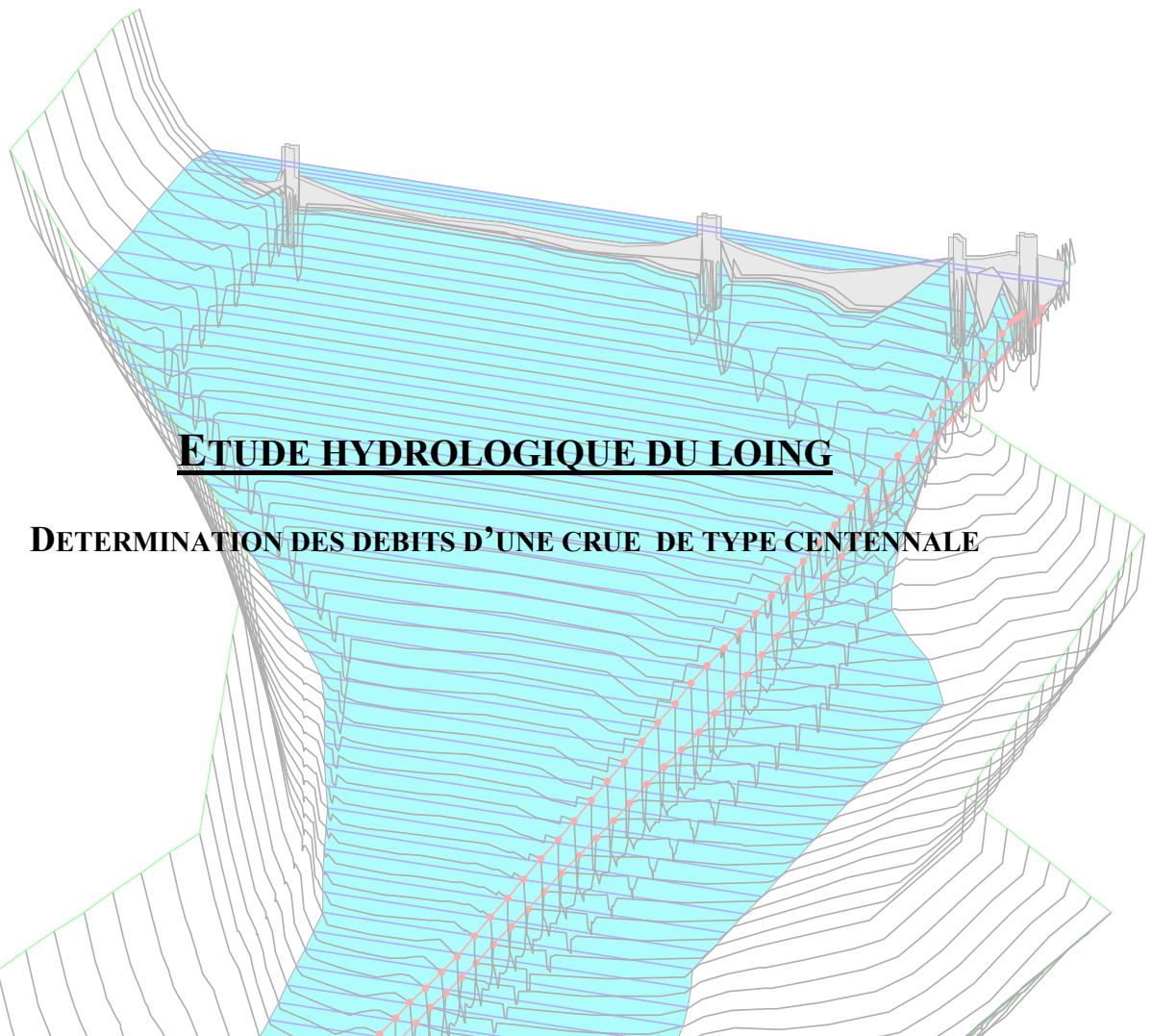




## **ETUDE HYDROLOGIQUE DU LOING**

### **DETERMINATION DES DEBITS D'UNE CRUE DE TYPE CENTENNALE**

COURTOIS Estelle

Projet personnel Master 2 Pro GHE  
Mars 2007

Réalisé sous la direction de PINEY Stéphane

Master Professionnel Géo Hydrosystèmes et Environnement  
- Faculté des Sciences et Techniques de Tours -

## **REMERCIEMENTS**

Je remercie mon tuteur de projet, Stéphane Piney, responsable de la cellule Hydraulique Risques d'inondation par Ruissellement (HRR) du Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Blois, pour m'avoir proposé ce sujet et pour m'avoir encadré. Il a été présent durant toute la durée du projet, et s'est toujours montré disponible lorsque j'avais besoin de son aide et de ses conseils.

Je remercie également les membres de l'unité HRR pour leur aide : Laetitia Heurdier et Emmanuel Lavaud. Merci particulièrement à Laetitia, qui a travaillé avec moi sur certains points, notamment sur la pluviométrie.

## RESUME – ABSTRACT

L'Atlas des Zones Inondables (AZI) a pour objectif la sensibilisation au risque inondation, afin d'être mieux préparé face aux crues à venir. C'est dans ce contexte que la création de l'AZI du Loing en amont de Montargis a été décidée, pour permettre par la suite la mise en place d'un Plan de Prévention des Risques d'Inondations.

La réalisation de ce document nécessite l'étude hydrologique du bassin versant concerné, afin de connaître la réponse du réseau hydrographique en cas d'événements pluvieux exceptionnels. Cette étude repose non seulement sur le traitement statistique des stations hydrométriques, mais aussi sur la connaissance approfondie du fonctionnement global du bassin. Les principales méthodes utilisées pour l'obtention des débits de la crue centennale sont l'ajustement de Gumbel et la méthode du Gradex.

---

Mots clés : Etude hydrologique, débit de pointe, crue centennale, bassin versant.

---

The Flooded Area Atlas is an administrative document contributing to develop awareness of flood hazards, in order to be better prepared against future floods. In this context, the design of the Flooded Area Atlas of the River Loing was decided in downstream of Montargis, to permit the creation of a Prevention Plan of Flood risk.

This document requires a hydrological study of the river catchments, in order to know the river hydrological answer, during exceptional rainy events. The study depends not only on statistical treatment of the hydrometric stations, but also on the thorough knowledge of the river catchments. The principal methods used for obtaining the centennial flows are the adjustment of Gumbel and the method of Gradex.

---

Key words : hydrological study, peak flow, centennial flood, river catchments

---

# SOMMAIRE

|                                                                  |      |
|------------------------------------------------------------------|------|
| INTRODUCTION & OBJECTIFS DE L'ETUDE                              | p 2  |
| I. PRESENTATION DU BASSIN                                        | p 3  |
| II. CLIMAT ET PLUVIOMETRIE                                       | p 4  |
| III. OCCUPATION DU BASSIN VERSANT DU LOING A CHALETTE.           | p 5  |
| IV. GEOLOGIE                                                     | p 7  |
| V. HYDROLOGIE                                                    | p 10 |
| 1) <u>Méthodologie</u>                                           | p 10 |
| <i>a. Notion de Période de retour</i>                            | p 10 |
| <i>b. Ajustement de Gumbel</i>                                   | p 10 |
| <i>c. Triangles de Thiessen</i>                                  | p 12 |
| <i>d. Méthode du Gradex</i>                                      | p 13 |
| 2) <u>Etude hydrologique du Loing</u>                            | p 14 |
| <i>a. Caractéristiques du bassin versant du Loing à Chalette</i> | p 14 |
| <i>b. Données à disposition pour l'étude hydrologique</i>        | p 17 |
| <i>c. Analyses des hydrogrammes de crues</i>                     | p 17 |
| <i>d. Etude des stations hydrologiques</i>                       | p 20 |
| CONCLUSION                                                       | p 27 |
| LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX                                    | p 28 |
| BIBLIOGRAPHIE                                                    | p 29 |
| LEXIQUE                                                          | p 30 |
| ANNEXES                                                          | p 31 |

## INTRODUCTION & OBJECTIFS DE L'ETUDE

Le Loing, affluent rive gauche de la Seine, s'étend sur un bassin total de 4250 km<sup>2</sup>. Une étude hydrologique a déjà été réalisée sur la partie en aval de Montargis, dans le cadre de l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques d'Inondations (PPRI).

Cette présente étude hydrologique s'inscrit dans la continuité du PPRI existant ; l'objectif étant de réaliser l'étude hydrologique du Loing en amont de la ville de Chalette, en vue de l'établissement de l'Atlas des Zones Inondables (AZI) par modélisation hydraulique. Cet AZI, qui sera réalisé par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Blois, permettra par la suite d'élaborer le PPRI amont du Loing, déjà prescrit par le préfet.

La modélisation nécessite deux types de données hydrologiques : les débits de pointe\*<sup>1</sup> de la crue de calage\* et de la crue de référence\*, qui servira à la cartographie des zones inondables.

Ce travail vise à caractériser la crue de temps de retour 100ans (crue centennale, T = 100ans), qui servira de référence si elle est inférieure aux Plus Hautes Eaux Connues (soit à priori la crue de 1910).

L'étude hydrologique repose non seulement sur les données issues des stations hydrométriques, mais aussi sur la connaissance du fonctionnement global du bassin versant concerné. Ce travail se base donc sur l'analyse de la pluviométrie, de l'occupation du sol et de la géologie ; l'exploitation des stations hydrométriques existantes (détermination des débits centennaux) ; et l'analyse des crues récentes, en vue de comprendre comment se combinent les hydrogrammes de crues aux confluences. Cela permettra d'établir les débits de la crue de référence sur l'ensemble du linéaire à modéliser, en fonction des débits calculés aux différentes stations hydrométriques existantes.

---

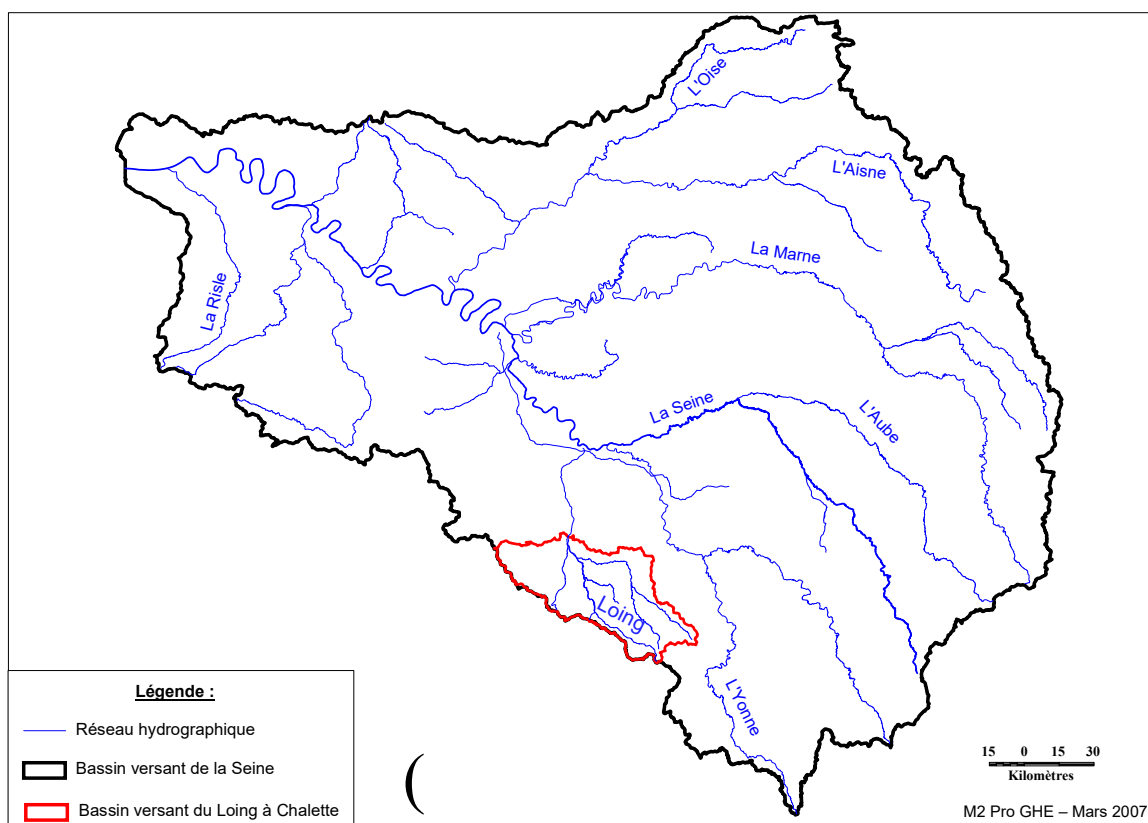
<sup>1</sup> Les mots suivis d'un \* sont explicités dans le lexique

## I. PRESENTATION DU BASSIN

Le Loing est un affluent de rive gauche de la Seine. Son bassin versant se situe sur la partie Sud-est du Bassin parisien. Cette rivière, ainsi que l'ensemble de ses affluents, sont sous le contrôle d'une lithologie caractérisée par les terrains sédimentaires du bassin parisien.

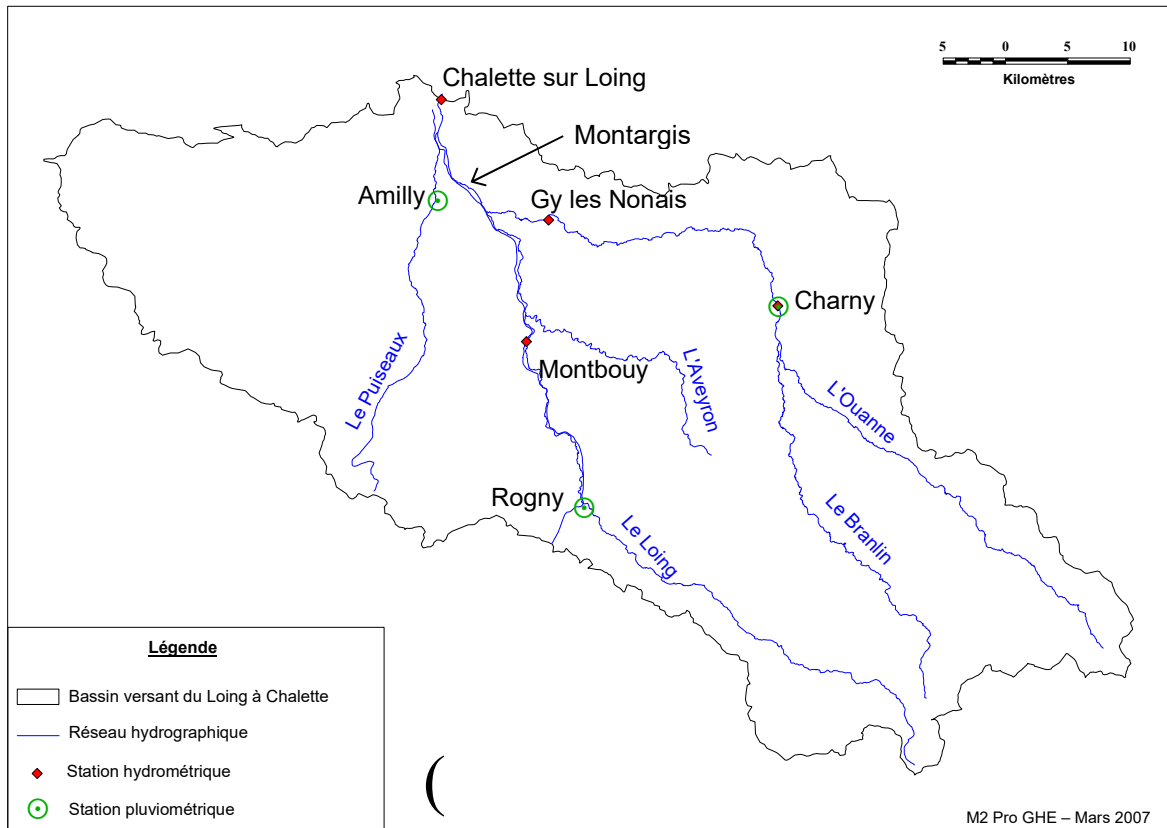
Dans le cadre de cette étude, nous allons étudier le Loing depuis sa source jusqu'à sa confluence avec le ruisseau du Puiseaux, à Chalette (Cf. Figure 1 : Carte de localisation du bassin du Loing à Chalette dans le bassin de la Seine). Le bassin correspondant à cette zone d'étude s'étend sur 2300km<sup>2</sup>. L'Atlas doit être réalisé en amont de Montargis (sur le département du Loiret), c'est pour cette raison que notre étude prend en compte la station de Chalette, puisqu'elle se situe en aval de la confluence du Loing et de l'Ouanne et permet ainsi de comprendre comment se combinent les hydrogrammes des deux rivières.

Figure 1 : Carte de localisation du bassin du Loing à Chalette dans le bassin de la Seine



Le bassin du Loing à Chalette est implanté sur 2 départements (Loiret, Yonne) et sur 2 régions (Centre, Bourgogne). Le Loing, ainsi que son affluent principal, l'Ouanne, prennent source dans le département de l'Yonne (Cf. Figure 2 : Carte de présentation du réseau hydrographique du Loing et des stations de mesures, page suivante).

Figure 2 : Carte de présentation du réseau hydrographique du Loing et des stations de mesures



Le point culminant du bassin se situe à 385m, et le Loing rejoint la Seine à 45m d'altitude. La moyenne altimétrique du bassin est de l'ordre de 145m. Dans sa partie Sud-est, les reliefs sont élevés (300-350m) et accidentés, avec des vallées bien encaissées. A l'Est, la présence d'un plateau incliné Nord-ouest permet l'élargissement des vallées, avec des versants abrupts, et dans les secteurs Ouest, les reliefs sont relativement plats [BIOS, 2004].

## II. CLIMAT ET PLUVIOMETRIE

Le bassin versant du Loing est soumis à un climat à tendance océanique atlantique, nuancé par des influences continentales (notamment à l'Est, sur les contreforts du Morvan), et méditerranéennes. De plus, le relief contribue à des modifications locales.

Il en résulte des hivers relativement doux avec des températures moyennes annuelles de l'ordre de 10 - 11°C. L'amplitude thermique est de 17°C, et correspond à la différence entre le mois le plus doux (19.5°C en juillet) et le mois le plus froid (2.5°C en janvier). Les vents prédominants viennent de l'Ouest, apportant les pluies et la douceur océanique. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 700mm, et sont assez bien réparties sur l'ensemble de l'année [BIOS, 2004].

Au niveau du bassin du Loing à Chalette, 3 postes pluviométriques ont été mis en évidence : Amilly (45), Rogny-les-7-écluses (89) et Charny (89) (Cf. Figure 2 : Carte de présentation du réseau hydrographique du Loing et des stations de mesures, p.4). Les hauteurs de précipitations cumulées en 1 jour, pour des périodes de retour de 5 à 100 ans, sont les suivantes (Cf. Tableau 1 : Hauteurs de précipitations cumulées en 1 jour, H (mm)) :

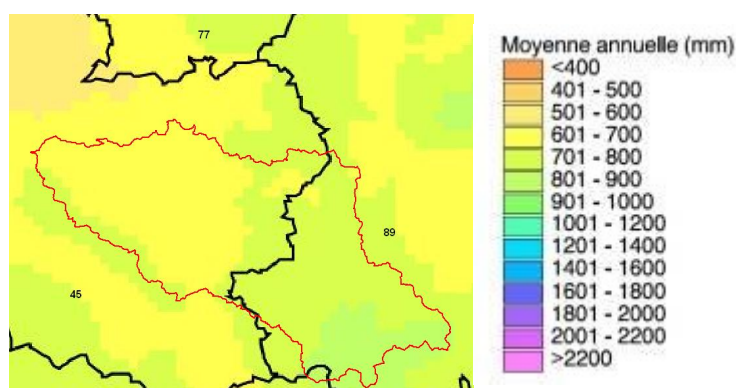
Tableau 1 : Hauteurs de précipitations cumulées en 1 jour, H (mm)

|             | Code station | 5 ans | 10 ans | 20 ans | 50 ans | 100 ans |
|-------------|--------------|-------|--------|--------|--------|---------|
| Amilly (45) | 45004001     | 41    | 47     | 53     | 61     | 66      |
| Charny (89) | 89086001     | 39    | 44     | 49     | 56     | 61      |
| Rogny (89)  | 89324001     | 37    | 41     | 46     | 52     | 57      |

Source : Météo France, 1999

L'examen de ces valeurs met en évidence une relative homogénéité de la pluviométrie entre les différentes stations de mesures. Cependant, nous remarquons que ces stations sont proches les unes des autres ; la représentativité aurait été meilleure si nous avions disposé de points de mesures plus éloignés. En particulier, il aurait été souhaitable de pouvoir disposer d'une station pluviométrique en tête de bassin versant, en vue de tenir compte de la plus forte pluviométrie, telle que la met en évidence la carte Météo France ci-dessous. (Cf. Figure 3 : Cumul annuel des précipitations [1961-1990], sur le bassin du Loing à Chalette)

Figure 3 : Cumul annuel des précipitations [1961-1990], sur le bassin du Loing à Chalette



Source : Météo France

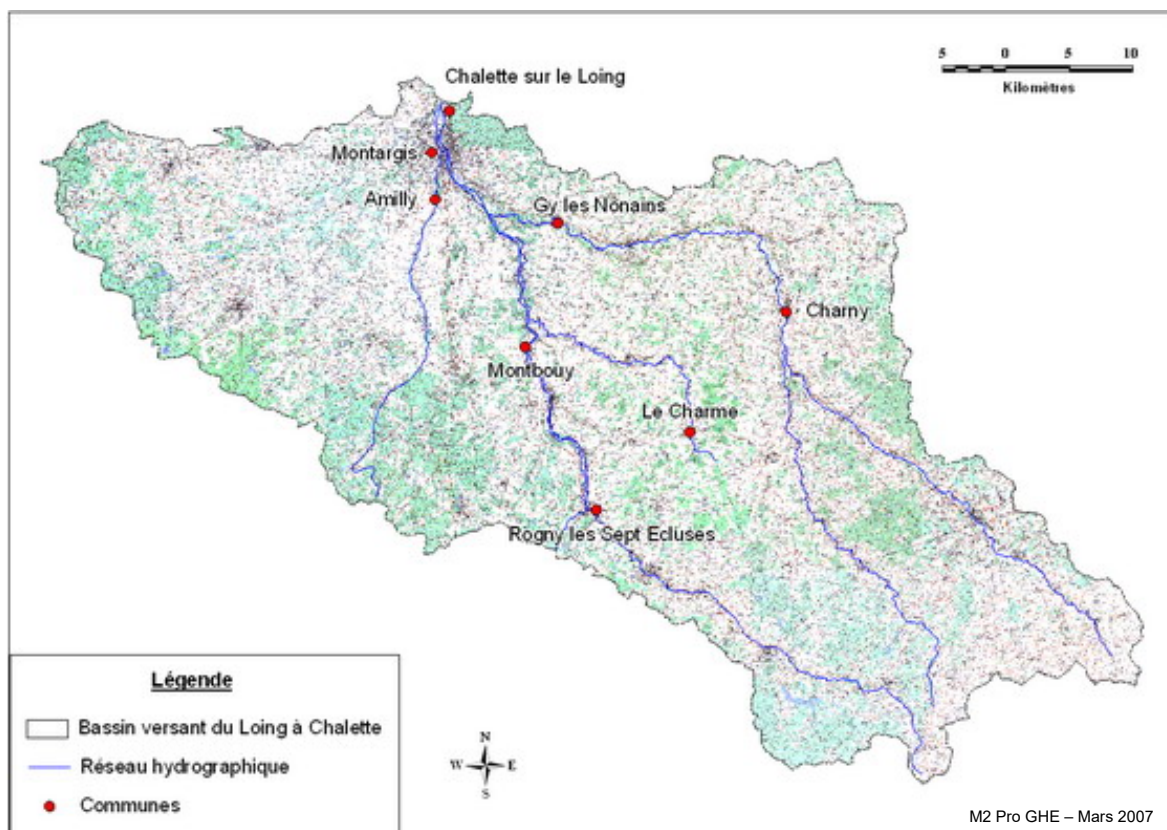
On note que le bassin est plus arrosé dans sa partie Sud-est, et d'une façon générale les pluies sont plus abondantes dans l'Est, sur le bassin versant de l'Ouanne. Les sources du Loing et de l'Ouanne étant très proches, ces deux rivières sont dans la plupart des cas en crue en même temps.

### III. OCCUPATION DU BASSIN VERSANT DU LOING A CHALETTE.

L'occupation du sol du bassin versant est marqué par la prédominance des espaces voués à l'agriculture. Dans les départements de l'Yonne et du Loiret, les espaces agricoles représentent près de 80% du territoire.

Les prairies sont peu présentes sur le bassin et se localisent surtout en amont des bassins du Loing et de l'Ouanne. Les forêts occupent une plus grande place dans l'occupation du sol (environ 18%), et se localisent principalement en amont du bassin (mêlées aux prairies), ainsi qu'à proximité de la commune de Montargis (forêt domaniale de Montargis), et de manière éparse à l'Ouest du bassin (Cf. Figure 4 : Carte de l'occupation du sol).

Figure 4 : Carte de l'occupation du sol



Les zones urbanisées sont peu nombreuses et assez éloignées les unes des autres, ce qui engendre un tissu urbain lâche et peu dense. La densité de population est de 73 hbts/km<sup>2</sup> (moyenne nationale : 100 hbts/km<sup>2</sup>), et les communes les plus importantes, qui se situent à l'aval de notre bassin d'étude, sont les suivantes (Cf. Tableau 2 : Communes les plus importantes sur la bassin du Loing à Chalette).

Tableau 2 : Communes les plus importantes sur la bassin du Loing à Chalette

| Commune            | Département | Population en 1999 (hbts) |
|--------------------|-------------|---------------------------|
| Amilly             | 45          | 12 227                    |
| Chalette sur Loing | 45          | 14359                     |
| Montargis          | 45          | 16 427                    |

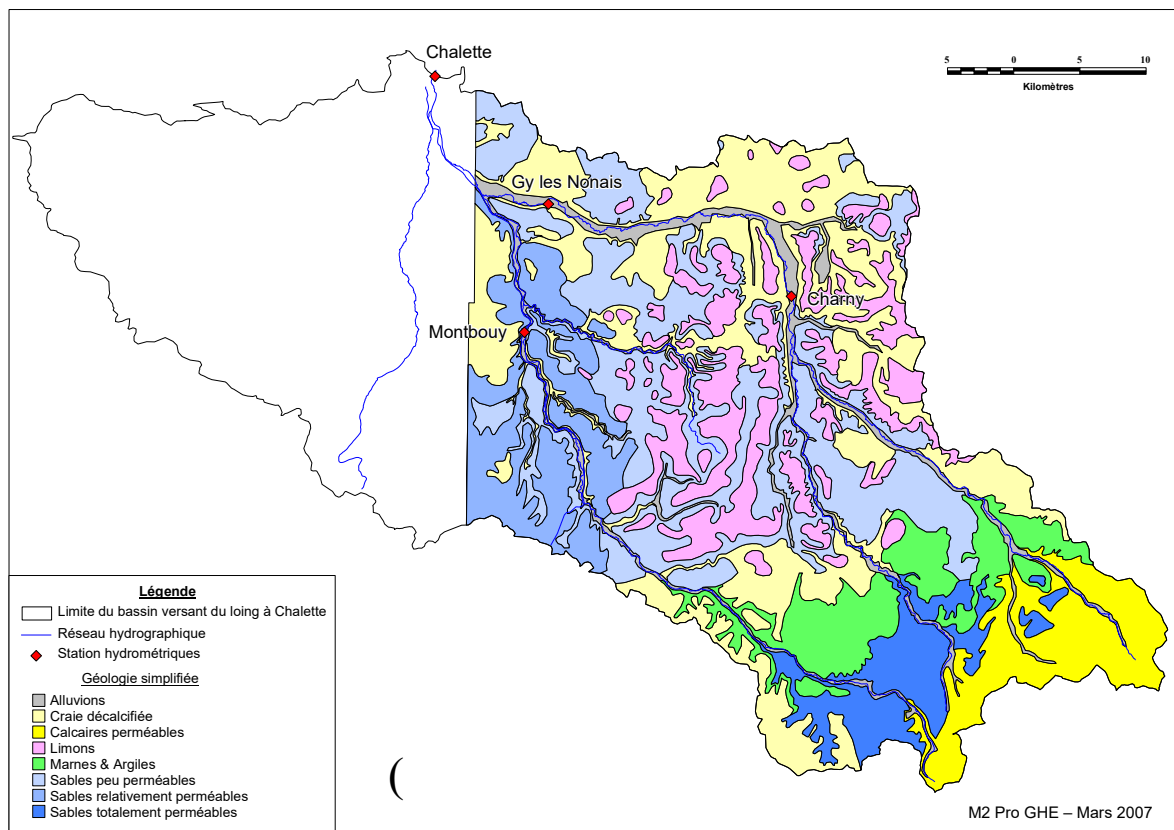
Source : BIOS, 2004

## IV. GEOLOGIE

L'étude géologique du bassin versant a le plus souvent pour objet le classement des sols d'après leur plus ou moins grande perméabilité, et permet de mieux comprendre ses caractéristiques hydrologiques, comme la rapidité de la montée des crues... [MARTIN, J.F., 1971]

Le bassin du Loing s'inscrit dans le grand ensemble géologique et tectonique du Bassin parisien à son extrémité Sud-est. Afin de mieux comprendre la géologie complexe de ce bassin, les cartes géologiques (au 1/80 000<sup>ème</sup>) d'Auxerre et de Clamecy ont été synthétisées et analysées (Cf. Figure 5 : Carte de la géologie simplifiée du Loing à Chalette). Comme il est possible de le constater sur la Figure 5, il manque les données géologiques sur l'Ouest du bassin. Nous ne nous sommes pas consacrés à cette zone, car elle n'influence pas la réaction du bassin versant d'étude. En effet, Montargis se situe juste en aval de la confluence du Loing et de l'Ouanne.

Figure 5 : Carte de la géologie simplifiée du Loing à Chalette



Les unités mises en évidence sur cette carte sont les suivantes :

- Alluvions

Ce sont des dépôts sédimentaires fluviaux qui occupent le fond des vallées. Ils sont formés de gros cailloux, sables et graviers. Leur distribution se limite aux abords des cours d'eau, et n'influence donc pas la réaction du bassin en cas de forts événements pluvieux. Ils abritent la nappe alluviale, et jouent donc un rôle prépondérant dans son fonctionnement.

- Craie décalcifiée

La craie décalcifiée se traduit par une gangue sablo argileuse contenant des silex. Compte tenu de sa matrice, nous avons qualifié cette formation de moyennement ruisselante, et se situe majoritairement dans la partie Nord-est du bassin.

- Calcaires perméables

Ce sont des calcaires perméables et fissurés, qui, avec des pertes de rivières, forment en profondeur de véritables plans d'eau souterrains. Cette formation infiltrante ne contribue pas au ruissellement de surface. Ces calcaires se situent en tête de bassin.

- Limons

Les limons sont fortement ruisselants, et peuvent mesurer jusqu'à 2m d'épaisseur. On les trouve essentiellement sur les plateaux. Ils se localisent en taches à l'amont du bassin, puis deviennent plus continus entre le Loing et l'Ouanne.

- Marnes et Argiles

Les marnes et argiles sont des formations fortement ruisselantes ; elles se localisent dans la partie amont du bassin.

- Sables peu perméables

Ces sables sont composés de chailles dans une gangue argilo sableuse, ce qui entraîne une faible perméabilité ( $10^{-6}$  à  $10^{-7}$ ) et favorise les écoulements de surface. Ils se localisent surtout dans la partie centrale du bassin, en mélange avec des taches de limons.

- Sables relativement perméables

Ces sables sont également constitués de chailles dans une gangue, sauf que la matrice est sablo argileuse, donc plus infiltrante. Cette formation se localise le long du Loing, depuis Rogny-les-7-écluses jusqu'à sa confluence avec l'Ouanne.

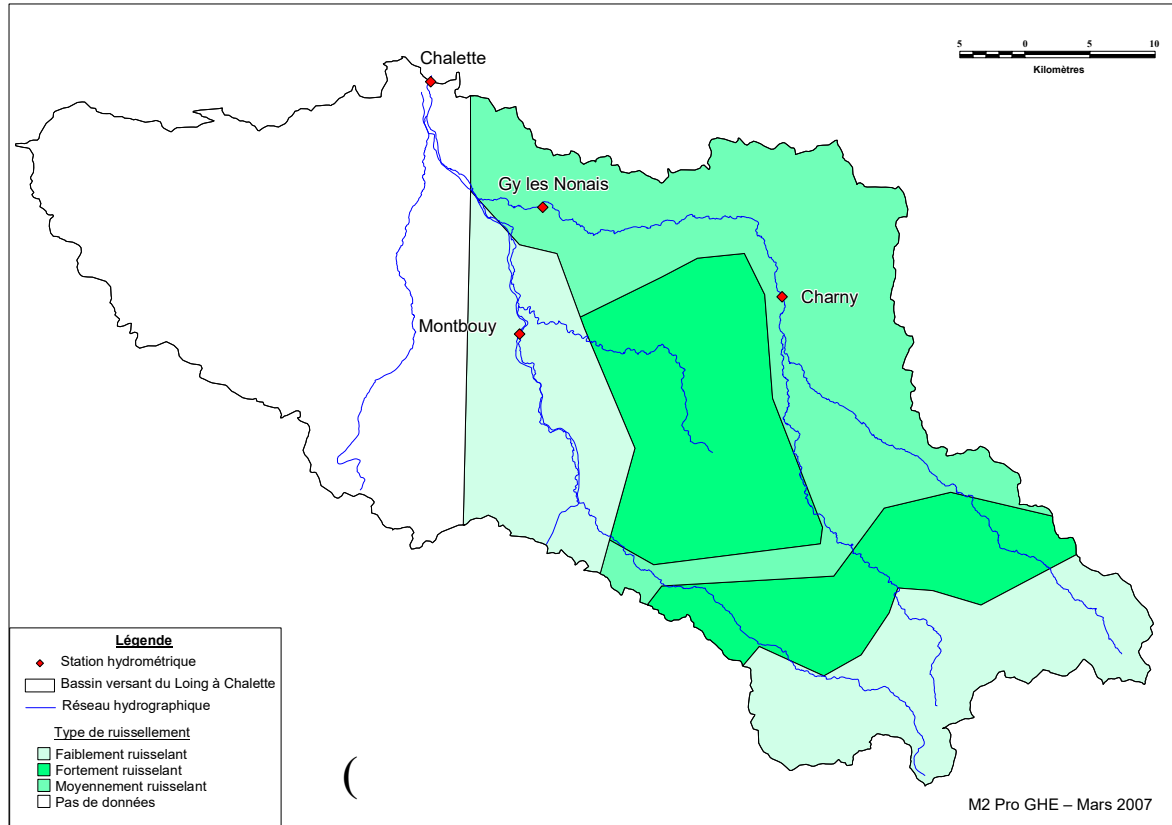
- Sables totalement perméables

Cette dernière formation est totalement infiltrante puisqu'elle est constituée de sables "purs". Elle se situe en tête de bassin comme les calcaires perméables.

La configuration spatiale de ces différentes formations, qui sont plus ou moins infiltrantes, a permis de créer une carte qui traduit de façon schématique la capacité au ruissellement du bassin versant (cf.

Figure 6 : Carte de ruissellement, page suivante).

Figure 6 : Carte de ruissellement



Dans le Sud du bassin, l'association des sables et des calcaires constitue une étendue où le ruissellement est faible, ce qui forme un "terroir hydrologique tampon". L'eau baigne ces formations qui reposent sur les marnes. La limite entre les formations calcaires & sableuses avec les marnes est le siège de nombreuses sources.

Plus en aval, l'association des sables peu perméables et de la craie décalcifiée forme une grande étendue, qualifiée de moyennement ruisselante. La zone encadrée par le Loing et l'Ouanne est principalement caractérisée par un fort ruissellement, due à l'association des sables peu perméables et des limons. Pour finir, le Loing s'écoule dans des terrains faiblement ruisselants (dus aux sables relativement perméables) en aval de Rogny, jusqu'à sa confluence avec l'Ouanne.

On remarque que l'Ouanne et le Loing traversent simultanément des terrains de caractéristiques assez proches, du point de vue du ruissellement. Ce phénomène laisse pressentir une réponse similaire de la tête de bassin de ces derniers, en cas de pluies homogènes.

D'autre part, on note un réseau de failles dans le Nord du bassin versant des deux rivières, ce qui favorise parfois les sources. L'ensemble des traits structuraux, des ondulations de terrains et des jeux de failles, est aussi un élément fondamental dans l'organisation des cours d'eau du bassin du Loing.

## V. HYDROLOGIE

### 1) Méthodologie

Dans cette partie, nous allons brièvement détailler la méthodologie utilisée dans l'étude hydrologique, afin de déterminer le  $Q_{100}$  aux différentes stations de mesure.

Avant de procéder à l'analyse statistique des données hydrométriques, nous allons d'abord étudier les hydrogrammes de crues, au droit des stations de mesure. Cela nous permettra de qualifier la réponse du réseau hydrographique et de valider les valeurs de débits que nous obtiendrons.

Par la suite, nous allons réaliser l'analyse statistique, qui nécessite l'utilisation d'un certain nombre de méthodes dont voici les principes, afin d'en faciliter la compréhension:

#### **a. Notion de Période de retour**

Les données hydrométriques disponibles permettent de faire des estimations de probabilités d'occurrence, de Fréquences de non-dépassement ( $F_{nd}$ ), et de valeurs de débits.

L'échelle de comparaison de ces probabilités est usuellement la notion de " période de retour ". La période de retour, notée  $T$ , est l'inverse de la Fréquence de dépassement ( $F_d$ ). La définition rigoureuse (domaine des probabilités) est :

$$P(Q < Q_T) = 1 - \frac{1}{T}$$

Avec :

$1-1/T$  : probabilité de non dépassement ou

Fréquence de non dépassement ( $F_{nd}$ )

$T$  : période de retour (en année)

$1/T$  : probabilité de dépassement ( $F_d$ )

La probabilité d'endurer, une année donnée, une crue inférieure à la crue décennale ( $T = 10$  ans), est 90 %. Autrement dit, on a 10% de chance d'avoir une crue décennale chaque année. Cette probabilité, donnée pour une année, ne signifie en aucun cas qu'une crue  $T=10$  à l'année  $N$  garantit qu'aucune crue  $T=10$  ne surviendra pendant les 9 années suivantes.

Il en va de même pour la crue centennale ( $T = 100$  ans) : on a 1 % de chance de subir chaque année, mais on peut parfaitement subir deux années de suite. L'exemple des crues de la Loire de 1846, 1856 et 1866 illustre bien la répétitivité possible des crues exceptionnelles [d'après D. Goutx, Avril 2005].

#### **b. Ajustement de Gumbel**

Cette méthode se base sur l'analyse statistique des débits maximums mesurés chaque année hydrologique (entre septembre de l'année  $N$  et août de l'année  $N+1$ ), au droit d'une station. Cette analyse détermine les valeurs de débits de pointe ( $Q_p$  en  $m^3/s$ ) correspondant à différentes périodes de retour de crue.

L'étude d'une station hydrométrique a pour but d'ajuster les débits mesurés pendant une période donnée (n années) à une loi double exponentielle de Gumbel, dite "loi des valeurs extrêmes".

Cela se fait moyennant l'affectation préalable, à chaque valeur de débit (enregistrée chaque année, de l'année 1 à n), d'une fréquence expérimentale selon son rang de classement. Pour cela on range les débits dans un ordre croissant, puis, à partir de leur rang (i) et du nombre de rangs (n), on calcul leur Fréquence de non-dépassement (Fnd) à l'aide de la formule de Hazen :

$$Fnd = \frac{i - 0.5}{n}$$

La série de données obtenue ne permettant pas d'extrapoler les valeurs de débits pour des fréquences extrêmes, nous opérons un changement de variables à l'aide de la Loi de Gumbel :

$$U = -\ln(-\ln(Fnd))$$

Ce changement de variable permet de tracer le nuage de points ( $Q_p = F(U)$ ) correspondant au jeu de données, puis de l'ajuster à l'aide d'une droite de régression. Cette droite peut être définie à l'aide de différentes techniques : la méthode des Moindres Carrés (ajustement réalisé automatiquement par Excel), la méthode des Moments, et la méthode du Maximum de vraisemblance.... Nous avons ici opté pour la méthode des Moments, car elle s'avère la plus juste [d'après LANG M., 2005].

L'équation de la droite correspondant à la méthode des Moments est du type :

$$Q_p = \frac{1}{a}U + X_0$$

Avec :

$Q_p$  : débit calculé

$U$  : valeur fonction de Fnd (donc du temps de retour T)

Les paramètres de l'équation sont calculés à l'aide des formules suivantes :

$$\frac{1}{a} = 0.78\sigma$$

$$X_0 = Q_m - \frac{0.577}{a}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Q_i - Q_m)^2}{n-1}}$$

Avec :

$Q_m$  : moyenne des valeurs de débits utilisés

$Q_i$  : valeur de débit associée à un rang i donné

$n$  : nombre d'années de mesure

$\sigma$  : écart type

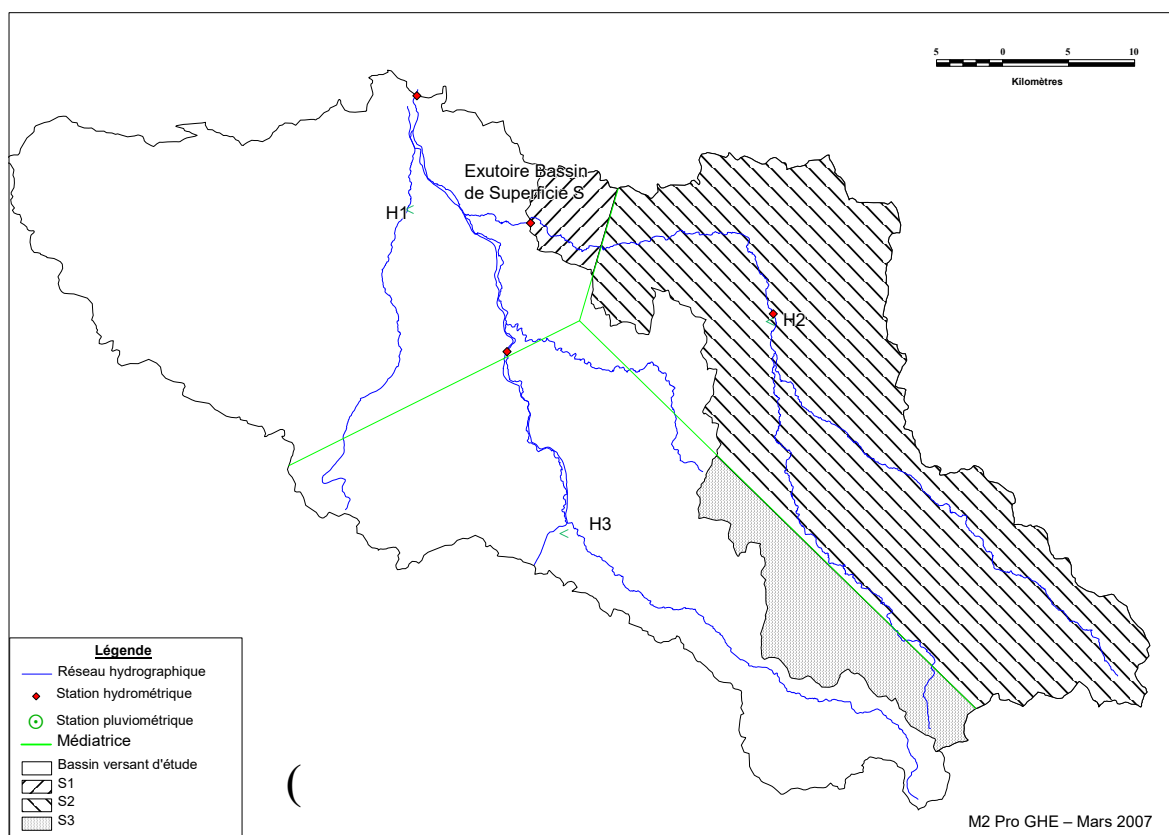
A l'aide de cette équation, on en déduit les valeurs des débits maximums annuels correspondant aux périodes de retour usuelles (T= 10, 20, 50). Le traitement statistique des données par une loi de Gumbel permet d'obtenir des débits assez fiables, pour des périodes de retour n'excédant pas 2 fois le nombre d'années de mesure.

### c. Triangles de Thiessen

Les triangles de Thiessen sont utilisés en vue d'estimer la pluviométrie au droit des stations hydrométriques, à l'aide d'un système de pondération des pluies issues des pluviomètres.

Le bassin d'étude est découpé à l'aide de médiatrices (entre les stations pluviométriques), afin de déterminer les surfaces qui correspondent aux différents pluviomètres (Cf. Figure 7 : Principe des triangles de Thiessen). Les bassins des stations hydrométriques s'étendent le plus souvent sur plusieurs pluviomètres ; nous procédons donc à une pondération de surface pour obtenir la pluie la plus représentative à la station hydrométrique. Les données de pluies utilisées sont celles issues des ajustements de Météo France.

Figure 7 : Principe des triangles de Thiessen



Cette estimation se fait à l'aide des formules suivantes :

$$H = \frac{S_1}{S} \times H_1 + \frac{S_2}{S} \times H_2 + \frac{S_3}{S} \times H_3$$

$$\frac{S_1}{S} + \frac{S_2}{S} + \frac{S_3}{S} = 1$$

Avec :

$H$  : Hauteur d'eau calculée à la station hydrométrique

$H_1$  : Hauteur d'eau du pluviomètre  $P_1$

$H_2$  : Hauteur d'eau du pluviomètre  $P_2$

$H_3$  : Hauteur d'eau du pluviomètre  $P_3$

$S$  : Surface de bassin correspondant à la station hydrométrique

$S_1$  : Surface du bassin  $S$  incluse dans le bassin du pluviomètre  $P_1$

$S_2$  : Surface du bassin  $S$  incluse dans le bassin du pluviomètre  $P_2$

$S_3$  : Surface du bassin  $S$  incluse dans le bassin du pluviomètre  $P_3$

#### d. Méthode du Gradex

L'hypothèse de base est qu'au-delà d'une certaine quantité de pluie (correspondant à la saturation du bassin versant), tout accroissement des précipitations tend à produire un accroissement égal du débit. C'est-à-dire que tout le volume de pluie qui tombe sur le bassin versant se retrouve par un chemin ou un autre (ruissellement direct ou échange avec la nappe) dans la rivière et contribue au volume de la crue. Ainsi, à partir d'un certain temps de retour, la loi des débits peut être extrapolée par une droite de même pente que celle des pluies.

Pour se faire, on utilise les données suivantes :

- Les débits moyens journaliers (QMJ en m<sup>3</sup>/s), disponibles sur la Banque-hydro
- Les hauteurs de pluies extrêmes cumulées sur 24h au droit des stations hydrométriques (Cf. Thiessen)

Il faut tout d'abord transformer les QMJ en lame d'eau écoulée sur le bassin (en mm), à l'aide de la formule suivante :

$$QMJ(mm) = QMJ(m^3 / s) \times \frac{3600 \times 24}{S_{Bas\ sin}(m^2)} \times \frac{1}{1000}$$

On étudie ensuite la loi des pluies extrêmes cumulées sur 24h, à l'aide d'un ajustement de Gumbel. Puis, on extrapole la distribution des QMJ (en mm) par la celle des pluies (pluies journalières en mm). Cette extrapolation se base sur le fait qu'au-delà d'une période retour donnée, appelée le "point pivot" ( $10 < T < 50$  ans), les volumes de crues suivent la même distribution que les cumuls de pluies. Le point pivot se définit généralement en fonction de la géologie et de la réaction du bassin versant aux événements pluvieux (crues passées).

Pour extrapoler les valeurs de QMJ, nous utilisons le coefficient directeur de la droite de régression des pluies, dont l'équation est du type  $y = ax + b$ . La formule utilisée pour déterminer les QMJ est donc la suivante :

$$a = \frac{Q_{100} - Q_{50}}{\left[ -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{100}\right)\right) \right] - \left[ -\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{50}\right)\right) \right]}$$

Avec :

$T = 50$  ans : Point pivot

$Q_{50}$  : QMJ en mm

$Q_{100}$  : QMJ recherché

Une fois les QMJ d'occurrences rares calculés, ils doivent être reconvertis en m<sup>3</sup>/s, avant d'être transformés en débits de pointe (Qp). La conversion se fait grâce à l'étude de la fonction  $Qp = f(QMJ)$ , le rapport Qp/QMJ étant le plus souvent disponible sur les fiches Crucal des Diren.

## 2) Etude hydrologique du Loing

### a. **Caractéristiques du bassin versant du Loing à Chalette**

Les paramètres principaux du Loing à Chalette, et de son bassin versant, sont répertoriés et étudiés ci-dessous.

#### ➤ **DONNEES CONCERNANT LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**

- Longueur du linéaire à Chalette : **L = 87.22 km**
- Longueur de linéaire des différents affluents

Tableau 3 : Longueur de linéaire des affluents

| Affluent    | Rive du Loing | Distance source Loing (km) | Longueur (km) |
|-------------|---------------|----------------------------|---------------|
| L'Aveyron   | Droite        | 64.12                      | 29.96         |
| L'Ouanne    | Droite        | 75.41                      | 83.49         |
| Le Puisieux | Gauche        | 83.77                      | 36.90         |

- Densité de drainage :

La densité de drainage, introduite par Horton, correspond à la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant.

$$D_d = \frac{\sum Li}{S}$$
$$D_d = 0.4$$

Avec :

$D_d$  : Densité de drainage (km/km<sup>2</sup>)

$Li$  : longueur de cours d'eau (km)

$S$  : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>)

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie), des caractéristiques topographiques, du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatologique et anthropiques. Pour obtenir cette valeur, nous avons calculé la longueur du réseau complet ( $\cong 1000$  km), grâce à l'exploitation de la Base de Données Cartage sous SIG (Système d'Information Géographique).

#### ➤ **CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN**

- Dimensions du bassin d'étude :

Superficie du bassin : **S = 2300 km<sup>2</sup>**

Périmètre du bassin : **P = 302.8 km**

- Pente en m/m : **p = 0.0027 m/m = 2.7 m/km**

Cette valeur correspond à la pente moyenne du Loing. La pente varie tout au long du linéaire, mais nous pouvons obtenir une valeur moyenne en utilisant les cotes altimétriques de la source ( $Z = 317.5$  m NGF) et de l'exutoire du bassin d'étude, à Chalette ( $Z = 82.5$  m NGF).

Ce paramètre détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin, donc le temps de concentration. Cette variable influence donc le débit maximal observé. La pente étant plutôt douce, il n'y a pas d'accélération prononcée des écoulements superficiels.

- Indice de Gravelius :

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire de ce dernier. Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration. Il existe différents indices morphologiques dont l'indice de compacité de Gravelius ( $K_g$ ). Cet indice se traduit par la formule suivante :

$$K_g = \frac{P}{2\sqrt{\pi} \cdot S} \approx 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

$$K_g = 1.7$$

Avec :

$P$  : le périmètre du bassin (km)

$S$  : la surface du bassin versant (km<sup>2</sup>)

L'indice de **Gravelius de 1.7** indique que ce bassin versant présente une forme allongée. Ainsi, le temps de concentration du bassin versant sera important et la réponse hydrologique, au regard d'un bassin plus compact, sera plus faible (pour une pluie tombant au même moment sur l'ensemble du bassin versant). En conséquence, la partie aval du bassin versant aura ruisselé avant que le débit issu des secteurs amont "n'arrive".

- Rectangle équivalent du bassin d'étude :

La notion de rectangle équivalent a pour principale vocation de comparer des bassins versant entre eux, en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement.

La longueur  $L$  (en km) et la largeur  $I$  (en km) sont définies à l'aide des formules suivantes :

$$S = I \cdot L \quad \text{et} \quad P = 2I + 2L \quad \Rightarrow \quad 2L^2 - PL + 2S = 0$$

Avec :

$P$  : périmètre du bassin (km)

$S$  : surface du bassin (km<sup>2</sup>)

$L$  : Longueur (km)

$I$  : largeur (km)

La résolution de cette équation du second degré est :

$$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 8S}}{4}$$

Les dimensions du rectangle équivalent, correspondant au bassin du Loing à Chalette, sont : **L = 143km** et **I = 16km**, ce qui confirme la forme allongée du bassin.

## ➤ PARAMETRES CARACTERISANT LE COMPORTEMENT HYDROLOGIQUE

### • Temps de concentration :

Ce paramètre correspond au maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre le point amont le plus éloigné d'un bassin et son exutoire. Nous avons appliqué deux méthodes de calcul :

Giandotti :

$$Tc = 60 \times \frac{0,4\sqrt{S} + 0,0015L}{0,8\sqrt{p} \times L}$$

$$Tc = 1577 \text{ min} = 26 \text{ h}$$

Avec :

$Tc$  = temps de concentration en min

$S$  = superficie en ha

$L$  = longueur du linéaire en m

$p$  = pente en m/m

Sogreah 1 :

$$Tc = 2,60 \times \frac{S^{0,35}}{p^{0,40}}$$

$$Tc = 2085 \text{ min} = 35 \text{ h}$$

Ces deux formules permettent d'obtenir un ordre de grandeur du  $Tc$ , nous pouvons donc considérer que le temps de concentration oscille autour de **30h**. Cette valeur confirme le résultat obtenu par l'indice de Gravelius (forme allongée du bassin versant, et donc longueur " importante " du plus long parcours de l'eau), et indique une vitesse d'écoulement moyenne à faible, de l'ordre de 1 m/s (Cf. la pente moyenne du cours d'eau : 0,27 %).

## ➤ SYNTHESE DES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES

Tableau 4 : Synthèse des caractéristiques du Loing et de son bassin

|                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| Longueur du linéaire du Loing | 87.22 km             |
| Superficie du bassin d'étude  | 2300 km <sup>2</sup> |
| Périmètre du bassin d'étude   | 302.8 km             |
| La pente moyenne du Loing     | 2.7 m/km             |
| Indice de Gravelius           | 1.7                  |
| Temps de concentration        | 30 h                 |

La complexité globale du bassin ne permet pas d'émettre de conclusions générales sur le fonctionnement du réseau. Nous pouvons cependant relever un certain nombre de caractéristiques :

- La forme du bassin versant favorise une réponse lente, avec des débits spécifiques peu élevés à l'aval (puisque les eaux n'arrivent pas toutes en même temps à l'exutoire, mais de façon étalée).
- La pluviométrie est importante en tête de bassin, ce qui va influencer les débits produits dans cette zone. D'autre part, les eaux issues des pluies plus faibles de l'aval, passeront à l'exutoire avant celles venues de l'amont.

- La géologie, quant à elle, provoque une réaction inverse. En effet, l'amont du bassin constitue une formation tampon (infiltration et stockage de l'eau), tandis que le ruissellement est plus prononcé en aval.

### ***b. Données à disposition pour l'étude hydrologique***

Au niveau du bassin du Loing à Chalette, nous avons identifié 4 stations hydrométriques exploitables pour notre étude (Cf. Figure 2 : Carte de présentation du réseau hydrographique du Loing et des stations de mesures, p.4) :

- station H3201010 à Chalette-sur-Loing (sur le Loing)
- station H3021010 à Montbouy (sur le Loing)
- station H3122010 à Charny (sur l'Ouanne)
- station H3122020 à Gy-les-Nonains (sur l'Ouanne)

Les caractéristiques principales de ces stations sont les suivantes (Cf. Tableau 5 : Caractéristiques principales des stations hydrométriques) :

Tableau 5 : Caractéristiques principales des stations hydrométriques

| Station  | Département | Gestionnaire        | Surface contrôlée    | Exploitation |
|----------|-------------|---------------------|----------------------|--------------|
| Chalette | 45          | Diren Ile de France | 2300 km <sup>2</sup> | depuis 1968  |
| Montbouy | 45          | Diren Centre        | 409 km <sup>2</sup>  | depuis 1981  |
| Charny   | 89          | Diren Bourgogne     | 562 km <sup>2</sup>  | depuis 1969  |
| Gy       | 45          | Diren Centre        | 883 km <sup>2</sup>  | depuis 1969  |

Source : Banque HYDRO

### ***c. Analyses des hydrogrammes de crues***

L'étude des stations hydrométriques permet de mettre en évidence les crues récentes connues sur le bassin versant :

- 1978
- 1982
- 1996
- 2001 (mars et décembre)

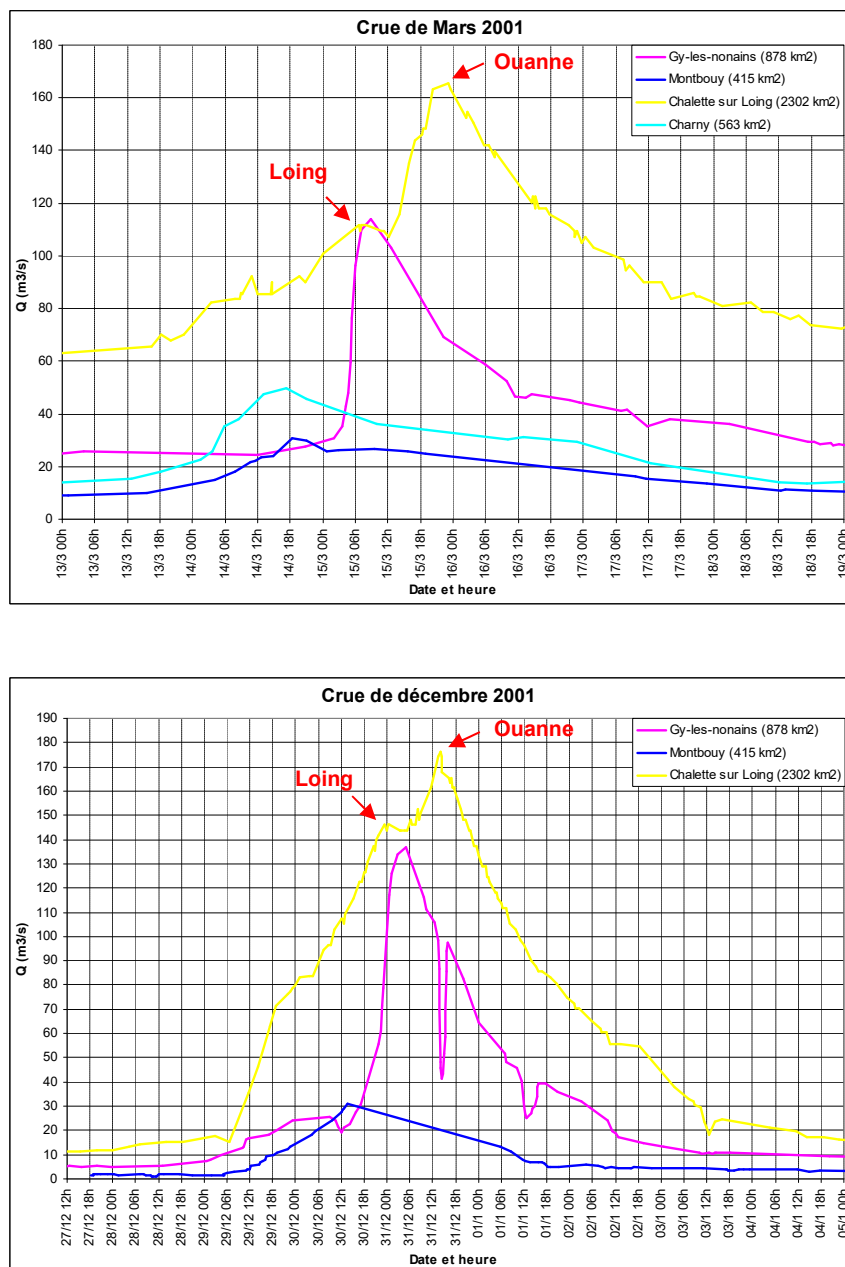
Voici le récapitulatif des données que nous possédons pour chaque crue :

Tableau 6 : Récapitulatif des hydrogrammes disponibles

|          |                       | 1978 | 1982 | 1996 | 03/2001 | 12/2001 |
|----------|-----------------------|------|------|------|---------|---------|
| H3201010 | <b>Loing Chalette</b> |      |      | x    | x       | x       |
| H3021010 | <b>Loing Montbouy</b> |      | x    |      | x       | x       |
| H3122010 | <b>Ouanne Charny</b>  | x    | x    |      | x       |         |
| H3122020 | <b>Ouanne Gy</b>      |      |      | x    | x       | x       |

Seule la crue de mars 2001 nous permet d'avoir toutes les stations en même temps. Cependant la crue de décembre 2001 va nous permettre de confirmer l'analyse réalisée (Cf. Figure 8 : Hydrogrammes des crues de mars et décembre 2001).

Figure 8 : Hydrogrammes des crues de mars et décembre 2001



L'étude de ces hydrogrammes permet de tirer 3 informations majeures : la réaction similaire (mais non proportionnelle) du Loing et de l'Ouanne, l'évolution des débits de l'Ouanne, et la non sommation des débits à la confluence.

#### Comparaison du Loing et de l'Ouanne :

L'observation des stations de Montbouy ( $S = 409 \text{ km}^2$ ) et Charny ( $S = 562 \text{ km}^2$ ) met en évidence le comportement similaire des deux cours d'eau. En effet, les hydrogrammes sont en phase, et les pointes ont lieu approximativement au même moment. Les deux stations contrôlent des superficies différentes, mais si on applique une pondération à la surface, on s'aperçoit que la réaction de l'Ouanne est légèrement supérieure. Nous pouvons émettre plusieurs hypothèses pour expliquer cela :

- La présence du canal de Briare, qui permet la connexion de notre bassin d'étude à celui de la Loire. L'alimentation de ce canal se fait probablement en partie par le Loing, au niveau de la connexion se situant à Rogny-les-7-écluses.
- La présence de nombreux étangs en tête du bassin du Loing (témoins de l'extraction des graviers), qui peuvent stocker une partie du volume de crue. De plus, ces étangs sont le plus souvent connectés au canal de Briare à l'aide de rigoles, ce qui permet certainement d'assurer une partie de son alimentation.

#### Evolution des débits de l'Ouanne :

On observe une explosion du débit entre Charny ( $S = 562 \text{ km}^2$ ) et Gy-les-Nonais ( $S = 883 \text{ km}^2$ ). En effet, le débit augmente plus de 2.5 fois entre les deux stations, tandis que la surface n'augmente que de  $300 \text{ km}^2$ . L'étude des fiches Crucal de ces stations montre que si l'augmentation de débit n'est pas toujours aussi forte qu'en mars 2001, elle est toujours substantielle. Ainsi, la production du débit de crue du bassin se fait sur cette section. Afin de mieux comprendre ce phénomène, il serait intéressant d'approfondir l'analyse.

#### Débit de pointe à Chalette :

Sur les hydrogrammes de Chalette on remarque qu'il y a deux pointes de crue, la première étant bien inférieure à la seconde. Cette observation signifie qu'il n'y a pas sommation des pointes crue du Loing et de l'Ouanne, et que le volume d'eau provenant du Loing arrive d'abord à l'exutoire.

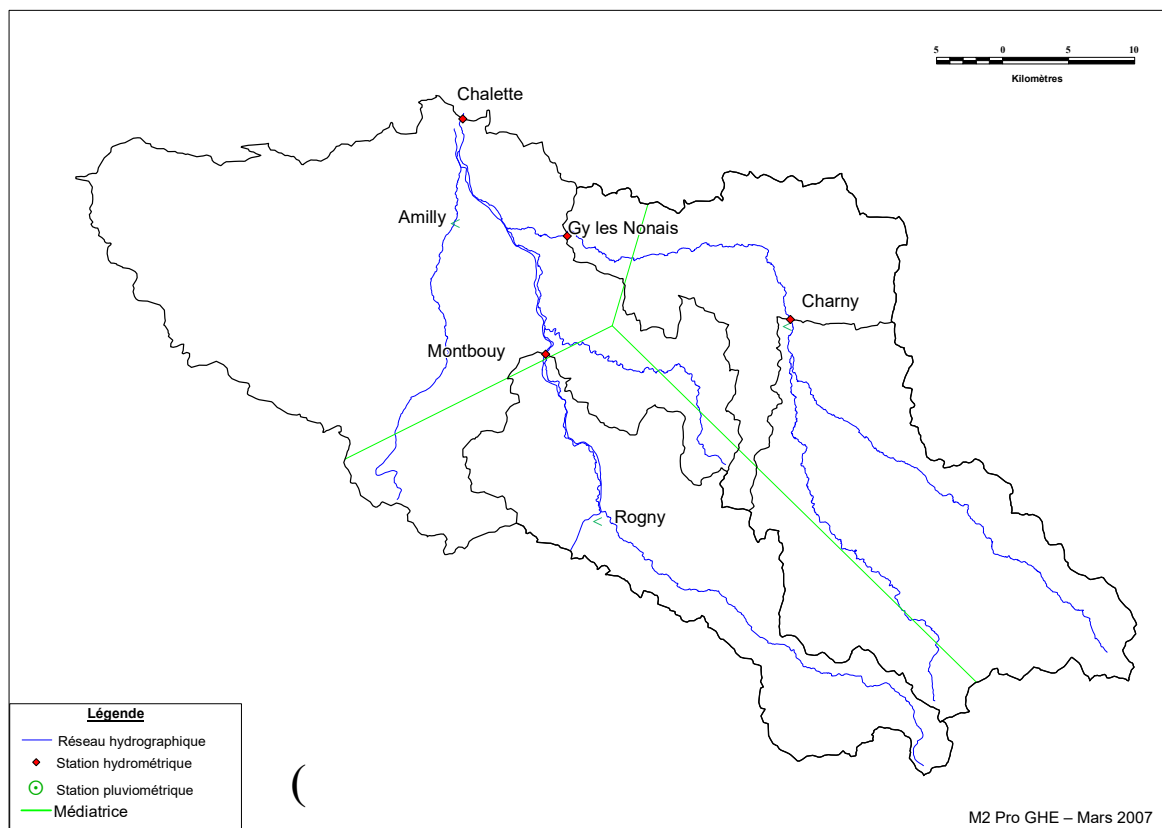
Cette analyse ayant été menée sur deux crues, il serait opportun de la poursuivre, en vue de déterminer si le fonctionnement mis en évidence est effectivement généralisable.

#### d. Etude des stations hydrométriques

##### ➤ TRIANGULATION DE THIESSEN

Comme nous l'avons vu précédemment (Cf. CLIMAT ET PLUVIOMETRIE), la répartition des pluviomètres du bassin ne favorise pas la meilleure représentativité des pluies. Cependant il n'existe pas d'autres données ; nous avons donc appliqué la méthode de Thiessen sur les stations disponibles (Charny, Amilly, Rogny-les-7-écluses) (Cf. Figure 9 : Triangles de Thiessen appliqués au bassin versant du Loing à Chalette).

Figure 9 : Triangles de Thiessen appliqués au bassin versant du Loing à Chalette



Les résultats obtenus au droit des stations hydrométriques sont les suivants (Cf. Tableau 7 : Hauteurs d'eau précipitées en 1 jour) :

Tableau 7 : Hauteurs d'eau précipitées en 1 jour (mm)

|                           | 5 ans | 10 ans | 20 ans | 50 ans | 100 ans |
|---------------------------|-------|--------|--------|--------|---------|
| <b>Chalette sur Loing</b> | 40    | 44     | 49     | 53     | 61      |
| <b>Gy les Nonains</b>     | 42    | 48     | 53     | 61     | 66      |
| <b>Montbouy</b>           | 37    | 41     | 46     | 52     | 57      |
| <b>Charny</b>             | 39    | 43     | 48     | 55     | 62      |

## ➤ APPLICATION DE GUMBEL ET GRADEX POUR OBTENTION DU Q100

Pour l'ensemble des stations étudiées, le nombre d'années de mesures est supérieur à 25 ans. Cela garantit les résultats obtenus par l'ajustement de Gumbel jusqu'à un temps de retour  $T = 50$  ans. Par conséquent, le point pivot de la méthode du Gradex a été fixé à 50 ans. Cette valeur étant d'autant plus justifiable que le bassin versant réagit assez lentement, de part sa forme et sa géologie.

### • La station de Montbouy (409 km<sup>2</sup>), sur le Loing - H3021010

Depuis la mise en fonctionnement de la station de Montbouy (1981), les plus fortes crues récentes mesurées sont les suivantes :

Tableau 8 : Station de Montbouy

| Date       | Débit de pointe (Qp en m <sup>3</sup> /s) |
|------------|-------------------------------------------|
| 09/01/1982 | 60.0                                      |
| 30/12/2001 | 30.7                                      |
| 09/04/1983 | 27.2                                      |
| 01/12/1996 | 25.9                                      |

Le traitement statistique des données par un ajustement de Gumbel (Cf. Annexe 1) permet d'obtenir le nuage de points  $Q_p = F(U)$  :

Figure 10 : Ajustement de Gumbel - Montbouy

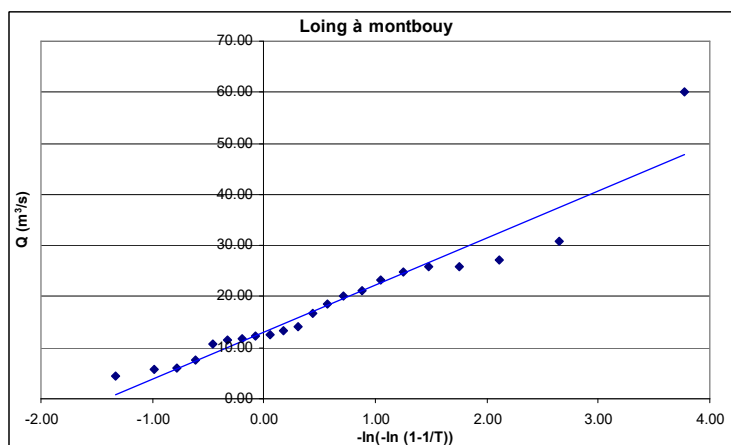
L'équation de la droite de régression, déterminée par la méthode des Moments, est la suivante :

$$Q_p = 9.375 \cdot U + 12.956$$

Avec :

$$Q_m = 18.366$$

$$\sigma = 12.020$$

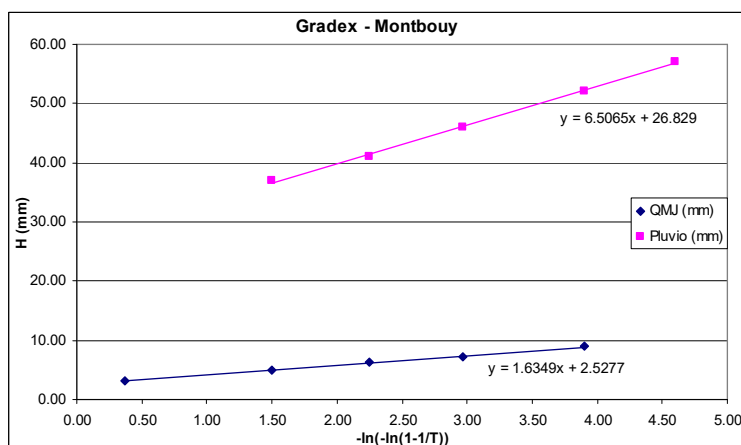


Etant donné que cet ajustement ne permet pas d'aller au-delà de  $T = 50$  ans, nous avons appliqué la méthode du Gradex. Sur le graphique ci-dessous figurent les ajustements des QMJ (mm) de Montbouy et des hauteurs H (mm) précipitées en 24h à Montbouy :

Figure 11 : Gradex - Montbouy

Le coefficient directeur de la droite de régression des pluies,  $a = 6.5065$ , nous permet de calculer  $QMJ_{100}$  à partir du point pivot  $QMJ_{50}$  :

|             |                      |
|-------------|----------------------|
| $QMJ_{50}$  | 43 m <sup>3</sup> /s |
| $QMJ_{100}$ | 65 m <sup>3</sup> /s |



Le rapport  $Q_p/QMJ$  fourni par la fiche Crucal de la station étant de 1.12, nous obtenons le  $Q_{p100}$  suivant :

$$Q_{p100} = 73 \text{ m}^3/\text{s}$$

En combinant les résultats obtenus par l'ajustement de Gumbel et la méthode du Gradex, nous obtenons les valeurs de  $Q_p$  au droit de la station de Montbouy (Cf. Tableau 9 : Débits de pointe à la station de Montbouy).

Tableau 9 : Débits de pointe à la station de Montbouy

| T   | Qp (m3/s) |
|-----|-----------|
| 10  | 34        |
| 20  | 41        |
| 50  | 50        |
| 100 | 73        |

- **La station de Charny, sur l'Ouanne (562 km<sup>2</sup>) - H3122010**

Depuis la mise en fonctionnement de la station de Charny (1969), les plus fortes crues récentes mesurées sont les suivantes :

Tableau 10 : Station de Charny

| Date       | Débit de pointe (Qp en m <sup>3</sup> /s) |
|------------|-------------------------------------------|
| 09/01/1982 | 110.0                                     |
| 30/03/1978 | 92.2                                      |
| 30/11/1996 | 60.9                                      |

Le traitement statistique des données par un ajustement de Gumbel (Cf. Annexe 2) permet d'obtenir le nuage de points  $Q_p = F(U)$  :

Figure 12 : Ajustement de Gumbel - Charny

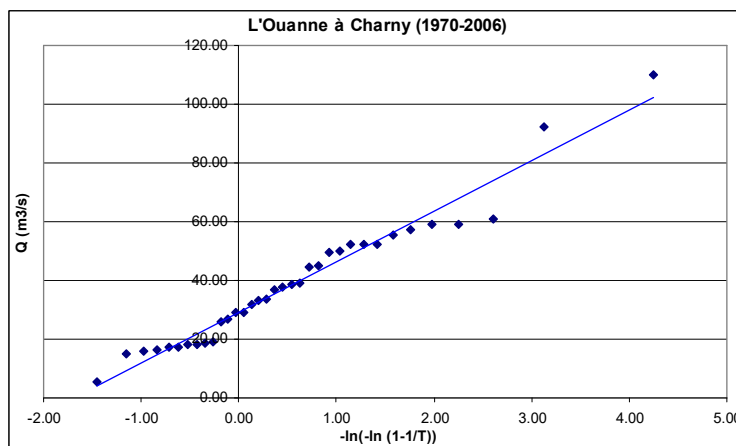
L'équation de la droite de régression, déterminée par la méthode des Moments, est la suivante :

$$Q_p = 17.212 \cdot U + 29.038$$

Avec :

$$Q_m = 38.970$$

$$\sigma = 22.067$$

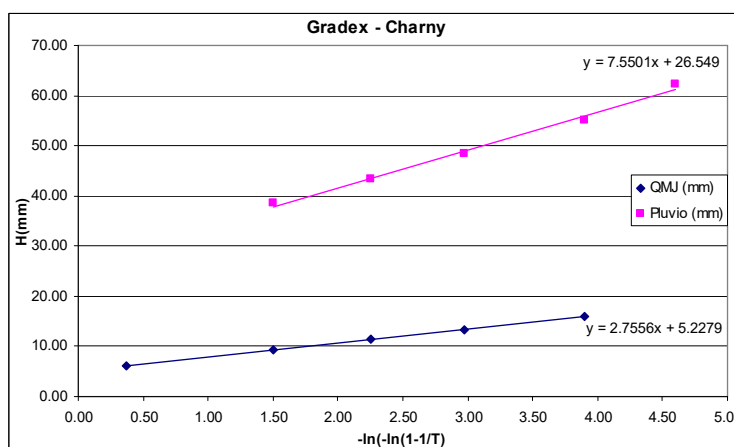


Etant donné que cet ajustement ne permet pas d'aller au-delà de  $T = 50$  ans, nous avons appliqué la méthode du Gradex. Sur le graphique ci-dessous figurent les ajustements des QMJ (mm) de Charny et des hauteurs  $H$  (mm) précipitées en 24h à Charny :

Figure 13 : Gradex - Charny

Le coefficient directeur de la droite de régression des pluies,  $a = 7.5501$ , nous permet de calculer  $QMJ_{100}$  à partir du point pivot  $QMJ_{50}$  :

|             |                       |
|-------------|-----------------------|
| $QMJ_{50}$  | 77 m <sup>3</sup> /s  |
| $QMJ_{100}$ | 102 m <sup>3</sup> /s |



Le rapport  $Q_p/QMJ$  fourni par la fiche Crucal de la station étant de 1.13, nous obtenons le  $Q_{p100}$  suivant :

$$Q_{p100} = 116 \text{ m}^3/\text{s}$$

En combinant les résultats obtenus par l'ajustement de Gumbel et la méthode du Gradex, nous obtenons les valeurs de  $Q_p$  au droit de la station de Charny (Cf. Tableau 11 : Débits de pointe à la station de Charny).

Tableau 11 : Débits de pointe à la station de Charny

| T   | Qp (m3/s) |
|-----|-----------|
| 10  | 68        |
| 20  | 80        |
| 50  | 96        |
| 100 | 116       |

- **La station de Gy-les-Nonains, sur l'Ouanne (883 km²) - H3122020**

Depuis la mise en fonctionnement de la station de Gy (1969), les plus fortes crues récentes mesurées sont les suivantes :

Tableau 12 : Station de Gy

| Date       | Débit de pointe (Qp en m³/s) |
|------------|------------------------------|
| 31/12/2001 | 136.00                       |
| 01/12/1996 | 131.00                       |
| 15/03/2001 | 114.00                       |
| 01/03/1978 | 106.00                       |

Le traitement statistique des données par un ajustement de Gumbel (Cf. Annexe 3) permet d'obtenir le nuage de points  $Q_p = F(U)$  :

L'équation de la droite de régression, déterminée par la méthode des Moments, est la suivante :

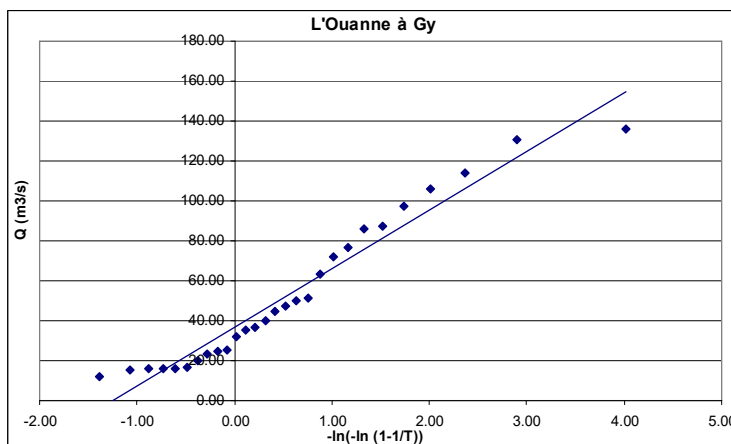
$$Q_p = 29.305 \cdot U + 36.388$$

Avec :

$$Q_m = 53.300$$

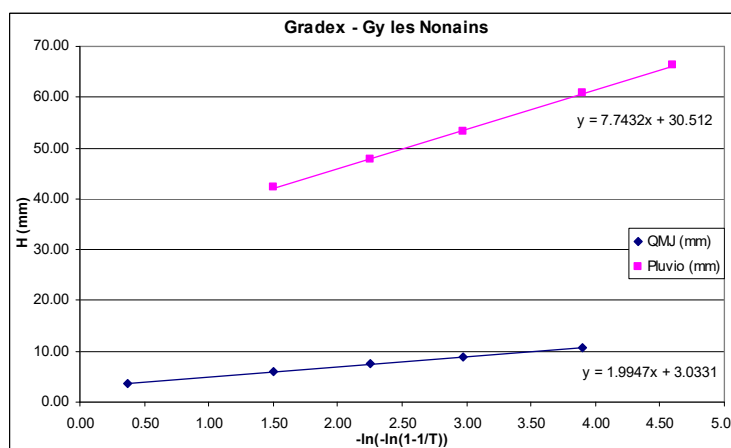
$$\sigma = 37.570$$

Figure 14 : Ajustement de Gumbel - Gy



Etant donné que cet ajustement ne permet pas d'aller au-delà de  $T = 50$  ans, nous avons appliqué la méthode du Gradex. Sur le graphique ci-dessous figurent les ajustements des QMJ (mm) de Gy et des hauteurs H (mm) précipitées en 24h à Gy :

Figure 15 : Gradex - Gy



Le coefficient directeur de la droite de régression des pluies,  $a = 7.7432$ , nous permet de calculer  $QMJ_{100}$  à partir du point pivot  $QMJ_{50}$  :

|             |          |
|-------------|----------|
| $QMJ_{50}$  | 110 m³/s |
| $QMJ_{100}$ | 165 m³/s |

Le rapport  $Q_p/QMJ$  fourni par la fiche Crucal de la station étant de 1.19, nous obtenons le  $Q_{p100}$  suivant :

$$Q_{p100} = 197 \text{ m}^3/\text{s}$$

En combinant les résultats obtenus par l'ajustement de Gumbel et la méthode du Gradex, nous obtenons les valeurs de  $Q_p$  au droit de la station de Gy (Cf. Tableau 13 : Débits de pointe à la station de Gy).

Tableau 13 : Débits de pointe à la station de Gy

| T   | $Q_p$ (m³/s) |
|-----|--------------|
| 10  | 102          |
| 20  | 123          |
| 50  | 151          |
| 100 | 197          |

• **La station de Chalette-sur-Loing, sur le Loing (2300 km<sup>2</sup>) - H3201010**

Depuis la mise en fonctionnement de la station de Chalette (1968), les plus fortes crues récentes mesurées sont les suivantes :

Tableau 14 : Station de Chalette

| Date       | Débit de pointe (Qp en m <sup>3</sup> /s) |
|------------|-------------------------------------------|
| 01/01/1982 | 292.00                                    |
| 01/03/1978 | 231.00                                    |
| 21/03/1995 | 202.00                                    |
| 01/04/1983 | 198.00                                    |

Le traitement statistique des données par un ajustement de Gumbel (Cf. Annexe 4) permet d'obtenir le nuage de points  $Q_p = F(U)$  :

L'équation de la droite de régression, déterminée par la méthode des Moments, est la suivante :

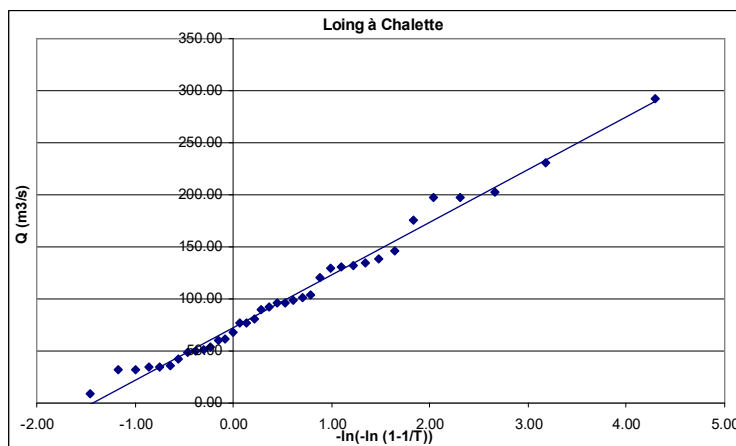
$$Q_p = 49.756 \cdot U + 72.764$$

Avec :

$$Q_m = 101.470$$

$$\sigma = 63.790$$

Figure 16 : Ajustement de Gumbel - Chalette

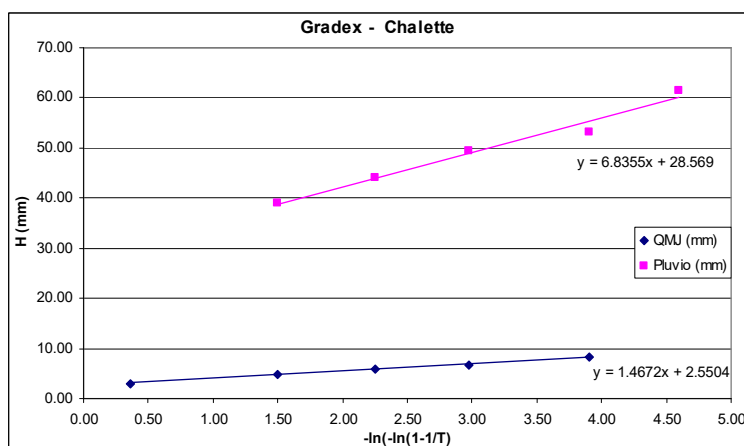


Etant donné que cet ajustement ne permet pas d'aller au-delà de  $T = 50$  ans, nous avons appliqué la méthode du Gradex. Sur le graphique ci-dessous figurent les ajustements des QMJ (mm) de Chalette et des hauteurs H (mm) précipitées en 24h à Chalette :

Figure 17 : Gradex - Chalette

Le coefficient directeur de la droite de régression des pluies,  $a = 6.8355$ , nous permet de calculer  $QMJ_{100}$  à partir du point pivot  $QMJ_{50}$  :

|             |                       |
|-------------|-----------------------|
| $QMJ_{50}$  | 220 m <sup>3</sup> /s |
| $QMJ_{100}$ | 347 m <sup>3</sup> /s |



Le rapport  $Q_p/Q_{MJ}$  fourni par la fiche Crucal de la station étant de 1.11, nous obtenons le  $Q_{p100}$  suivant :

$$Q_{p100} = 385 \text{ m}^3/\text{s}$$

En combinant les résultats obtenus par l'ajustement de Gumbel et la méthode du Gradex, nous obtenons les valeurs de  $Q_p$  au droit de la station de Chalette (Cf. Tableau 15 : Débits de pointe à la station de Chalette).

Tableau 15 : Débits de pointe à la station de Chalette

| T   | $Q_p \text{ (m}^3/\text{s)}$ |
|-----|------------------------------|
| 10  | 185                          |
| 20  | 221                          |
| 50  | 267                          |
| 100 | 385                          |

### ➤ SYNTHÈSE DES RESULTATS DE LA CRUE CENTENNALE

Le tableau ci-dessous récapitule les valeurs de débits de pointe obtenues pour la crue centennale :

Tableau 16 : Débits de pointe de la crue centennale

| Station                 | $Q_{p100} \text{ (m}^3/\text{s)}$ |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Montbouy (Loing)        | 73                                |
| Charny (Ouanne)         | 116                               |
| Gy-les-Nonains (Ouanne) | 197                               |
| Chalette (Loing)        | 385                               |

## CONCLUSION

L'étude hydrologique d'un bassin versant est une discipline assez délicate. Il est important de bien comprendre le fonctionnement global du réseau hydrographique à travers l'étude de la géologie, de l'occupation du sol, et des caractéristiques physiques du bassin. Les hydrogrammes de crues constituent également un élément important, dans la mesure où ils permettent de cerner concrètement la réaction du réseau lors d'un événement exceptionnel.

Comme nous l'avons vu à travers cette étude, il n'est pas toujours possible d'émettre des conclusions générales quant à la réponse d'un bassin versant. C'est un ensemble de facteurs, parfois contradictoires, qui conditionne cette réponse, ainsi que les débits observés au droit des stations de mesures.

L'étude statistique nous a permis d'évaluer les valeurs de débit de la crue centennale ( $Q_{100}$ ) en différents points du bassin, cependant il faut toujours rester prudent face aux résultats obtenus. Une étude complémentaire, ayant pour objectif de définir les débits de 1910 (Plus Hautes Eaux Connues), permettra de conclure quant à la crue de référence à retenir (choix de 1910 si  $Q_{1910} > Q_{100}$ ).

La méthodologie à appliquer sera différente, puisqu'il n'existait pas de stations hydrométriques en 1910. Cette étude nécessitera l'utilisation du modèle numérique, lorsqu'il sera construit. Le modèle devra d'abord être calé à l'aide de crues débordantes récentes, puis différents débits seront testés en vue de faire coïncider la ligne d'eau calculée avec celle observée en 1910. Pour finir, les débits de 1910 ainsi déterminés seront comparés avec ceux de  $Q_{100}$ , ce qui nous permettra de valider ou non l'utilisation de la crue centennale comme crue de référence.

## LISTE DES FIGURES

|                                                                                           |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figure 1 : Carte de localisation du bassin du Loing à Chalette dans le bassin de la Seine | p 3  |
| Figure 2 : Carte de présentation du réseau hydrographique du Loing                        | p 4  |
| Figure 3 : Cumul annuel des précipitations [1961-1990] sur le bassin du Loing à Chalette  | p 5  |
| Figure 4 : Carte de l'occupation du sol                                                   | p 6  |
| Figure 5 : Carte de la géologie simplifiée du Loing à Chalette                            | p 7  |
| Figure 6 : Carte de ruissellement                                                         | p 9  |
| Figure 7 : Principe des triangles de Thiessen                                             | p 12 |
| Figure 8 : Hydrogrammes des crues de mars et décembre 2001                                | p 18 |
| Figure 9 : Triangles de Thiessen appliqués au bassin versant du Loing à Chalette          | p 20 |
| Figure 10 : Ajustement de Gumbel - Montbouy                                               | p 21 |
| Figure 11 : Gradex - Montbouy                                                             | p 21 |
| Figure 12 : Ajustement de Gumbel - Charny                                                 | p 22 |
| Figure 13 : Gradex - Charny                                                               | p 23 |
| Figure 14 : Ajustement de Gumbel - Gy                                                     | p 24 |
| Figure 15 : Gradex - Gy                                                                   | p 24 |
| Figure 16 : Ajustement de Gumbel - Chalette                                               | p 25 |
| Figure 17 : Gradex - Chalette                                                             | p 25 |

## LISTE DES TABLEAUX

|                                                                             |      |
|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| Tableau 1 : Hauteurs de précipitations cumulées en 1 jour, H (mm)           | p 5  |
| Tableau 2 : Communes les plus importantes sur la bassin du Loing à Chalette | p 6  |
| Tableau 3 : Longueur de linéaire des affluents                              | p 14 |
| Tableau 4 : Synthèse des caractéristiques du Loing et de son bassin         | p 16 |
| Tableau 5 : Caractéristiques principales des stations hydrométriques        | p 17 |
| Tableau 6 : Récapitulatif des hydrogrammes disponibles                      | p 17 |
| Tableau 7 : Hauteurs d'eau précipitées en 1 jour (mm)                       | p 20 |
| Tableau 8 : Station de Montbouy                                             | p 21 |
| Tableau 9 : Débits de pointe à la station de Montbouy                       | p 22 |
| Tableau 10 : Station de Charny                                              | p 22 |
| Tableau 11 : Débits de pointe à la station de Charny                        | p 23 |
| Tableau 12 : Station de Gy                                                  | p 23 |
| Tableau 13 : Débits de pointe à la station de Gy                            | p 24 |
| Tableau 14 : Station de Chalette                                            | p 25 |
| Tableau 15 : Débits de pointe à la station de Chalette                      | p 26 |
| Tableau 16 : Débits de pointe de la crue centennale                         | p 26 |

## BIBLIOGRAPHIE

**BIOS, 2004.** *Rapport : Etude globale du bassin versant du Loing, de l'Ouanne et de ses affluents.* Syndicat SIVLO, 137p.

**BERGER LEVRAULT.** *Carte géol. France (1/80000), feuilles Auxerre (96) et Clamecy (110).* Paris : Ministère de l'industrie, Service de la Carte Géologique.

**GOUTX D., 2005.** *Atlas des Zones Inondables de la Vienne.* LRPC de Blois, 46p.

**Institut Géographique National, 2004.** *Systèmes géodésiques.*

**LANG M., LAVABRE J., 2005.** *Recommandation pour le calcul des aléas hydrologiques dans le cadre des plans de prévention des risques d'inondations.* CEMAGREF, 134p.

**Météo France, 1999.** *Estimation des hauteurs de précipitations d'occurrence rare pour des durées du cumul de 1 à 10 jours sur 300 postes français.* SCEM CBD.

**MARTIN, J.F., 1971.** *La rivière l'Ouanne : Etat actuel, essai de diagnose.* Ministère de l'Agriculture, 132p.

### Sites Internet :

Ministère chargé de l'environnement (MEDD) : [www.environnement.gouv.fr](http://www.environnement.gouv.fr)

Banque HYDRO : <http://hydro.rnde.tm.fr/accueil.html>

## LEXIQUE

**Crue de calage** : C'est une crue passée, qui correspond aux Plus Hautes Eaux Connues. L'étude de cette crue sert à déterminer la cote d'eau en aval du modèle hydraulique numérique, ainsi que le débit à injecter en amont de ce modèle pour son calage. Le calage correspondant à l'ajustement de la ligne d'eau calculée avec les laisses de crues de l'événement en question, afin de garantir les résultats du modèle.

**Crue de référence** : C'est l'événement utilisé pour la réalisation de l'Atlas des Zones Inondables. Elle correspond à une crue de temps de retour généralement fixé 100 ans ( $Q_{100}$ ), ou aux Plus Hautes Eaux Connues (PHEC) dans le cas où  $Q_{PHEC} > Q_{100}$ .

**Débit de pointe** : C'est le débit maximal observé lors d'une crue en un point donné.

## **ANNEXES**

**ANNEXE 1 : AJUSTEMENT DE GÜMBEL ET METHODE DU GRADEX – STATION DE MONTBOUY**

**ANNEXE 2 : AJUSTEMENT DE GÜMBEL ET METHODE DU GRADEX – STATION DE CHARNY**

**ANNEXE 3 : AJUSTEMENT DE GÜMBEL ET METHODE DU GRADEX – STATION DE GY**

**ANNEXE 4 : AJUSTEMENT DE GÜMBEL ET METHODE DU GRADEX – STATION DE CHALETTE**

## ANNEXE 1 : AJUSTEMENT DE GÜMBEL ET METHODE DU GRADEX – STATION DE MONTBOUY

|             |                  |
|-------------|------------------|
| <b>Code</b> | H3021010         |
| <b>Nom</b>  | Loing à Montbouy |
| <b>Dpt</b>  | 45               |
| <b>Alt</b>  | 110              |

### AJUSTEMENT DE GÜMBEL

| Rang  | Débit (m3/s) | Fnd  | U     |
|-------|--------------|------|-------|
| 1.00  | 4.53         | 0.02 | -1.33 |
| 2.00  | 5.80         | 0.07 | -0.99 |
| 3.00  | 6.06         | 0.11 | -0.78 |
| 4.00  | 7.46         | 0.16 | -0.61 |
| 5.00  | 10.70        | 0.20 | -0.46 |
| 6.00  | 11.60        | 0.25 | -0.33 |
| 7.00  | 11.80        | 0.30 | -0.20 |
| 8.00  | 12.30        | 0.34 | -0.07 |
| 9.00  | 12.60        | 0.39 | 0.05  |
| 10.00 | 13.30        | 0.43 | 0.17  |
| 11.00 | 14.10        | 0.48 | 0.30  |
| 12.00 | 16.60        | 0.52 | 0.43  |
| 13.00 | 18.50        | 0.57 | 0.57  |
| 14.00 | 20.10        | 0.61 | 0.72  |
| 15.00 | 21.10        | 0.66 | 0.87  |
| 16.00 | 23.20        | 0.70 | 1.05  |
| 17.00 | 24.70        | 0.75 | 1.25  |
| 18.00 | 25.80        | 0.80 | 1.47  |
| 19.00 | 25.90        | 0.84 | 1.75  |
| 20.00 | 27.20        | 0.89 | 2.12  |
| 21.00 | 30.70        | 0.93 | 2.65  |
| 22.00 | 60.00        | 0.98 | 3.77  |

$$Q = 1/a.U + x_0$$

|            |            |
|------------|------------|
| <b>m</b>   | 18.3659091 |
| <b>σ</b>   | 12.0197665 |
| <b>1/a</b> | 9.37541789 |
| <b>a</b>   | 0.10666191 |
| <b>x0</b>  | 12.956293  |

| T (ans) | U    | Débit (m3/s) |
|---------|------|--------------|
| 10      | 2.25 | 34.05        |
| 20      | 2.97 | 40.80        |
| 50      | 3.90 | 49.54        |

## METHODE DU GRADEX

### Débits moyens journaliers (QMJ)

QMJ (mm)

Surface (km²) 415

Surface (m²) 415000000

| T  | Fnd  | -ln(-ln(Fnd)) | QMJ (m3/s) | QMJ (mm) |
|----|------|---------------|------------|----------|
| 2  | 0.50 | 0.37          | 15.00      | 3.12     |
| 5  | 0.80 | 1.50          | 24.00      | 5.00     |
| 10 | 0.90 | 2.25          | 30.00      | 6.25     |
| 20 | 0.95 | 2.97          | 35.00      | 7.29     |
| 50 | 0.98 | 3.90          | 43.00      | 8.95     |

### Pluviométrie à Chalette

Pluvio (mm)

| T   | Fnd  | -ln(-ln(Fnd)) | H (mm) |
|-----|------|---------------|--------|
| 5   | 0.80 | 1.50          | 37.02  |
| 10  | 0.90 | 2.25          | 41.03  |
| 20  | 0.95 | 2.97          | 46.04  |
| 50  | 0.98 | 3.90          | 52.05  |
| 100 | 0.99 | 4.60          | 57.05  |

### Point Pivot 50 ans

Calcul de QMJ100

|       | Q (mm) | -ln(-ln(1-1/T)) | Q (m3/s) |
|-------|--------|-----------------|----------|
| T=50  | 8.95   | 3.90            | 43.00    |
| T=100 | 13.50  | 4.60            | 64.82    |

Calcul des Qp

Qp/Qmj 1.12

|             | QMJ (m3/s) | Qp (m3/s)    |
|-------------|------------|--------------|
| <b>Q100</b> | 64.82      | <b>72.60</b> |

## ANNEXE 2 : AJUSTEMENT DE GÜMBEL ET METHODE DU GRADEX – STATION DE CHARNY

|             |                   |
|-------------|-------------------|
| <b>Code</b> | H3122010          |
| <b>Nom</b>  | L'Ouagne à Charny |
| <b>Dpt</b>  | 89                |
| <b>Alt</b>  | 133 m             |

### AJUSTEMENT DE GÜMBEL

| Rang | Débit (m3/s) | Fnd  | U     |
|------|--------------|------|-------|
| 1    | 5.54         | 0.01 | -1.45 |
| 2    | 15.20        | 0.04 | -1.15 |
| 3    | 16.00        | 0.07 | -0.97 |
| 4    | 16.30        | 0.10 | -0.83 |
| 5    | 17.10        | 0.13 | -0.72 |
| 6    | 17.40        | 0.16 | -0.62 |
| 7    | 18.20        | 0.19 | -0.52 |
| 8    | 18.40        | 0.21 | -0.43 |
| 9    | 18.70        | 0.24 | -0.35 |
| 10   | 19.30        | 0.27 | -0.27 |
| 11   | 25.70        | 0.30 | -0.19 |
| 12   | 26.90        | 0.33 | -0.11 |
| 13   | 29.10        | 0.36 | -0.03 |
| 14   | 29.30        | 0.39 | 0.05  |
| 15   | 31.90        | 0.41 | 0.13  |
| 16   | 33.10        | 0.44 | 0.21  |
| 17   | 33.80        | 0.47 | 0.29  |
| 18   | 36.90        | 0.50 | 0.37  |
| 19   | 37.60        | 0.53 | 0.45  |
| 20   | 38.80        | 0.56 | 0.54  |
| 21   | 39.00        | 0.59 | 0.63  |
| 22   | 44.40        | 0.61 | 0.72  |
| 23   | 45.00        | 0.64 | 0.82  |
| 24   | 49.60        | 0.67 | 0.92  |
| 25   | 49.90        | 0.70 | 1.03  |
| 26   | 52.10        | 0.73 | 1.15  |
| 27   | 52.20        | 0.76 | 1.28  |
| 28   | 52.30        | 0.79 | 1.42  |
| 29   | 55.60        | 0.81 | 1.58  |
| 30   | 57.40        | 0.84 | 1.77  |
| 31   | 59.00        | 0.87 | 1.98  |
| 32   | 59.10        | 0.90 | 2.25  |
| 33   | 60.90        | 0.93 | 2.60  |
| 34   | 92.20        | 0.96 | 3.13  |
| 35   | 110.00       | 0.99 | 4.24  |

$$Q = 1/a.U + x0$$

|            |            |
|------------|------------|
| <b>m</b>   | 38.97      |
| <b>σ</b>   | 22.0665701 |
| <b>1/a</b> | 17.2119247 |
| <b>a</b>   | 0.05809926 |
| <b>x0</b>  | 29.0384338 |

| T (ans) | U    | Débit (m3/s) |
|---------|------|--------------|
| 10      | 2.25 | 67.77        |
| 20      | 2.97 | 80.16        |
| 50      | 3.90 | 96.20        |

## METHODE DU GRADEX

### Débits moyens journaliers (QMJ)

QMJ (mm)

Surface (km²) 415  
Surface (m²) 415000000

| T  | Fnd  | -ln(-ln(Fnd)) | QMJ (m3/s) | QMJ (mm) |
|----|------|---------------|------------|----------|
| 2  | 0.50 | 0.37          | 30.00      | 6.25     |
| 5  | 0.80 | 1.50          | 45.00      | 9.37     |
| 10 | 0.90 | 2.25          | 55.00      | 11.45    |
| 20 | 0.95 | 2.97          | 64.00      | 13.32    |
| 50 | 0.98 | 3.90          | 77.00      | 16.03    |

### Pluviométrie à Charny

Pluvio (mm)

| T   | Fnd  | -ln(-ln(Fnd)) | H (mm) |
|-----|------|---------------|--------|
| 5   | 0.80 | 1.50          | 38.56  |
| 10  | 0.90 | 2.25          | 43.34  |
| 20  | 0.95 | 2.97          | 48.34  |
| 50  | 0.98 | 3.90          | 55.12  |
| 100 | 0.99 | 4.60          | 62.32  |

### Point Pivot 50 ans

Calcul de QMJ100

|       | Q (mm) | -ln(-ln(1-1/T)) | Q (m3/s) |
|-------|--------|-----------------|----------|
| T=50  | 16.03  | 3.90            | 77.00    |
| T=100 | 21.30  | 4.60            | 102.32   |

Calcul des Qp

Qp/Qmj 1.13

|             | QMJ (m3/s) | Qp (m3/s)     |
|-------------|------------|---------------|
| <b>Q100</b> | 102.32     | <b>115.62</b> |

### ANNEXE 3 : AJUSTEMENT DE GÜMBEL ET METHODE DU GRADEX – STATION DE GY

|             |                           |
|-------------|---------------------------|
| <b>Code</b> | H3122020                  |
| <b>Nom</b>  | L'Ouanne à Gy les Nonains |
| <b>Dpt</b>  | 45                        |
| <b>Alt</b>  | 99 m                      |

#### AJUSTEMENT DE GÜMBEL

| Rang | Débit (m3/s) | Fnd  | U     |
|------|--------------|------|-------|
| 1    | 12.20        | 0.02 | -1.39 |
| 2    | 15.40        | 0.05 | -1.07 |
| 3    | 15.70        | 0.09 | -0.88 |
| 4    | 15.80        | 0.13 | -0.73 |
| 5    | 15.80        | 0.16 | -0.60 |
| 6    | 16.80        | 0.20 | -0.49 |
| 7    | 20.00        | 0.23 | -0.38 |
| 8    | 23.20        | 0.27 | -0.28 |
| 9    | 24.70        | 0.30 | -0.18 |
| 10   | 25.20        | 0.34 | -0.08 |
| 11   | 32.20        | 0.38 | 0.02  |
| 12   | 35.20        | 0.41 | 0.12  |
| 13   | 36.90        | 0.45 | 0.22  |
| 14   | 40.20        | 0.48 | 0.32  |
| 15   | 44.50        | 0.52 | 0.42  |
| 16   | 47.50        | 0.55 | 0.53  |
| 17   | 50.20        | 0.59 | 0.64  |
| 18   | 51.50        | 0.63 | 0.76  |
| 19   | 63.60        | 0.66 | 0.88  |
| 20   | 72.00        | 0.70 | 1.02  |
| 21   | 76.50        | 0.73 | 1.17  |
| 22   | 85.70        | 0.77 | 1.33  |
| 23   | 87.20        | 0.80 | 1.52  |
| 24   | 97.30        | 0.84 | 1.74  |
| 25   | 106.00       | 0.88 | 2.01  |
| 26   | 114.00       | 0.91 | 2.37  |
| 27   | 131.00       | 0.95 | 2.90  |
| 28   | 136.00       | 0.98 | 4.02  |

$$Q = 1/a.U + x_0$$

|            |            |
|------------|------------|
| <b>m</b>   | 53.30      |
| <b>σ</b>   | 37.5703141 |
| <b>1/a</b> | 29.304845  |
| <b>a</b>   | 0.03412405 |
| <b>x0</b>  | 36.387533  |

| T (ans) | U    | Débit (m3/s) |
|---------|------|--------------|
| 10      | 2.25 | 102.33       |
| 20      | 2.97 | 123.43       |
| 50      | 3.90 | 150.73       |

## METHODE DU GRADEX

### Débits moyens journaliers (QMJ)

QMJ (mm)

Surface (km²) 883

Surface (m²) 883000000

| T  | Fnd  | -ln(-ln(Fnd)) | QMJ (m3/s) | QMJ (mm) |
|----|------|---------------|------------|----------|
| 2  | 0.50 | 0.37          | 38.00      | 3.72     |
| 5  | 0.80 | 1.50          | 62.00      | 6.07     |
| 10 | 0.90 | 2.25          | 77.00      | 7.53     |
| 20 | 0.95 | 2.97          | 92.00      | 9.00     |
| 50 | 0.98 | 3.90          | 110.00     | 10.76    |

### Pluviométrie à Gy

Pluvio (mm)

| T   | Fnd  | -ln(-ln(Fnd)) | H (mm) |
|-----|------|---------------|--------|
| 5   | 0.80 | 1.50          | 42.39  |
| 10  | 0.90 | 2.25          | 47.75  |
| 20  | 0.95 | 2.97          | 53.25  |
| 50  | 0.98 | 3.90          | 60.79  |
| 100 | 0.99 | 4.60          | 66.25  |

### Point Pivot 50 ans

Calcul de QMJ100

|       | Q (mm) | -ln(-ln(1-1/T)) | Q (m3/s) |
|-------|--------|-----------------|----------|
| T=50  | 10.76  | 3.90            | 110.00   |
| T=100 | 16.17  | 4.60            | 165.25   |

Calcul des Qp

Qp/Qmj 1.19

|             | QMJ (m3/s) | Qp (m3/s)     |
|-------------|------------|---------------|
| <b>Q100</b> | 165.25     | <b>196.65</b> |

#### ANNEXE 4 : AJUSTEMENT DE GÜMBEL ET METHODE DU GRADEX – STATION DE CHALETTE

|             |                     |
|-------------|---------------------|
| <b>Code</b> | H3201010            |
| <b>Nom</b>  | Le loing à Chalette |
| <b>Dpt</b>  | 45                  |
| <b>Alt</b>  | 78 m                |

#### AJUSTEMENT DE GÜMBEL

| <b>Rang</b> | <b>Débit (m3/s)</b> | <b>Fnd</b> | <b>U</b> |
|-------------|---------------------|------------|----------|
| 1           | 8.79                | 0.01       | -1.46    |
| 2           | 31.60               | 0.04       | -1.16    |
| 3           | 32.50               | 0.07       | -0.99    |
| 4           | 34.10               | 0.09       | -0.86    |
| 5           | 35.20               | 0.12       | -0.75    |
| 6           | 36.50               | 0.15       | -0.65    |
| 7           | 41.90               | 0.18       | -0.55    |
| 8           | 48.10               | 0.20       | -0.47    |
| 9           | 50.40               | 0.23       | -0.39    |
| 10          | 51.50               | 0.26       | -0.31    |
| 11          | 53.30               | 0.28       | -0.23    |
| 12          | 60.20               | 0.31       | -0.16    |
| 13          | 60.90               | 0.34       | -0.08    |
| 14          | 67.60               | 0.36       | -0.01    |
| 15          | 76.80               | 0.39       | 0.07     |
| 16          | 76.90               | 0.42       | 0.14     |
| 17          | 80.50               | 0.45       | 0.21     |
| 18          | 89.40               | 0.47       | 0.29     |
| 19          | 92.00               | 0.50       | 0.37     |
| 20          | 96.40               | 0.53       | 0.45     |
| 21          | 96.60               | 0.55       | 0.53     |
| 22          | 98.30               | 0.58       | 0.61     |
| 23          | 101.00              | 0.61       | 0.70     |
| 24          | 104.00              | 0.64       | 0.79     |
| 25          | 121.00              | 0.66       | 0.89     |
| 26          | 129.00              | 0.69       | 0.99     |
| 27          | 131.00              | 0.72       | 1.10     |
| 28          | 132.00              | 0.74       | 1.21     |
| 29          | 135.00              | 0.77       | 1.34     |
| 30          | 139.00              | 0.80       | 1.48     |
| 31          | 146.00              | 0.82       | 1.64     |
| 32          | 176.00              | 0.85       | 1.83     |
| 33          | 198.00              | 0.88       | 2.04     |
| 34          | 198.00              | 0.91       | 2.31     |
| 35          | 202.00              | 0.93       | 2.66     |
| 36          | 231.00              | 0.96       | 3.18     |
| 37          | 292.00              | 0.99       | 4.30     |

$$Q = 1/a.U + x0$$

|            |            |
|------------|------------|
| <b>m</b>   | 101.47     |
| <b>σ</b>   | 63.7895687 |
| <b>1/a</b> | 49.7558636 |
| <b>a</b>   | 0.02009813 |
| <b>x0</b>  | 72.7635694 |

| T (ans) | U    | Débit (m3/s) |
|---------|------|--------------|
| 10      | 2.25 | 184.73       |
| 20      | 2.97 | 220.55       |
| 50      | 3.90 | 266.91       |

## METHODE DU GRADEX

### Débits moyens journaliers (QMJ)

QMJ (mm)

Surface (km²) 2301

Surface (m²) 2301000000

| T  | Fnd  | -ln(-ln(Fnd)) | QMJ (m3/s) | QMJ (mm) |
|----|------|---------------|------------|----------|
| 2  | 0.50 | 0.37          | 79.00      | 2.97     |
| 5  | 0.80 | 1.50          | 130.00     | 4.88     |
| 10 | 0.90 | 2.25          | 160.00     | 6.01     |
| 20 | 0.95 | 2.97          | 180.00     | 6.76     |
| 50 | 0.98 | 3.90          | 220.00     | 8.26     |

### Pluviométrie à Chalette

Pluvio (mm)

| T   | Fnd  | -ln(-ln(Fnd)) | H (mm) |
|-----|------|---------------|--------|
| 5   | 0.80 | 1.50          | 38.98  |
| 10  | 0.90 | 2.25          | 44.02  |
| 20  | 0.95 | 2.97          | 49.36  |
| 50  | 0.98 | 3.90          | 53.17  |
| 100 | 0.99 | 4.60          | 61.37  |

### Point Pivot 50 ans

Calcul de QMJ100

|       | Q (mm) | -ln(-ln(1-1/T)) | Q (m3/s) |
|-------|--------|-----------------|----------|
| T=50  | 8.26   | 3.90            | 220.00   |
| T=100 | 13.03  | 4.60            | 347.10   |

Calcul des Qp

Qp/Qmj 1.11

|             | QMJ (m3/s) | Qp (m3/s)     |
|-------------|------------|---------------|
| <b>Q100</b> | 347.10     | <b>385.29</b> |