageur pour dimensionner un ouvrage. Outre son utilisation pour la gestion des crues, l'étude de la pluie au pas de temps horaire et sa modélisation en scénarios de crues sur de longues périodes de simulation permet une autre approche de la prédétermination des pluies et des débits, y compris sous forme d'hydrogramme de crue, ce qui a son importance pour le dimensionnement d'un ouvrage (barrage, bassin de rétention) où la notion de volume intervient.

### Étude de l'aléa pluviométrique

L'étude d'aléa pluviométrique est une étape préalable essentielle à l'évaluation des risques hydrologiques. Dans ce contexte, le développement de simulateurs de pluies permet de s'affranchir de la difficulté d'associer une probabilité d'apparition à une caractéristique unique des pluies. En analysant et modélisant l'ensemble de la structure temporelle des pluies, les générateurs de pluies extraient un maximum d'informations à partir des observations. On peut alors penser qu'ils puissent être moins sensibles à l'échantillonnage des observations, point sensible des méthodes statistiques classiques.

L'étude des crues nécessite de descendre en dessous du pas de temps journalier. C'est pourquoi le générateur de pluies a été développé au pas de temps horaire.

Enfin, si au pas de temps journalier l'information pluviométrique ponctuelle (pluviomètres) couvre correctement le territoire, l'information *infra-journalière* est plus difficilement accessible, rendant difficile les approches développées à ces pas de temps. La recherche d'approches permettant une régionalisation plus aisée de ces paramètres est alors aussi un atout pour pouvoir espérer l'appliquer sur l'ensemble d'un territoire avec le moins d'erreur possible.

# Difficultés des statistiques classiques

L'estimation des quantiles de pluie repose généralement sur le traitement statistique d'une chronique d'observation. Le traitement statistique comporte trois phases :

- **L'échantillonnage**, à savoir l'extraction de variables caractéristiques de la chronique d'observation ;
- **le choix d'un modèle** qui représente « au mieux » l'échantillon. C'est sur ce modèle que reposera l'extrapolation pour l'estimation des quantiles exceptionnels ;
- **le calage des paramètres du modèle** (ou ajustement du modèle).

Nous n'aborderons pas ici les problèmes métrologiques liés à l'acquisition des chroniques observées, sur lesquelles portent tous les calculs. Pourtant, ces problèmes peuvent entraîner des incertitudes notables. Différents problèmes sont associés à la métrologie, tels que les erreurs liées à la mesure physique du phénomène (précision, robustesse, homogénéité de la chronique), la gestion des lacunes (qui affectent souvent la connaissance des événements les plus forts), la représentativité des observations locales par rapport à l'environnement régional, etc.

*Remarque. Par la suite, toutes les fréquences empiriques seront calculées par la formule de Hazen(1).*

## L'échantillonnage

### CHOIX DE LA MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE

Deux méthodes d'échantillonnage sont couramment utilisées :

- **la méthode des maxima annuels** (ou saisonniers) qui consiste à retenir une seule valeur (la plus forte) sur l'année (ou la saison). L'échantillon est constitué de N valeurs, pour une durée d'observation de N années. Cette méthode est simple, mais présente le désavantage d'éliminer certaines valeurs fortes si elles sont observées la même année ;
- **la méthode des valeurs supérieures à un seuil** : un seuil de détection est préalablement fixé et on échantillonne toutes les valeurs qui excèdent ce seuil. L'échantillon est alors formé de K valeurs pour N années d'observation (avec K généralement supérieur à N). Cette méthode reste cependant tributaire du choix du seuil qui doit garantir l'indépendance des observations.

On voit sur le graphique de la figure 2 présenté en exemple, que suivant la méthode d'échantillonnage choisie, on ne donne pas les mêmes fréquences empiriques aux valeurs observées, en particulier pour les valeurs les plus faibles. Dans cet exemple, trois échantillonnages ont été effectués à partir de la même série pluviométrique observée :

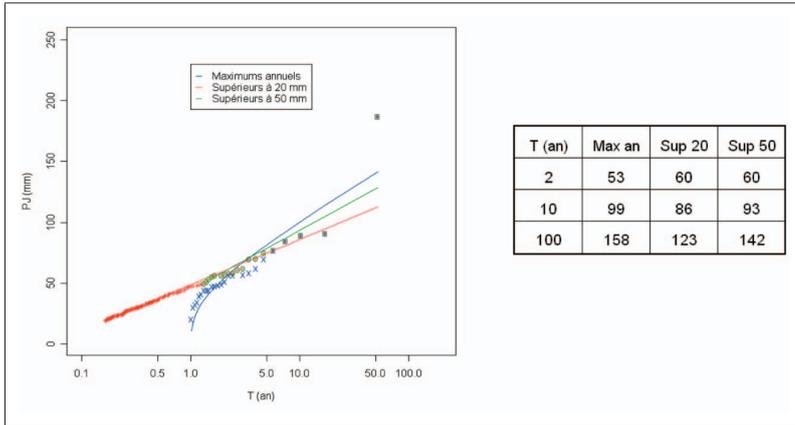
- un échantillonnage des pluies journalières maximales annuelles : Max an ;
- un échantillonnage des pluies journalières supérieures à 20 mm : Sup 20 ;
- un échantillonnage des pluies journalières supérieures à 50 mm : Sup 50.

---

1. La probabilité de non-dépassement des valeurs  $x_i$  est calculée par la formule de Hazen  $= \frac{i-0,5}{n}$ , où  $i$  est le rang des valeurs  $x_i$  classées par ordre croissant et  $n$  le nombre de valeurs de l'échantillon.

Si on ajuste une loi de type exponentiel sur ces différents échantillons provenant de la même chronique de pluie observée, respectivement Gumbel pour Max an, et exponentielle pour Sup20 et Sup50, on obtient des estimations de quantiles très différentes.

Sur cet exemple, alors que l'on part de la même information, la méthode d'échantillonnage conduit à des écarts de près de 30 % sur l'estimation du quantile centennal.



**Figure 2.** Effet de la méthode d'échantillonnage sur la distribution de fréquences empiriques des valeurs observées et sur l'estimation des quantiles (poste d'Aix-en-Provence, 1961-1994).

On notera que la présence de valeurs faibles dans un échantillonnage par la méthode des maximums annuels peut conduire à une surestimation de l'écart-type de la variable, qui constitue souvent l'un des estimateurs d'un paramètre ayant le plus de poids dans la loi de probabilité que l'on va ajuster sur l'échantillon.

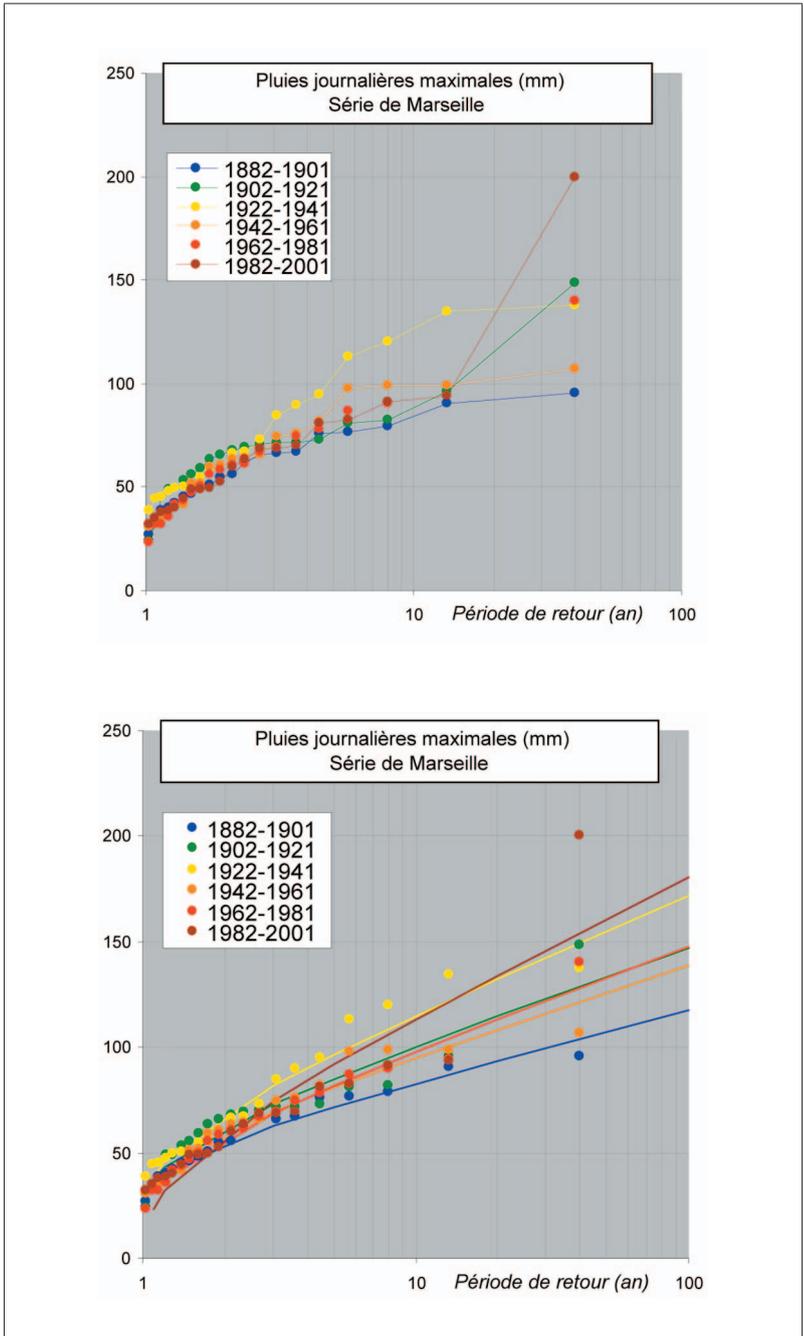
#### INFLUENCE DE LA PÉRIODE D'OBSERVATION

Au-delà du strict problème de la méthode d'échantillonnage, il est bien clair que l'échantillon est tributaire des caractéristiques de la période d'observation, c'est-à-dire :

- de sa durée : plus la durée d'observation sera grande et plus l'échantillon sera représentatif ;
- de sa position par rapport à des successions d'années sèches et humides (bien que l'on fasse généralement l'hypothèse de stationnarité du phénomène et de l'indépendance des années successives).

Pour illustrer ce propos, le graphique de la figure 3 présente les distributions de fréquences empiriques des pluies journalières de Marseille observées sur différentes périodes successives de 20 ans, entre 1882 et 2001.

On observe la variabilité liée à l'échantillonnage, avec des distributions de fréquences empiriques extrêmement variables en fonction de la période d'observation choisie. Si l'on peut étudier cet effet lorsque l'on dispose de très longues séries d'observation, ce n'est pas le cas pour la plupart des chroniques d'observation, beaucoup plus courtes. Si pour la série de Marseille on estime



**Figure 3.** Influence de la période d'observation sur la distribution de fréquences empiriques des valeurs observées et sur l'ajustement de la loi de Gumbel (méthode des moments).

la valeur de la pluie journalière décennale à 100 mm, on n'a observé aucune valeur décennale sur les 20 ans de la période (1882-1901) et on a observé quatre valeurs décennales sur les 20 ans de la période 1922-1941. Du coup, avec 20 ans d'observation on aurait estimé la pluie journalière décennale autour de 80 mm à partir des observations de la période 1882 et 1901, et autour de 120 mm à partir des observations de la période 1922-1941. Cela pose notamment problème lors de la comparaison des résultats de stations géographiquement proches mais ayant des séries de profondeur différentes, et soulève également la question de la stationnarité.

#### IMPACT DE LA PRÉSENCE DE VALEURS EXTRÊMES

La présence ou l'absence de valeurs « extrêmes » (quelquefois dénommées « horsains » ou « outliers ») dans l'échantillon pose aussi un réel problème. En effet, l'influence de ce genre de valeur est très forte sur l'estimation des quantiles, notamment en extrapolation. Par exemple, sur le premier graphique de la figure 4, on observe en 1993 une valeur de pluie journalière deux fois plus forte que la plus forte valeur observée en 30 ans de mesure. La présence de cette nouvelle valeur dans l'échantillon va alors fortement influencer l'ajustement d'une loi de probabilité. De même, sur la longue série de Marseille, on a observé en quatre ans deux valeurs nettement supérieures à la plus forte valeur observée sur les 120 années précédentes. Là encore, l'ajustement d'une loi de probabilité et son extrapolation vers les fréquences rares vont être fortement perturbées par l'observation de quatre années supplémentaires.

On admet généralement que l'estimation des quantiles associés à des périodes de retour inférieures à la durée d'observation est correcte, et que de grandes incertitudes apparaissent pour les quantiles de fréquences plus rares (période de retour supérieur à 2 ou 3 fois la durée d'observation). Cependant sur les exemples précédents, on voit que les quantiles proches de la durée d'observation peuvent aussi être fortement perturbés par la présence ou l'absence d'une valeur forte.

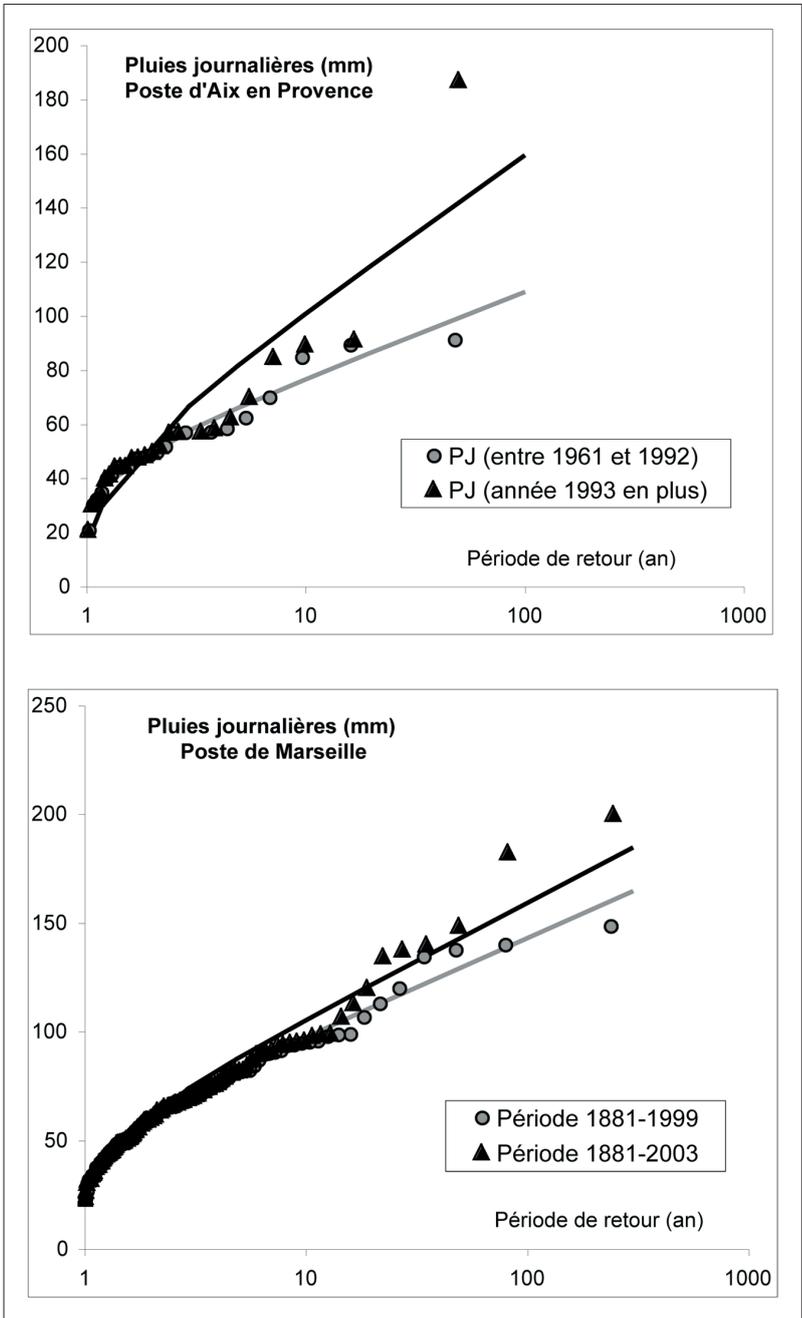
#### Sensibilité de l'ajustement statistique

Il est très sensible à la présence, ou à l'absence, de valeurs « exceptionnelles » dans l'échantillon des observations. Le poids de ces valeurs, souvent entachées d'une forte incertitude métrologique, est extrêmement important dans la détermination des quantiles rares, mais parfois aussi pour des quantiles plus courants.

## Choix d'une loi de probabilité théorique

Bien entendu le choix de la loi de probabilité influe sur les estimations, et notamment lors d'une utilisation en extrapolation. Le choix des modèles probabilistes utilisés varie avec le type d'échantillonnage adopté.

**Pour un échantillonnage de valeurs maximales annuelles**, la théorie des valeurs extrêmes conduit, sous les hypothèses les plus couramment utilisées, au choix de la **loi GEV** (*Generalized Extreme Value*) (Fisher, Tippett, 1928 ; Gnedenko, 1943). On évite en général d'utiliser ce type d'échantillonnage lorsque la série est courte (car on ne retient qu'une seule valeur par an).



**Figure 4.** Influence de la présence de valeurs « extrêmes » dans l'échantillon, sur la distribution de fréquences empiriques des valeurs observées et sur l'ajustement de la loi de Gumbel (méthode des moments).

$$- P(X \leq x) = \exp \left\{ - \left[ 1 - \gamma \frac{x - \alpha}{\beta} \right]^{1/\gamma} \right\} \quad \text{si } \gamma \neq 0$$

$$- P(X \leq x) = \exp \left\{ - \exp \left[ - \frac{x - \alpha}{\beta} \right] \right\} \quad \text{si } \gamma = 0$$

Où  $\alpha$  est le paramètre de position,  $\beta$  est le paramètre d'échelle et  $\gamma$  est le paramètre de forme.

Le paramètre de forme traduit le comportement à l'infini de la loi (figure 5) :

- si  $\gamma = 0$ , le comportement asymptotique est exponentiel (loi de Gumbel ou EV1) ;
- si  $\gamma < 0$ , le comportement asymptotique est plus qu'exponentiel (loi de Fréchet ou EV2) ;
- si  $\gamma > 0$ , le comportement asymptotique est moins qu'exponentiel (loi de Weibull ou EV3).

Pour un échantillonnage de valeurs supérieures à un seuil (POT : Peak Over Threshold), on choisit généralement une **loi GPD** (Generalized Pareto Distribution) (Pickands, 1975) On préfère cet échantillonnage pour traiter les séries courtes.

$$- P(X \leq x) = 1 - \left[ 1 - \gamma \frac{x - \alpha}{\beta} \right]^{1/\gamma} \quad \text{si } \gamma \neq 0$$

$$- P(X \leq x) = 1 - \exp \left[ - \frac{x - \alpha}{\beta} \right] \quad \text{si } \gamma = 0$$

C'est aussi une loi de probabilité à trois paramètres.

La loi exponentielle simple est un cas particulier du modèle de Pareto ( $\gamma = 0$ ).

En règle générale, un modèle s'ajuste d'autant mieux à la distribution empirique que son degré de paramétrisation augmente. À l'inverse, le modèle est moins robuste car le poids de l'échantillon affecte d'au « représentatif » : chronique de courte durée, présence de valeurs extrêmes et/ou de lacunes...

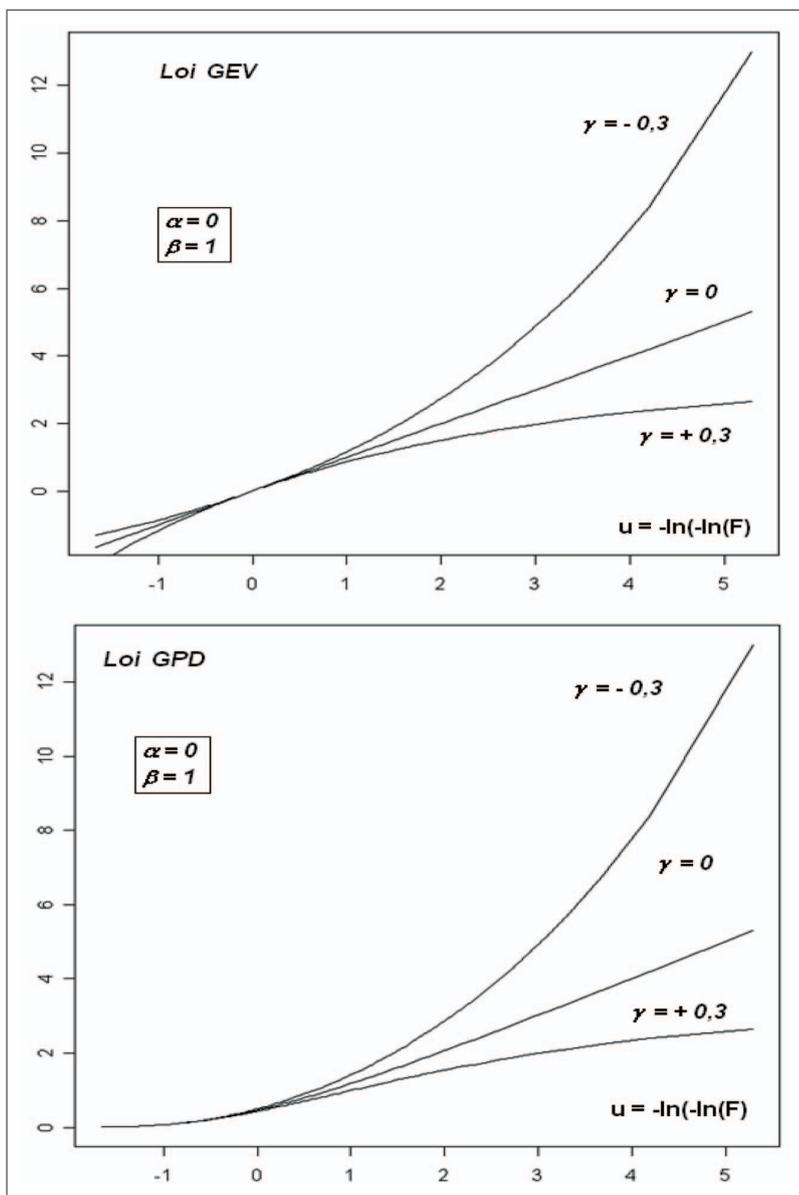
## Estimation des paramètres des lois de probabilité

L'ajustement de ces modèles consiste à déterminer leurs paramètres à partir de l'échantillon des valeurs observées. Il existe pour cela de nombreuses méthodes classées en deux catégories :

- les méthodes paramétriques comme la méthode du maximum de vraisemblance, la méthode des moments, la méthode des moments pondérés, les méthodes bayésiennes ;
- les méthodes non-paramétriques.

Les méthodes les plus utilisées de façon opérationnelle, sont la méthode des moments et la méthode du maximum de vraisemblance. Le problème est que chaque méthode peut conduire à des estimations différentes des paramètres et donc à des estimations différentes des quantiles.

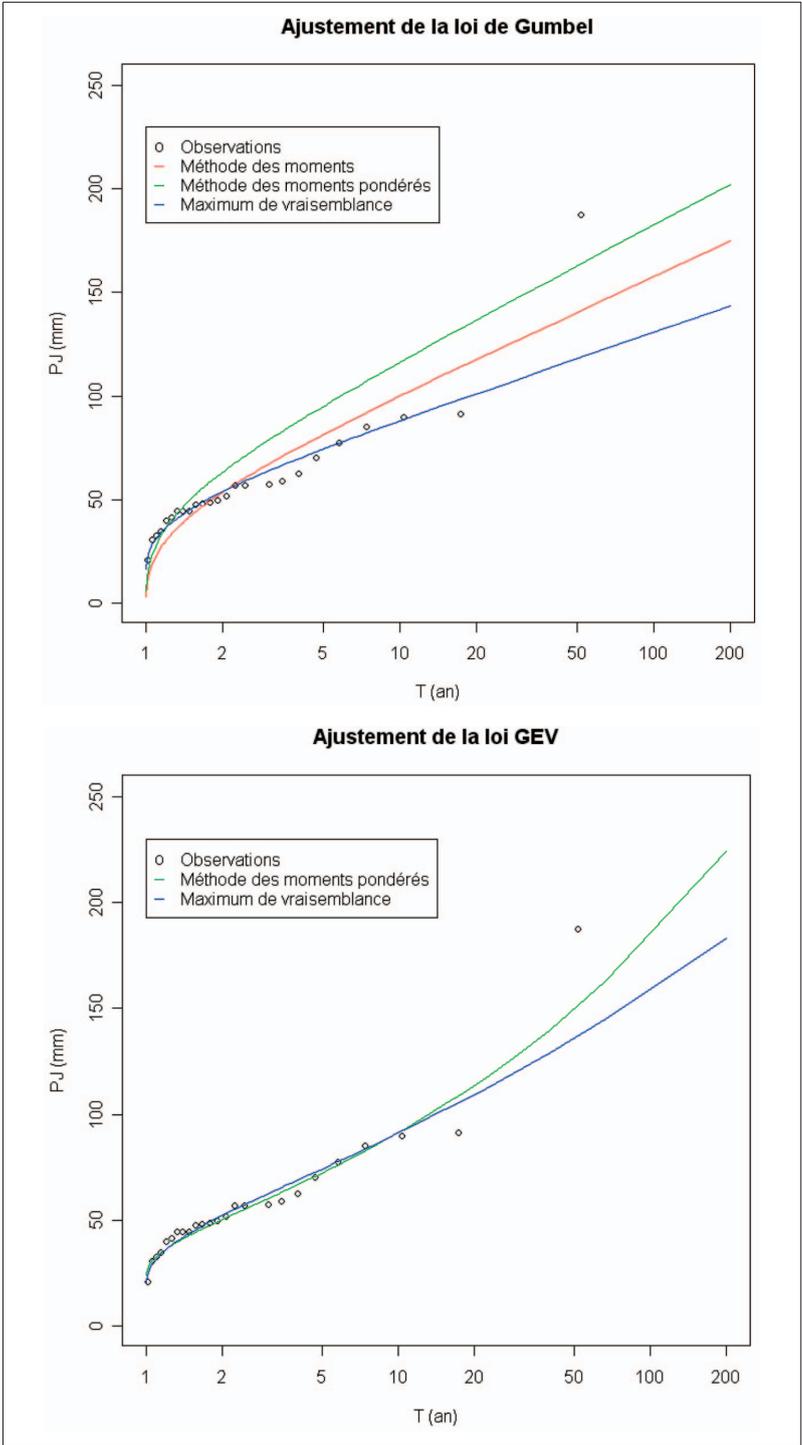
On voit bien sur l'exemple du poste d'Aix-en-Provence (figure 6), présentant une valeur extrême dans son échantillon, que la même loi peut conduire à des estimations très différentes en fonction de la méthode d'ajustement des



**Figure 5.** Distribution de fréquences des lois GEV et GPD pour différentes valeurs du coefficient de forme  $\gamma$ .

paramètres que l'on choisit. Les méthodes des moments, des moments pondérés et du maximum de vraisemblance conduisent respectivement pour la loi de Gumbel aux quantiles suivants : valeurs décennales 100, 116 et 88 mm et valeurs centennales 161, 187 et 133 mm, soit jusqu'à plus de 30 % d'écart en fonction de la méthode d'ajustement retenue pour la loi de Gumbel.

Le problème reste le même avec l'utilisation de la loi exponentielle. Il se rajoute en plus la difficulté du choix du seuil de sélection des événements,



**Figure 6.** Ajustement d'une loi de Gumbel et d'une loi GEV sur la série d'Aix-en-Provence, suivant différentes méthodes : méthode des moments, méthode des moments pondérés, méthode du maximum de vraisemblance.

devant garantir l'indépendance des valeurs de l'échantillon. Plus le seuil sera bas, plus on donnera du poids aux valeurs faibles avec une tendance à sous-estimer les quantiles forts. À l'inverse, si le seuil est trop élevé, la réduction de l'effectif de l'échantillon, le rend plus sensible à l'échantillonnage.

En général, la méthode des moments donne des quantiles plus forts que la méthode du maximum de vraisemblance, en particulier si la distribution de fréquences a une allure plus qu'exponentielle ou s'il y a la présence d'une valeur extrême dans l'échantillon. Ces méthodes sont cependant comparables s'il n'y a pas de valeur singulière dans l'échantillon.

### Les difficultés des statistiques

Les approches basées sur les statistiques classiques sont sensibles aux choix de nombreuses hypothèses : le choix de la méthode d'échantillonnage, le choix du modèle statistique, le choix de la méthode d'ajustement. La multiplication de ces hypothèses peut conduire à des estimations très variables des quantiles de pluies, à partir de l'information obtenue sur une même série pluviométrique. Les incertitudes qu'elles entraînent sur les estimations des quantiles de pluie ne sont pas négligeables et excèdent largement les intervalles de confiance classiques généralement affichés, qui ne représentent eux que l'incertitude d'échantillonnage et ne tiennent pas compte de l'incertitude due à l'ensemble des autres hypothèses.

## Autres approches

Pour traiter les difficultés des méthodes statistiques classiques d'autres approches ont été développées. L'objectif principal est de réduire l'effet de l'échantillonnage, très dommageable pour l'estimation des valeurs rares. Afin de mieux prendre en compte le poids des valeurs extrêmes, une des solutions est d'enrichir l'échantillon des valeurs observées, pour augmenter sa représentativité.

Pour cela, on peut chercher de l'information sur d'autres sites de mesure (approche régionale), sur différentes variables caractéristiques (approche multi-durées), sur l'information historique (approche historique), sur la nature même du signal de pluies (approche par modélisation). Un bref aperçu du principe de ces approches est donné ici.

## Approche régionale

L'approche régionale, aussi appelée « méthode des années-stations », prend en compte de l'information régionale pour l'estimation des pluies en un lieu donné. À ne pas confondre avec une approche « régionalisée » qui reste une approche locale pour laquelle les paramètres ont été régionalisés.

L'approche régionale vise à augmenter le nombre d'observations en considérant le phénomène non plus localement mais sur l'ensemble d'une zone donnée. On utilise l'information de plusieurs stations pour réduire l'influence de l'échantillonnage sur les données locales. On augmente ainsi l'échantillon des valeurs exceptionnelles. En respectant l'hypothèse d'indépendance des différentes observations, on peut mélanger les données observées sur différents