

# Pluie maximale probable : application et comparaison des méthodes statistiques et empiriques

Lucie ALAZARD<sup>1</sup>, Luc BAZERQUE<sup>2</sup> Christian ODEYER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ARTELIA Eau et Environnement – 6 rue de Lorraine – 38130 ECHIROLLES, [lucie.alazard@arteliagroup.com](mailto:lucie.alazard@arteliagroup.com)

<sup>2</sup> ARTELIA Eau et Environnement – 6 rue de Lorraine – 38130 ECHIROLLES, [luc.bazerque@arteliagroup.com](mailto:luc.bazerque@arteliagroup.com)

<sup>3</sup> ARTELIA Eau et Environnement – 6 rue de Lorraine – 38130 ECHIROLLES, [christian.odeyer@arteliagroup.com](mailto:christian.odeyer@arteliagroup.com)

**RÉSUMÉ.** – Afin de dimensionner au mieux les évacuateurs de crues des ouvrages hydrauliques majeurs, une réflexion interne a été menée par ARTELIA sur les méthodes de détermination de la PMP généralement utilisées dans les pays anglo-saxons. L'applicabilité des méthodes statistiques et empiriques de détermination de la PMP a été vérifiée par leur utilisation sous trois climats. Les résultats obtenus confirment la fiabilité de l'utilisation des méthodes statistiques et notamment de la méthode d'Hershfield si, toutefois, les consignes établies par l'auteur sont respectées. Pour les régions étudiées, le facteur entre la PMP et la pluie décennale est de l'ordre de 1 si le facteur de fréquence Km est déterminé localement et de l'ordre de 2 à 3 si Km est lu sur la courbe-enveloppe établie par Hershfield. Enfin l'étude a également montré l'importance de la qualité et de la quantité des données disponibles sur la fiabilité de la valeur de la PMP.

Mots-clés : PMP, barrage, crue, Hershfield

## Probable Maximum Precipitation: application and comparison of statistical and empirical methods

**ABSTRACT.** – In order to optimize the design of the spillways of major hydraulic works as the large dams, in-house researches on the different methods for assessing PMP have been performed by ARTELIA. A detailed analysis has been carried out concerning the applicability of the statistical and empirical method which matches the constraints of engineering. The obtained results confirm the reliability of the statistical methods and especially the one of the Hershfield method, if, nevertheless, the instructions given by the author are respected. For the studied areas, the ratio between the PMP and the 10 000-year return period rainfall is around 1, if the Km coefficient is determined locally, and between 2 to 3 if the Km coefficient is assessed on the curve established by Hershfield. Finally, the analysis has shown the importance of the quality and the quantity of the available data on the reliability of the PMP value.

Key-words: PMP, dam, flood, Hershfield

## I. INTRODUCTION

Le dimensionnement des évacuateurs de crues des ouvrages hydrauliques majeurs tels que les grands barrages est basé sur le calcul des crues de projet et de sécurité. A l'heure actuelle, aucun critère international n'a encore été établi sur le choix du type de méthode à employer. En France, la détermination des crues dimensionnantes s'appuie généralement sur des ajustements statistiques des pluies telles que la méthode du Gradex [CFGB, 1994] et la méthode SPEED (basée sur la théorie du Gradex, développée par ARTELIA, [Cayla, 1993-1995-2012]) et plus récemment par les méthodes de simulation de pluies couplées à un modèle hydrologique (cf. méthodes SCHADEX [Garavaglia, 2011] et SHYREG, [Organde, 2013]). En revanche, la majorité des pays anglo-saxons utilisent des méthodes dites déterministes de type PMP/PMF (Probable Maximum Precipitation/Probable Maximum Flood).

ARTELIA est amenée à concevoir de nombreux ouvrages hydrauliques aussi bien en France qu'à l'étranger et de plus en plus fréquemment le Maître d'Ouvrage exige la PMF (crue issue d'une pluie de type PMP) comme choix de la crue de sécurité. Il était donc important de s'intéresser aux méthodes de détermination de la PMP pour pouvoir les utiliser en toute connaissance de cause.

## II. LES MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA PMP

Il existe un grand nombre de méthodes de détermination de la PMP [OMM, 1973]. Les méthodes généralement utilisées peuvent se regrouper en trois catégories. On trouvera des méthodes déterministes, statistiques et empiriques.

### II.1. Méthode déterministe

La méthode déterministe traditionnelle de détermination de la PMP est la méthode de Maximisation et Transposition d'averses ([Berod, 1992], [Shreiner et Riedel, 1986]). Cette méthode se base sur une observation des perturbations atmosphériques ayant affecté le bassin versant. Une maximisation des valeurs de précipitations observées est ensuite réalisée en fonction de certains paramètres météorologiques tels que la température de rosée, la vitesse du vent, etc. Une transposition des résultats d'un bassin versant à l'autre peut être réalisée dans le cas où les données disponibles sur le bassin étudié ne sont pas suffisantes.

*Critique de la méthode* : cette méthode utilise la physique du phénomène d'averse, pour en maximiser les paramètres, cependant, les données nécessaires à son application

(température de rosée, humidité...) sont rarement disponibles et le temps nécessaire à sa mise en œuvre en font une méthode difficilement utilisable dans le domaine de l'ingénierie.

## II.2. Méthodes statistiques

### II.2.1. La méthode d'Hershfield

La méthode d'Hershfield est une méthode statistique permettant de déterminer une valeur de PMP en fonction de la

moyenne  $\bar{X}$  et de l'écart-type  $S$  d'une série de précipitations maximales annuelles observées, et d'un facteur de fréquence noté  $K_m$ .

$$PMP = \bar{X} + K_m \cdot S, \quad (1)$$

Derrière cette méthode se cache l'idée de maximisation d'observations, à cela près que le paramètre maximisé n'est pas de caractère physique mais statistique. La valeur de  $K_m$  pour une station provient d'une analyse statistique de la série à disposition sur la station. Hershfield a pour sa part analysé les précipitations de durée 24 h sur près de 2600 stations aux Etats Unis et en a déduit une courbe-enveloppe du coefficient  $K_m$  en fonction de la pluie journalière maximale annuelle et de la durée de la précipitation. ([Berod, 1992], [Hershfield, 1960] et [Hershfield, 1977])

La valeur de  $K_m$  peut être obtenue de deux manières différentes :

- $K_m$  lu sur la courbe-enveloppe établie par Hershfield (noté  $K_{m,Hershfield}$  dans la suite de l'article).
- $K_m$  déterminé par une analyse régionale (pour chaque station la valeur de  $K_m$  peut être déterminée à partir de la formule établie par Hershfield. Pour notre analyse, la valeur maximale obtenue sur l'ensemble des stations a été sélectionnée comme valeur caractéristique de la région considérée – A noter qu'aucune consigne n'est prescrite par Hershfield quant au choix de cette valeur). (noté  $K_{m,Calculé}$  dans la suite de l'article).

**Critique de la méthode :** La méthode développée par Hershfield possède l'avantage d'être cohérente avec les contraintes liées à l'ingénierie. Cependant, comme pour toute méthode statistique, il est nécessaire de réaliser un travail préliminaire de fond sur la série d'observations afin de vérifier la qualité des données disponibles à l'étude.

Cette vérification, indispensable à la bonne utilisation de la méthode, permettra de s'assurer de la précision et de la fiabilité du résultat. Cette méthode est décrite dans des ouvrages comme le bulletin n°82 de l'ICOLD (International Commission on Large Dams -1992).

### II.2.2. La méthode des Flood Studies Report

En Grande Bretagne, le traitement des mesures pluviométriques a permis d'établir des relations entre les hauteurs de précipitation de différents temps de retour en appliquant une méthode statistique basée sur une analyse quartile.

Ces relations se traduisent par des courbes de croissance (growth curves), définies par le rapport entre une précipitation de temps de retour  $T$  pour une durée choisie et la précipitation de temps de retour 5 ans de durée identique. Ainsi à partir de la seule connaissance de la pluie de période de retour 5 ans, la PMP peut être déterminée.

**Critique de la méthode :** Cette méthode est intéressante pour approcher de façon rapide un ordre de grandeur de la pluie maximale. Cependant les courbes de croissance réalisées pour la Grande Bretagne ne peuvent pas s'ajuster à tous les types de climats (arides et méditerranéens par exemple). Il est alors nécessaire d'effectuer une analyse complète des données pluviométriques locales (analyse quartile), pour obtenir des courbes de croissance caractéristiques de la région concernée. Cette analyse est cependant complexe et longue. De plus, cette méthode nécessite d'avoir à disposition de nombreuses données et sa mise en œuvre est relativement longue.

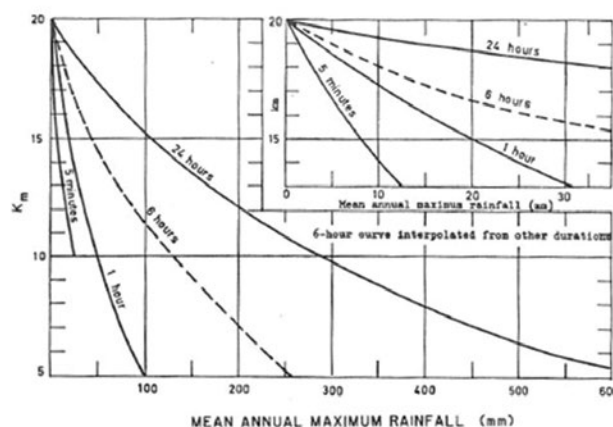
## II.3. Méthodes empiriques

### II.3.1. Courbe enveloppe des précipitations extrêmes observées dans le monde

Des études ont été réalisées à partir des observations des données pluviométriques au niveau mondial. Une courbe enveloppe des précipitations maximales observées a été réalisée. Cette courbe permet de déterminer la PMP pour une durée fixée.

$$PMP = 16.6D^{0.475}, \quad (2)$$

Où  $D$  est la durée des précipitations en heures et la PMP en pouces (inches ; 1 inch = 2.54 cm).



$$K = \frac{X_1 - \bar{X}_{n-1}}{\sigma_{n-1}}$$

$X_1$  = Valeur de précipitation annuelle maximale observée dans l'échantillon

$\bar{X}_{n-1}$  et  $\sigma_{n-1}$  la moyenne et l'écart-type de la série obtenue à partir des valeurs de précipitations maximales annuelles, excluant la valeur de précipitation maximale annuelles observée.

Figure 1 :  $K_m$  en fonction de la durée de précipitation et de précipitations maximales annuelles [Hershfield, 1961].

Des études régionales ont également permis d'extrapoler la PMP ponctuelle à la totalité du bassin versant. La PMP est alors fonction de la durée de l'événement à considérer et de paramètres à caler à l'aide des maxima observés sur la zone étudiée pour chaque durée de précipitation et surface de bassin versant.

$$PMP = \sqrt{D} \left( a + \frac{b}{\sqrt{A+c}} \right), \quad (3)$$

Où A est la surface du bassin versant en miles<sup>2</sup> et a, b et c des paramètres à caler.

**Critique de la méthode** : Ces courbes enveloppes sont utiles pour fournir très rapidement un ordre de grandeur des PMP maximales.

### II.3.2. Adaptation des isohyètes de PMP déterminées aux Etats-Unis

Les Etats Unis, promoteurs de méthodes PMP/PMF, ont mis à disposition des cartes présentant des isohyètes de valeurs de PMP obtenues à partir de l'application de la méthode Maximisation et Transposition d'Averses sur tout le pays.

Le principe de la méthode présentée est d'utiliser les isohyètes de PMP des Etats-Unis comme référence. Les justifications d'une telle pratique sont les suivantes selon Wiesner [Wiesner, 1970] :

- Tous les types de courant connus peuvent se produire aux USA. Les propriétés des événements météorologiques extrêmes qui y sévissent sont comparables à celles des extrêmes de n'importe quelle région du globe.
- Tous les types d'averses sont susceptibles de se produire soit sur le continent américain soit sur les océans environnants.
- La forme du continent et sa topographie à forts contrastes permettent l'échange d'air polaire et tropical ainsi que d'air marin et tropical ; ces courants créent une capacité d'averses vraisemblablement maximale.

**Critique de la méthode** : Cette méthode d'apparence très simple d'utilisation pourrait éventuellement donner un ordre de grandeur de la PMP pour différents climats. Cependant, il semble simpliste de penser que les différents types de climats présents aux Etats-Unis représentent correctement l'ensemble des climats existants à l'échelle mondiale.

### II.4. Choix des méthodes à appliquer

Comme il a été montré précédemment, de nombreuses méthodes de détermination de la PMP ont été établies. Cependant peu d'entre elles sont utilisables dans le domaine de l'ingénierie (mauvaise qualité ou absence de données, temps de mise en œuvre trop long de la méthode). Les

méthodes ayant été retenues et qui ont été analysées et comparées sont les suivantes :

- La méthode statistique d'Hershfield
- La méthode des Flood Studies Report
- Des formules empiriques :
  - *Courbe-enveloppe des précipitations extrêmes observées dans le monde*
  - *Adaptation des isohyètes de PMP des Etats-Unis (DAD – NWS)*

## III. ZONES ÉTUDIÉES

Afin de pouvoir analyser et comparer les méthodes sélectionnées sous différents climats, il était important de trouver des sites caractéristiques possédant de bonnes séries pluviométriques. Il a été choisi d'étudier trois régions distinctes :

- La région de Wadi Rafsah à Oman se situe au Nord-Est du pays et possède un climat typiquement désertique avec des précipitations extrêmement faibles. Cependant en 2007 et 2010, deux événements de précipitations rares et extrêmes sont survenus le long de la côte omanaise, engendrés par les cyclones GONU (2007) et PHET (2010) venant de l'océan Indien. Les précipitations journalières enregistrées pour ces deux événements sont de l'ordre de 300 mm (Ville de Sur). L'intérêt de l'étude d'une telle région et d'analyser l'applicabilité des différentes méthodes de détermination de la PMP sélectionnées dans une région où la population est de type « mixte » : les pluies ordinaires et les cyclones. La station de la ville de Muscat, située en dehors du bassin versant de Wadi Rafsah, a été incluse dans l'échantillon du fait de son grand nombre de données (>100 ans).
- Le bassin versant de l'Ardèche en France se trouve au sud du département de l'Ardèche. Le climat de cette région est de type méditerranéen caractérisé par de faibles pluies et ponctué par des événements orageux violents.
- La région définie à l'intérieur des départements de la Haute-Marne, Haute-Saône et Côte-d'Or possède un climat de type océanique avec influence continentale caractérisé par des pluies fréquentes en toute saison. L'étude de cette région permet de tester l'applicabilité des méthodes sélectionnées pour des régions où la pluviométrie est globalement régulière et du même ordre de grandeur que la pluviométrie nationale française (700 mm).

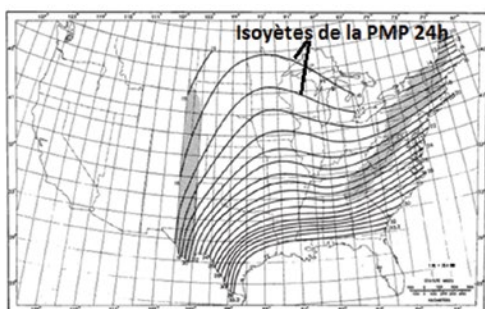
Les caractéristiques principales des trois régions étudiées sont présentées dans le tableau ci-après.

La localisation des stations pluviométriques étudiées est présentée sur les figures ci-après.

## IV. RÉSULTATS

### IV.1. Détermination de la $P_{10\,000}$

Les différentes valeurs de PMP obtenues, à partir des différentes méthodes, ont été comparées et confrontées à la pluie maximale journalière annuelle de période de retour 10 000 ans obtenue en appliquant la méthode SPEED (Système Probabiliste d'Etude par Evénements Discrets) [Cayla, 1993-1995-2012]. Cette méthode, développée par ARTELIA, est fondée d'une part sur une analyse régionale des pluies et, d'autre part, sur la relation mise en évidence par ARTELIA, entre pluie et débit de crue (relation établie en reprenant le principe du GRADEX). L'analyse régionale des pluies proposée par cette méthode (ajustement des pluies suivant une loi de Gumbel et détermination du pivot) a donc été utilisée pour déterminer la pluie décennale.



**Figure 2** : Exemple de carte isohyète de la PMP pour l'Est des Etats-Unis.

Tableau 1 : Principales caractéristiques des trois régions étudiées.

| Régions étudiées   | Type de climat                    | Nombre de stations | Nombre d'années de données (Min, Max, Moy) | Pluie moyenne annuelle [mm] | Intérêt de la région étudiée                                                                                                     |
|--------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wadi Rafsah (Oman) | Désertique                        | 7                  | (14, 118, 39)                              | 80                          | Population de type mixte : pluies ordinaires et cyclones<br>Peu d'années d'observations (~ 30ans)<br>Peu de stations disponibles |
| Ardèche (France)   | Méditerranéen                     | 26                 | (35, 143, 96)                              | 900                         | Population de type mixte<br>Bonne qualité de données et longueur de données d'observations > 35 ans.                             |
| Côte-d'Or (France) | Océanique à tendance Continentale | 25                 | (40, 100, 50)                              | 732                         | Zone où la pluviométrie est régulière<br>Bonne qualité de données et longueur de données d'observations > 40 ans.                |

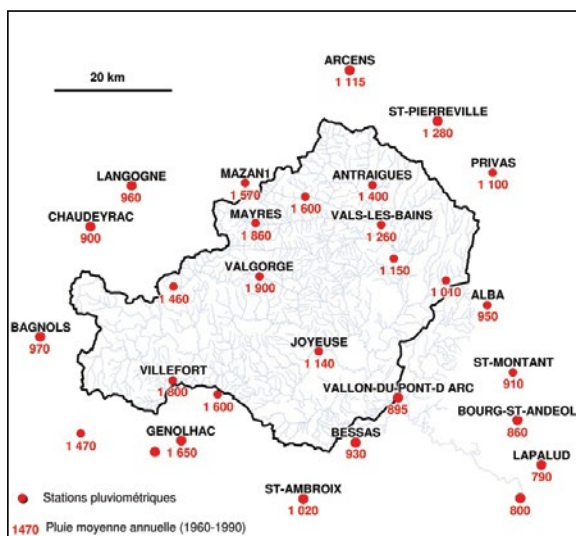


Figure 3 : Ardèche (France).

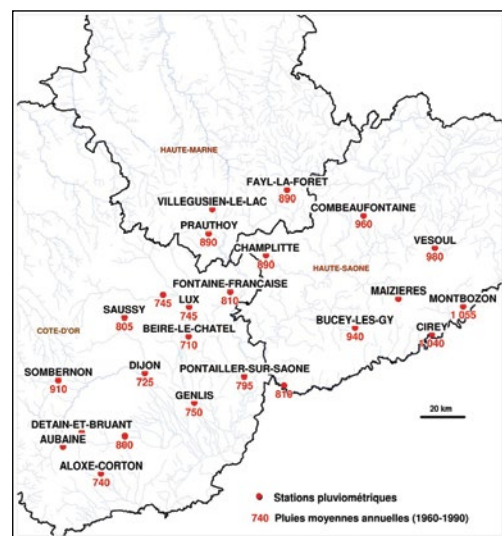


Figure 4 : Côte-d'Or (France).

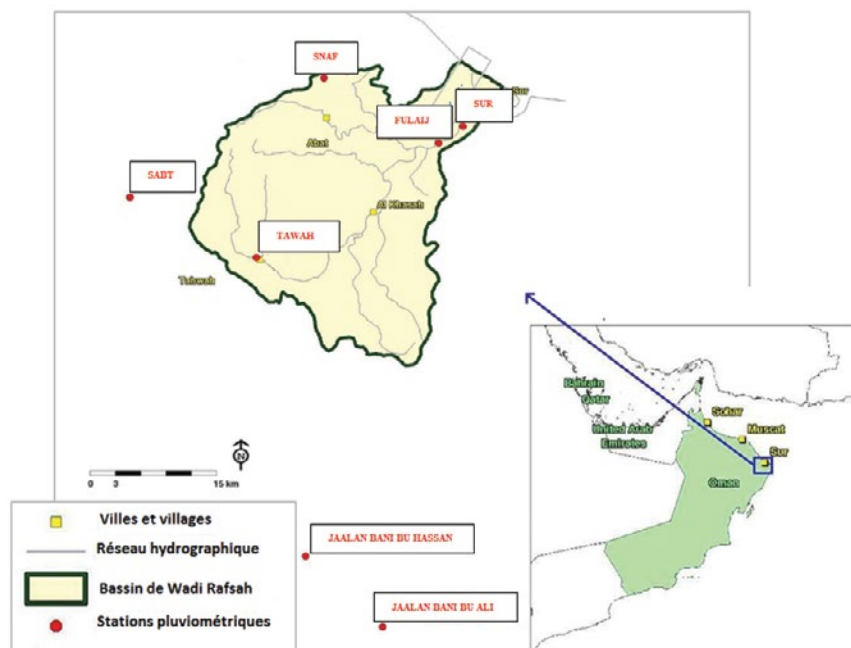


Figure 5 : WADI Rafsah (Oman).

## IV.2. Comparaison des valeurs obtenues

### IV.2.1. Wadi Rafsah

Tableau 2 : Comparaison des valeurs de PMP obtenues pour la région de Wadi Rafsah.

|                       |                                                                                                              | PMP (mm) | PMP/P <sub>10000</sub> | PMP/P <sub>jmax</sub> observée<br>(445 mm à Sur) |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------------------|
| Méthodes statistiques | Pluie décamillénale                                                                                          | 582      | 1.0                    | 1.3                                              |
|                       | Méthode d'Hershfield <b>PMP(Km<sub>Hershfield</sub>=18.4)</b>                                                | 1373     | 2.4                    | 3.1                                              |
|                       | Méthode d'Hershfield <b>PMP(Km<sub>Calculé</sub>=8)</b>                                                      | 560      | 1.0                    | 1.3                                              |
|                       | Méthode des Flood Studies Report                                                                             | 1150     | 2.0                    | 2.6                                              |
| Méthodes empiriques   | Courbe enveloppe des précipitations extrêmes                                                                 | 1908     | 3.3                    | 4.3                                              |
|                       | Courbe enveloppe régionalisée (Etats-Unis)                                                                   | 1124     | 1.9                    | 2.5                                              |
|                       | Courbe enveloppe régionalisée (Australie)                                                                    | 458      | 0.8                    | 1.0                                              |
|                       | Adaptation des isohyètes de PMP des Etats-Unis (Maximisation et Transpositions) <b>PMP<sub>M&amp;T</sub></b> | 660      | 1.1                    | 1.5                                              |

### IV.2.2. Ardèche

Tableau 3 : Comparaison des valeurs de PMP obtenues pour le bassin de l'Ardèche

|                       |                                                                                                              | PMP (mm) | PMP/P <sub>10000</sub> | PMP/P <sub>jmax</sub> observée<br>(428 mm à Villefort) |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------------------------|
| Méthodes statistiques | Pluie décamillénale*                                                                                         | 652      | 1.0                    | 1.5                                                    |
|                       | Méthode d'Hershfield <b>PMP(Km<sub>Hershfield</sub>=16.8)</b>                                                | 1197     | 1.8                    | 2.8                                                    |
|                       | Méthode d'Hershfield <b>PMP(Km<sub>Calculé</sub>=6.7)</b>                                                    | 621      | 1.0                    | 1.5                                                    |
|                       | Méthode des Flood Studies Report                                                                             | 560      | 0.9                    | 1.3                                                    |
| Méthodes empiriques   | Courbe enveloppe des précipitations extrêmes                                                                 | 1908     | 2.9                    | 4.5                                                    |
|                       | Courbe enveloppe régionalisée (Etats-Unis)                                                                   | 845      | 1.3                    | 2.0                                                    |
|                       | Courbe enveloppe régionalisée (Australie)                                                                    | 384      | 0.6                    | 0.9                                                    |
|                       | Adaptation des isohyètes de PMP des Etats-Unis (Maximisation et Transpositions) <b>PMP<sub>M&amp;T</sub></b> | 1219     | 1.9                    | 2.8                                                    |

\*Les valeurs de PMP et de P<sub>10000</sub> ci-dessus ont été déterminées à partir d'échantillons de données quasi-consécutives couvrant la période 1864-2010 (données issues des données publiques disponibles sur le site de Météo-France).

### IV.2.3. Côte-d'Or

Tableau 4. Comparaison des valeurs de PMP obtenues en Côte-d'Or

|                       |                                                                                                              | PMP (mm) | PMP/P <sub>10000</sub> | PMP/P <sub>jmax</sub> observée<br>(115 mm à Dijon) |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------|----------------------------------------------------|
| Méthodes statistiques | Pluie décamillénale <b>P<sub>10000</sub></b>                                                                 | 171      | 1.0                    | 1.5                                                |
|                       | Méthode d'Hershfield <b>PMP(Km<sub>Hershfield</sub>=18.2)</b>                                                | 411      | 2.4                    | 3.6                                                |
|                       | Méthode d'Hershfield <b>PMP(Km<sub>Calculé</sub>=6)</b>                                                      | 150      | 0.9                    | 1.3                                                |
|                       | Méthode des Flood Studies Report <b>PMP<sub>FSR</sub></b>                                                    | 155      | 0.9                    | 1.3                                                |
| Méthodes empiriques   | Courbe enveloppe des précipitations extrêmes                                                                 | 1908     | 11.2                   | 16.6                                               |
|                       | Courbe enveloppe régionalisée (Etats-Unis)                                                                   | 770      | 4.5                    | 6.7                                                |
|                       | Courbe enveloppe régionalisée (Australie)                                                                    | 364      | 2.1                    | 3.2                                                |
|                       | Adaptation des isohyètes de PMP des Etats-Unis (Maximisation et Transpositions) <b>PMP<sub>M&amp;T</sub></b> | 1041     | 6.1                    | 9.1                                                |

### IV.3. BILAN

Au vu des résultats les conclusions suivantes peuvent être établies :

- Pour les méthodes statistiques

— La PMP calculée par la méthode d'Hershfield (avec  $Km_{Hershfield}$ ) est pour les trois régions étudiées la valeur maximale de PMP déterminée. Pour les régions d'Ardèche et de Côte d'Or, elle est presque deux fois supérieure à la  $P_{10000}$ , PMP( $Km_{calculé}$ ) et PMP<sub>FSR</sub><sup>1</sup>.

— On remarque de plus, que le rapport entre  $P_{jmax}$  et la PMP( $Km_{Hershfield}$ ) est compris entre 2.8 et 3.6 pour les trois régions.

— Les valeurs de PMP( $Km_{calculé}$ ) et  $P_{10000}$ , sont pour les trois régions étudiées du même ordre de grandeur. On remarque, également, que pour les régions françaises ces deux valeurs sont équivalente à la PMP<sub>FSR</sub><sup>1</sup>.

On remarque donc que, globalement, la valeur obtenue à partir de la méthode d'Hershfield ( $Km_{Hershfield}$ ) est la valeur de la PMP la plus élevée sur un bassin donné. La méthode des Flood Studies Report, et la méthode d'Hershfield appliquée avec une valeur de  $Km$  régionalisée, quant à elles, sont du même ordre de grandeur que la pluie maximale journalière de période de retour 10 000 ans.

- Pour les méthodes empiriques (Comparaison avec PMP( $Km_{Hershfield}$ ))

— La PMP calculée à partir de la courbe enveloppe des précipitations extrêmes observées dans le monde (PMP = 1908 mm) est beaucoup trop élevée pour être réaliste pour les régions considérées mais permet d'obtenir un ordre de grandeur de valeur maximale possible de la PMP.

— Les valeurs calculées à partir de la formule établie par Wiesner ajustée à l'Australie sont dans le cas de Wadi Rafsah et de l'Ardèche, beaucoup trop faibles. (PMP/ $P_{jmax}$  compris entre 0.9 et 1.0). Par contre, ce rapport est de 3.2 pour la zone entourant la Côte d'Or.

— Le rapport entre la PMP<sub>M&T</sub> et la  $P_{10000}$  est compris entre 1 et 6, tandis que celui de la PMP<sub>Etats-Unis</sub> et la  $P_{10000}$  est compris entre 1.3 et 4.5.

Globalement les résultats obtenus à partir des courbes isohyétales obtenues sur le territoire américain et des lois empiriques ajustés pour les Etats-Unis et l'Australie donnent des résultats très différents et souvent la valeur de PMP obtenue ne représente en rien la zone d'étude. L'utilisation seule de ces méthodes n'est donc pas recommandée pour déterminer la valeur de la PMP ni même pour avoir une idée de l'ordre de grandeur de celle-ci (résultat trop approximatif).

### V. CONCLUSIONS

- La méthode d'Hershfield

Sur la base de notre analyse, nous retiendrons les ratios suivants:

- $1.8 < PMP(Km_{Hershfield}) / P_{10000} < 2.4$
- $0.9 < PMP(Km_{calculé}) / P_{10000} < 1$
- $2.8 < PMP(Km_{Hershfield}) / P_{jmax} < 3.6$
- $1.3 < PMP(Km_{calculé}) / P_{jmax} < 1.5$

Pour les trois types de climat la valeur de  $Km$  obtenue par lecture de la courbe d'Hershfield diffère considérablement de

celle obtenue régionalement. L'écart entre les deux valeurs est compris entre 2 et 3.

Il est recommandé de déterminer la valeur de la PMP en fonction d'une valeur de  $Km$  estimée à partir d'une analyse régionale étendue des précipitations. Les courbes établies par Hershfield ne doivent être utilisées, que lorsque les données pluviométriques ne sont pas suffisantes pour réaliser une analyse régionale approfondie. La valeur de la PMP en sera alors maximale.

Il a également été constaté, lors de nombreuses études ([Berod, 1992],...) que la méthode d'Hershfield donne généralement des PMP supérieures à celles obtenues par la méthode classique de détermination de la PMP (Maximisation et Transposition d'averse), ce qui rend la méthode d'Hershfield sécuritaire.

A noter, qu'une comparaison analogue entre la PMP (déterminée par la méthode d'Hershfield avec un  $Km$  supposé calculé localement) et la  $P_{10000}$  (déterminée par la méthode du GRADEX) a également été réalisée avec un jeu régional de pluies en Asie [Garros-Berthet, 1994]. Les résultats ont montré que pour les stations étudiées la PMP était comprise entre 0.73 et 1.15 fois la  $P_{10000}$ .

- La méthode des Flood Studies Report

Cette méthode se base sur une analyse statistique assez complexe. Ce genre d'étude demande un temps d'application assez long et nécessite un grand nombre de données (réseau de stations pluviométriques dense). Pour les régions françaises étudiées les valeurs de PMP obtenues se trouvent être assez proches des résultats obtenus par la méthode d'Hershfield (lorsque la PMP a été calculée avec un  $Km$  obtenue régionalement). Cette méthode est recommandée mais son temps de mise en œuvre est plus long que la méthode d'Hershfield. Sur la base de notre analyse nous retiendrons  $PMP_{FSR} \sim PMP(Km_{calculé})$ .

- Les méthodes empiriques

De manière générale les résultats de PMP obtenues par les méthodes empiriques donnent des résultats non fiables, le rapport entre la PMP et la  $P_{10000}$  étant très variable d'un site à l'autre. Ces méthodes ne sont donc pas recommandées. Seule la courbe enveloppe des événements extrêmes dans le monde peut être éventuellement utilisée pour obtenir un ordre de grandeur simple.

### VI. BIBLIOGRAPHIE

- BEROD D. (1992) — Calcul des crues extrêmes par des méthodes déterministes du type pluie maximale probable(PMP)/Crue maximale probable (PMF). Application au cas de la Suisse. *Rapport de l'institut d'Aménagement des Terres et des Eaux, Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne*
- CAYLA O. ET J.C CARRE (2012) — Analyse probabiliste régionale de la pluviométrie extrême en France métropolitaine. *Evènements Extrêmes Fluviaux Et Maritimes, SHF 1-2 février 2012 Paris*
- CAYLA O. (1993) — Probabilistic Calculation Of Design Floods – Speed, International. *Symposium Of Engineering Hydrology, Asce, San Francisco, July 25-30 1993*
- CAYLA O. (1995) — Probability Calculation Of Design Floods And Inflows – Speed. *Waterpower 1995, Asce, San Francisco, July 25-28*
- CFGB (1994) — Les crues de projet des barrages : méthode du GRADEX. Design Flood Determination by the Gradex Method. *18° Congrès CIGB-ICOLD N°2, nov. 1994, Bulletin du Comité Français des Grands Barrages. 96p*

1. Le rapport  $PMP_{FSR} / P_{10000}$  plus élevé dans le cas de Wadi Rafsah peut s'expliquer par le peu de données disponibles sur cette région (réseau de stations peu dense, peu de données d'observation), l'application de la méthode FSR en nécessite normalement un très grand nombre.

- GARAVAGLIA F. (2011) — Méthode SCHADEX de prédétermination des crues extrêmes, Méthodologie, applications, études de sensibilité. *Université de Grenoble*
- GARROS-BERTHET H. (1994) — STATION-YEAR APPROACH : TOOL FOR ESTIMATION OF DESIGN FLOODS. *J. Water Resour. Plann. Manage.* **120** 135-160
- HERSHFIELD D.M. (1960) — Estimating the Probable Maximum Precipitation. Proceedings, ASCE *Journal Hydraulics Division.* **87** 99-106
- HERSHFIELD D.M. (1977) — Method for Estimating Probable Maximum Rainfall *Journal of American Waterworks Association.* **57(8)** 965-972
- ICOLD (1992) — La crue de projet, Recommandations. *Commission Internationale des Grands Barrages, Comité de la Crue de Projet*
- INSTITUTE OF HYDROLOGY, WALLINGFORD (1975) — *Flood Studies Report. Meteorological Studies, London.* **II**
- OMM (1973) — Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation. *Secrétariat de l'organisation mondiale de météorologie, Genève.* **332**
- ORGANDE ET AL. (2013) — Régionalisation d'une méthode de prédétermination de crue sur l'ensemble du territoire français : la méthode SHYREG. *Revue des sciences de l'eau/ Journal of Water Science.* **26(1)** 65-78
- SCHREINER L.C. ET RIEDEL J.T. (1986) — Probable Maximum Precipitation Estimates, United States East of the 105<sup>th</sup> Meridian. *Hydrometeorological Report n°51, NWS-NOAA, Washington DC, 1978 et 1986*
- WIESNER C.J. (1970) — *Hydrometeorology: Chapman and Hall Ltd, London*