

Table des matières

1	INTRODUCTION	10
2	ETAT DE LA RECHERCHE	12
3	PROBLEMATIQUE	16
3.1	Objectifs	16
3.2	Cadre théorique	16
3.2.1	Modèles fréquentiels	17
3.2.2	Fréquence empirique	18
3.2.3	Estimations des paramètres de la distribution.....	19
3.2.4	Lois de distribution de probabilité	21
3.2.5	Analyses des modèles fréquentiels	23
4	SITUATION CLIMATIQUE	24
5	METHODOLOGIE	28
5.1	Données	28
5.2	Estimations.....	29
5.3	Représentation spatiale	32
6	RESULTATS	34
6.1	Statistiques des estimations	34
6.2	Description spatiale des estimations.....	45
6.2.1	Loi de Gumbel.....	49
6.2.2	Loi de Fréchet.....	53
6.2.3	Loi de Weibull.....	55
6.2.4	Loi Gamma.....	57
6.2.5	Loi LogNormale	59
6.2.6	Loi Normale	61
6.3	Estimation par stations	63
6.3.1	Meilleure estimation sur chaque station	70
7	DISCUSSION	74
8	CONCLUSION	76

Table des annexes

Annexe I – Liste des stations de mesure pluviométrique	1
Annexe II – Exemple du code Matlab	5
Annexe III - Estimations par la loi de Gumbel et la méthode des moindres carrés	7
Annexe IV - Estimations par la loi de Gumbel et la méthode du maximum de vraisemblance	9
Annexe V – Résultats	11

Table des figures

Figure 1) Comportement asymptotique des lois de distribution de probabilité.....	23
Figure 2) Emplacement des 151 stations de mesure pluviométrique.....	25
Figure 3) Précipitations journalières maximales enregistrées sur l'ensemble de la série 1911-2010	26
Figure 4) Moyenne des précipitations journalières maximales enregistrées sur l'ensemble de la série 1911-2010	27
Figure 5) Précipitations journalières estimées (mm) pour un temps de retour de 500 ans à partir de la loi de Gumbel. Fallot et al. (2017)	27
Figure 6) Ecart maximal et minimal (en %) entre les précipitations journalières.....	36
Figure 7) Pourcentage de stations par classes d'écart relatif entre les précipitations journalières centennales estimée pour chaque loi par rapport à la valeur journalière maximale mesurées de 1961 à 2010.....	38
Figure 8) Pourcentage de stations sous-estimées ou surestimées pour chaque loi	40
Figure 9) Pourcentage de stations avec un écart de $\pm 10\%$	40
Figure 10) Pourcentage de stations selon la valeur du R^2 et du Chi^2	43
Figure 11) Exemple d'ajustement avec un R^2 supérieur à 0.95.....	44
Figure 12) Exemple d'ajustement avec un R^2 inférieur à 0.9.....	44
Figure 13) Représentation des polygones de Thiessen définis par les 151 stations pluviométriques	45
Figure 14) Distribution spatiale des écarts en % entre les précipitations journalières centennales estimées par la les 8 lois statistiques à partir de la série de mesures 1 (1911 – 1960) et les valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010.....	47
Figure 15) Distribution spatiale des écarts en % entre les précipitations journalières centennales estimées par la les 8 lois statistiques à partir de la série de mesures 2 (1961 – 2010) et les valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010.....	48
Figure 16) Distribution spatiale des écarts en % entre les précipitation journalières centennales estimées avec la loi de Gumbel (méthode des moments) et les valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010	49
Figure 17) Confrontation des 3 variantes de la loi de Gumbel.....	52
Figure 18) Distribution spatiale des écarts en % entre les précipitation journalières centennales estimées avec la loi de Fréchet et les valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010.....	53
Figure 19) Distribution spatiale des écarts en % entre les précipitation journalières centennales estimées avec la loi de Weibull et les valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010.....	55
Figure 20) Distribution spatiale des écarts en % entre les précipitation journalières centennales estimées avec la loi Gamma et les valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010.....	57
Figure 21) Distribution spatiale des écarts en % entre les précipitation journalières centennales estimées avec la loi LogNormale et les valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010.....	59
Figure 22) Distribution spatiale des écarts en % entre les précipitation journalières centennales estimées avec la loi Normale et les valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010.....	61

Figure 23) Distribution des précipitations estimées et mesurées sur une période de 100 ans en fonction de la probabilité de non-dépassement pour la station de Soglio selon la loi de Gumbel et la méthode des moments. Gauche : Série 1, droite : série 2	63
Figure 24) Distribution des précipitations estimées et mesurées sur une période de 100 ans en fonction de la probabilité de non-dépassement pour la station de Chavornay et Soglio selon la loi de Gumbel et la méthode des moments. Gauche : Série 1, droite : série 2.....	65
Figure 25) Distribution des précipitations estimées et mesurées sur une période de 100 ans en fonction de la probabilité de non-dépassement pour les stations de Altdorf et Bellinzona Soglio selon la loi de Gumbel et la méthode des moments Gauche : Série 1, droite : série 2	66
Figure 26) Distribution des précipitations estimées et mesurées sur une période de 100 ans en fonction de la probabilité de non-dépassement pour la station d' Altdorf selon les 8 lois de distribution. Série 2	67
Figure 27) Distribution des précipitations estimées et mesurées sur une période de 100 ans en fonction de la probabilité de non-dépassement pour la station de Chavornay selon les 8 lois de distribution. Série 2 ...	68
Figure 28) Distribution des précipitations estimées et mesurées sur une période de 100 ans en fonction de la probabilité de non-dépassement pour la station de Soglio selon les 8 lois de distribution. Série 2.....	69
Figure 29) Nombre de stations ayant les estimations des précipitations journalières centennales les plus proches des valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010 pour chaque loi et les 2 séries de mesures	70
Figure 30) Lois présentant la meilleure estimation des précipitation journalières centennales par rapport aux valeurs journalières maximales mesurée de 1911 à 2010 à partir de la série de mesure 1 (1911-1960) pour chaque station.....	71
Figure 31) Lois présentant la meilleure estimation des précipitation journalières centennales par rapport aux valeurs journalières maximales mesurée de 1911 à 2010 à partir de la série de mesure 2 (1961-2010) pour chaque station.....	72

Table des tableaux

<i>Tableau 1) Articulation de la loi GEV selon la valeur du paramètre de forme k</i>	<i>18</i>
<i>Tableau 2) Formules pour l'estimation de la fréquence empirique</i>	<i>19</i>
<i>Tableau 3) Ecart maximal et minimal (%) entre les précipitations journalières centennales estimées par chaque loi et les valeurs journalières maximales mesurées de 1911 à 2010.....</i>	<i>35</i>
<i>Tableau 4) Distribution des stations (%) par classe d'écart.....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 5) Pourcentage des stations avec un écart inférieur ou supérieur à 0.....</i>	<i>39</i>
<i>Tableau 6) Ecart moyen selon la série de départ pour chaque loi.....</i>	<i>41</i>
<i>Tableau 7) Pourcentage de stations selon la valeur du R^2 et du Chi^2</i>	<i>42</i>

1 Introduction

Les pluies extrêmes sont une des variables considérées par les modèles climatiques utilisés dans de nombreux domaines. En particulier l'étude de ces pluies joue un rôle particulièrement important dans la protection des intempéries et des crues (Fallot & Hertig, 2013). Des pluies extrêmes peuvent causer différentes sortes de dangers comme des inondations (Tarhule, 2005), des glissements de terrain ou des laves torrentielles (Guzzetti et al., 2008). Les études dans ce champ ont donc permis de définir l'évolution des précipitations durant le siècle dernier et également de déterminer l'augmentation de leurs intensités et fréquences dû aux effets du réchauffement climatique (Frei et al., 2000). Le but de ces différentes études est également d'estimer les précipitations extrêmes journalières futures. En effet, grâce aux analyses statistiques effectuées à partir de séries de mesures pluviométriques, il est possible de prévoir des événements avec un temps de retour plus long que la période de mesure considérée. Afin d'obtenir des prévisions fiables plusieurs de ces études (Trömel & Schönwiese, 2007 ; Fallot, 2011; Zahar & Laborde, 2007 ; Katz et al., 2002) ont démontré que la meilleure approche est de considérer l'ensemble de la loi Généralisée des Valeurs Extrêmes (GEV) et en particulier la loi de Gumbel. Toutefois certains auteurs énoncent dans leurs ouvrages (Zahar & Laborde, 2007 ; Bacro & Chaouche, 2006 ; Coles et al., 2002; Livada et al., 2008; Koutsoyiannis, 2004A,B), que la loi de Gumbel, dans certains cas, sous-estime ou surestime les prévisions des précipitations extrêmes.

L'article de Fallot (2011), faisant suite à une étude de l'Office fédéral de l'étude des forêts, de la neige et du paysage (Zeller et al., 1980), détermine que les meilleurs résultats dans la prévision des précipitations journalières extrêmes en Suisse sont tout de même définis selon la loi de Gumbel. Cependant, pour le Nord-Est de la Suisse et d'autres régions isolées, comme l'exprime Fallot (2011) en reprenant les études de Zeller *et al.* (1980), la loi de Gumbel ne garantit pas les meilleurs résultats. C'est sur cet aspect que ce mémoire va se concentrer : tester différentes lois d'ajustement sur l'ensemble des régions suisses afin de définir la meilleure méthode de prévision des pluies extrêmes.

2 Etat de la recherche

Le processus d'estimation des valeurs extrêmes dans le milieu des précipitations ne représente pas un sujet communément traité par les scientifiques. Les deux textes de base d'un point de vue spécifiquement statistique peuvent être reconnus dans Jenkinson (1955) et Gumbel (1958). Récemment, les études se sont plutôt soucies des effets que les différents modèles de changement climatique provoquent sur les événements extrêmes (Frei *et al.*, 2000, 2006 ; Beniston *et al.*, 2007 ; IPCC, 2015). Un auteur en particulier s'est intéressé aux limites que la distribution de Gumbel semble avoir dans la détermination des précipitations extrêmes : Koutsoyiannis (2004A). Il propose des preuves théoriques de l'inadéquation de la distribution de Gumbel et des meilleurs résultats obtenus par la distribution des valeurs extrêmes de type II, exprimée précédemment comme loi de Fréchet. Il a effectué ensuite des analyses empiriques sur de longues séries de précipitations (Koutsoyiannis, 2004B). Par ces observations, il démontre que la loi GEV n'est pas forcément appropriée pour l'estimation des précipitations extrêmes, mais que la variante EV2 (Fréchet) se rapproche mieux de la réalité. En déterminant que le paramètre de forme est constant à 0.15, l'étude démontre que l'approche mathématique de ce cas se simplifie considérablement, en devenant donc semblable, au niveau de la difficulté, à l'estimation des précipitations extrêmes par la distribution de Gumbel.

D'autres auteurs se sont penchés sur le sujet dans un contexte européen ou méditerranéen, en déterminant des conclusions intéressantes en relation avec les différents régimes pluviométriques et plusieurs lois d'ajustement (en particulier par la loi de Gumbel) pour estimer des précipitations extrêmes. Trömel & Schönwiese (2007) ont analysé les changements dans les précipitations en Allemagne durant le dernier siècle avec les formules de Gumbel et de Weibull, en obtenant des résultats satisfaisants. Livada *et al.* (2008) a déterminé la localisation, la période et l'amplitude des pluies avec un temps de retour de 100 ans en Grèce. Il en résulte que la loi de Gumbel n'est pas la meilleure démarche à suivre dans le contexte étudié. Le travail de Bacro & Chaouche (2006) analyse l'incertitude d'estimation des pluies méditerranéennes en se basant sur le cas de Marseille. L'importance de la qualité de l'échantillonnage avant d'effectuer une analyse des extrêmes est soulignée. En effet, les auteurs donnent beaucoup d'importance dans le regroupement des pluies dans des séries homogènes définies selon leur régime d'appartenance. Dans cette étude aussi, comme pour celle de Livada *et al.* (2008), il en ressort que le modèle de Gumbel est rejeté par les tests statistiques. Zahar & Laborde (2007) proposent

un travail dans le but assez semblable à celui de Bacro & Chaouche (2006) mais sur le territoire tunisien. Initialement ils déterminent que la grandeur minimale des séries utilisées pour estimer des pluies centennales est de 30 ans. Dans ce cas, les meilleurs résultats des estimations ont été identifiés par une loi exponentielle double, différente donc de celle de Gumbel, néanmoins celle-ci est quand même employée dans certaines situations, même si elle a été définie comme non-représentative de la distribution observée.

Pour se rapprocher au contexte de ce travail, au niveau Suisse, des études sur les précipitations extrêmes ont été poursuivies par Fallot et Hertig. Dans le travail de Fallot du 2011, l'efficacité des analyses de Gumbel a été testée pour des pluies centennales à partir de 4 séries de 30 ans comprises entre 1911 et 2010. Il en résulte que globalement les résultats sont acceptables dans l'ensemble de la Suisse, sauf pour la région Nord-Est de la Confédération où les précipitations centennales déterminées par la loi de Gumbel sont assez souvent sous-estimées. Cela se traduit par une estimation correcte à $\pm 10\%$ de la valeur des précipitations journalières maximales pour environ 55% des stations étudiées à partir des séries de 1961-1990 et 1981-2010. Par contre, pour les périodes de 1911-1940 et 1931-1960, les valeurs sont sous-estimées. Cette variabilité a permis à Fallot (2011) d'énoncer l'importance de la représentativité des valeurs extrêmes des précipitations dans les séries de mesures. Evénements extrêmes qui tendent à augmenter avec le réchauffement climatique comme l'illustrent Frei et *al.* (2006) et Beniston et *al.* (2007) et comme le démontre pour la Suisse Fallot (2011) en constatant que depuis 1911 les précipitations journalières maximales par année ont augmenté pour 90% des stations. Toujours Fallot (2013) évalue encore la pertinence de la loi de Gumbel pour l'estimation des pluies centennales. Mais cette fois en se concentrant sur les différentes formules de répartition utilisables par cette loi. Il en résulte que pour une même série de données les variations issues entre les différentes formules (i.e. Hazen, Weibull, Cunnane, Gringorten, Médiane, Hosking et Blom) sont inférieures au 10%. En considérant comme résultats les plus bas les données de Weibull et les plus hauts résultats ceux obtenus par Hosking, qui ressort quand même, avec celle de Hazen, la meilleure formule pour les séries plus récentes. La conclusion de cette étude est que, vu la tendance vers une augmentation des précipitations extrêmes causés par le réchauffement climatique (Frei et *al.*, 2006 ; Beniston et *al.*, 2007), la formule à utiliser est celle de Hazen pour estimer les pluies centennales en Suisse. Au final, une revue détaillée des estimations des précipitations pour les différentes régions de la Suisse avec un temps de retour de 100 et de 500 ans est effectuée par le travail de Fallot et Hertig (2013). Où les mêmes

observations liées à la représentativité des séries et aux limites des estimations de la loi de Gumbel ressortent comme dans les travaux précédents.

Par la revue générale de ces études, nous pouvons donc souligner la variabilité dans la validité des modèles d'estimations selon le cas d'étude et l'importance de la longueur (i.e. au moins 30 ans), de l'homogénéité de représentativité des séries pluviométriques retenues pour l'estimation des précipitations extrêmes. Ces études cherchent à valider et à évaluer un modèle, en particulier celui de Gumbel. Ce travail va chercher de confronter différents modèles d'estimations issues de plusieurs lois, en les appliquant sur un même cas d'étude dans le but sera d'établir lequel de ces modèles obtient les meilleures prévisions.

3 Problématique

3.1 Objectifs

L'objectif de ce travail sera de définir le quel des modèles fréquentiels employés dans les études cités dans le Chapitre 2 s'adapte au mieux pour la prévision des précipitations extrêmes au niveau de la Suisse pour un temps de retour plus long que la série de départ utilisée. Les 8 modèles fréquentiels qui seront confrontés dans ce travail sont ceux issus des lois de Gumbel (à 3 différentes méthodes d'estimations des paramètres: méthode des moments, du maximum de vraisemblance et des moindres carrés), de Fréchet, de Weibull, Gamma, LogNormale et Normale. En se référant à ces études, il est déjà possible de s'attendre à ce que la loi de Gumbel sera la plus efficace, cependant les autres lois n'ont jamais été véritablement testées dans ce contexte, ce qui pourrait donc donner des résultats imprévus. Pour atteindre cet objectif, une analyse des statistiques de base des résultats (valeurs extrêmes, moyenne, écart type) et des tests de qualité de l'estimation (coefficient de détermination R^2 et χ^2) seront effectués. Lors du traitement de ces données, les résultats concernant l'efficacité des lois au niveau régional et des stations seront aussi tenus en compte.

L'événement extrême recherché est l'intensité d'une précipitation journalière avec un temps de retour de 100 ans (= valeur centennale), en utilisant comme échantillon de départ une série de 50 ans.

3.2 Cadre théorique

La prévision d'évènements extrêmes peut s'effectuer par l'emploi de l'analyse fréquentielle. Celle-ci est, comme le décrit Musy (2005) "*une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus donné (hydrologique ou autre), afin d'en définir les probabilités d'apparition future*". Par l'analyse fréquentielle, il sera donc possible de déterminer la probabilité qu'un événement d'une certaine intensité se reproduise dans le temps. Pour effectuer ces analyses, il existe différents modèles qui peuvent être ajustés à un échantillon de mesures, comme ceux qui se réfèrent aux lois de probabilité telles que la loi Généralisée des Valeurs Extrêmes (GEV : Generalised Extreme Value Distribution), comme la loi de Gumbel, Fréchet et Weibull, ou encore les lois Gamma, Normale ou Lognormale (Musy, 2005).

Le recours à l'analyse fréquentielle pour effectuer ces estimations est justifié par la notion de temps de retour. En effet les mesures de protection sont mises en œuvre dans le but de confiner des événements d'une certaine intensité. Cette intensité i ne doit donc pas être dépassée et la probabilité que celle-ci soit vraie est définie selon la relation $F(x_i) = P(i \leq x_i)$ qui est appelée fréquence de non dépassement. Par cette fréquence, le temps de retour est défini par la formule $T = \frac{1}{1 - F(x_i)}$, avec laquelle on établit l'intensité (dans notre cas des pluies) qui sera dépassée toutes les T années (Musy, 2005). Par l'analyse fréquentielle, il sera donc possible d'estimer l'intensité des précipitations pour le temps de retour souhaité qui peut être plus grand que la série de données utilisée.

Pour parvenir à cette estimation, il est nécessaire de définir la fréquence empirique (cf. Chapitre 3.2.2) en relation aux données de l'échantillon et d'estimer les paramètres de position, d'échelle et de forme (cf. Chapitre 3.2.3) utilisés dans les lois d'ajustement.

3.2.1 Modèles fréquents

Comme décrit par Musy (2005) et Fallot (2015A), on distingue différentes articulations de la distribution de probabilité et de la détermination de la fréquence empirique. Celles-ci sont précisées dans les chapitres suivants. Les étapes d'estimations et d'autres aspects statistiques et mathématiques sont précisés dans Laborde (2000), en particulier au chapitre VIII, qui fera outil de référence. Une des méthodes d'analyse fréquentielle la plus souvent employée dans le milieu météorologique ou hydrologique est la loi Généralisée des Valeurs Extrêmes (GEV : Generalised Extreme Value Distribution). Cette loi permet l'ajustement d'une courbe de régression par la fréquence d'apparition d'événements passés dans le but de prévoir la probabilité d'apparition d'événements avec une plus grande ampleur sur un temps de retour plus grand. La régression de cette courbe peut se faire par différentes lois telles que Gumbel, Fréchet ou Weibull (Fallot, 2011 ; Fallot & Hertig, 2013). Celle de Gumbel est la plus souvent utilisée car elle permet un ajustement linéaire à partir d'une double loi exponentielle (Fallot & Hertig, 2013). Mais celle-ci a été critiquée dans le cadre des études hydrologiques par certains auteurs, comme vu dans le Chapitre 2, par le fait que cette loi sous-estime ou surestime significativement les valeurs prédites lors de la considération de grandes périodes de retour.

La loi GEV est définie par la formule suivante¹ :

$$y = f(x|k, \mu, \sigma) = \left(\frac{1}{\sigma}\right) \exp\left(-\left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{k}}\right) \left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)^{-1 - \frac{1}{k}} \quad (1)$$

Avec μ comme paramètre de position, σ paramètre d'échelle et k paramètre de forme.

Selon la valeur du paramètre de forme k , les trois lois suivantes se définissent:

Tableau 1) Articulation de la loi GEV selon la valeur du paramètre de forme k

$k > 0$	Loi de Weibull
$k = 0$	Loi de Gumbel
$k < 0$	Loi de Fréchet

Par les 3 cas de la loi GEV et aussi par les lois Gamma, Normale et Lognormale, il sera possible d'adapter les valeurs de l'échantillon à un modèle linéaire. En relation avec la fréquence empirique, cela permettra de prévoir des événements futurs par rapport à la série de valeurs de départ.

3.2.2 Fréquence empirique

Pour appliquer les lois de répartition énoncées auparavant en relation avec le temps de retour, il est nécessaire d'estimer la fréquence empirique $F(x_{[r]})$ entre le rang croissant des valeurs (dans notre cas des pluies journalières maximales annuelles) et la taille de l'échantillon utilisé (en mois ou années). Ceci est possible par la fonction suivante :

$$F(x_{[r]}) = \frac{r - \alpha}{n + 1 - 2\alpha} \quad (2)$$

Avec : n = taille de l'échantillon, $x_{[r]}$ = valeur du rang r , α = coefficient compris entre 0 et 0.5

Selon les valeurs attribuées au coefficient α par différents auteurs, la fréquence empirique se transforme comme suit :

¹ Generalized Extreme Value Distribution (date inconnue). In *MathWorks* [en ligne]. Disponible sur : <https://ch.mathworks.com/help/stats/generalized-extreme-value-distribution.html> (Consulté le 30.01.18)

Tableau 2) Formules pour l'estimation de la fréquence empirique

Weibull	$\alpha = 0$	$F(x_{[r]}) = \frac{r - \alpha}{n + 1}$
Cunane	$\alpha = 0.4$	$F(x_{[r]}) = \frac{r - 0.4}{n + 0.2}$
Gringorten	$\alpha = 0.44$	$F(x_{[r]}) = \frac{r - 0.44}{n + 0.12}$
Hazen	$\alpha = 0.5$	$F(x_{[r]}) = \frac{r - 0.5}{n}$
Médiane	$\alpha = 0.3175$	$F(x_{[r]}) = \frac{r - 0.3175}{n + 0.365}$
Blom	$\alpha = 0.375$	$F(x_{[r]}) = \frac{r - 0.375}{n + 0.25}$
Hosking	$\alpha = 0.35$	$F(x_{[r]}) = \frac{r - 0.35}{n}$

La valeur de la fréquence empirique sera donc utilisée par les lois d'ajustement pour obtenir l'estimation de l'évènement extrême voulu.

3.2.3 Estimations des paramètres de la distribution

Les distributions de probabilité qui sont utilisées dans ce travail et en hydrologie ont parmi leurs propriétés jusqu'à 3 paramètres qui doivent être estimés d'après l'échantillon des valeurs mesurées. Ceux-ci sont, comme défini par Laborde (2000), le paramètre de position, qui "*situe dans quelle zone s'effectuent les variations de X*", le paramètre d'échelle qui "*caractérise les variations de la variable X*" et le paramètre de forme qui "*peut caractériser l'aplatissement, l'asymétrie, etc. de la loi de distribution*".

Plusieurs méthodes existent afin d'estimer ces paramètres. Celles qui ont été retenues dans ce travail sont celles des moments, du maximum de vraisemblance et des moindres carrés.

La méthode des moments définit le paramètre de position a et celui d'échelle b de la manière suivante (Musy, 2005):

$$b = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma \quad a = \mu - b\gamma \quad (3)$$

Avec : σ = écart type de l'échantillon, μ = moyenne de l'échantillon, γ = constante d'Euler = 0.5772

La méthode du maximum de vraisemblance définit les estimations des deux paramètres comme suit (Musy, 2005):

$$b = \mu - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \exp\left(-\frac{x_i}{\hat{b}}\right)}{\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{x_i}{\hat{b}}\right)} \quad (4)$$

$$a = b \ln\left(\frac{n}{\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{x_i}{b}\right)}\right) \quad (5)$$

Avec : μ = moyenne de l'échantillon, n = taille de l'échantillon, x_i = valeur mesurée, \hat{b} = valeur estimée du paramètre d'échelle

L'estimation du paramètre b par la méthode du maximum de vraisemblance nécessite d'une première approximation qui peut être donnée par exemple par la méthode des moments.

Tandis que la méthode des moindres carrées, ou plus précisément des moindres rectangles comme l'applique Musy (2005), utilise ces formules :

$$b = \frac{S_x}{S_u} \quad a = \bar{x} - b\bar{u} \quad (6)$$

Avec : S = variance, \bar{x} = moyenne de l'échantillon, u = variable réduite

Ce qui implique la nécessité de définir une variable réduite qui, par exemple, peut être obtenue depuis la loi de Gumbel par la formule suivante :

$$u = -\ln(-\ln(F(x_{[r]}))) \quad (7)$$

Le paramètre de forme est celui qui cause la majeure partie des problèmes. Car ce paramètre, comme l'indique son nom, définit la forme de la distribution. Cette forme ne dépend donc pas d'une formule mathématique mais doit être définie par des analyses statistiques antécédentes ou par des tentatives en relation aux données courantes².

² Glen, S. (2017). *Statistics How To – Shape parameter* [Page Web]. Disponible sur <http://www.statisticshowto.com/shape-parameter/> (Consulté le 06.12.2017)

3.2.4 Lois de distribution de probabilité

Les distributions de probabilité employées dans cette étude sont décrites ci-dessous par les formules présentes dans le logiciel Matlab, utilisé dans les analyses comme il sera expliqué dans le Chapitre 5. Les lois de distribution sont décrites plus en détail dans l'ouvrage de Laborde (2000). A noter qu'à la place de la valeur empirique x , dans les formules suivantes (8-12) il faudra employer la fréquence empirique $F(x_{[r]})$ obtenue par une des méthodes vue au Chapitre 3.2.2. De cette manière, il sera possible d'utiliser ces distributions de probabilité pour définir les précipitations à n'importe quel temps de retour.

Loi de Gumbel

La distribution de probabilité selon la loi de Gumbel, avec le paramètre de forme k défini comme égal à 0 (cf. Eq. 1), est obtenue par la formule suivante³:

$$y = f(x|0, \mu, \sigma) = \left(\frac{1}{\sigma}\right) \exp\left(-\exp\left(-\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right) - \frac{(x-\mu)}{\sigma}\right) \quad (8)$$

Loi de Fréchet

La distribution de probabilité selon Fréchet fait référence à la loi GEV (Eq. 1) avec le paramètre $k < 0$. En ayant le paramètre de forme différent de 0, cette loi obtiendra une distribution adaptée au cas par cas selon la forme de la distribution empirique.

Loi de Weibull

$$f(x|a, b) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} e^{-(x/a)^b}. \quad (9)$$

La loi de Weibull⁴ dérive aussi de la loi GEV (Eq 1.). Cependant le logiciel Matlab permet d'appliquer la distribution de probabilité en utilisant seulement 2 paramètres, celui de forme b et celui d'échelle a . De cette manière le paramètre de position ne doit pas être estimé, ce qui diminue la marge d'erreur. Toutefois le même problème rencontré avec la loi de Fréchet refait surface : l'estimation du paramètre de forme au cas par cas.

³ Generalized Extreme Value Distribution (date inconnue). In *MathWorks* [en ligne]. Disponible sur : <https://ch.mathworks.com/help/stats/generalized-extreme-value-distribution.html> (Consulté le 30.01.18)

⁴ Weibull Distribution (date inconnue). In *MathWorks* [en ligne]. Disponible sur : <https://ch.mathworks.com/help/stats/weibull-distribution.html> (Consulté le 30.01.18)

Loi Normale

La loi Normale ou de Gauss suit une distribution normale, elle va donc représenter une régression différente par rapport au trois lois logarithmiques précédentes. Elle s'exprime de la manière suivante⁵ :

$$y = f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (10)$$

Les paramètres de cette loi ne doivent pas être estimés par une des méthodes vues au chapitre 3.2.3 car il s'agit de la moyenne μ et de l'écart type σ de l'échantillon de données de départ.

Loi Log Normale

$$f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} ; \quad x > 0. \quad (11)$$

La distribution de probabilité selon la loi LogNormale⁶ utilise comme paramètres le logarithme de la moyenne μ et de l'écart type σ . En utilisant les logarithmes, il est impératif d'avoir des valeurs de x , dans notre cas de la fréquence empirique, positives.

Loi Gamma

$$y = f(x|a, b) = \frac{1}{b^a \Gamma(a)} x^{a-1} e^{-\frac{x}{b}} \quad (12)$$

La loi Gamma⁷, à la différence des lois Normale et LogNormale, nécessite l'estimation des paramètres d'échelle b et de forme a , qui est utilisé dans la fonction de gamma Γ .

⁵ Normal Distribution (date inconnue). In *MathWorks* [en ligne]. Disponible sur : <https://ch.mathworks.com/help/stats/normal-distribution.html> (Consulté le 30.01.18)

⁶ Lognormal Distribution (date inconnue). In *MathWorks* [en ligne]. Disponible sur : <https://ch.mathworks.com/help/stats/lognormal-distribution.html> (Consulté le 30.01.18)

⁷ Gamma Distribution (date inconnue). In *MathWorks* [en ligne]. Disponible sur : <https://ch.mathworks.com/help/stats/gamma-distribution.html> (Consulté le 30.01.18)

3.2.5 Analyses des modèles fréquentiels

La distribution des valeurs extrêmes x , en relation à la variable réduite u de Gumbel, suit un des 4 asymptotes illustrées à la Figure 1 selon les lois vues dans ce chapitre (Musy, 2005).

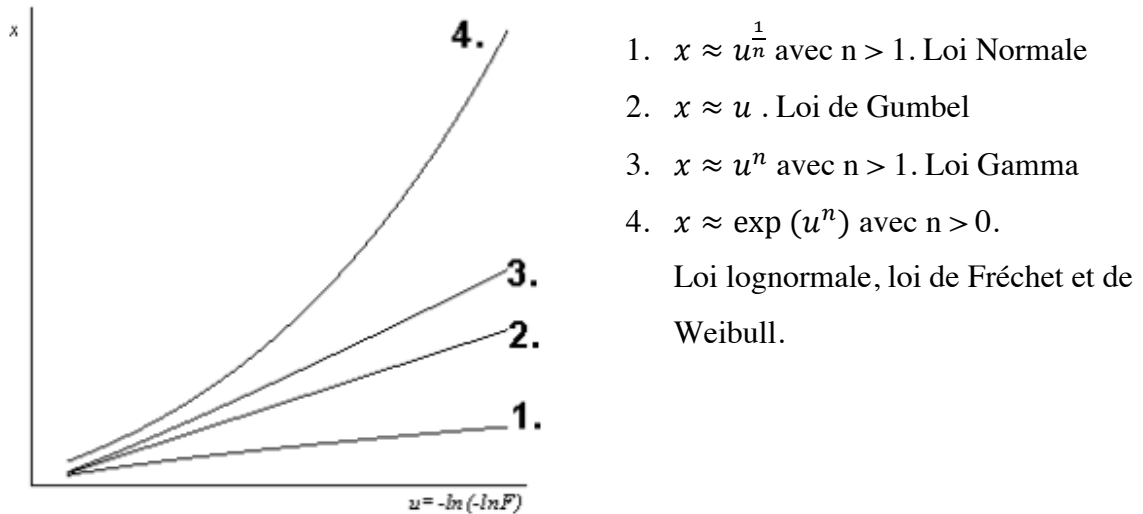


Figure 1) Comportement asymptotique des lois de distribution de probabilité

Par ce graphique (Figure 1) on aperçoit que lorsque les fréquences augmentent, les valeurs extrêmes x se distribuent différemment selon la loi utilisée. En particulier quand la loi suit une distribution logarithmique, il y a le risque d'une grande surestimation ou sous-estimation des valeurs. Il est donc important d'évaluer la qualité du modèle de régression employé. Ceci est faisable par la valeur du coefficient de détermination R^2 issue de la représentation graphique de l'ajustement ou encore par le test du Chi^2 . En plus de la qualité de la distribution, il est aussi possible de définir la fiabilité du modèle employé en définissant un intervalle de confiance (normalement posé à 95%) en relation à l'erreur-type (σ) de la série des données (Musy, 2005). Ces analyses rendent possible la détermination du comportement des lois de distribution sur un temps allant au-delà de la série de mesures utilisée.

4 Situation climatique

Le champ d'étude a été défini sur l'ensemble de la Suisse. Ici plusieurs climats (océanique, continental et méditerranéen) se rencontrent, en influençant les régimes pluviométriques des différentes régions suisses en relation à la topographie. En effet, au Nord des Alpes globalement on retrouve un régime pluviométrique semi-continental de type lorrain avec un maximum des précipitations en été. Seul différence au niveau du Jura vaudois et neuchâtelois où le maximum des précipitations arrive en hiver, traduisant l'influence d'un climat océanique sous une forme atténuée. Au niveau de la ligne de faite principale et du versant Sud des Alpes, c'est le régime pluviométrique semi-continental de type danubien qui est présent, avec deux maximums de précipitations au printemps et en automne, ce qui traduit l'influence d'un climat nord-méditerranéen. Les effets de ce climat sont plutôt présents sur les crêtes que sur le versant Sud des Alpes à cause de pluies de convection estivales. A noter aussi qu'au Nord des Alpes le maximum estival des précipitations augmente d'Ouest en Est à cause du passage progressif du régime océanique à celui continental et que la Basse-Engadine et une partie de la Haute-Engadine présentent un régime pluviométrique plus proche du Nord des Alpes que du Sud (Fallot, 2015B). Par tous ces facteurs, la zone plus touchée par de fortes précipitations est le Sud des Alpes, avec par exemple 33.6 mm en 10 minutes à Locarno en 2003 et 414 mm en un jour au Centovalli en 1983. Cela s'explique par l'exposition du versant Sud des Alpes aux afflux d'air chauds et humides de la Méditerranée. Ceux-ci forment une situation de barrage actif qui porte la vapeur d'eau contenue dans l'air à se condenser à cause du refroidissement en fonction de l'augmentation de l'altitude (Fallot, 2015A, B).

Ces pluies extrêmes sont enregistrées par un réseau composé de 300 stations de mesure pluviométrique manuelles et 260 automatiques utilisées par MeteoSuisse⁸. Pour permettre les analyses de ce travail (qui nécessite d'utiliser des stations avec au moins 100 ans d'activité), 151 stations ont été retenues, dont leur emplacement est représenté dans la carte à la Figure 2 en relation avec le tableau en Annexe I décrivant leur position (nom, coordonnées et altitude).

⁸ Système de mesure et de prévision (2017). In *MétéoSuisse* [en ligne]. Disponible sur : <http://www.meteosvizzera.admin.ch/home/sistemi-di-rilevamento-e-previsione/stazioni-al-suolo.html> (Consulté le 30.01.18)

Les données obtenues par ces stations, numérotées en relation avec les principaux bassins versants fluviaux du réseau hydrographique suisse, sont récoltées par MétéoSuisse dans le portail CLIMAP. Ces données permettent d'obtenir une première carte avec les précipitations journalières maximales annuelles les plus élevées enregistrées lors de la période 1911-2010 pour chaque station.

Emplacement des 151 stations de mesure pluviométriques

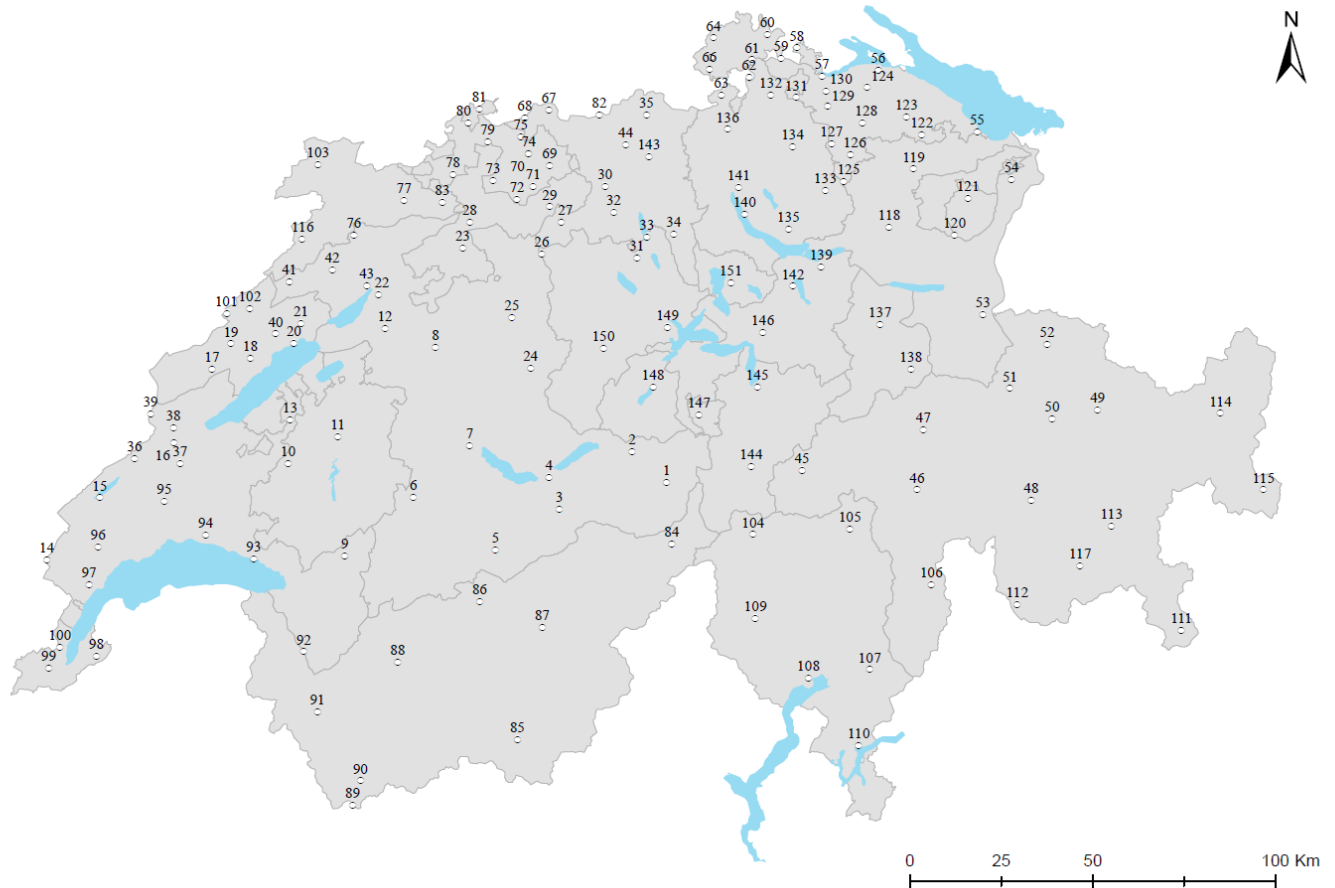


Figure 2) Emplacement des 151 stations de mesure pluviométrique

La carte de la Figure 3 révèle (aussi à l'aide d'une interpolation indicative) que ces précipitations journalières maximales se situent principalement au Sud des Alpes, avec notamment Locarno-Monti et 317.9 mm/j. Tandis que les valeurs les plus basses ne se regroupent pas dans une seule région précise, en présentant Bex avec 68.8 mm/j dans les Préalpes Ouest, Scuol avec 71.8 mm/j dans les Grisons et Lohn SH avec 75.4 mm/j dans l'Est du Plateau.

Comme vu au début de ce chapitre, la présence des valeurs extrêmes au Sud des Alpes n'est pas étonnante. Cette région, et l'ensemble des sommets alpins, sont les zones avec la plus grande hauteur d'eau moyenne tombée sur une année : entre 1500 et 3000 mm/an (Fallot, 2015B). On retrouve la même répartition spatiale au niveau des moyennes des précipitations journalières maximales sur l'ensemble de la série de mesure (1911-2010) (Figure 4) et des précipitations journalières avec un temps de retour de 500 ans obtenues par Fallot *et al.* (2017) à partir des mesures effectuées entre 1961 et 2010. La Figure 5 montre ces résultats avec les précipitations qui peuvent atteindre jusqu'à 550 mm/jour au Sud des Alpes (Centovalli) contre 100 mm/jour à l'Est de Bâle.

Précipitations T100 enregistrées sur l'ensemble de la série 1911 - 2010

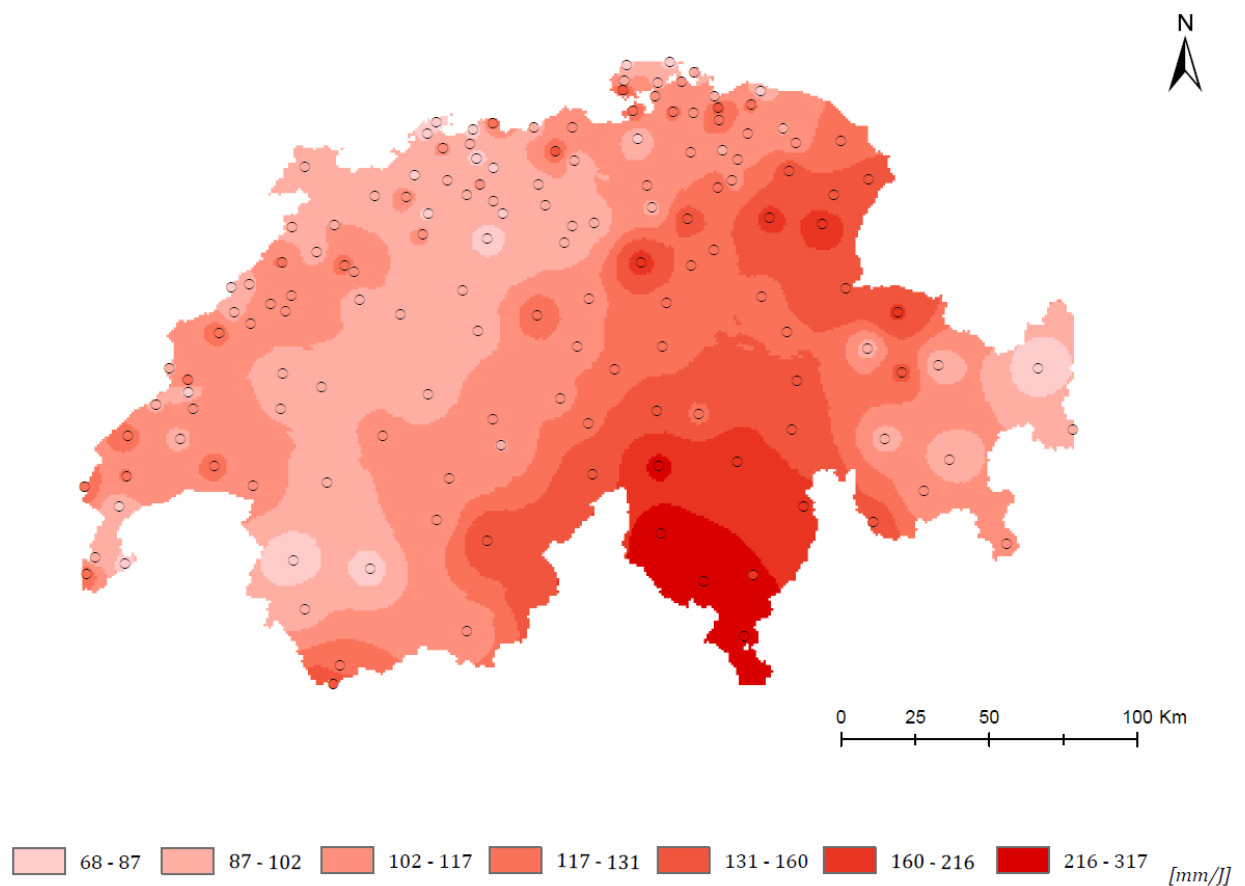


Figure 3) Précipitations journalières maximales enregistrées sur l'ensemble de la série 1911-2010

Moyenne des précipitations journalières maximales entre 1911 et 2010

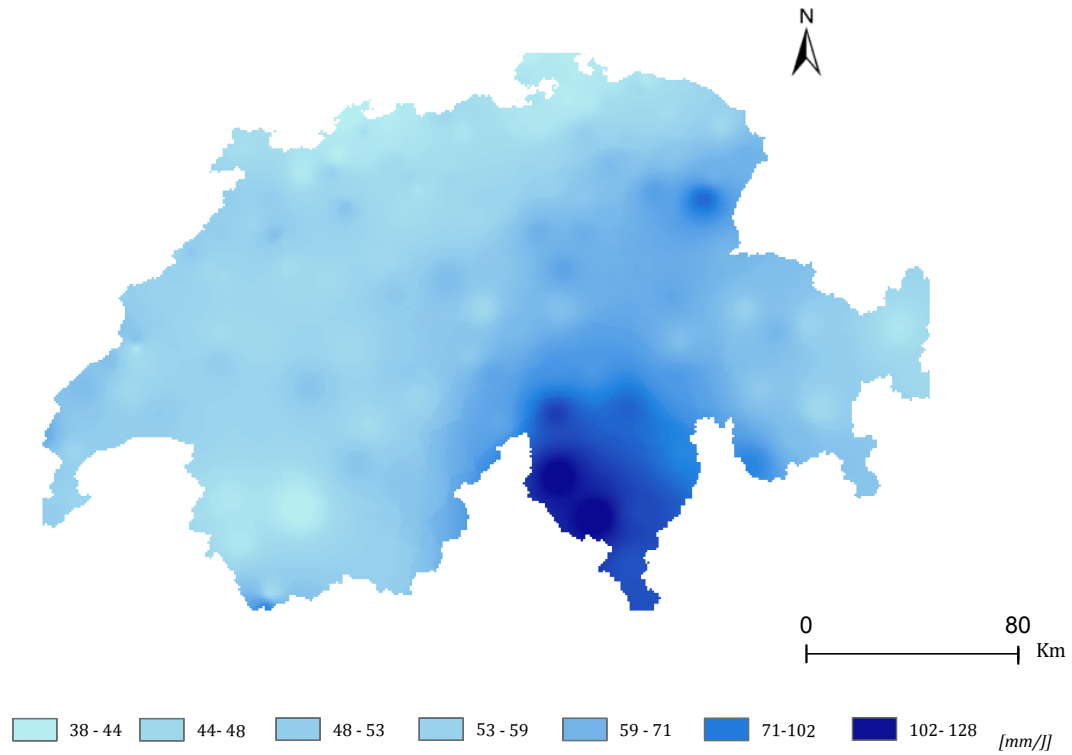


Figure 4) Moyenne des précipitations journalières maximales enregistrées sur l'ensemble de la série 1911-2010

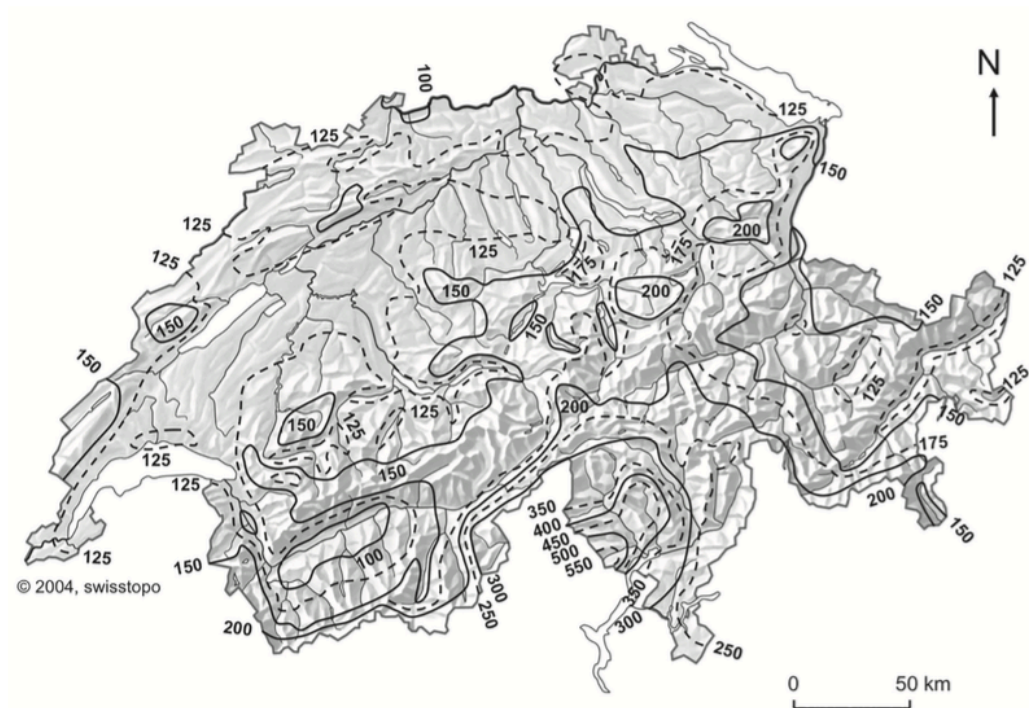


Figure 5) Précipitations journalières estimées (mm) pour un temps de retour de 500 ans à partir de la loi de Gumbel. Fallot et al. (2017)

5 Méthodologie

Ce chapitre, dédié à la méthodologie, explique par quels moyens la problématique a été abordée pour obtenir des réponses aux questions apportées par ce travail. Une description des données employées occupera la première partie du chapitre, suivi d'une explication des calculs effectués et de la représentation des données sur des graphiques et des cartes.

5.1 Données

Les données retenues pour permettre d'estimer les précipitations avec un temps de retour de 100 ans ont été extraites du logiciel CLIMAP. Celles-ci comprennent les précipitations journalières maximales par année entre 1911 et 2010 pour 151 stations réparties sur l'ensemble du territoire Suisse. Le choix de ces stations a été fait en prenant comme critère la date de leur mise en service. Le but de cette étude est de confronter la valeur d'une pluie mesurée une fois au moins tous les cent ans (car elle pourrait aussi avoir un temps de retour plus grand) à celle calculée en partant d'une série plus courte par les modèles de prévisions.

La liste de ces 151 stations est présentée dans les annexes (Annexe I). Parmi ces données, on note 13 stations avec des données manquantes. Notamment les stations de Vallorbe, L'Auberson, Unterboezberg, Laufenburg et Saignelégier dans les années avant 1961 et celles de Boudevilliers, Rheinau et Rheinfelden pour les années plus récentes. Ces stations ont quand même été incluses dans la modélisation, en n'ayant jamais plus de 7 années manquantes sur 100. Seule la station située au St. Gothard n'a pas été prise en compte, car elle a été mise hors service en 1971. Cependant il sera important de tenir compte de ces valeurs manquantes lors de la discussion des résultats. A noter, qu'en employant les valeurs en ordre croissant, il sera tout de même possible de confronter la valeur de pluie extrême avec la prévision de la précipitation sur un temps de retour de 100 ans. Cette série de données a été divisée en deux séries plus petites comprenant chacune 50 ans de précipitations, en se basant sur les principes énoncés par l'étude Bacro & Chaouche (2006). La série 1 sera formée par les valeurs de précipitations journalières maximales des années allant de 1911 à 1960, et la série 2 celles de 1961 à 2010, en se basant sur les observations effectuées par Fallot et Hertig (2013) et Fallot (2013) qui ont constaté qu'une subdivision par des séries plus courtes dans ce cas n'aboutit pas à de meilleurs résultats. Avec la répartition de ces 2 séries, 114 stations ont mesuré les précipitations journalières les plus élevées durant la période 1961-2010 (série 2), ce qui équivaut à 75.5% des stations. Cela sera un facteur déterminant dans les résultats des prévisions comme il sera dit

dans le Chapitre 7. Les précipitations journalières centennales ont été estimées à partir de ces 2 séries de mesures et les 8 lois statistiques, puis comparées avec les précipitations journalières maximales mesurées entre 1911 et 2010.

5.2 Estimations

Pour obtenir les prévisions des précipitations centennales selon les 8 lois retenues et décrites dans la problématique au Chapitre 3, les calculs ont été effectués principalement à l'aide du logiciel Matlab. En effet ce programme inclut directement des fonctions capables d'ajuster des données sur une droite de régression qui permet d'obtenir des valeurs estimées pour des périodes plus longues que celles formant l'échantillon de départ. En matière de contrôle, pour certains cas, les valeurs obtenues ont été confrontées à celles obtenues par le logiciel Hyfran, logiciel conçu spécialement pour ces opérations, mais qui demande une introduction manuelle des valeurs de départ, ce qui aurait été particulièrement dispendieux en question de temps.

La formule principale employé dans le logiciel Matlab a été *fitdist*, abréviation de *fit probability distribution object to data*⁹, qui, comme dit au paragraphe précédent, permet d'ajuster des valeurs à une droite selon la loi d'ajustement souhaitée. Pour employer cette formule, un certain nombre d'étapes sont nécessaire au niveau du traitement des données avant d'obtenir l'estimation de la précipitation avec un temps de retour de 100 ans. Un exemple du code utilisant ces étapes est reporté en annexe (Annexe II) et elles sont décrites ci-dessous.

Initialement il faut diviser la série totale des précipitations dans les deux séries vues précédemment. C'est-à-dire la série 1 avec les valeurs de 1911 à 1960 et la série 2 avec celles de 1961 à 2010. A partir de ce moment, le traitement des données est effectué de la même manière pour chaque station en partant d'une des deux séries de 50 ans. Le premier passage consiste à placer dans un ordre croissant les précipitations journalières maximales et à leur attribuer un rang. La valeur de pluie plus basse se verra donc attribuer le rang de 1 tandis que la plus haute celui de 50. A ce moment, il faut définir la fréquence empirique des précipitations. Cela a été fait en utilisant la formule de Hazen, définie comme la plus performantes pour la loi de Gumbel par Fallot (2013), vue au Chapitre 3.2.2 à l'Equation 2 et qui vient reprise ici de suite:

⁹ Fitdist (29 Juillet 2004). In *MathWorks* [en ligne]. Disponible sur : <https://ch.mathworks.com/help/stats/fitdist.html> (Consulté le 30.01.18)

$$F(x_{[r]}) = \frac{r - \alpha}{n + 1 - 2\alpha} \quad (13)$$

$$F(x_{[r]}) = \frac{r - 0.5}{n} \quad (14)$$

A noter que les autres formules décrites au Tableau 2 n'ont pas été testées sur les lois de distribution utilisées dans ce travail. Il est donc possible que l'utilisation d'autres formules que celle de Hazen arrive à des meilleurs résultats, même si, comme décrit par Fallo 2013, cela ne devrait pas avoir un poids particulièrement important.

En utilisant les rangs r allant de 1 à 50 et la taille de l'échantillon n , les fréquences empiriques vont depuis 0.01 pour la pluie avec le rang plus bas au 0.99 de la précipitation avec le rang de 50. Pour obtenir la fréquence empirique d'une précipitation centennale, donc plus grand que la série utilisée, il faut définir le rang r à 100 et considérer la taille de l'échantillon n aussi à 100. Cela portera à obtenir une fréquence empirique de 0.995. L'objectif, maintenant que la fréquence empirique de la précipitation avec un temps de retour de 100 ans a été définie, est d'y attribuer une valeur estimée. Cela est possible par l'utilisation de la fonction *fitdist* qui selon la loi spécifiée dans les paramètres et la plage de données utilisée, crée un ajustement des valeurs. Comme vu au Chapitre 3.2, pour permettre cet ajustement, les paramètres de forme, échelle et de position doivent être estimés. La fonction *fitdist* les estime directement selon la méthode du maximum de vraisemblance. Sauf dans le cas des lois Normale et LogNormale qui utilisent en tant que paramètres les valeurs de la moyenne et de l'écart-type pour la première, et les valeurs logarithmiques de ces derniers pour la deuxième (cf. Chapitre 3.2.4). Pour ce qui concerne les variantes de la loi de Gumbel avec les paramètres estimés selon la méthode des moments et par les moindres carrés, d'autres fonctions doivent être utilisées. La méthode des moments ne pose pas de problème au niveau des paramètres car ils sont facilement calculables en employant la moyenne et l'écart type de l'échantillon avec la constante d'Euler comme décrit dans le Chapitre 3.2. Celle des moindres carrés demande quelques passages en plus. En utilisant la variable réduite u de Gumbel, obtenue par la formule suivante

$$u = -\ln(-\ln(F(x_{[r]}))) \quad (15)$$

et les valeurs des précipitations de l'échantillon, à l'aide de la fonction *fitlm*¹⁰, il est possible d'obtenir un modèle linéaire par lequel on peut extraire les paramètres d'estimation qui sont obtenus par la méthode des moindres carrés. Une fois ces paramètres obtenus, à l'aide de la fonction *makedist*¹¹, qui permet de créer une probabilité de distribution selon une loi et des paramètres définis, il sera possible d'appliquer l'ajustement pour la loi *GeneralizedExtremeValue* avec le paramètre de forme égal à 0 et ceux d'échelle et de position obtenu par la méthode des moments et des moindres carrés.

A ce moment, grâce à la fonction *icdf – inverse cumulative distribution functions*¹², on pourra mettre en relation les probabilités des distributions obtenues par *fitdist* ou *makedist* avec les fréquences empiriques calculées précédemment, en obtenant les estimations des précipitations calculées par le modèle. Il suffit donc d'extraire la valeur à la fréquence empirique de 0.995 pour trouver la valeur de la précipitation centennale estimée. Laquelle, en la mettant en relation à la série de données complète, peut être confrontée à la précipitation extrême mesurée pour en définir la différence relative, en pourcentage, qui sera la donnée principalement utilisée dans les analyses.

Par le logiciel Matlab, il a été possible d'obtenir aussi des critères d'évaluation de la qualité de l'ajustement effectué par les différentes lois. En particulier nous avons retenu la valeur du coefficient de détermination R^2 et le test du Chi². La fonction *fitlm*, vue au paragraphe précédent, avec les valeurs des estimations et des précipitations enregistrées par la station au niveau des variables, permet d'obtenir directement la valeur du coefficient de détermination. En effet c'est une des propriétés que la fonction prend en compte, en la calculant selon la formule suivante :

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (16)$$

Avec $SSE =$ somme des carrés des erreurs, $SSR =$ somme des carrés de régression, $SST =$ somme totale des carrés.

Une valeur du coefficient de détermination R^2 supérieur à 0.95 exprime un excellent ajustement, une valeur comprise entre 0.95 et 0.9 un bon ajustement et une valeur inférieure à

¹⁰ Fitlm (date inconnue). In *MathWorks* [en ligne]. Disponible sur : <https://ch.mathworks.com/help/stats/fitlm.html> (Consulté le 30.01.18)

¹¹ Makedist (date inconnue). In *MathWorks* [en ligne]. Disponible sur : <https://ch.mathworks.com/help/stats/makedist.html> (Consulté le 30.01.18)

¹² Icdf (date inconnue). In *MathWorks* [en ligne]. Disponible sur : <https://ch.mathworks.com/help/stats/icdf.html> (Consulté le 30.01.18)

0.9 indique un moins bon ajustement (Fallot et Hertig, 2013). Ce coefficient va donc permettre d'établir si la valeur de la précipitation journalière maximale estimée est cohérente par rapport à l'échantillon de départ des valeurs des précipitations observées. Le test du χ^2 est obtenu par la formule χ^2_{gof} ¹³ qui permet de tester l'hypothèse H_0 que les précipitations de l'échantillon suivent la distribution théorique obtenue par la loi d'ajustement utilisée. Cette formule attribue la valeur de 1 si l'hypothèse H_0 est rejetée ou de 0 si elle est acceptée pour un niveau de signification de 5%.

5.3 Représentation spatiale

L'utilisation des cartes est la solution plus directe pour visualiser la distribution des précipitations sur les 151 stations de mesure. Celles-ci ont été créées en employant le logiciel ArcGis et les données de base (surface cantons, lacs) mises à disposition par l'Université de Lausanne et SwissTopo. Sur ces données de base, la différence relative entre les précipitations mesurées et celles estimées par les 8 différents modèles a été représentée. Dans le but de permettre une confrontation visuelle entre les modèles de prévision, les résultats, en pourcentage d'écart de la valeur de la précipitation observée au temps de retour de 100 ans, ont été classés par 10% d'écart avec des gradations de bleu pour les estimations plus basses que la valeur mesurée et de rouge pour celles plus élevées. De cette manière, la même classification bipolaire, allant de -60% à +80%, est présente sur l'ensemble des cartes des résultats. Pour améliorer ultérieurement la visibilité des résultats obtenus, une interpolation a été effectuée entre les points représentant les stations de mesure. Cette interpolation a été faite directement sur ArcGis par la méthode de la pondération par l'inverse de la distance (*IDW – Inverse Distance Weighted*¹⁴), ce qui signifie que la valeur recensée perdra de l'influence sur la surface intéressée par l'interpolation en fonction de la distance à son emplacement. Le choix de cette méthode a été fait étant donnée la rapidité d'exécution. En effet, pour avoir une interpolation plus représentative d'une distribution comme celle des précipitations sur le territoire suisse, il faudrait tenir compte non seulement la distance entre les stations de mesure, mais aussi les différences d'altitude et d'exposition présentes sur le sol suisse.

¹³ χ^2_{gof} (date inconnue). In *MathWorks* [en ligne]. Disponible sur : <https://ch.mathworks.com/help/stats/chi2gof.html> (Consulté le 30.01.18)

Chi Square Distribution (date inconnue). In *MathWorks* [en ligne]. Disponible sur : <https://ch.mathworks.com/help/stats/chi-square-distribution.html> (Consulté le 30.01.18)

¹⁴ Fonctionnement de l'outil IDW (date inconnue). In *ArcGIS for Desktop* [en ligne]. Disponible sur : <http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-idw-works.htm> (Consulté le 30.01.18)

Pour ces raisons, le but de cette interpolation sera uniquement de faciliter la visualisation des régions surestimées ou sous-estimées, les valeurs utilisées dans les analyses seront donc uniquement celles obtenues au niveau des stations.

Cependant une analyse de la qualité de l'interpolation a été mise en pratique par l'utilisation de polygones de Thiessen. Ceux-ci ont été créés toujours par ArcGis, en utilisant l'outil *Create Thiessen Polygons*¹⁵. Des polygones sont donc formés à partir des points P_n (dans ce cas les stations pluviométrique) selon le principe que chaque point faisant parti d'un polygone est situé à une distance égale ou plus basse du point P_k (situé à l'intérieur du polygone) que de n'importe quel autre point P_n . De cette manière, il sera possible de déterminer aisément les disparités de densité des stations de mesure sur le territoire étudié et la surface influencée par une station lors de l'interpolation.

¹⁵ Créer des polygones de Thiessen (date inconnue). In *ArcGIS for Desktop* [en ligne]. Disponible sur : <http://pro.arcgis.com/fr/pro-app/tool-reference/analysis/create-thiessen-polygons.htm> (Consulté le 30.01.18)

6 Résultats

L'illustration des résultats obtenus suite aux processus décrits dans le Chapitre 5 est le sujet de ce chapitre. Initialement les résultats seront traités par une description des statistiques pour chaque loi, c'est-à-dire une analyse des valeurs extrêmes, moyennes, de qualité des ajustements et par une classification des stations selon les écarts relatifs (en pourcentage) entre la valeur estimée et celle mesurée. Ensuite, les prévisions obtenues selon les différentes lois seront étudiées à l'aide de cartes pour permettre de visualiser le résultat en manière spatiale. Une dernière analyse des résultats se penchera au niveau des stations à la fin de ce chapitre. Pour augmenter la lisibilité des données, il est utile de préciser que les écarts utilisés dans les descriptions suivantes font référence à la différence relative (pourcentage) entre les précipitations journalières centennales estimées par la méthode statistique et les valeurs les plus élevées mesurées par la station sur la période de 100 ans allant de 1911 à 2010. Des écarts positifs signifient que les précipitations journalières centennales estimées par la méthode statistique à partir d'une série de mesures de 50 ans sont trop élevées (surestimations) par rapport à la valeur journalière maximale mesurée durant les 100 dernières années (1911 à 2010). Des écarts négatifs signifient l'inverse et correspondent à une sous-estimation des valeurs centennales par la méthode statistique. Toujours pour une question de lisibilité, la méthode d'estimation des paramètres utilisés par les lois n'est pas spécifiée dans les tableaux et figures suivantes. Les lois de Gumbel, Fréchet, Weibull et Gamma utilisent la méthode du maximum de vraisemblance, tandis que les lois Normale et LogNormale utilisent la moyenne et l'écart type de l'échantillon. Seulement dans deux cas de la loi de Gumbel, pour les différencier de l'ajustement selon la loi de Gumbel et la méthode du maximum de vraisemblance, les méthodes d'estimation des moments et des moindres carrés (Gumbel Moments, Gumbel Moi.Carrés) sont spécifiées.

6.1 Statistiques des estimations

Les estimations des précipitations avec un temps de retour de 100 ans effectuées par les 8 lois décrites dans les chapitres précédents à partir de deux séries différentes de 50 ans (série 1 : 1911 – 1960, série 2 : 1961 – 2010) donnent les résultats illustrés dans les tableaux suivants. Le Tableau 3 montre les différences maximales positives, maximales négatives et minimales en valeur relative (en pourcentage) par rapport à la valeur observée dans les stations.

Tableau 3) Ecart maximal et minimal (%) entre les précipitations journalières centennales estimées par chaque loi et les valeurs journalières maximales mesurées de 1911 à 2010.

Série	Loi	Max+ [%]		Max- [%]		Min [%]		Moyenne	EcartType
1	Gumbel Moments	Scuol	29.03	Unterboezberg	-47.66	Bellinzona	0.12	-7.79	14.06
1	Gumbel MoiCarrés	Scuol	28.59	Unterboezberg	-47.64	Guttanen	0.03	-7.75	14.14
1	Gumbel	Bex	37.07	Unterboezberg	-40.92	Elm	0.00	-7.94	14.76
1	Frechet	Vallorbe	78.92	Unterboezberg	-54.60	Liestal - Sissach	-0.19	-6.96	20.03
1	Weibull	Scuol	7.85	Unterboezberg	-55.89	Les Brenets	0.05	-21.00	11.91
1	Gamma	Scuol	17.44	Unterboezberg	-51.86	Aesch LU	-0.32	-17.32	12.64
1	Log Norm	Scuol	27.41	Unterboezberg	-49.18	La Chau-de-Fonds	0.00	-12.25	13.82
1	Normal	Scuol	8.19	Unterboezberg	-54.53	Nyon	0.06	-21.81	11.72
MOYENNE		30.47		-49.95		-0.08		-12.85	14.25
2	Gumbel Moments	Soglio	26.12	Chavornay	-23.14	Mesocco	0.25	4.51	10.62
2	Gumbel MoiCarrés	Soglio	25.70	Chavornay	-22.75	Lauterbrunnen	0.00	4.60	10.82
2	Gumbel	Scuol	40.63	Kalchrain	-35.22	Airolo	-0.13	0.01	14.92
2	Frechet	Muri AG	75.13	Chavornay	-28.81	Altdorf	-0.17	12.10	17.34
2	Weibull	Vals	5.94	Chavornay	-35.12	Muri AG	0.60	-10.26	8.34
2	Gamma	Soglio	16.28	Lugano	-30.42	Segl-Maria	0.02	-6.90	10.48
2	Log Norm	Soglio	26.47	Chavornay	-25.50	Eschenz	0.15	-0.99	11.89
2	Normal	Soglio	6.72	Lugano	-34.80	Savognin	0.34	-11.99	9.11
MOYENNE		27.87		-29.47		0.13		-1.12	11.69

On se rend compte que les résultats obtenus par la série 2 sont meilleurs que ceux résultant de la série 1, avec des écarts moyens de respectivement -1.12% et -12.29%. Pour la série de mesures 1, la loi de Fréchet est globalement la meilleure avec un écart moyen de -6.69% par rapport aux précipitations journalières maximales mesurées pour l'ensemble des stations. Cependant c'est aussi la loi qui présente la valeur d'écart type, donc de dispersion des valeurs, la plus haute : 20.03. Pour la série 2, l'écart moyen le plus petit pour l'ensemble des stations est obtenu par la loi de Gumbel, avec +0.01%. Mais dans ce cas aussi, l'écart type est supérieur à la moyenne avec une valeur de 14.92.

En analysant les maximums et les minimums pour chaque loi, les surestimations par la première série se situent principalement sur la station de Scuol, dans les Grisons. Seules les lois de Gumbel et de Fréchet diffèrent, avec les surestimations plus élevées sur les stations de Bex, au Sud du Canton de Vaud, pour la première série et de Vallorbe, au Nord du Canton de Vaud, pour la deuxième.

Les surestimations maximales des précipitations journalières centennales par rapport aux valeurs maximales mesurées varient entre +7,85% pour la loi de Weibull et +78.92% pour la loi de Fréchet. Tandis que les sous-estimations maximales, toujours pour la série 1, sont pour toutes les lois situées sur la station de Unterboezberg, au Nord du Plateau. Ces sous-estimations maximales varient entre -40.92% pour la loi de Gumbel et -55.89% pour la loi de Weibull.

Les écarts les plus faibles entre les précipitations journalières centennales estimées par les méthodes statistiques et les valeurs maximales mesurées de 1911 à 2010 varient entre -0.32% pour les lois Gamma et Normale et +0.12% pour la loi de Gumbel. Ces écarts minimaux apparaissent en des endroits différents de Suisse suivant la loi statistique utilisée.

Dans la deuxième série, on retrouve plus au moins la même configuration observée dans la série 1 : la surestimation maximale se situe à la station de Soglio, au Sud des Alpes, pour 5 lois. Seules celles de Gumbel, Weibull et Fréchet estiment l'écart le plus élevé sur d'autres stations. Ces écarts maximaux vont de +5.94% pour la loi de Weibull à +75.13% pour celle de Fréchet. Les sous-estimations les plus marquées apparaissent aussi le plus souvent à une seule station, celle de Chavornay dans l'Ouest du Plateau, sauf pour les lois Gamma, Normale et Gumbel. L'intervalle des maximums négatifs va de -22.75% pour la loi de Gumbel selon la méthode des moindres carrés à -35.22% selon Gumbel. Cependant comme pour la première série, les estimations les plus correctes apparaissent à différents endroits de Suisse. Ces valeurs vont de -0.17% pour la loi de Fréchet, à +0.60% pour la loi de Weibull.

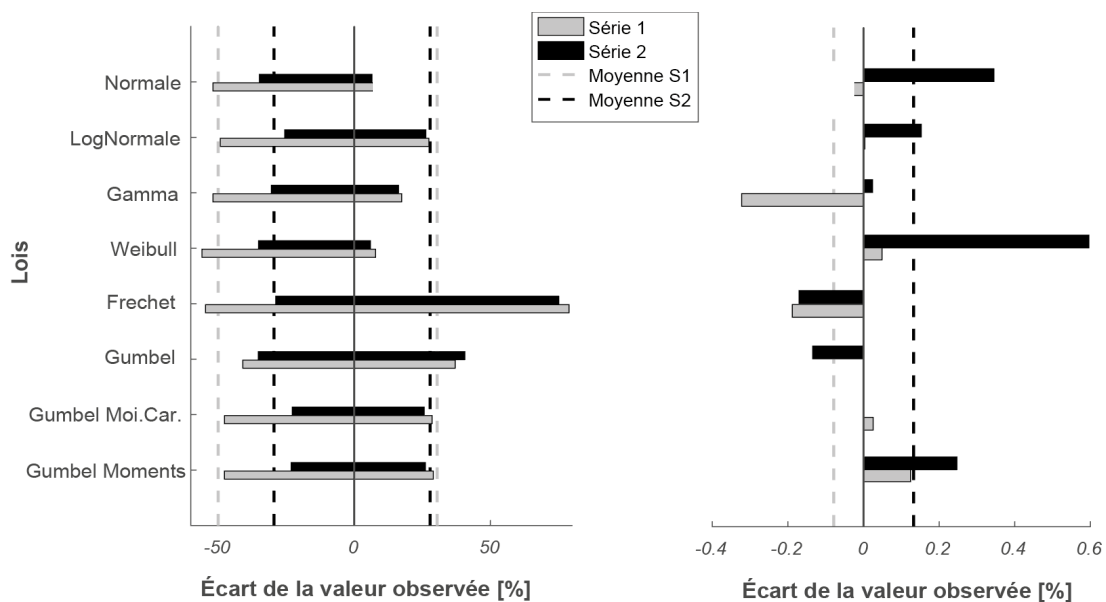


Figure 6) Ecart maximal (gauche) et minimal (droite) (en %) entre les précipitations journalières estimées par chaque loi et les valeurs journalières maximales mesurées de 1911 à 2010

Ces écarts obtenus par les différentes lois sont représentés graphiquement par la Figure 6 en les comparant aussi aux moyennes des écarts maximales et minimales des deux séries.

Un autre moyen de confronter les lois, toujours en employant les écarts relatifs par rapport aux valeurs des précipitations enregistrées, est celui de quantifier le nombre de stations regroupées dans une classe d'écart. Le Tableau 4 montre cette subdivision pour chaque loi et le nombre de stations qui se situent dans chaque classe. A noter que les classes dans les extrêmes positifs et négatifs présentent un intervalle plus grand (de -30% à -60% et de +30 à +80%) que les autres classes (intervalles de $\pm 10\%$) étant donné le petit nombre de stations ayant des écarts plus importants de $\pm 30\%$.

Tableau 4) Distribution des stations (%) par classe d'écart

Classes d'écart [%]		-60 à -30	-30 à -20	-20 à -10	-10 à 0	0 à 10	10 à 20	20 à 30	30 à 80
Série	Loi	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	Gumbel Moments	8.6	8.6	24.5	31.1	17.9	7.3	2	
1	Gumbel Moi.Car.	8.6	7.9	25.8	29.1	17.9	8.6	2	
1	Gumbel	8.6	7.3	25.8	29.8	19.2	4.6	3.3	1.3
1	Frechet	8.7	20.5	16.6	21.9	15.2	8.6	5.3	3.4
1	Weibull	21.2	28.5	33.1	14.6	2.6			
1	Gamma	12	29.1	32.5	18.5	7.3	0.7		
1	LogNormale	10.5	15.9	25.2	31.1	11.3	5.3	0.7	
1	Normale	20.6	33.8	31.8	9.3	4.6			
MOYENNE		12.35	19	26.9	23.2	12	4.4	1.7	0.6
2	Gumbel Moments		1.3	10.6	21.2	33.1	27.2	6.6	
2	Gumbel Moi.Car.		1.3	12.6	17.2	34.4	27.8	6.6	
2	Gumbel	2.6	7.9	11.9	25.2	24.5	22.5	2	3.3
2	Frechet		2.6	3.3	14.6	31.1	22.5	12.6	13.3
2	Weibull	2.6	11.3	30.5	45	10.6			
2	Gamma	1.3	13.9	21.2	33.1	25.8	4.6		
2	LogNormale		8.6	13.9	25.2	37.1	10.6	4.6	
2	Normale	4	15.2	36.4	35.8	8.6			
MOYENNE		1.3	7.8	17.5	27.2	25.7	14.4	4.1	2.1

Cette distribution est représentée dans la Figure 7, où on distingue une concentration plus élevée des stations dans les classes situées entre -30% à +10% pour les deux séries de données de départ. Pour simplifier la lecture de ces données et de ces graphiques, les différences relatives des précipitations estimées ont été regroupées dans des classes inférieures à 0%, supérieures ou égales à 0% et celles situées dans l'intervalle [-10% +10%] (Tableau 5).

Figure 7) Pourcentage de stations par classes d'écart relatif entre les précipitations journalières centennales estimées pour chaque loi et les valeurs journalières maximales mesurées de 1961 à 2010

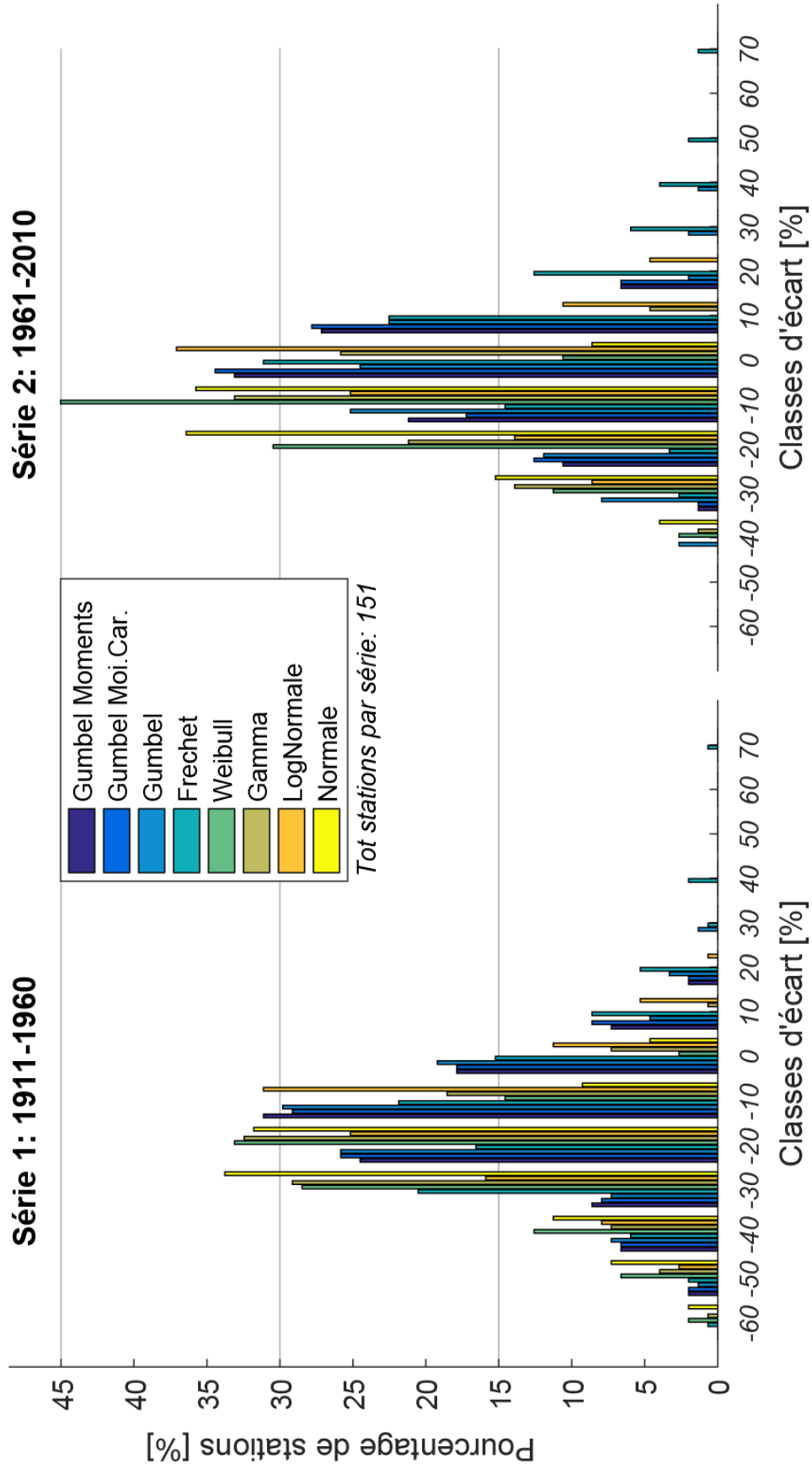


Tableau 5) Pourcentage des stations avec un écart inférieur ou supérieur à 0

Classes d'écart [%]		<0	⇒0	[-10% +10%]
Série	Loi	[%]	[%]	[%]
1	Gumbel Moments	72.8	27.2	49
1	Gumbel Moi.Car.	71.5	28.5	47
1	Gumbel	71.5	28.5	49
1	Frechet	67.5	32.5	37.1
1	Weibull	97.4	2.6	17.2
1	Gamma	92.1	7.9	25.8
1	LogNormale	82.8	17.2	42.4
1	Normale	95.4	4.6	13.9
MOYENNE		81.4	18.6	35.2
2	Gumbel Moments	33.1	66.9	54.3
2	Gumbel Moi.Car.	31.1	68.9	51.7
2	Gumbel	47.7	52.3	49.7
2	Frechet	20.5	79.5	45.7
2	Weibull	89.4	10.6	55.6
2	Gamma	69.5	30.5	58.9
2	LogNormale	47.7	52.3	62.3
2	Normale	91.4	8.6	44.4
MOYENNE		53.8	46.2	52.8

Le Tableau 5 et les Figures 8 et 9 montrent que les précipitations journalières centennales estimées à partir des données de la série 1 (1911 – 1960) sont trop basses pour toutes les lois comparativement aux valeurs journalières maximales mesurées de 1911 à 2010. Cette sous-estimation concerne en moyenne 81.4% des stations pour les 8 lois (de 67.5% pour la loi de Fréchet à 97.4% pour la loi de Weibull). Seules 35.2% des stations se situent dans l'intervalle -10% à +10%. Seule la Loi de Gumbel, indépendamment de la méthode d'estimation employée, présente plus de 45% des stations dans cet intervalle, alors que la loi Normale n'en contient que 13.9%.

Les estimations issues des données de la deuxième série sont réparties de manière plus homogène par rapport à la série 1. En effet 53.8% des stations présentent une sous-estimation, dont plus de la moitié (i.e. 27.2%) figure dans l'intervalle de -10% à 0%. Sur l'ensemble des lois, c'est le 52.8% des stations qui est inclus dans l'intervalle -10% à 10%. Seules les lois Normale (44.4%), de Fréchet (45.7%) et de Gumbel (49.7%) ont moins de 50% des stations dans cet intervalle. Tandis que la loi LogNormale recense le plus de stations dans cet intervalle (62.3%).

Pourcentage de stations avec des écarts relatifs positifs (surestimation) ou négatifs (sous-estimation)

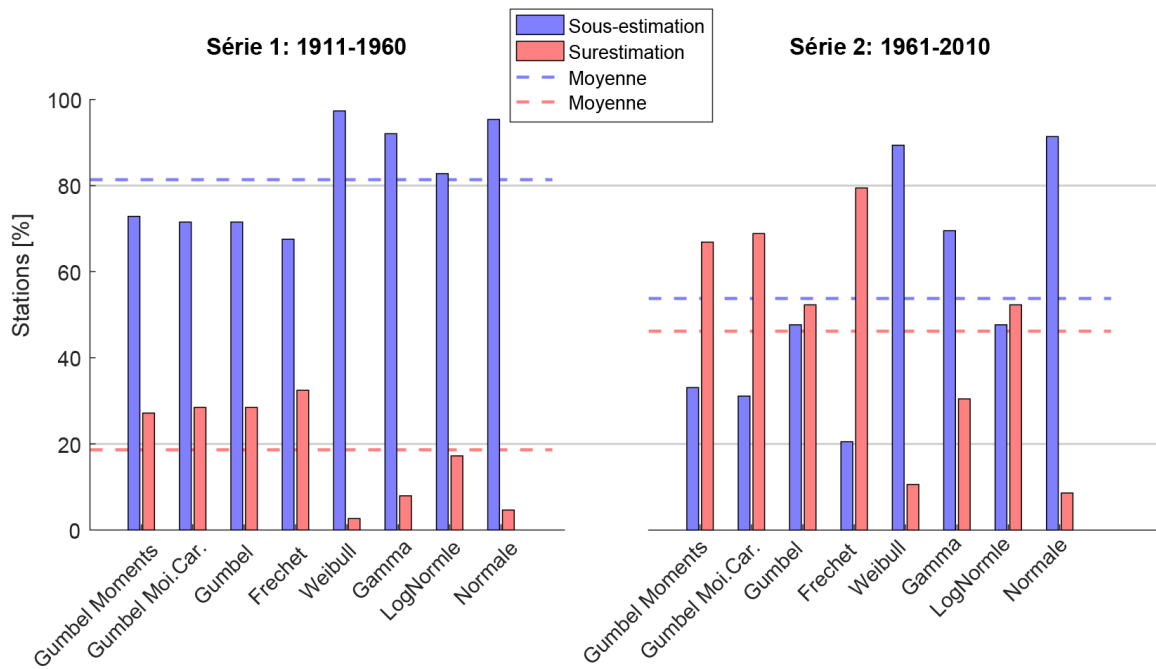


Figure 8) Pourcentage de stations sous-estimées ou surestimées pour chaque loi

Pourcentage de stations present dans l'intervalle $\pm 10\%$ d'écart

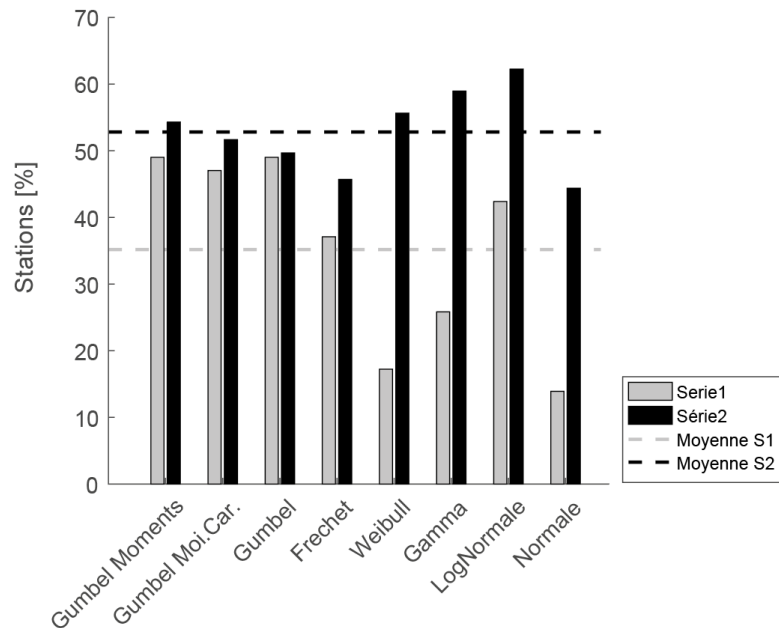


Figure 9) Pourcentage de stations avec un écart de $\pm 10\%$

Le Tableau 6 ci-dessous exprime la moyenne des écarts pour la première et la deuxième série en comparant les performances des 8 lois.

Tableau 6) Ecart moyen selon la série de départ pour chaque loi

Lois	Delta relatif Série 1	Delta relatif Série 2
Gumbel Moments	-7.79	4.51
Gumbel Moicarrés	-7.75	4.60
Gumbel	-7.94	0.01
Frechet	-6.96	12.10
Weibull	-21.00	-10.26
Gamma	-17.32	-6.90
LogNormale	-12.25	-0.99
Normale	-21.81	-11.99
Moyenne	-12.85	-1.12

Ce tableau nous montre que les lois de Gumbel et de Fréchet sous-estiment en moyenne le plus faiblement (-7 à -8%) les précipitations journalières centennales à partir de la série de mesure 1, alors que la loi Normal aboutit globalement à la plus forte sous-estimation de ces valeurs. Les lois LogNormale et de Gumbel (maximum de vraisemblance) aboutissent globalement aux meilleures estimation des précipitations centennales par rapport aux valeurs maximales mesurées à partir de la série de mesure 2 avec des écarts inférieurs à 1%. Les lois normale et de Weibull, ainsi que celle de Gamma dans une moindre mesure, sous-estiment toujours les précipitations journalières centennales à partir de la série de mesure 2, en moyenne de 7 à 12%. Par contre, la loi de Fréchet tend à surestimer ces précipitations journalières centennales à partir de la série 2, en moyenne de 12%.

Ces résultats obtenus par les différents lois d'ajustement vus aux paragraphes précédents, sont évalués au niveau de la qualité en deux façons : par le coefficient de détermination R^2 et par le test du Chi^2 . Ces constats de la qualité des ajustements sont résumés et illustrés dans le Tableau 7 et la Figure 10 ci-dessous.

Tableau 7) Pourcentage de stations selon la valeur du R^2 et du χ^2

Niveau de qualité		≥ 0.95	0.95 - 0.9	0.9 - 0.8	< 0.8	Max	Min	CHI2, H0 accepté
Série	Loi	[%]	[%]	[%]	[%]			[%]
1	Gumbel Moments	87.4	9.9	2.6	0	0.994	0.840	98.0
1	Gumbel Moi.Car.	87.4	9.9	2.6	0	0.994	0.840	97.4
1	Gumbel	87.4	9.9	2.6	0	0.994	0.840	95.4
1	Frechet	90.1	9.3	0.7	0	0.996	0.847	92.1
1	Weibull	27.2	49.0	21.9	2.0	0.990	0.733	62.3
1	Gamma	74.8	19.2	5.3	0.7	0.992	0.780	88.1
1	LogNormale	84.1	12.6	3.3	0	0.996	0.818	90.1
1	Normale	36.4	40.4	20.2	3.0	0.993	0.691	72.2
MOYENNE		71.9	20.0	7.4	0.7	0.993	0.799	87.0
2	Gumbel Moments	82.8	16.6	0.7	0	0.997	0.885	96.7
2	Gumbel Moi.Car.	82.8	16.6	0.7	0	0.997	0.885	97.4
2	Gumbel	82.8	16.6	0.7	0	0.997	0.885	95.4
2	Frechet	91.4	7.3	1.3	0	0.997	0.887	92.7
2	Weibull	14.6	57.0	27.8	0.7	0.985	0.798	53.6
2	Gamma	70.9	18.5	10.6	0	0.994	0.845	90.7
2	LogNormale	80.1	15.9	4.0	0	0.996	0.885	93.4
2	Normale	18.5	50.3	25.8	5.3	0.987	0.737	66.2
MOYENNE		65.5	24.8	8.9	0.7	0.994	0.851	85.8

Pourcentage de stations selon la qualité d'ajustement

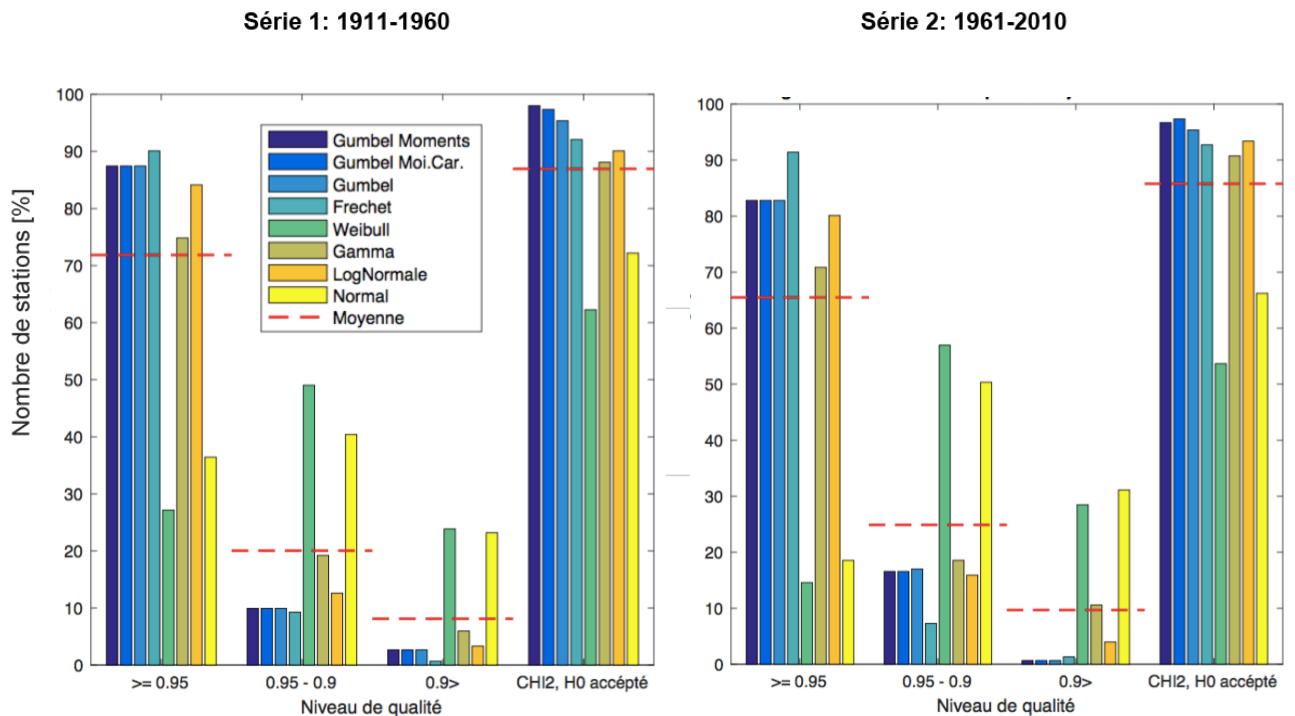


Figure 10) Pourcentage de stations selon la valeur du R^2 et du χ^2

On constate que les meilleurs résultats, donc un R^2 supérieur à 0.95, sont obtenus pour 80 à 90% des stations et pour les deux séries de mesures pour les lois de Gumbel, Fréchet et LogNormale. Ces pourcentages n'atteignent que 15 à 20% pour les lois de Weibull et Normale pour la série 2 et 27% pour la loi de Weibull pour la série 1. Ils atteignent 75% pour la loi Gamma et 36% pour la loi Normale à la série 1 et 71% pour la loi Gamma à la série 2. Les autres ajustements se situent principalement (en moyenne 20% dans la série 1, 24.8% pour la série 2) dans l'intervalle du coefficient R^2 allant de 0.95 à 0.9. Avec quelque cas présents dans l'intervalle entre 0.9 et 0.8 (en moyenne 7.4% pour la série 1, 8.9% pour la 2), voire inférieur à 0.8 (en moyenne 0.7% pour les deux séries). En particulier, c'est la loi de Fréchet qui ajuste au mieux les séries des précipitations avec plus de 90% de stations avec un coefficient R^2 supérieur à 0.95 dans les deux séries. La loi de Weibull recense le plus de stations avec un coefficient R^2 inférieur à 0.9 pour les 2 séries (23.9% pour la série 1 et 28.5% des station pour la série 2). La loi Normale se signale aussi par un nombre important de stations ayant un coefficient R^2 inférieur de 0.9.

Deux exemples représentant un cas avec un ajustement supérieur à 0.95 (Figure 11) et un avec un ajustement inférieur à 0.9 (Figure 12) par la loi de Gumbel selon la méthode du maximum de vraisemblance sont illustrés ci-dessous.

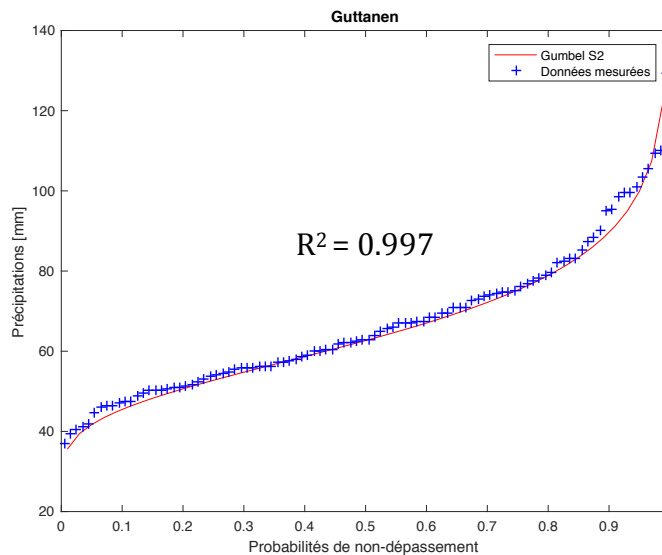


Figure 11) Exemple d'ajustement avec un R^2 supérieur à 0.95

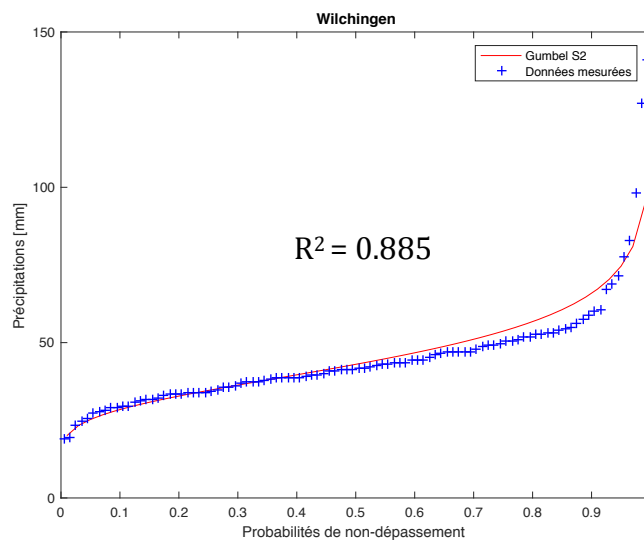


Figure 12) Exemple d'ajustement avec un R^2 inférieur à 0.9

La valeur du coefficient de détermination R^2 dans ces exemples varie particulièrement à cause des valeurs extrêmes, correspondant aux précipitations avec un temps de retour plus élevé. Cependant il ne serait pas correct d'énoncer qu'un coefficient de détermination R^2 inférieur à 0.9 entraîne une forte sous- ou surestimation de la valeur maximale observée. Car il y a des cas où un faible R^2 aboutit quand même à des estimations acceptables mais qui ne seraient pas particulièrement significatives au niveau statistique.

En ce qui concerne le test du χ^2 , les résultats obtenus par les deux séries sont assez proches avec 86.9% pour la série 1 et 85.8% pour la série 2 des stations qui ont accepté l'hypothèse du test. Les lois de Weibull et Normale sont aussi celles avec le nombre plus faible de stations à accepter le test du χ^2 dans les deux séries, respectivement 62.3% et 72.2% dans la première série et 53.6% et 66.2% dans le deuxième. C'est par contre la loi de Gumbel qui dénote les meilleurs résultats dans le test du χ^2 : 98% des stations avec la méthode d'estimation des moments par la série 1 et 97.4% avec celle des moindres carrés par la série 2.

6.2 Description spatiale des estimations

Au chapitre précédent, une première interprétation des résultats a été effectuée par une analyse des statistiques. Ici, les estimations des précipitations centennales obtenues par les différentes lois vont être représentées spatialement à l'aide de cartes thématiques. Pour avoir une visualisation plus directe des valeurs obtenues, une interpolation a été effectuée comme décrit dans le Chapitre 5.3. La qualité de celle-ci est testée par les polygones de Thiessen (cf. Chapitre 5.3) qui résultent de la forme illustrée à la Figure 13 ci-dessous.

Polygones de Thiessen à partir des stations pluviométriques

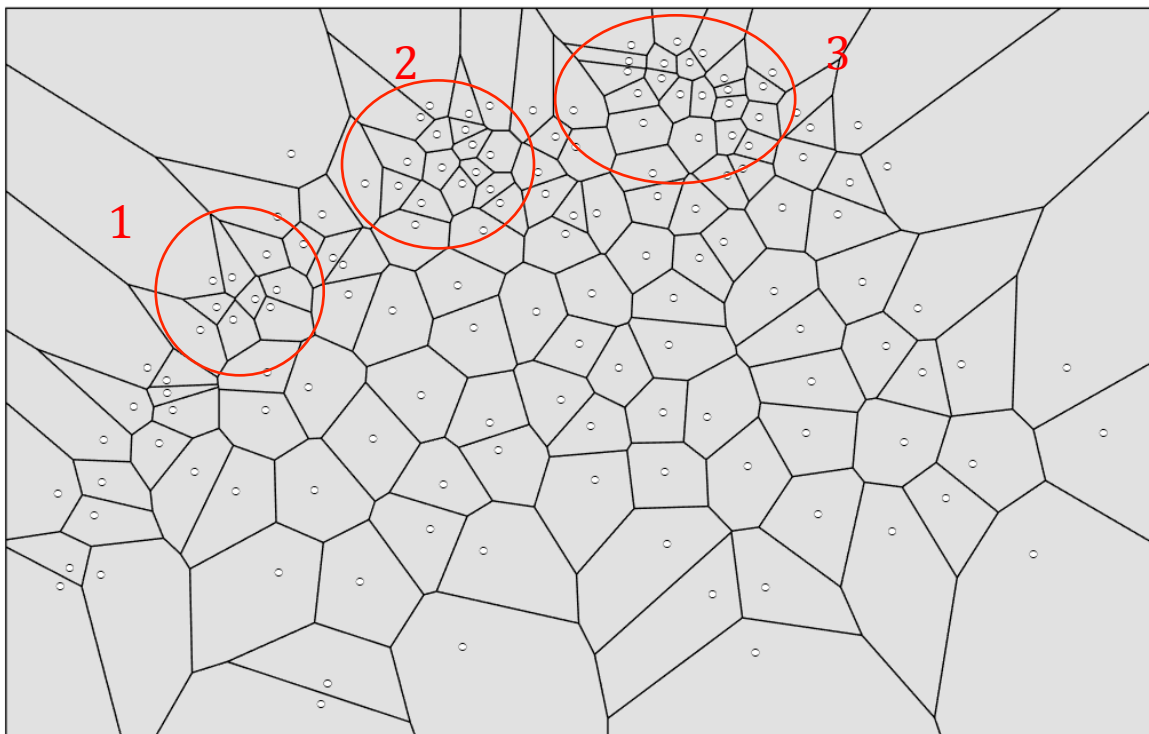


Figure 13) Représentation des polygones de Thiessen définis par les 151 stations pluviométriques

La dimension des polygones est sensiblement plus petite au Nord de la Suisse, ce qui indique une plus grande densité de points dans cette région qui se traduit par une meilleure interpolation des données. En particulier la meilleure représentativité de stations est présente dans la région de La Chaux-de-Fonds (zone 1, Figure 13), de Bâle (zone 2, Figure 13) et de Zurich/Schaffhouse (zone 3, Figure 13). Le long des Alpes et au Sud de la Suisse, les polygones sont par contre plus grands. Etant donné la distance entre les stations du Sud, le résultat de l'interpolation sera moins précis. Ces observations doivent être prises en compte lors de la description de l'interpolation. En obtenant des résultats plus précis dans le Nord de la Suisse par rapport au Sud où les prévisions seront plus approximatives. A noter que le but principal de l'interpolation dans ce travail est d'améliorer la lisibilité des prévisions des précipitations, étant une surface étant plus facile à visualiser qu'un point. Cela à cause de la grande variation des précipitations selon l'altitude et l'exposition. Pour ces raisons, tous les calculs et les analyses de ce travail sont effectués sur les valeurs ponctuelles des stations.

Les Figures 14 et 15 présentent les cartes des écarts entre les précipitations journalières centennales estimées pour les 8 lois statistiques étudiées à partir des séries de mesures 1 (1911 – 1960) et 2 (1961 – 2010) et les valeurs journalières maximales mesurées de 1911 à 2010. Ces figures sont reprises séparément et commentées pour chaque loi dans les sections 6.2.1 à 6.2.6

Série 1: 1911 - 1960

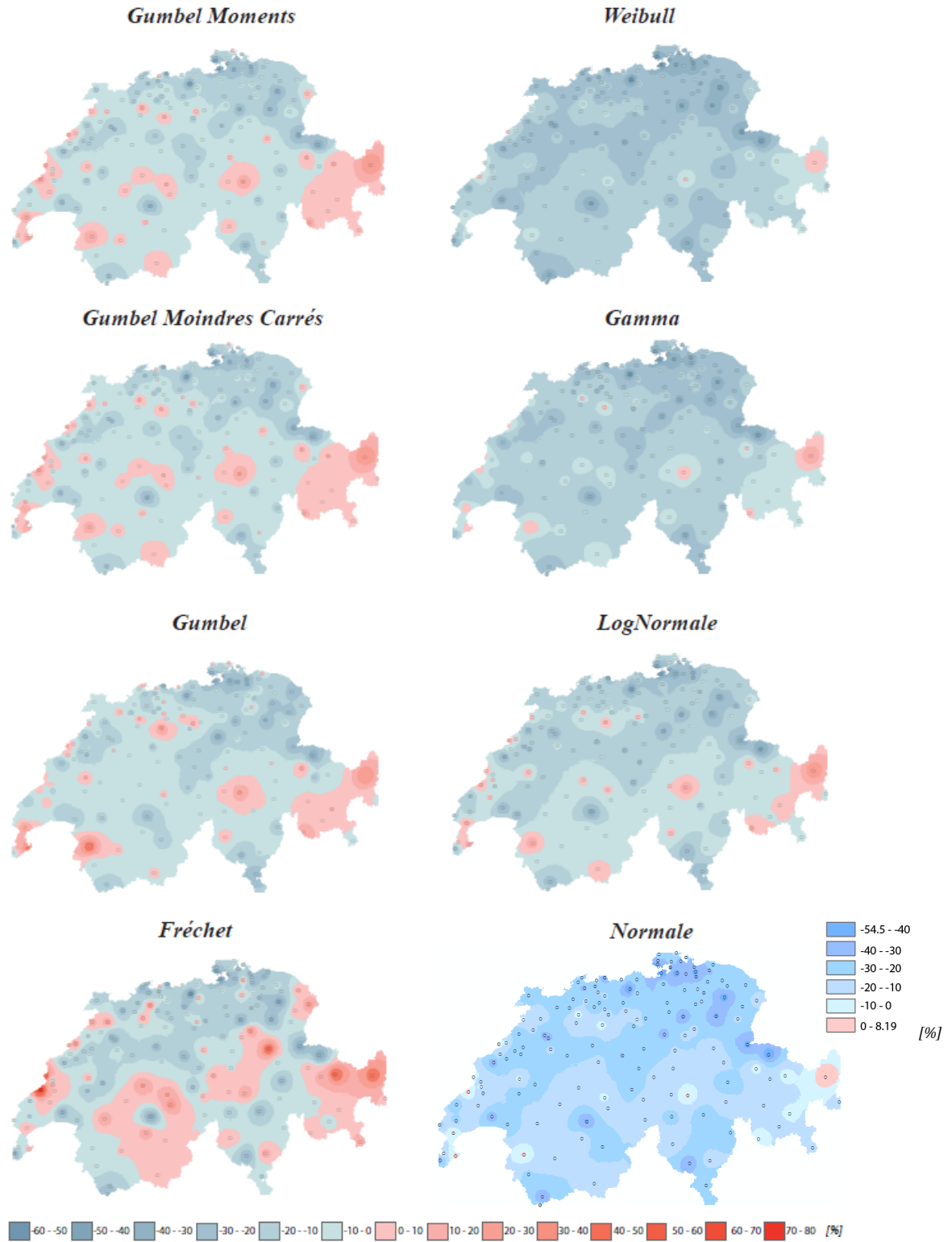


Figure 14) Distribution spatiale des écarts en % entre les précipitations journalières centennales estimées par les 8 lois statistiques à partir de la série de mesures 1 (1911 - 1960) et les valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010

Série 2: 1961 - 2010

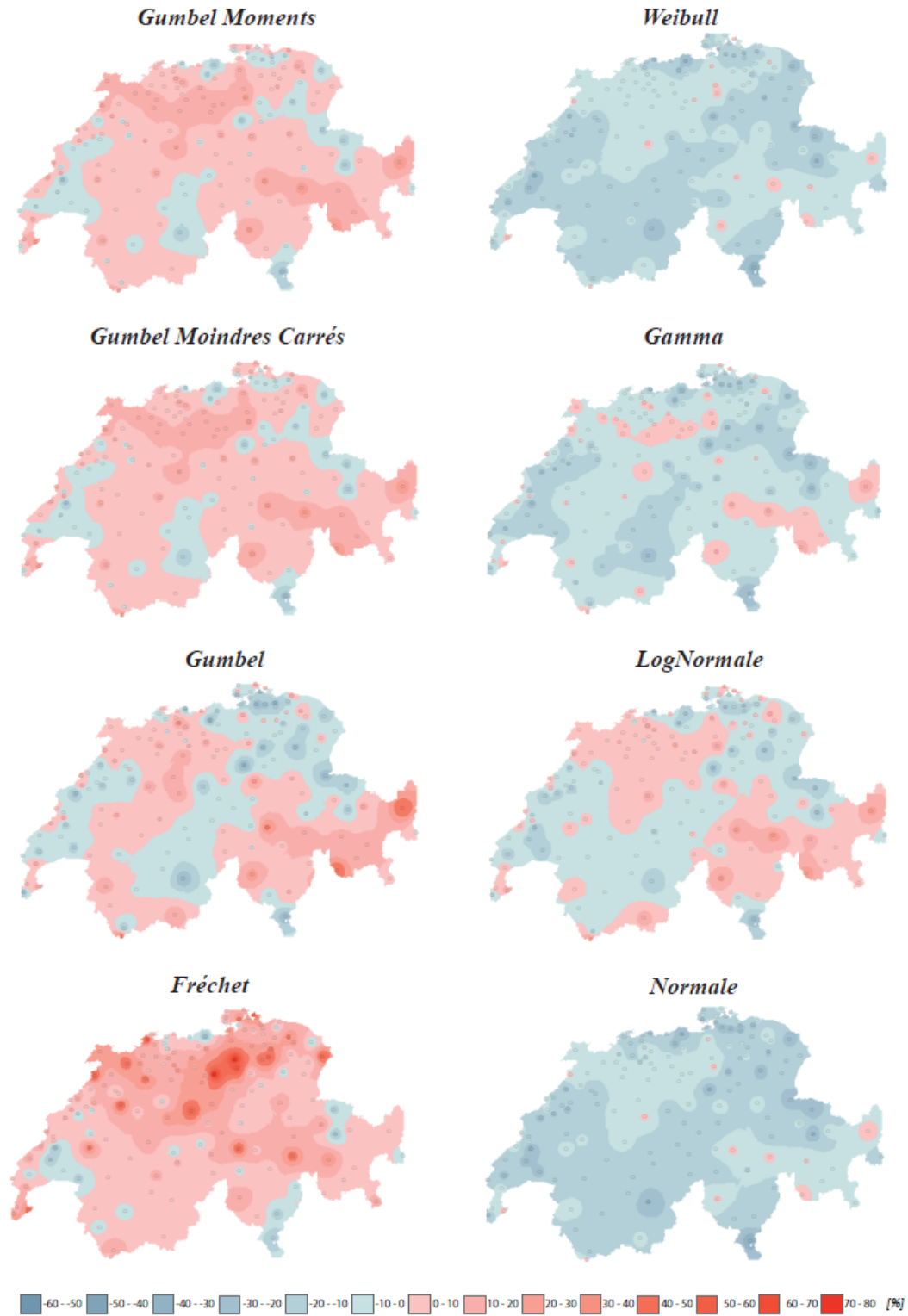
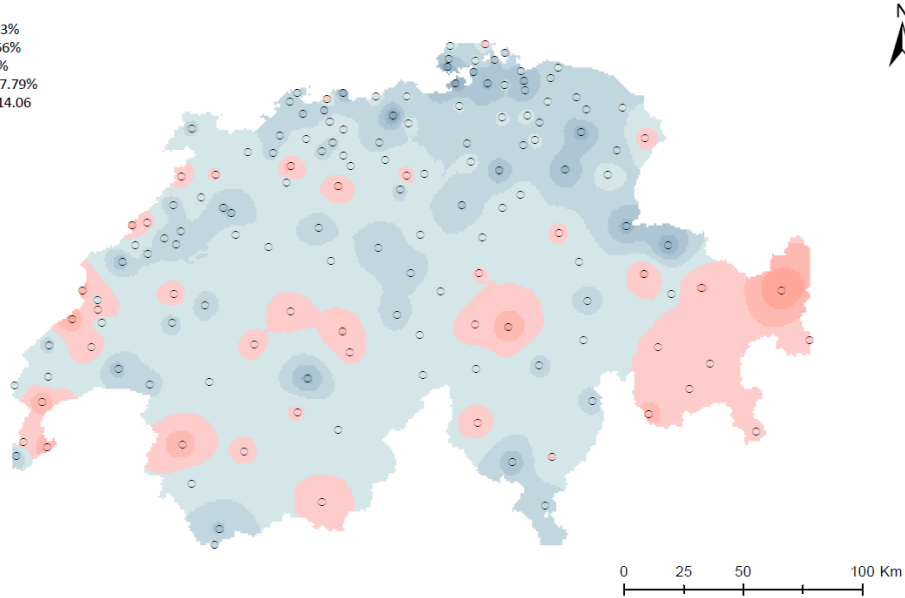


Figure 15) Distribution spatiale des écarts en % entre les précipitations journalières centennales estimées par les 8 lois statistiques à partir de la série de mesures 2 (1961 – 2010) et les valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010

6.2.1 Loi de Gumbel

*Ecart (%) des précipitations T100 par la loi de Gumbel (Hazen, Moments)
par rapport aux valeurs mesurées. Série1: 1911-1960*

Max+ : 29.03%
Max - : -47.66%
Min : 0.12%
Moyenne: -7.79%
EcartType: 14.06



Série 2 : 1961 - 2010

Max+ : 26.12%
Max - : -23.14%
Min : 0.25%
Moyenne: 4.51%
EcartType: 10.62

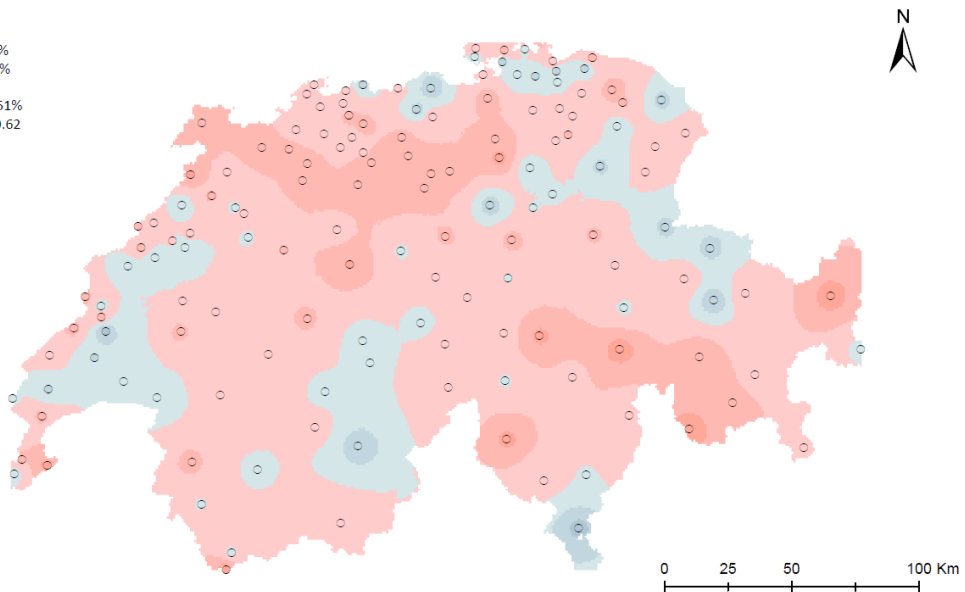


Figure 16) Distribution spatiale des écarts en % entre les précipitations journalières centennales estimées avec la loi de Gumbel (méthode des moments) et les valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010

La loi de Gumbel, issue de la méthode des moments, présente deux situations assez distinctes selon la série de départ utilisée. Pour la première série, le résultat global est une légère sous-estimation des précipitations journalières centennales par rapport aux valeurs maximales mesurées (en moyenne de -7.79%), en particulier dans la moitié Est du Plateau, où l'on retrouve la plus forte sous-estimation (-47.66%) à Unterboezberg dans le Jura argovien. Deux autres stations présentent une sous-estimation importante : Kandersteg (-32.22%) dans l'Oberland bernois et Locarno-Monti (-25.19%) au Sud des Alpes. Les précipitations journalières centennales sont aussi surestimées en quelques endroits, notamment dans la moitié Est des Grisons, avec les plus fortes surestimations des valeurs à Scuol (+29.03%), à Sedrun (20.43%) et Vallorbe (22.16%). Cependant la plus grande partie des stations (31.1%) se situe dans l'intervalle d'écart allant de -10 à 0 %.

Dans la deuxième série, c'est l'intervalle de 0% à +10% qui inclut 33.1% des stations. C'est en effet la surestimation des précipitations centennales par rapport aux valeurs maximales mesurées qui domine, en moyenne de +4.51%. Les précipitations les plus fortement surestimées se situent dans le Sud des Grisons, avec la valeur maximale enregistrée à Soglio : +26.12%. Une autre zone avec des valeurs surestimées entre +10% et +20%, s'étend de Kuesnacht, près de Zurich, à Mormont dans le Nord du Jura. Les sous-estimations des précipitations journalières centennales les plus grandes se situent au Sud du Tessin (Lugano) et à Chavornay près d'Yverdon.

Pour cette loi, les prévisions sont satisfaisantes au niveau des deux séries sur l'ensemble du territoire Suisse. Plus de 50% des stations se situent dans un intervalle de -10 à +10%. Plus précisément 5 des 10 stations de la deuxième série qui dépassent l'écart de +20% se situent aux Grisons et au Sud des Alpes. Les sous-estimations dépassant -20% d'écart sont présentes dans 13 stations de la série 1, toutes situées au Nord Est de la Suisse, exception faite pour la station de Kandersteg. Ces-dernières se réduisent à 2 pour les prévisions issues de la deuxième série.

La deuxième variante de la loi de Gumbel utilisée dans ce travail est celle avec l'estimation des paramètres par la méthode des moindres carrés (cf. Annexe III). Comme vu dans le Chapitre précédent 6.1, les trois lois de Gumbel obtiennent quasiment les mêmes résultats. La distribution des données est quasiment la même pour les deux séries, avec un léger changement dans les valeurs ponctuelles des stations. Mais aussi dans ce cas, la première série donne pour la plupart des cas des valeurs sous-estimées, en moyenne de -7.75%, et 29.1% des stations se

situent dans l'intervalle de -10 à 0% d'écart. Au niveau de la deuxième série, les résultats sont aussi semblables au cas précédent : 4.60% d'écart moyen et 34.4% de stations dans la classe de 0 à 10%. Nous avons donc des prévisions satisfaisantes aussi dans ce cas : presque 50% des stations, indépendamment de la série prise en compte au départ, sont situées dans l'intervalle entre -10 et 10%. En ce qui concerne les estimations avec des écarts supérieurs à $\pm 20\%$, les stations sont les mêmes que dans le cas précédent.

La variante de la loi de Gumbel selon la méthode des maximums de vraisemblance diffère légèrement des deux autres (cf. Annexe IV). Cependant, aussi dans ce cas, les précipitations journalières centennales estimées à partir de la série 1 sont en moyenne inférieures aux valeurs journalières maximales mesurées (-7.94%) et la classe d'écart la plus représentée est toujours celle de -10 à 0% avec 29.8% des stations. Les précipitations journalières centennales estimées à partir de la 2^{ème} série de mesure (1961 – 2010) sont en moyenne très proches (+0.01%) des valeurs journalières maximales mesurées. Les écarts ne dépassent pas $\pm 10\%$ pour près de 50% des stations. Ceux inférieurs à -20% sont présents dans 26 stations pour la première série et dans 16 pour la deuxième. Tandis que les écarts dépassant +20% pour 7 stations dans la série 1 et pour 8 dans la 2. Cela se traduit par un renforcement des valeurs extrêmes aux Grisons et au Sud des Alpes.

Ces trois cas de la loi de Gumbel ont donc des résultats semblables, seule la méthode du maximum de vraisemblance diffère légèrement des deux autres. Le graphique à la Figure 17 met en relation ces trois variantes, en représentant les différences entre les pourcentages de stations dans chaque classe pour deux variantes à la fois.

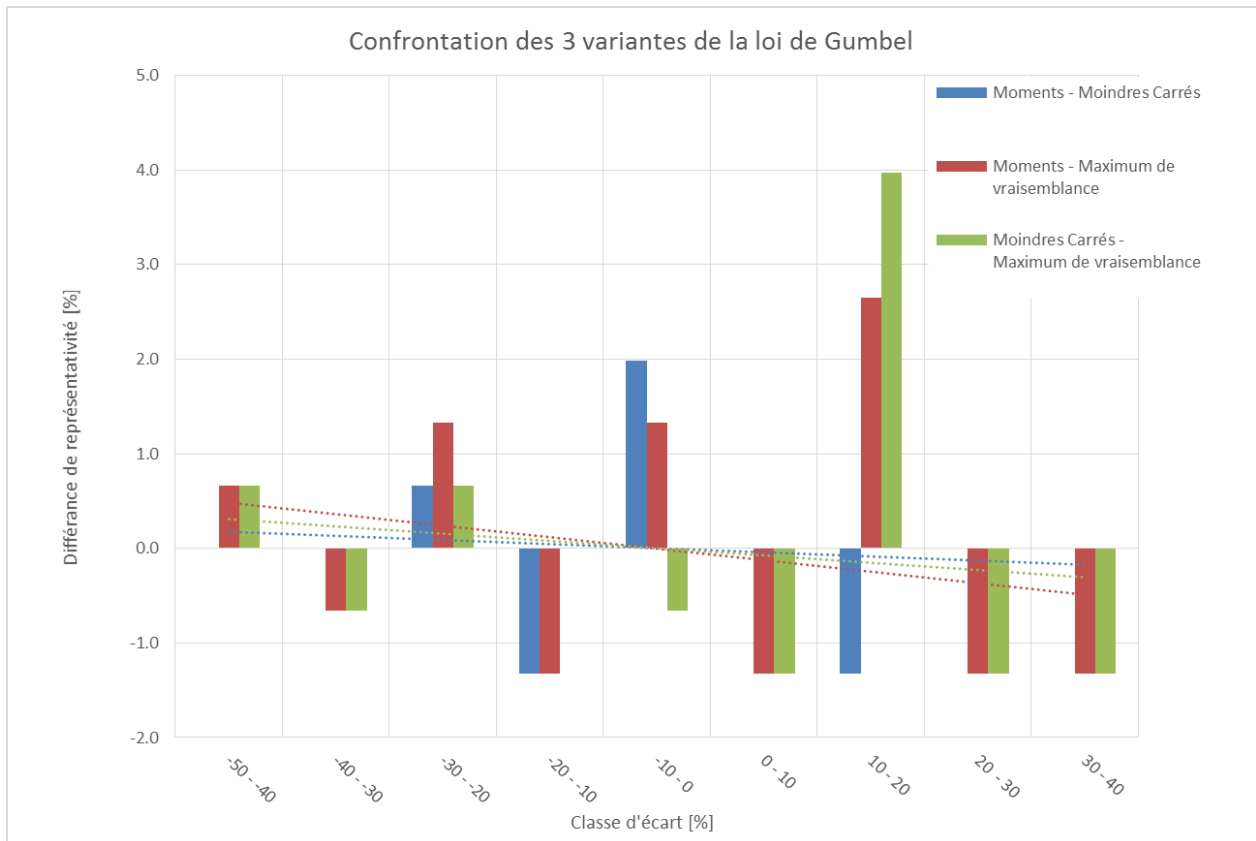


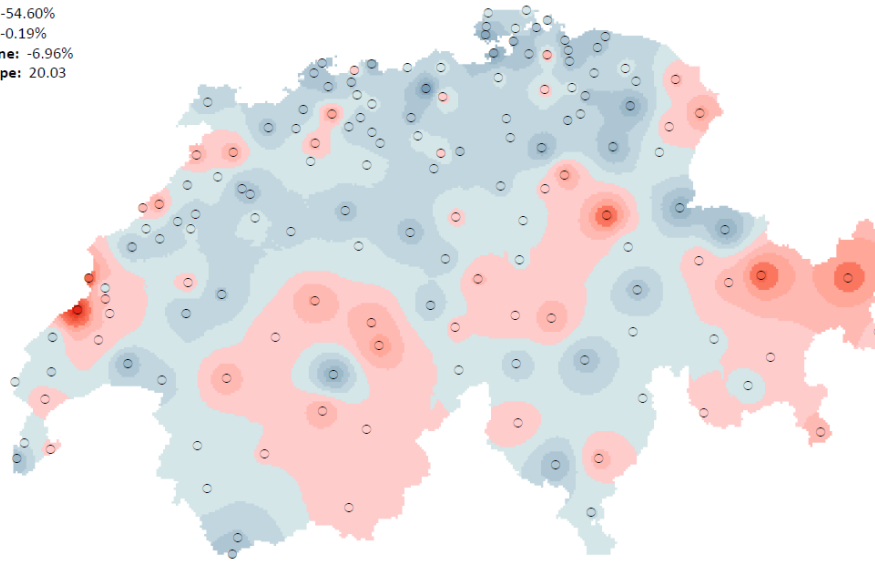
Figure 17) Confrontation des 3 variantes de la loi de Gumbel

On note que les différences sont moindres, entre -1.5 et 4 %, avec des cas où il n’y a aucune différence entre les lois et qui n’apparaissent donc pas sur le graphe. C’est surtout au niveau de l’intervalle entre +10 et +20% que la loi de Gumbel par la méthode du maximum de vraisemblance est moins représentée. Mais les écarts entre les 3 variantes de la loi de Gumbel ne dépassent généralement pas 1% pour la plupart des stations.

6.2.2 Loi de Fréchet

Ecart (%) des précipitations T100 par la loi de Fréchet (Hazen) par rapport aux valeurs mesurées. Série1: 1911-1960

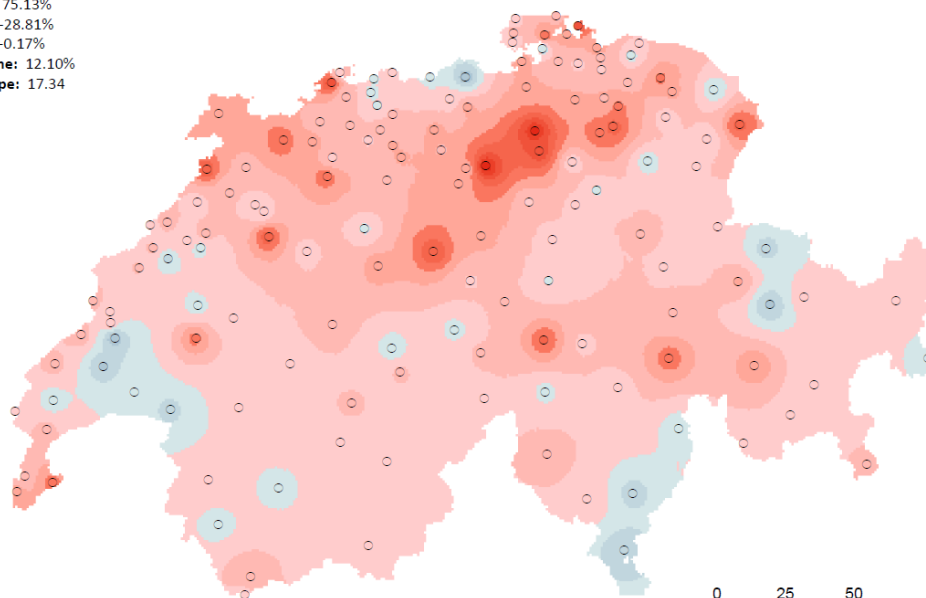
Max+ : 78.92%
 Max - : -54.60%
 Min : -0.19%
 Moyenne: -6.96%
 EcartType: 20.03



0 25 50 100 Km

Série 2 : 1961 - 2010

Max+ : 75.13%
 Max - : -28.81%
 Min : -0.17%
 Moyenne: 12.10%
 EcartType: 17.34



0 25 50 100 Km



Figure 18) Distribution spatiale des écarts en % entre les précipitation journalières centennales estimées avec la loi de Fréchet et les valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010

La loi de Fréchet est celle qui obtient les précipitations journalières centennales estimées les plus hautes pour les 8 lois étudiées. Les écarts les plus hauts entre ces précipitations et les valeurs journalières maximales mesurées de 1911 à 2010 se situent dans le Jura vaudois, à Vallorbe (+78.92%), pour les prévisions obtenues à partir de la série 1 et sur la moitié Est du Plateau, notamment à Muri (+75.13%) et Zürich (+72.97%) pour la série 2. Cette tendance à la surestimation des précipitations centennales est confirmée pleinement par la moyenne des écarts obtenue dans la deuxième série, +12.10%. On la devine aussi par les résultats de la première série, qui montre la moyenne la plus élevée de toutes les prévisions même si elle reste négative (-6.96%). En effet, le plus grand nombre de stations de la première série (21.9%) se situe dans l'intervalle entre -10% et 0%. Tandis que pour la deuxième série c'est l'intervalle entre 0 et +10% qui comptabilise le plus de stations (31.1%). De même, dans la série 2, l'intervalle entre +20% et +30% comptabilise presque le double de stations que les autres lois (12.6%). Cependant, en moyenne, un peu plus de 40% des stations se situent dans l'intervalle entre -10 et +10%.

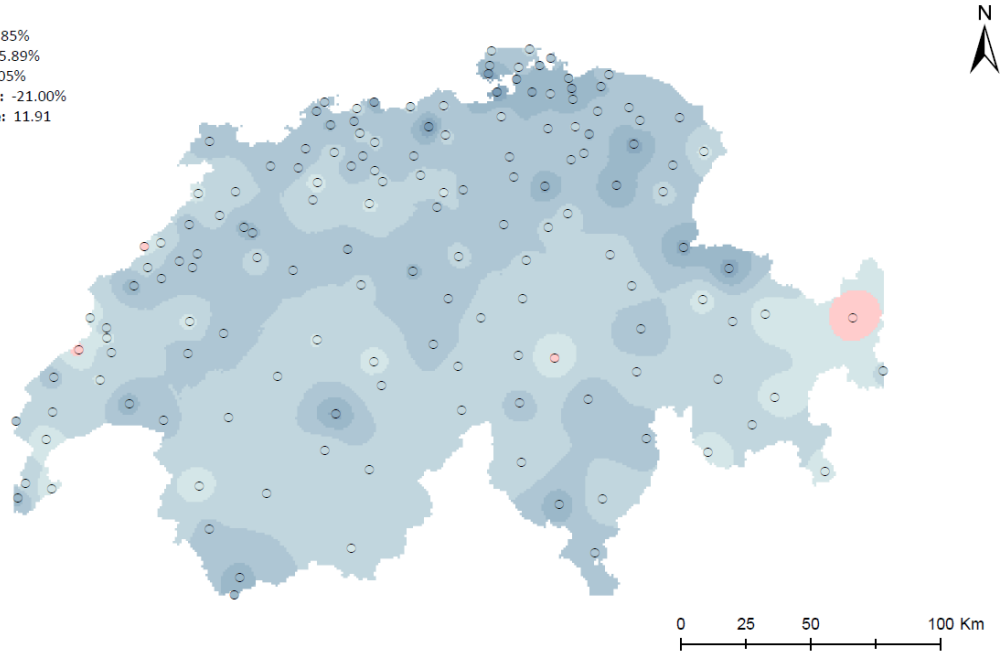
Encore une fois, les précipitations journalières centennales prévues sont le plus fortement sous-estimées dans l'arc lémanique et au Sud du Tessin pour les 2 séries de mesures. La région de Vallorbe et les Grisons ont pour les deux séries des valeurs plus hautes que celles mesurées. Le Plateau par contre obtient des résultats opposés selon la série de départ. La série 1 obtient principalement des valeurs au-dessous de celles mesurées, tandis que la série 2 présente des surestimations, particulièrement dans la région zurichoise.

Pour la première série, 44 stations des écarts inférieurs à -20% se situent principalement dans la région de Schaffhouse, tandis que les 13 stations avec des écarts supérieurs à +20% ne se concentrent pas dans une région précise. Par contre, la série 2 voit la plus grande partie des 39 stations avec un écart supérieur à +20% situé au Nord de la Suisse, alors que les 4 stations avec un écart inférieur à -20% sont localisées dans des endroits bien différents.

6.2.3 Loi de Weibull

***Ecart (%) des précipitations T100 par la loi de Weibull (Hazen)
par rapport aux valeurs mesurées. Série1: 1911-1960***

Max+ : 7.85%
Max - : -55.89%
Min : 0.05%
Moyenne: -21.00%
EcartType: 11.91



Série 2 : 1961 - 2010

Max+ : 5.94%
Max - : -35.12%
Min : 0.60%
Moyenne: -10.26%
EcartType: 8.34

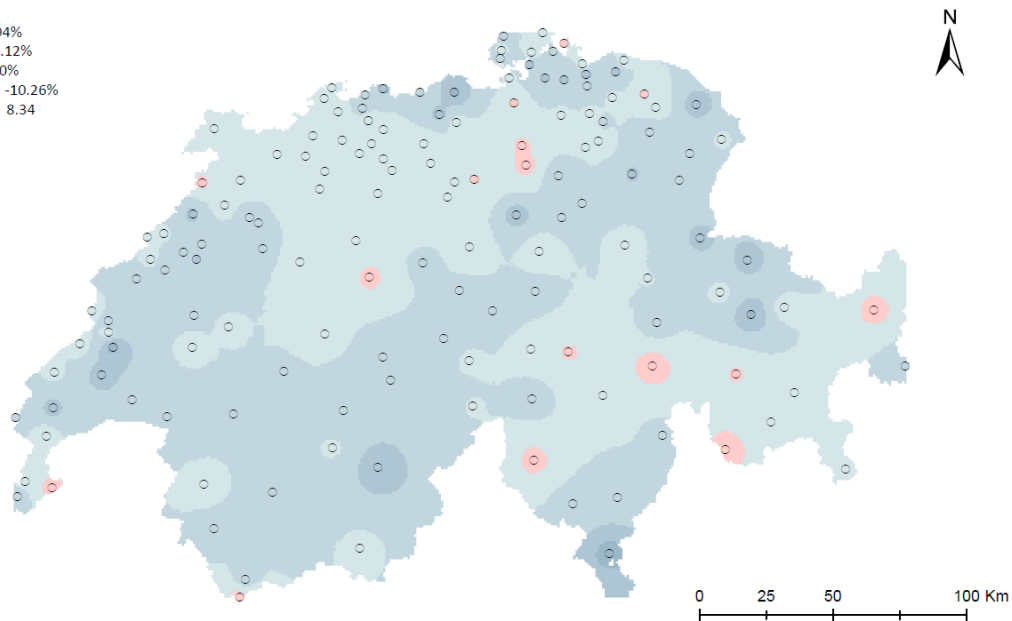


Figure 19) Distribution spatiale des écarts en % entre les précipitations journalières centennales estimées avec la loi de Weibull et les valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010

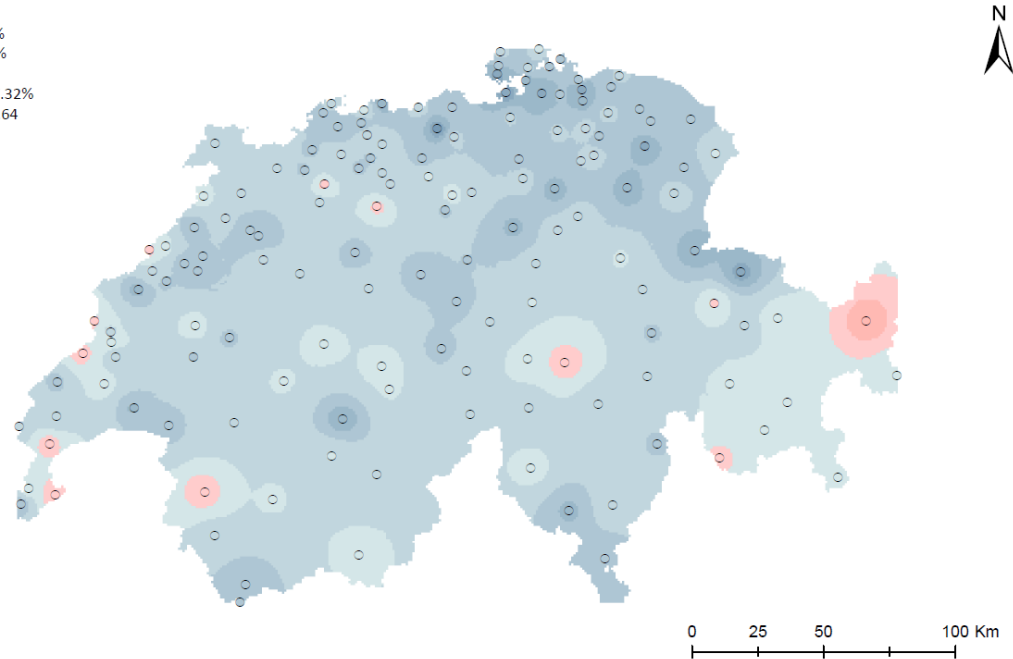
La loi de Weibull, à la différence des lois vues jusqu'à maintenant, obtient pour les deux séries de départ une sous-estimation des précipitations journalières centennales. La série 1 reste toujours celle avec les valeurs sous-estimées les plus importantes. Celle-ci présente en effet une moyenne des écarts de -21.0%, contre -10.26% pour la deuxième. Les valeurs extrêmes négatives ont un emplacement différent selon la série : Unterboezberg pour la série 1 (-55.89%), Chavornay pour la série 2 (-35.12%). Les surestimations plus élevées se situent dans les Grisons, en particulier à Scuol pour la série 1 (+7.85%), et à Vals pour la 2^{ème} (5.94%). Cependant les stations avec des écarts positifs sont très peu nombreuses. Seules 2.6% des stations pour la série 1 et 10.6% pour la série 2 sont présentes dans l'intervalle entre 0 et +10%. La plus grande partie des stations est cette fois incluse dans l'intervalle élargi allant de 0 à -20%. Cela est le cas pour 47.7% de stations de la première série et pour 75.5% pour la deuxième.

Les sous-estimations les plus fortes se rencontrent principalement dans le Nord-Est de la Suisse. Surtout pour ce qui concerne les résultats de la série 1. La deuxième série par contre obtient une sous-estimation plus homogène sur l'ensemble du territoire.

6.2.4 Loi Gamma

*Ecart (%) des précipitations T100 par la loi Gamma (Hazen)
par rapport aux valeurs mesurées. Série1: 1911-1960*

Max+ : 17.44%
Max - : -51.86%
Min : -0.32%
Moyenne: -17.32%
EcartType: 12.64



Série 2 : 1961 - 2010

Max+ : 16.28%
Max - : -30.42%
Min : 0.02%
Moyenne: -6.90%
EcartType: 10.48

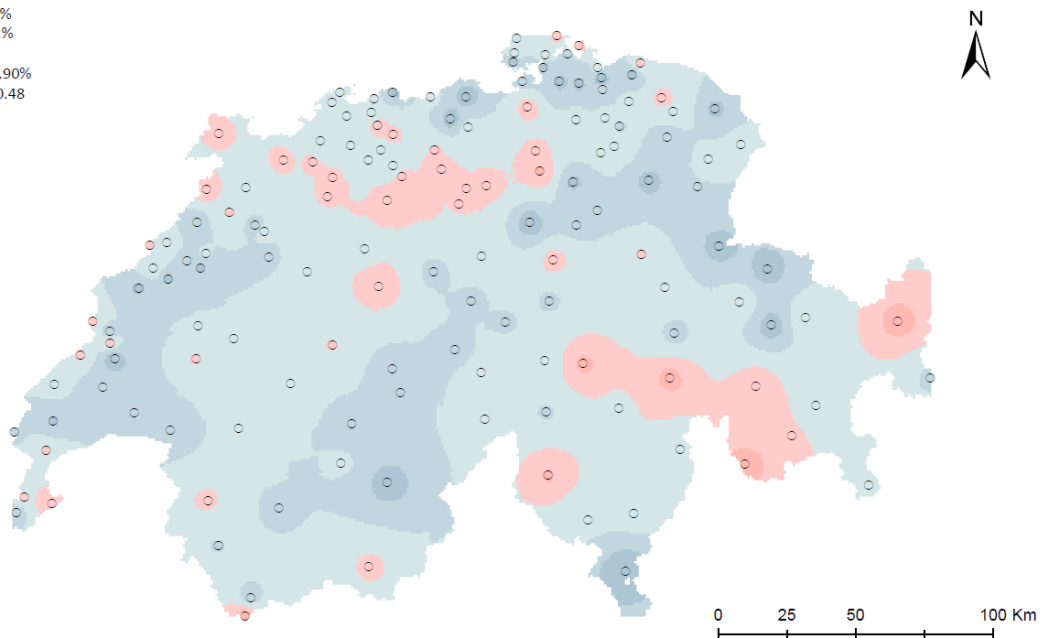


Figure 20) Distribution spatiale des écarts en % entre les précipitations journalières centennales estimées avec la loi Gamma et les valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010

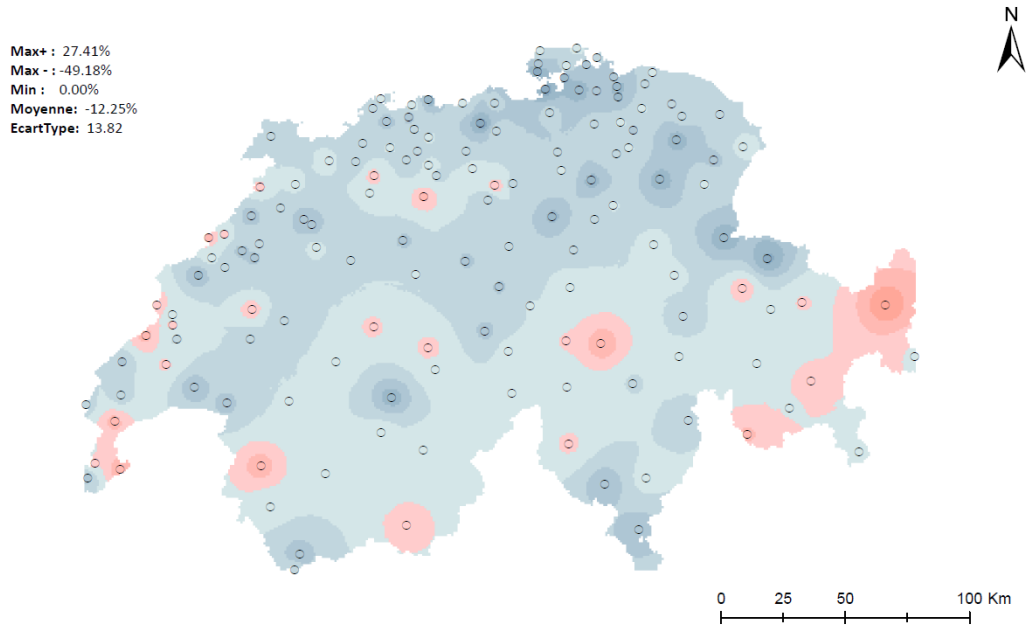
La loi Gamma obtient des prévisions avec une sous-estimation générale des précipitations journalières centennales assez semblable à celle obtenue par Weibull. C'est la première série qui présente à nouveau les plus fortes sous-estimations, avec en moyenne -17.32% par rapport aux valeurs journalières maximales mesurées de 1961 à 2010. Tandis que pour la deuxième série, la moyenne des écarts est de -6.90%. En effet, seules 13 stations obtiennent une valeur plus élevée que les précipitations centennales mesurées dans la première série, en particulier la station de Scuol avec +17.44% d'écart. Tandis que les valeurs négatives sont davantage représentées avec la plus forte sous-estimation à Unterboezberg (-51.86%). La deuxième série présente de son côté plus de 40 stations avec des surestimations, principalement aux Grisons avec les stations de Soglio, Scuol, Vals et Sedrun (> +10%). Par contre, au niveau des valeurs négatives cette fois, les écarts les plus grands sont présents à la station de Lugano au Sud des Alpes (-30.42%) et à Chavornay (-30.15%).

Les stations se situant dans l'intervalle $\pm 10\%$ sont 2 fois plus nombreuses dans la 2^{ème} série (58.9%) que dans la 1^{ère} (25.8%). En effet, plus de 60% de stations de la première série sont incluses dans l'intervalle de -10% à -30%.

Pour cette loi aussi, on retrouve les plus fortes sous-estimations dans le Nord-Est de la Suisse, en particulier pour les résultats de la première série. Les Grisons et la zone centrale du Plateau sont les régions où les précipitations journalières centennales sont surestimées pour la 2^{ème} série.

6.2.5 Loi LogNormale

Écart (%) des précipitations T100 par la loi LogNormale (Hazen) par rapport aux valeurs mesurées. Série1: 1911-1960



Série 2 : 1961 - 2010

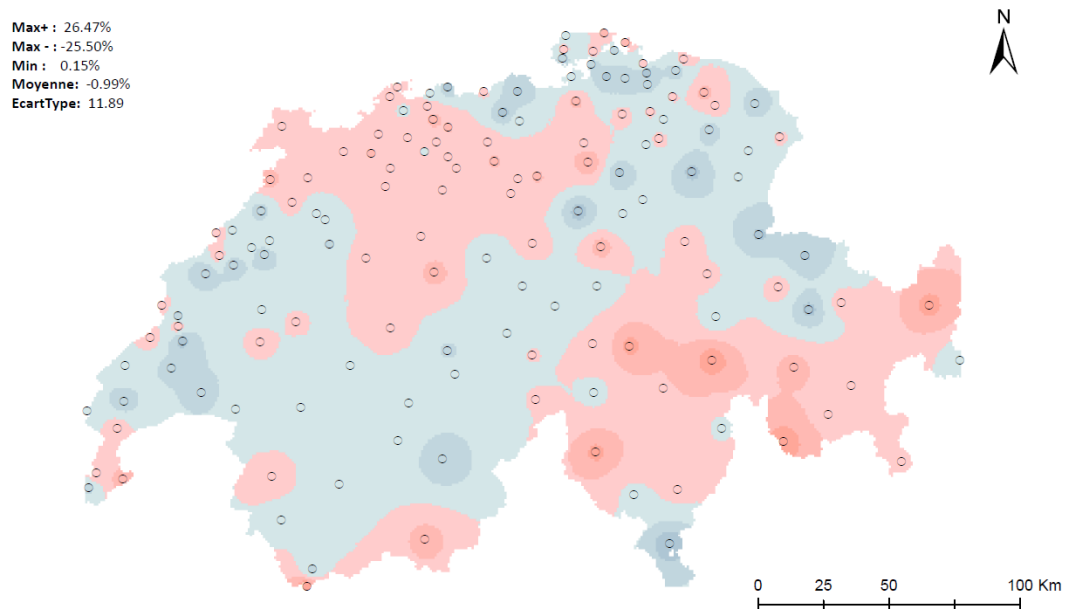


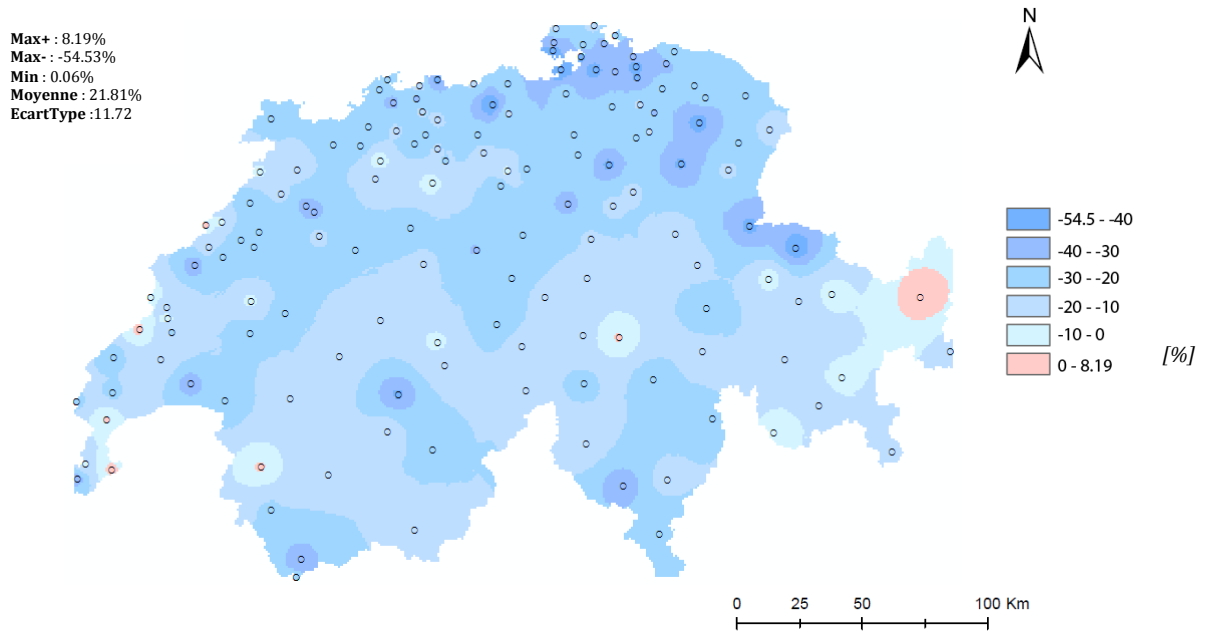
Figure 21) Distribution spatiale des écarts en % entre les précipitations journalières centennales estimées avec la loi LogNormale et les valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010

La loi LogNormale présente le deuxième meilleur résultat au niveau de la moyenne des écarts de toutes les lois étudiées. Les précipitations journalières centennales estimées à partir de la deuxième série diffèrent en moyenne des valeurs observées de seulement -0.99%. Les résultats sont moins bons à partir de la série 1, avec un écart moyen de -12.25%. Cela à cause de 40 stations avec un écart de -20% ou plus. Encore une fois, la plus grande sous-estimation est située à la station de Unterboezberg avec -49.18%. C'est par contre la station de Scuol (+27.42%) qui présente un écart supérieur à +20%. Ces valeurs changent en regardant la deuxième série. Seules 13 stations ont un écart négatif d'au moins -20%, avec un maximum de -25.5% pour la stations de Chavornay. Les stations avec un écart de +20% ou plus sont par contre 7, en particulier Soglio (+26.47%) et Vals (+26.25%).

Pour les 2 séries, le plus grand nombre de stations se situe dans l'intervalle $\pm 10\%$ entre les précipitations journalières centennales estimées et les valeurs journalières maximales mesurées de 1911 à 2010, avec 42.4% de stations pour la série 1 (1911-1960) et 62.3% de stations pour la série 2 (1961-2010). Les précipitations journalières centennales sont une nouvelle fois sous-estimées dans le Nord-Est de la Suisse avec la loi LogNormale, alors qu'elles sont le plus souvent surestimées dans les Grisons par rapport aux valeurs journalières maximales mesurées de 1911 à 2010. Une telle surestimation apparaît aussi dans le Nord-Ouest de la Suisse et atteint en moyenne 7% pour la 2^{ème} série.

6.2.6 Loi Normale

*Ecart (%) des précipitations T100 par la loi Normale (Hazen)
par rapport aux valeurs mesurées. Série1: 1911-1960*



Série 2 : 1961 - 2010

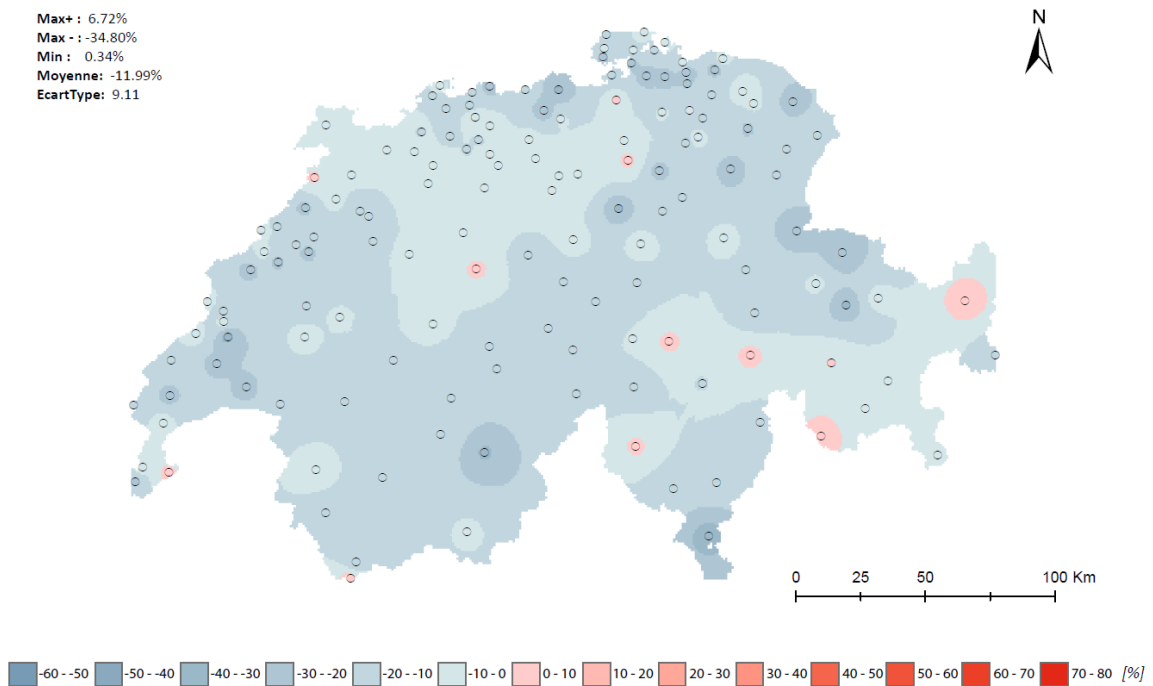


Figure 22) Distribution spatiale des écarts en % entre les précipitations journalières centennales estimées avec la loi Normale et les valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010

La loi Normale, à la différence de la LogNormale, présente un pattern plus proche de celui de la loi de Weibull que des autres lois. Les précipitations journalières centennales estimées à partir de cette loi et des 2 séries sont pratiquement partout inférieures aux valeurs maximales mesurées de 1911 à 2010. Plus de 62 stations ont un écart d'au moins -20%, avec, comme pour les autres lois, la station de Unterboezberg montrant la plus grande sous-estimation (-54.53%) alors que la station de Scuol obtient la surestimation plus marquée (+8.19%). L'intervalle entre -10% et -30% est la classe qui regroupe le plus de stations (65.4%). Ces facteurs expliquent donc la moyenne de -21.81% par la série de mesures 1. La deuxième série présente une situation semblable même si elle est moins marquée. Les stations avec un résultat inférieur à -20% d'écart sont 29, avec la valeur maximale à Lugano (-34.8%). Tandis que les stations présentant une surestimation sont seulement 13, avec un écart maximal de 6.72% pour la station de Soglio. C'est l'intervalle entre -20% et 0% qui englobe le plus de stations (72.2%). La moyenne obtenue par la série 2 est donc de -11.99%.

Pour cette loi, on rencontre encore une fois une sous-estimation des valeurs dans le Nord Est de la Suisse et au Sud des Alpes. Cependant, les précipitations journalières centennales estimées dans les Grisons sont moins fortement surestimées avec cette loi que pour les autres lois.

6.3 Estimation par stations

Après avoir vu les prévisions au niveau des régions de la Suisse, cette partie du travail va analyser les résultats pour des stations. En particulier une comparaison sera effectuée entre les stations de Soglio, Chavornay, Bellinzona et Altdorf pour les estimations obtenues par la loi de Gumbel et la méthode d'estimations des moments en partant par la deuxième série de données, entre 1961 et 2010. Ces stations ont été choisies comme exemple d'une situation particulière : Soglio, en tant que station avec le plus grand nombre de surestimations par rapport aux précipitations journalières maximales observées pour presque toutes les lois employées en partant de la deuxième série de données. De même Chavornay est celle avec le plus grand nombre de sous-estimations dans la deuxième série. Bellinzona et Altdorf sont deux stations avec des écarts faibles entre les précipitations journalières centennales estimées et les valeurs maximales mesurées de 1911 à 2010 pour toutes les lois et les deux séries de mesures. Les graphiques à la Figure 23 illustrent les précipitations journalières maximales mesurées entre 1911 et 2010 et celle estimées par la loi d'ajustement (dans ce cas par celle de Gumbel selon la méthode des moments) en fonction de la probabilité de non dépassement pour la station de Soglio.

La valeur plus haute de la probabilité de non dépassement, dans notre cas 0.995, comme vu au Chapitre 5.2, est celle définie comme le temps de retour de 100 ans.

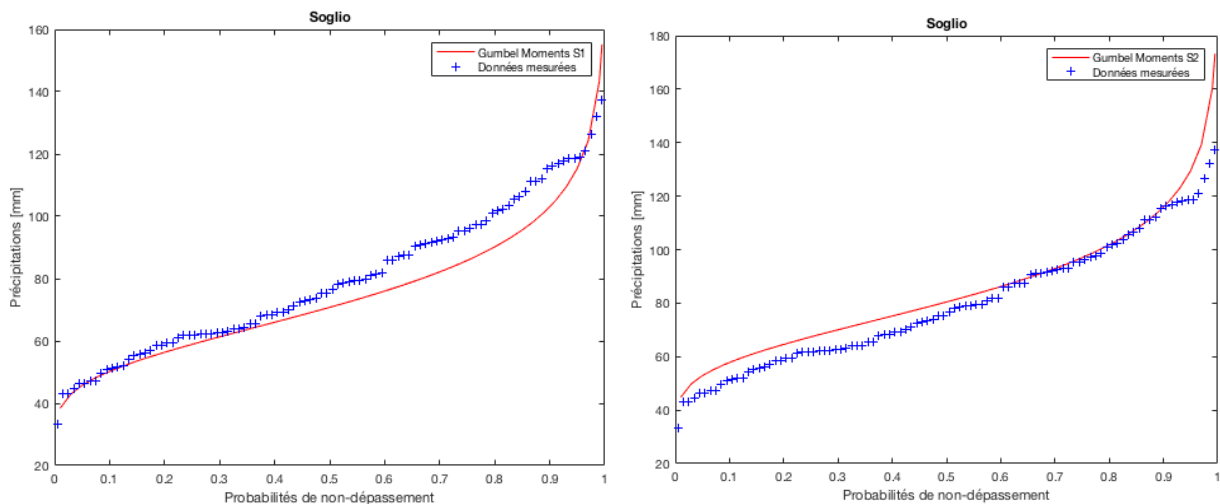


Figure 23) Distribution des précipitations estimées et mesurées sur une période de 100 ans en fonction de la probabilité de non-dépassement pour la station de Soglio selon la loi de Gumbel et la méthode des moments. Gauche : Série 1, droite : série 2

La station de Soglio, comme le montrent les graphiques à la Figure 23 ci-dessus, présente une surestimation des précipitations au temps de retour de 100 ans par rapport aux valeurs maximales mesurées sur une période de 100 ans (1911 – 2010). Cependant les estimations pour les autres temps de retour diffèrent sensiblement selon la série de données de départ utilisée. En effet, le modèle de prévision issu de la première série est constamment inférieur aux valeurs mesurées, jusqu' à la valeur 0.95 de la probabilité de non dépassement, où le modèle commence à surestimer les précipitations. Au contraire, les prévisions de la deuxième série sont plus élevées que les précipitations mesurées. À partir de la valeur 0.6 de la probabilité de non dépassement, les estimations et les valeurs mesurées sont égales, mais à la probabilité de 90%, le modèle défini par la loi de Gumbel et la méthode des moments obtient des valeurs particulièrement plus élevées que celles mesurées. En arrivant au résultat d'avoir une différence de +26.12% entre les précipitations journalières centennales estimées et les valeurs journalières maximales mesurées de 1911 à 2010. Cette différence s'explique par les caractéristiques de l'échantillon des précipitations retenu par les deux séries. En effet, dans la première série des valeurs mesurées à Soglio, la moyenne des précipitations journalière maximales mesurées chaque année est plus basse (74.4 mm/j) que celle de la deuxième série (84.4 mm/j). Il en va de même pour la valeur maximale, qui atteint 118.8 mm/j dans la 1^{ère} série et 137.4 mm/j dans la 2^{ème}.

Le modèle obtenu par la première série dans le cas de la station de Chavornay (Figure 24) surestime les précipitations presque pour l'ensemble des valeurs, mais pas pour la prévision des précipitations au temps de retour de 100 ans. La deuxième série est très proche des précipitations mesurées, même si à partir de la probabilité de non dépassement de 0.25, le modèle présente une sous-estimation constante qui devient plus importante une fois arrivé à la probabilité de 0.9. Cela jusqu' à estimer 3.14% de moins que la valeur exacte de la précipitation au T100. Il faut noter que la précipitation journalière la plus élevée de 115 mm mesurée à Chavornay est de 25mm plus haute que la deuxième valeur la plus élevée. Cet aspect explique la grande sous-estimation du modèle calculé par la deuxième série, car la valeur extrême de 115 mm/j est présente dans la série 1, où le modèle ne sous-estime la précipitation journalière centennale que de 4.20% par rapport à la valeur maximale mesurée de 1911 à 1960.

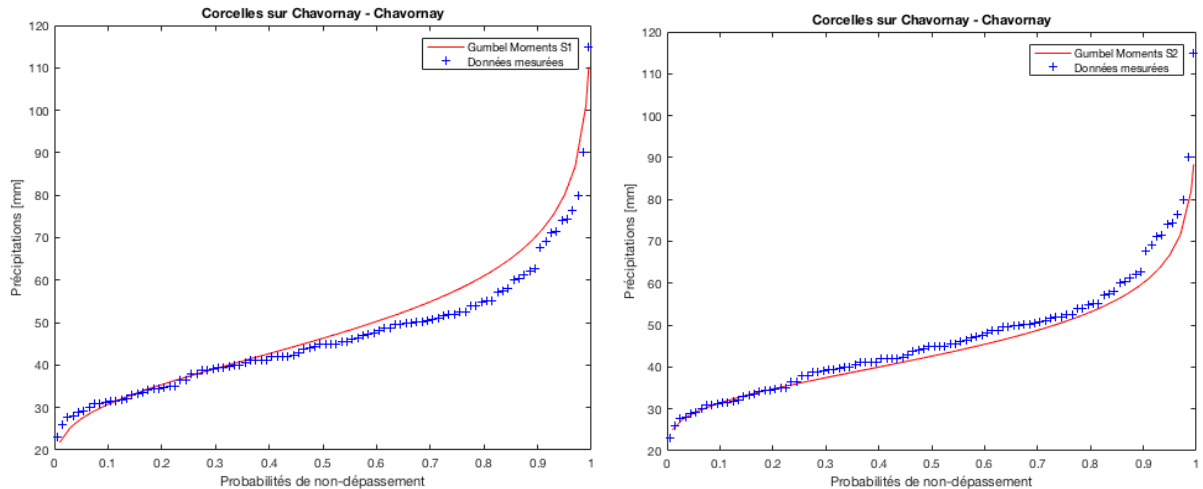


Figure 24) Distribution des précipitations estimées et mesurées sur une période de 100 ans en fonction de la probabilité de non-dépassement pour la station de Chavornay et Soglio selon la loi de Gumbel et la méthode des moments. Gauche : Série 1, droite : série 2

L'importance et l'influence des précipitations extrêmes et de la représentativité des échantillons ont été vues par ces deux exemples de mauvaise estimation. Les deux exemples suivants (Figure 25) avec les stations de Bellinzona et d'Altdorf montrent de bonnes estimations par la loi de Gumbel et la méthode des moments. Les différences entre les précipitations journalières centennales estimées par cette loi et les valeurs journalières maximales mesurées de 1911 à 2010 au niveau de ces deux stations, ne varient qu'entre -0.50% et +0.64%. Cela est dû aussi à la qualité des échantillons des valeurs de départ pour les deux séries, comme le montrent les moyennes de ces dernières qui sont relativement proches, en ayant une différence de 3,8 mm/j entre les séries pour la station de Bellinzona et d'1 mm/j pour Altdorf.

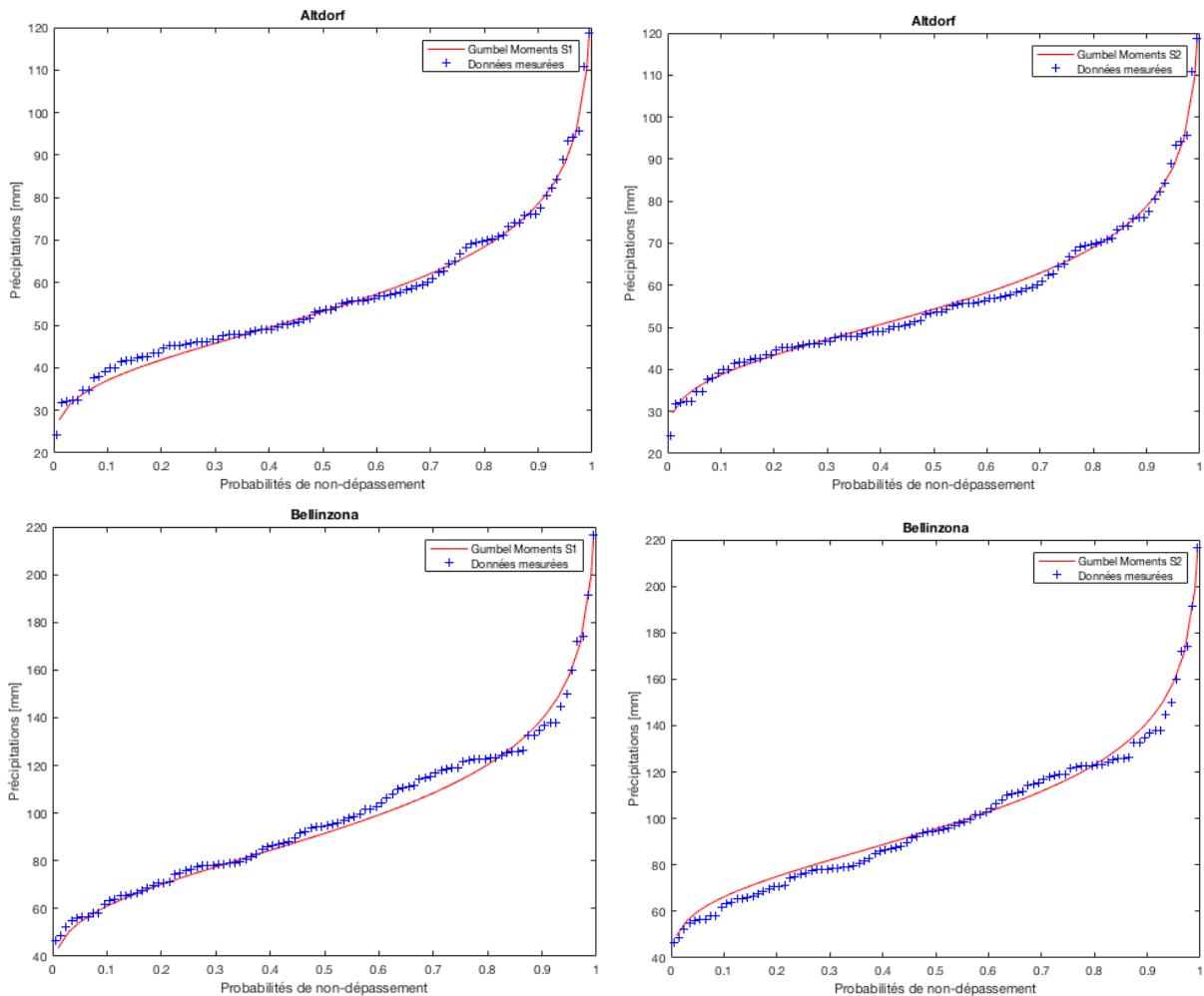


Figure 25) Distribution des précipitations estimées et mesurées sur une période de 100 ans en fonction de la probabilité de non-dépassement pour les stations de Aلدorf et Bellinzona Soglio selon la loi de Gumbel et la méthode des moments. Gauche : Série 1, droite : série 2

Les stations de Aلدorf, Chavornay et Soglio sont utilisées respectivement comme exemple d'une bonne estimation, d'une surestimation et d'une sous-estimation. Les Figures 26, 27, 28 comparent les résultats obtenues par les huit lois d'ajustement utilisées dans ce travail. La meilleure estimation dans le cas de Aلدorf est obtenue par la loi de Gumbel et la méthode des moindres carrés, avec une différence de seulement 0.13% entre les précipitations journalières centennales estimées et la valeur journalière maximale mesurée de 1911 à 2010. Au contraire, c'est la loi Normale qui présente la prévision la moins précise avec un écart de -15.84%. A noter que les lois Normale, Gamma et de Weibull ont aussi des écarts importants au niveau des autres temps de retour, en particulier entre 0.3 et 0.8 de la probabilité de non dépassement.

Pour Chavornay la meilleure loi est celle de Gumbel (moindres carrés) et pour Soglio celle de Weibull.

ALTDORF

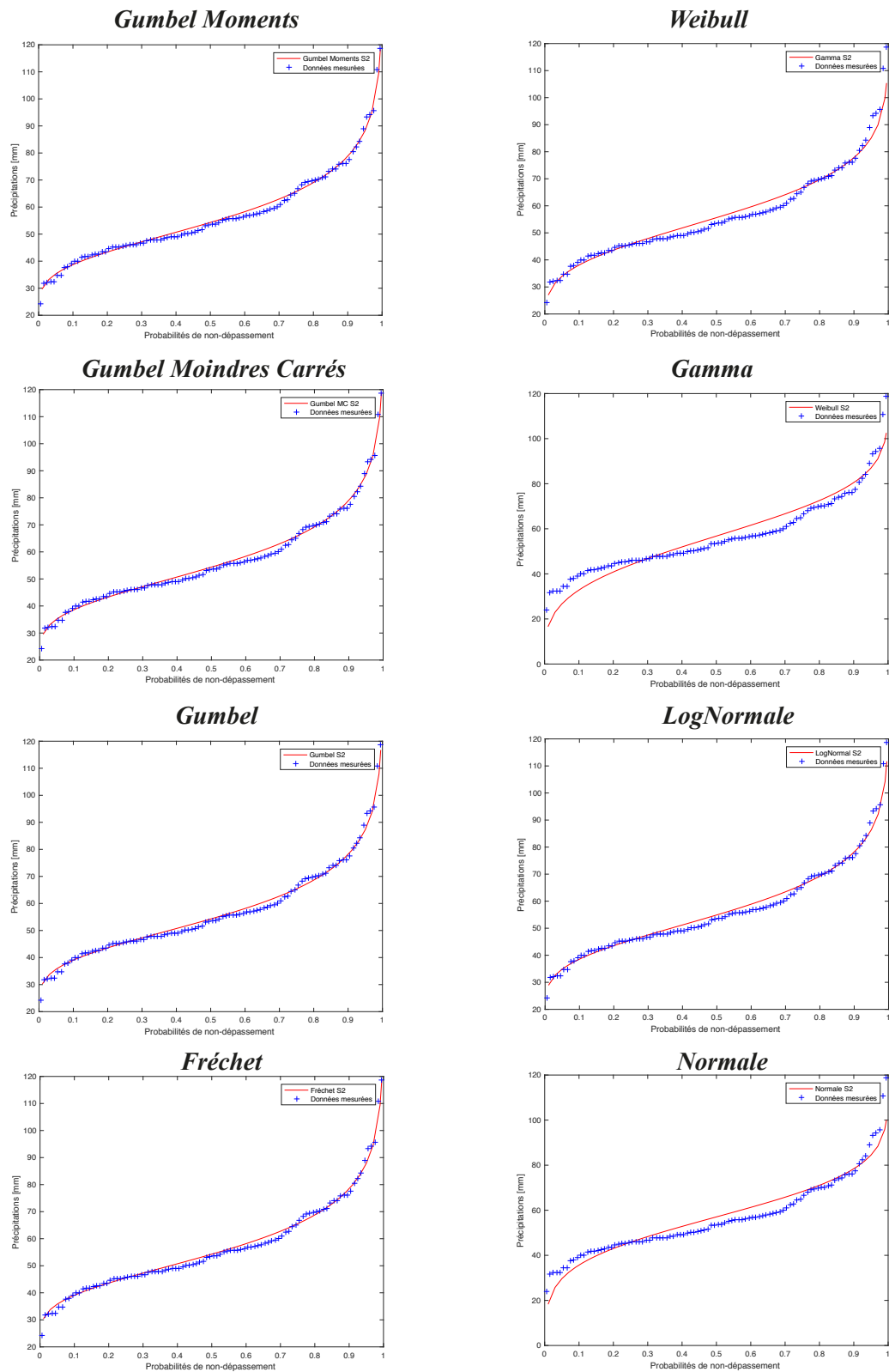
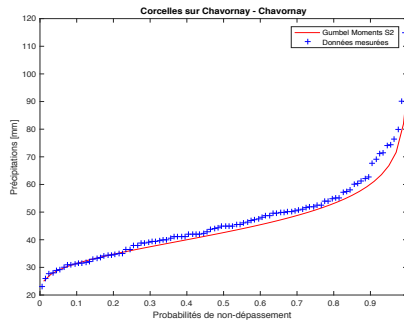


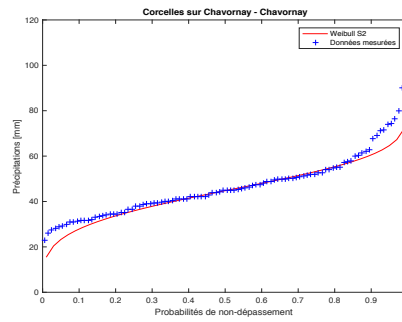
Figure 26) Distribution des précipitations estimées et mesurées sur une période de 100 ans en fonction de la probabilité de non-dépassement pour la station d'Altdorf selon les 8 lois de distribution. Série 2

CHAVORNAY

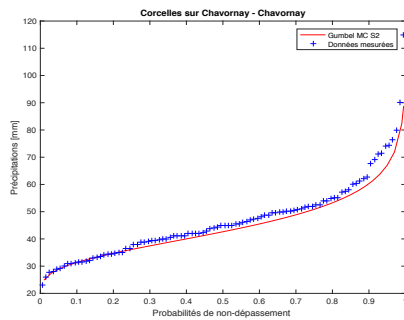
Gumbel Moments



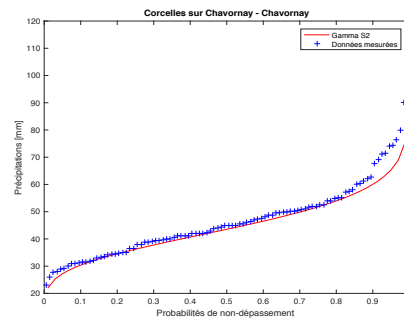
Weibull



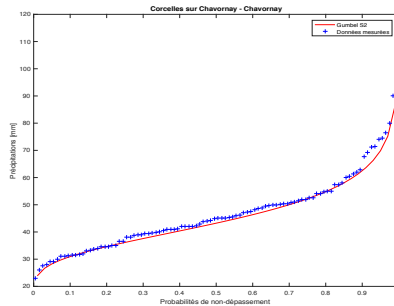
Gumbel Moindres Carrés



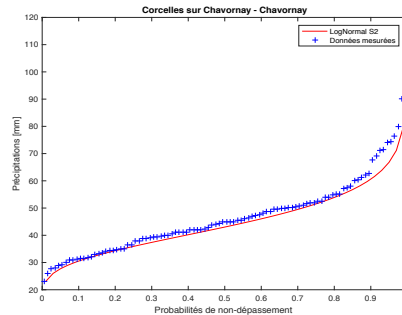
Gamma



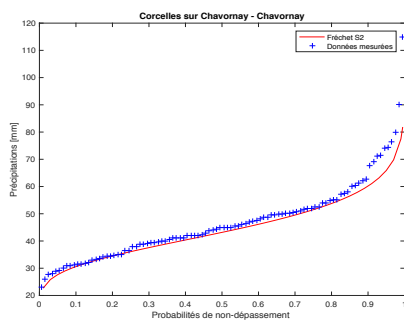
Gumbel



LogNormale



Fréchet



Normale

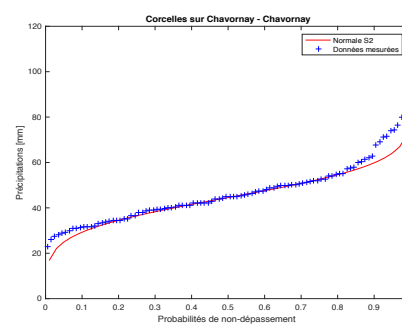
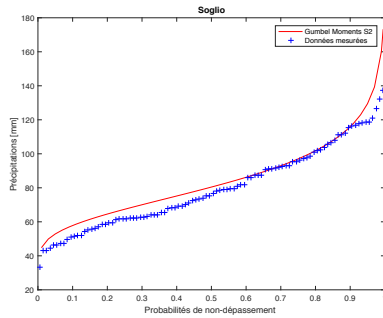


Figure 27) Distribution des précipitations estimées et mesurées sur une période de 100 ans en fonction de la probabilité de non-dépassement pour la station de Chavornay selon les 8 lois de distribution.

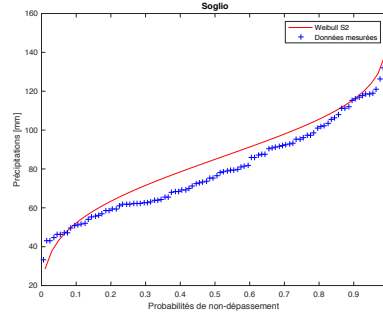
Série 2

SOGLIO

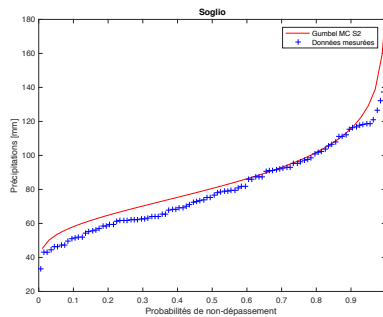
Gumbel Moments



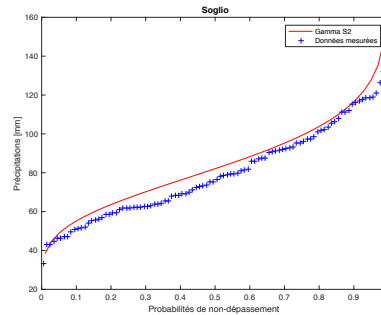
Weibull



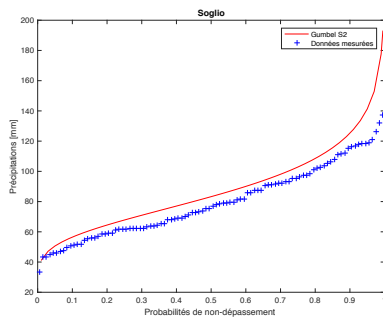
Gumbel Moindres Carrés



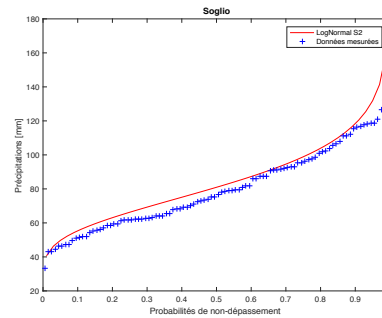
Gamma



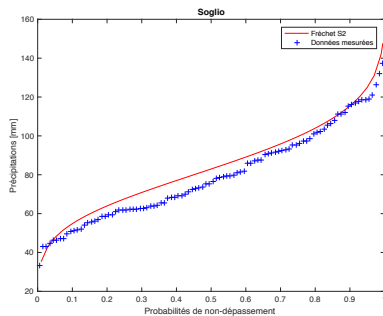
Gumbel



LogNormale



Fréchet



Normale

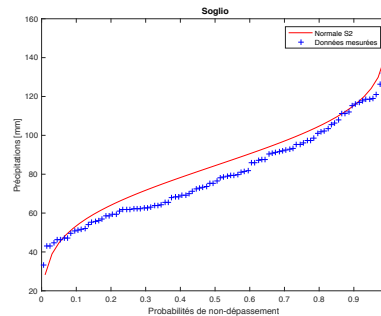


Figure 28) Distribution des précipitations estimées et mesurées sur une période de 100 ans en fonction de la probabilité de non-dépassement pour la station de Soglio selon les 8 lois de distribution. Série 2

6.3.1 Meilleure estimation sur chaque station

Selon la méthode d'analyse utilisée au Chapitre 6.3, les estimations des précipitations obtenues par chaque loi ont été confrontées en retenant la meilleure.

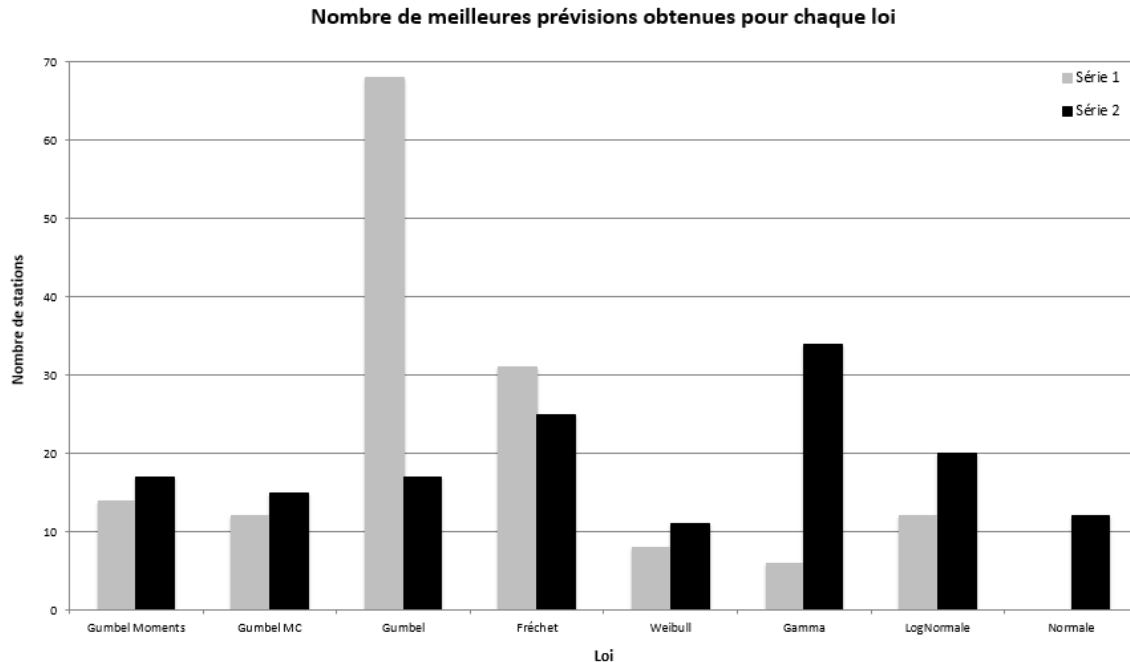


Figure 29) Nombre de stations ayant les estimations des précipitations journalières centennales les plus proches des valeurs maximales journalières mesurées de 1911 à 2010 pour chaque loi et les 2 séries de mesures

La Figure 29 montre que pour la série 1 la loi de Gumbel avec la méthode du maximum de vraisemblance aboutit aux meilleures estimations des précipitations journalières centennales par rapport aux valeurs maximales journalières mesurées pour 68 stations sur 151. La deuxième loi, celle de Fréchet, est la meilleure pour 31 stations, soit moins de la moitié comparée à celles obtenues avec la loi de Gumbel. Indépendamment des méthodes d'estimation, la loi de Gumbel obtient les meilleures prévisions par la série 1 pour 62% (94 sur 151) de stations. Les autres lois n'obtiennent de tels résultats que pour 14 stations ou moins. On remarque aussi qu'aucune station n'obtient la meilleure prévision d'une pluie centennale par la loi Normale pour la série 1. La grande disparité entre les lois qui caractérise les prévisions par la série 1 est moins marquée avec la série 2. En effet la loi qu'offre le plus de meilleurs résultats est celle Gamma, présente sur 34 stations. La moins représentée est celle de Weibull avec 11 stations. Les autres lois obtiennent les meilleurs résultats pour 12 à 25 stations. Dans ce cas, la loi de Gumbel, toute méthode d'estimation confondue, est présente sur 49 stations.

Sur les 151 stations, seules 19 obtiennent la prévision la plus correcte avec la même loi sur les deux séries, qui, dans 7 cas, est celle de Fréchet. Cependant ces stations ne se situent pas sur une même région et donc ne permettent pas d'établir une zone particulièrement adaptée à cette loi. Toujours avec le diagramme en barres à la Figure 29, on note que les lois qui présentent moins de variations entre les estimations de la première et celles de la deuxième série sont les lois de Gumbel avec les méthodes des moments et des moindres carrés, ainsi que les lois de Fréchet et de Weibull.

La Figure 30 montre encore que les précipitations journalières centennales estimées à partir de la série de mesure 1 (1911 – 1960) avec la loi de Gumbel sont les plus proches des valeurs journalières maximales mesurées de 1911 à 2010 pour la plupart des stations dans le Nord de la Suisse et dans une zone sur le centre-Ouest du Plateau. En effet, pour les autres stations, ainsi que pour l'estimation des précipitations journalières centennales à partir de la série de mesures 2 (1961 – 2010) (Figure 31), on ne retrouve pas de zone avec une seule loi permettant une meilleure estimation.

*Meilleure approximation d'une précipitation avec un temps de retour de 100 ans
Série 1: 1911 - 1960*

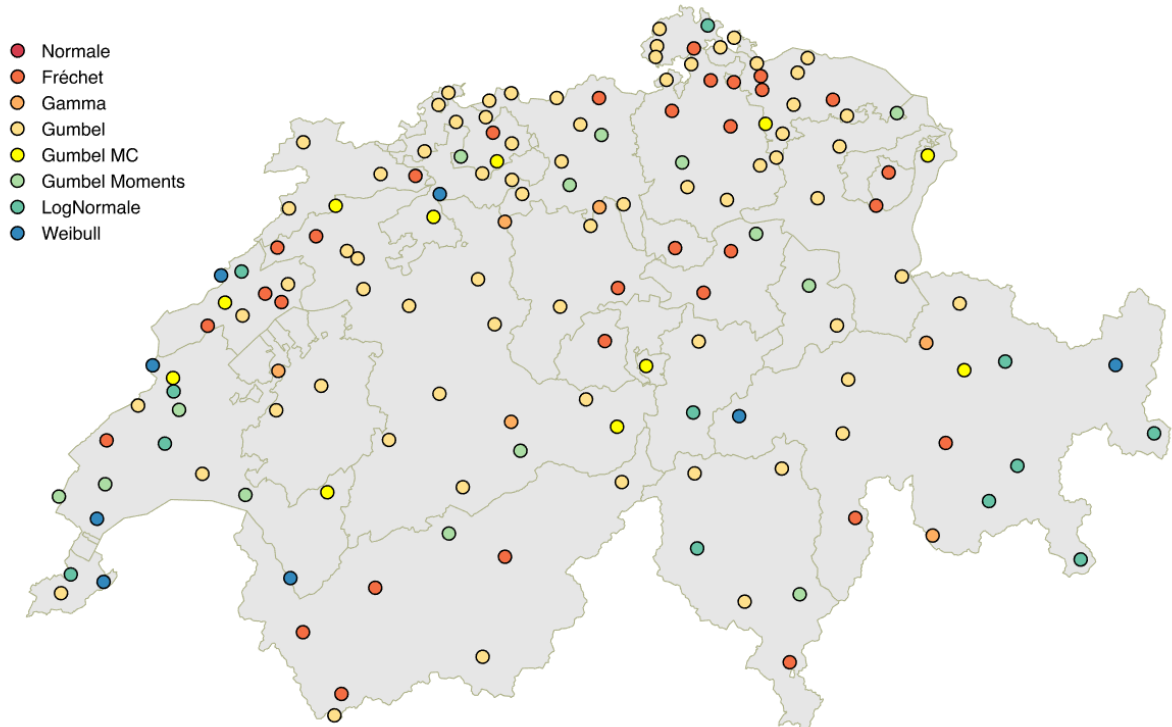


Figure 30) Lois présentant la meilleure estimation des précipitation journalières centennales par rapport aux valeurs journalières maximales mesurée de 1911 à 2010 à partir de la série de mesure 1 (1911-1960) pour chaque station.

Série 2: 1961 - 2010

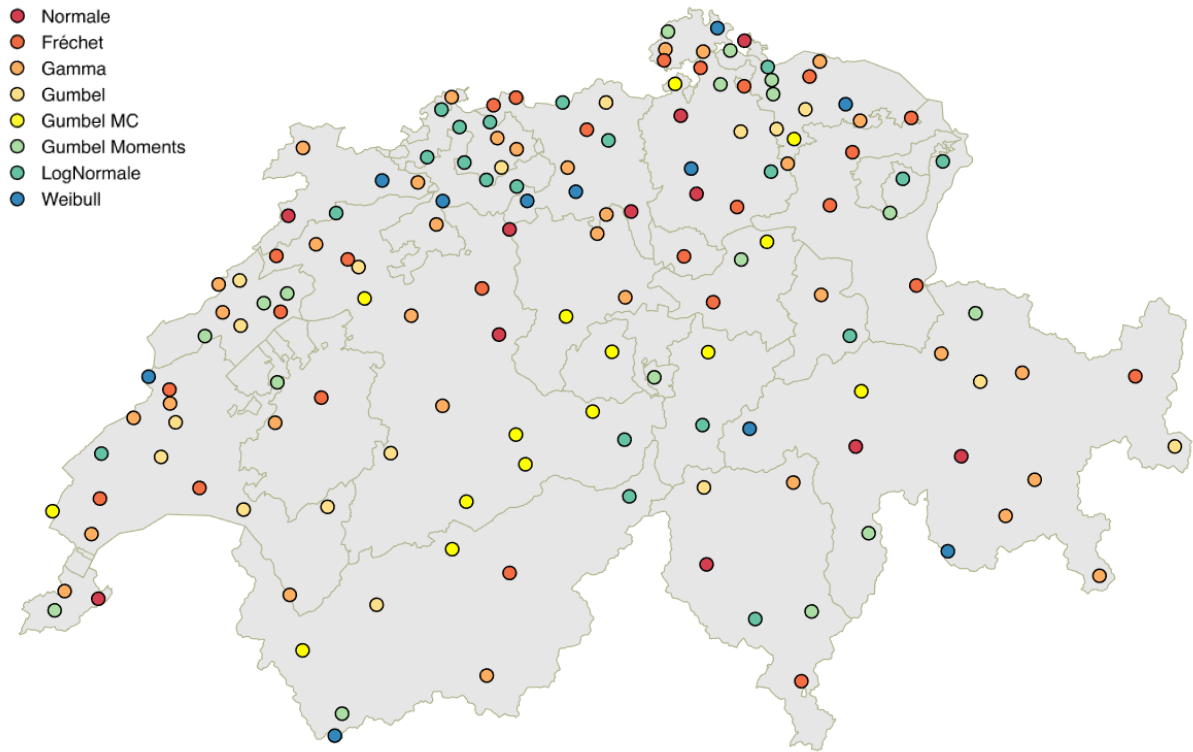


Figure 31) Lois présentant la meilleure estimation des précipitation journalières centennales par rapport aux valeurs journalières maximales mesurée de 1911 à 2010 à partir de la série de mesure 2 (1961-2010) pour chaque station.

7 Discussion

Les résultats exposés au chapitre précédent donnent les informations nécessaires pour répondre à l'objectif posé au début du travail : déterminer quel modèle fréquentiel obtient les meilleures prévisions pour une précipitation journalière centennale en partant d'une série de 50 ans sur l'ensemble de la Suisse. On a vu que aucune loi n'obtient des résultats parfaits sur l'ensemble du territoire du pays. Néanmoins, si on se réfère aux écarts moyen et maximaux (cf. Tableau 3) entre les précipitations journalières centennales estimées à partir des 2 séries de mesures et les valeurs journalières maximales mesurées de 1911 à 2010, la loi de Gumbel (avec les méthodes des moindres carrés et des moments) ainsi que la loi LogNormale aboutissent globalement aux meilleures estimations de ces valeurs centennales. Ces deux lois ont aussi le plus grand pourcentage de stations dans la classe d'écart $\pm 10\%$ (cf. Tableau 5) surtout au niveau de la première série. En particulier la loi LogNormale est aussi la meilleure au niveau de la deuxième série. De très bons résultats en partant de la deuxième série sont obtenus aussi par les lois Gamma et de Weibull, mais ceux-ci présentent des résultats pas assez satisfaisants pour les données de la série 1. En regardant la meilleure estimation des précipitations journalières centennales au niveau des stations (cf. Figure 29), ce sont les lois de Gumbel (par la méthode du maximum de vraisemblance), de Fréchet et Gamma qui, indépendamment de la série de départ retenue, comptent le plus grand nombre de meilleurs résultats. Cependant, cette variante de la loi de Gumbel et la loi Gamma comptent leur meilleurs résultats seulement sur une des deux séries. Ce sont en effet les lois de Gumbel (mais selon la méthode des moments et des moindres carrés) et de Weibull qui présentent des résultats les plus proches pour les deux séries de données de départ. Par l'analyse de ces trois résultats, il en ressort l'importance de l'échantillon des données de départ utilisé par les lois. En effet, on peut noter que les prévisions issues de la première série sont en moyenne plus basses que celles provenant de la deuxième, comme le montre le Tableau 7. Les différences des moyennes des écarts entre les 2 séries vont de 5% à 19% selon la loi considérée. En particulier, on note la loi de Gumbel pour les trois méthodes d'estimation et celle de Fréchet qui passe d'une moyenne des écarts issus de la première série qui sous-estime les précipitations journalières maximales à une moyenne qui les surestime en partant des valeurs de la série 2. Il est donc important d'évaluer la qualité de l'échantillon. Dans ceux utilisés dans cette étude, on trouve les valeurs les plus élevées des précipitations journalières mesurées dans la 2^{ème} série de 1961 à 2010 pour 114 des 151 stations.

En moyenne cette valeur est de 15 mm/j plus haute que la valeur trouvée dans la première série. La deuxième série présente des valeurs de précipitations plus hautes aussi au niveau des moyennes : pour 131 stations la moyenne des précipitations journalière sur 50 ans est supérieure pour les mesures allant de 1961 à 2010 que pour celle de 1911 à 1960, en moyenne de 5 mm/j, dans la deuxième série que dans la première. Cet aspect explique les meilleurs résultats obtenus par la série 2 mais n'est, par contre pas visible au niveau de la qualité de l'ajustement. Qualité d'ajustement qui est en moyenne meilleure pour les prévisions de la première série que de la deuxième si on se base sur les valeurs du coefficient de détermination R^2 . En particulier c'est la loi de Fréchet, qui englobe plus de 90% des coefficients de détermination supérieur à 0.95. Mais les ajustements dépendent aussi des paramètres contenus dans les lois. En effet les lois de Fréchet, Weibull et Gamma utilisent dans les estimations le paramètre de forme (cf. Chapitre 3.2.4), qui vont varier d'une station à l'autre, ce qui va adapter la prévision en fonction de la distribution de l'échantillon. Cela va, d'un côté, donner un ajustement de bonne qualité mais qui, de l'autre, est adapté au cas par cas et qui rend donc difficile l'application de cette loi sur un niveau général. Pour quantifier cette influence, il aurait fallu tester les lois avec des valeurs constantes pour le paramètre de forme. Par ces constatations il est donc possible de dire qu'effectivement, comme prévu dans les objectifs au Chapitre 3.1, les meilleures prévisions sont obtenues par la loi de Gumbel, en particulier selon les méthodes d'estimation des paramètres des moments et des moindres carrés. La LogNormale aboutit aussi à de bons résultats même s'ils sont un peu plus sous-estimés par rapport à ceux obtenus par Gumbel. Les estimations des pluies extrêmes avec un temps de retour plus long que celui de la série de données sont donc à effectuer avec la loi de Gumbel pour obtenir les résultats, en Suisse, les plus satisfaisants. Ce sont donc en manière générale des résultats qui suivent les principes exposés par Fallot (2011, 2013) et par Fallot et Hertig (2013). De même pour Trömel & Schönwiese (2007) qui aboutissent à des résultats semblables dans le cas d'étude de l'Allemagne. En revanche, ce sont des conclusions différentes de celles auxquelles arrivent Livada *et al.* (2008) dans le cas de la Grèce, Bacro & Chaouche (2006) pour la région de Marseille, Zahar & Laborde (2007) en Tunisie et Koutsuyiannis (2004) pour l'Europe et l'Amérique du Nord. Ce qui permet de définir une certaine relation entre les caractéristiques climatiques, et donc du régime pluviométrique, avec la loi statistique qui obtient les meilleures estimations. En effet la situation climatique en Allemagne est plus proche de celle en Suisse par rapport à celle présente dans les pays méditerranéens observés dans ces études.

8 Conclusion

Ce travail a permis d'analyser la qualité de différentes lois de distribution de probabilité dans l'estimation des précipitations avec un temps de retour plus grand que la série de mesure de référence. Pour cela, les précipitations journalières centennales ont été estimées pour 151 stations en Suisse à partir de deux séries de mesures de 50 ans et huit lois statistiques, puis comparées avec les valeurs maximales des précipitations journalières mesurées de 1911 à 2010. Cette comparaison a permis d'établir des classes d'écart (en pourcentage) par rapport à la valeur maximale mesurée par chaque station. A partir de ces classes, des cartes ont été créées permettant d'analyser la précision des modèles fréquentiels issus des huit lois étudiées sur le territoire Suisse. Pour pouvoir employer les conclusions de ce travail dans un contexte futur, il faudrait les adapter aux variables qui sont en train de changer à cause du réchauffement climatique. En effet les changements climatiques qui continuent à être enregistrés de nos jours vont favoriser une augmentation des précipitations extrêmes (Frei et al., 2006 ; Beniston et al., 2007). Cet aspect pourrait donc, avec les modèles d'estimations utilisés dans ce travail, aboutir à des prévisions des précipitations journalières centennales futures sous-estimées. L'utilisation d'une loi qui a conduit à des surestimations pourrait donc en partie compenser l'augmentation des précipitations, comme par exemple la loi de Fréchet. La démarche illustrée dans ce travail est donc surtout utile pour contrôler et évaluer à posteriori les prévisions faites par les modèles climatiques, qui eux tiennent en compte toutes les variables influençant les précipitations. Cependant la stationnarité temporelle du phénomène, c'est à dire la définition à priori par les lois d'ajustement que le phénomène estimé soit indépendant et identique dans le temps, peut être contournée par l'utilisation de certains paramètres statistiques comme l'énoncent dans leurs travaux Coles *et al.* (2001), Katz *et al.* (2005), Cooley (2009), Sankarasubramanian et Lall (2003) et Renard *et al.* (2006). Une analyse avec ces adaptations serait un développement intéressant de ce travail. Cela permettrait de confronter les estimations en partant des valeurs des précipitations maximales journalières avec celles adaptées aux variables du climat et de voir leur influence sur les prévisions. Ce développement pourrait utiliser aussi un plus grand nombre de données de base en ayant à disposition pour les temps plus récents un réseau de stations de mesure beaucoup plus dense. En effet la période de 1961 à 2010 dispose de 429 stations pluviométriques, ce qui augmente beaucoup la précision spatiale des estimations par rapport à la période 1911-2010 (150 stations).

Un autre complément de ce travail qui pourrait apporter des résultats intéressants, surtout au niveau spatial des prévisions, est celui en relation à l'interpolation. La méthode de l'IDW utilisée dans cette étude n'est pas assez précise pour employer les valeurs interpolées dans des analyses. Cela pourrait être le cas en utilisant différentes sortes de kriging qui permettent de tenir en compte plusieurs variables, dont l'altitude (Bargaoui et Chebbi, 2009 ; Dirks et *al.*, 1998 ; Goovaerts, 2000).

Bibliographie

Littérature

- Bacro, J. N., & Chaouche, A. (2006). Incertitude d'estimation des pluies extrêmes du pourtour méditerranéen: illustration par les données de Marseille. *Hydrological sciences journal*, *51*(3), 389-405.
- Baeriswyl, P. A., & Rebetez, M. (1997). Regionalization of precipitation in Switzerland by means of principal component analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, *58*(1-2), 31-41.
- Bargaoui, Z. K., & Chebbi, A. (2009). Comparison of two kriging interpolation methods applied to spatiotemporal rainfall. *Journal of Hydrology*, *365*(1), 56-73.
- Beniston, M., Rebetez, M., Giorgi, F., & Marinucci, M. R. (1994). An analysis of regional climate change in Switzerland. *Theoretical and applied climatology*, *49*(3), 135-159.
- Beniston, M., Stephenson, D. B., Christensen, O. B., Ferro, C. A., Frei, C., Goyette, S., ... & Palutikof, J. (2007). Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic change*, *81*(1), 71-95.
- Bouët, M., & Oguey, P. (1985). *Climat et météorologie de la Suisse romande*. Payot, 171 p.
- Cadima, E. L. (2003). *Fish stock assessment manual* (No. 393). Food & Agriculture Org..
- Coles, S., Bawa, J., Trenner, L., & Dorazio, P. (2001). *An introduction to statistical modeling of extreme values* (Vol. 208). London: Springer.
- Coles, S., Pericchi, L. R., & Sisson, S. (2002). A fully probabilistic approach to extreme rainfall modeling. *Journal of Hydrology*, *273*(1), 35-50.
- Cooley, D. (2009), Extreme value analysis and the study of climate change, *Clim. Change*, *97*, 77–83.
- Dirks, K. N., Hay, J. E., Stow, C. D., & Harris, D. (1998). High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island: Part II: Interpolation of rainfall data. *Journal of Hydrology*, *208*(3), 187-193.
- Fallot J.-M. (2000), Évolution du nombre de jours avec des précipitations abondantes en Suisse durant le 20e siècle. *Publ. Ass. Int. Clim*, *13*, 100-109.
- Fallot J.-M. (2011). *Efficacité des analyses de Gumbel pour déterminer les précipitations journalières extrêmes en Suisse*. Acts du 24^{ème} colloque l'Association Internationale de Climatologie, Rovereto, Italie, 6-10.09.2011, p243-248.
- Fallot J.-M. (2012). *Efficiency of Gumbel analyses for determining extreme daily precipitation in Switzerland*. Actes du 4^{ème} colloque international sur l'air et l'eau (Air and Water Conference), Cluj-Napoca, Roumanie, 23-24.03.2012, p. 1-8.
- Fallot J.-M. (2013), *Evaluation des différentes formules de la loi de Gumbel pour l'estimation des précipitations journalières extrêmes en Suisse*. 26^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Cotonou, Benin. 3-7.09.2013, p. 224-229

- Fallot J.-M. (2015A). *Cours topoclimatologie et risques climatiques* [Support de cours]. Lausanne: Université, institut de géographie et durabilité.
- Fallot J.-M. (2015B). *Cours climatologie* [Support de cours]. Lausanne: Université, institut de géographie et durabilité.
- Fallot J.-M., Hertig J.-A. (2013). Détermination des précipitations extrêmes en Suisse à l'aide d'analyses statistiques et augmentation des valeurs extrêmes durant le 20^{ème} siècle. *Mémoire de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, **25**: 13-24.
- Fallot J.-M., Hertig J.-A., Receanu R.G. & Zeimet F. (2017). Détermination des précipitations et des crues extrêmes en Suisse à l'aide de la méthode PMP-PMF. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, **66** : 77-96.
- Frei, C., & Schär, C. (1998). A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. *International Journal of climatology*, **18**(8), 873-900.
- Frei, C., Davies, H. C., Gurtz, J., & Schär, C. (2000). Climate dynamics and extreme precipitation and flood events in Central Europe. *Integrated Assessment*, **1**(4), 281-300.
- Frei C., Schöll R., Futukome S., Schmidli J., Vidale P.L., (2006). Future change of precipitation extremes in Europe. *Journal of Geophysical Research*, **111**, D06105, doi:10.1029/2005JD005965.
- Goovaerts, P. (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of hydrology*, **228**(1), 113-129.
- Gumbel E.J. (1958), *Statistics of extremes*. Columbia University press, 375 p.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M. et al. (2008) The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: an update. *Landslides*, **5**: 3. doi:10.1007/s10346-007-0112-1
- IPCC (2015). *Climate Change 2015. the physical science basis. Working group I Contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Summary for policymaker.
- Jenkinson, A. F. (1955). The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **81**(348), 158-171.
- Katz, R. W. (2010). Statistics of extremes in climate change. *Climatic Change*, **100**(1), 71-76.
- Katz, R. W., Parlange, M. B., & Naveau, P. (2002). Statistics of extremes in hydrology. *Advances in water resources*, **25**(8), 1287-1304.
- Katz, R. W., Brush, G. S., & Parlange, M. B. (2005). Statistics of extremes: modeling ecological disturbances. *Ecology*, **86**(5), 1124-1134.
- Koutsoyiannis, D. (2004A). Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: I. Theoretical investigation/Statistiques de valeurs extrêmes et estimation de précipitations extrêmes: I. Recherche théorique. *Hydrological sciences journal*, **49**(4).
- Koutsoyiannis D. (2004B). Statistics and estimation of extreme rainfall: Part II. Empirical investigation of long rainfall records. *Hydrological Sciences journal*, **49**, p. 591-610

- Laborde, J. P. (2000). *Eléments d'hydrologie de surface*. Université de Nice Sophia-Antipolis, 191p.
- Livada, I., Charalambous, G., & Assimakopoulos, M. N. (2008). Spatial and temporal study of precipitation characteristics over Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, 93(1-2), 45-55.
- Musy A. (2005). *Cours Hydrologie générale Chapitre 3, les précipitations* [Page Web]. Disponible sur : <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/annexes/AnalFrequ.html#cours> (consulté le: 07.01.17).
- Renard, B., M. Lang & P. Bois (2006), Statistical analysis of extreme events in a nonstationary context via a Bayesian framework: Case study with peak-over-threshold data, *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, **21**, 97–112.
- Sankarasubramanian, A., and U. Lall (2003), Flood quantiles in a changing climate: Seasonal forecasts and causal relations, *Water Resour. Res.*, **39**(5), 1134, doi:10.1029/2002WR001593.
- Tarhule, A. (2005) Damaging Rainfall and Flooding: The Other Sahel Hazards. *Climatic Change*, **72**: 355. doi:10.1007/s10584-005-6792-4
- Towler, E., Rajagopalan, B., Gilleland, E., Summers, R. S., Yates, D., & Katz, R. W. (2010). Modeling hydrologic and water quality extremes in a changing climate: A statistical approach based on extreme value theory. *Water Resources Research*, **46**(11).
- Trömel S. & Schönwiese C.-D., 2007. Probability change of extreme precipitation observed from 1901 to 2000 in Germany. *Theoretical and applied Climatology*, **87**: 29-39.
- Zahar, Y., & Laborde, J. P. (2007). Modélisation statistique et synthèse cartographique des précipitations journalières extrêmes de Tunisie. *Revue des sciences de l'eau, Journal of Water Science*, **20**(4), 409-424.
- Zeller J., Geiger H., Roethlisberger G., (1980). *Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrand- Gebiet*. Office fédéral de l'étude des forêts, de la neige et du paysage (WSL), anciennement Institut Fédéral de Recherche Forestière (FNP), Birmensdorf.

En ligne

- ArcGIS Pro (2017). In *Esri* [En ligne]. Disponible sur : <http://pro.arcgis.com/fr/pro-app/> (Consulté le 30.01.18)
- Glen, S. (2017). *Statistics How To – Shape parameter* [Page Web]. Disponible sur : <http://www.statisticshowto.com/shape-parameter/> (Consulté le 06.12.2017)
- Mathwave (2017). *Extreme Value Distributions* [Page Web]. Disponible sur : http://www.mathwave.com/articles/extreme-value-distributions.html#evd_frechet (Consulté le 08.12.2017)
- Matlab (2017). In *MathWorks* [En ligne]. Disponible sur : <https://ch.mathworks.com/help/> (Consulté le 30.01.18)

Minitab (2016). *Using the inverse cumulative distribution function (ICDF)* [Page Web]. Disponible sur : <http://support.minitab.com/en-us/minitab-express/1/help-and-how-to/basic-statistics/probability-distributions/supporting-topics/basics/using-the-inverse-cumulative-distribution-function-icdf/> (Consulté le 08.12.2017)

Système de mesure et de prévision (2017). In *MétéoSuisse* [En ligne]. Disponible sur : <http://www.meteosvizzera.admin.ch/home/sistemi-di-rilevamento-e-previsione/stazioni-al-suolo.html> (Consulté le 08.12.2017)

Annexe I – Liste des stations de mesure pluviométrique

ID	Station	X coord	Y coord	Altitude [m]	Pmax [mm/j]
1	Guttanen	665296.00	167601.00	1055	129.4
2	Meiringen	655844.00	175930.00	589	110.9
3	Lauterbrunnen	635851.00	160291.00	815	100.7
4	Interlaken	633019.00	169093.00	577	109.4
5	Kandersteg	618313.00	149198.00	1178	114.1
6	Boltigen	595831.00	163587.00	820	105.6
7	Thun	611201.00	177640.00	570	94.7
8	Bern	601930.00	204410.00	553	90.3
9	Château d'Oex	577040.00	147655.00	1029	96.9
10	Romont	561476.00	172622.00	692	101.6
11	Fribourg/Posieux	575182.00	180076.00	646	91.2
12	Aarberg	588051.00	209518.00	493	93.5
13	Payerne-Ville	562127.00	184612.00	490	89.6
14	La Cure	495298.00	146347.00	1185	131.3
15	Le Sentier - Les Bioux	509820.00	163450.00	1025	123.6
16	Valeyres-sous-Rances	530230.00	178350.00	512	80.4
17	Couvet	540607.00	198345.00	728	128.5
18	Combe Garrot - Chambrelieu	551220.00	201450.00	532	108.6
19	Les Ponts-de-Martel	545880.00	205400.00	1052	94.5
20	Neuchâtel	563087.00	205560.00	485	116.1
21	Chaumont	565060.00	211006.00	1136	102.9
22	Biel/Bienne	586260.00	218840.00	444	113.3
23	Solothurn - Riedholz	609394.00	231491.00	518	105
24	Langnau i.E.	628005.00	198792.00	745	95.5
25	Affoltern i.E.	622940.00	212500.00	755	94.7
26	St Urban	631125.00	230015.00	491	78.1
27	Zofingen - Oftringen	636390.00	238480.00	417	86.1
28	Herbetswil	611290.00	238440.00	544	83.1
29	Olten - Winznau - Wangen bei Olten	633280.00	242760.00	435	99.8
30	Aarau-Unterentfelden - Buchs/Aarau	648389.00	248365.00	387	96.5
31	Beromuenster	657200.00	228760.00	642	92
32	Unterkulm	650838.00	241212.00	454	94.9
33	Aesch LU	659915.00	234450.00	400	92.7
34	Muri AG	667276.00	235323.00	577	93
35	Beznau	659808.00	267694.00	326	109.9
36	Vallorbe/Reposoir - Vallorbe-Ville	519400.00	174060.00	748	100
37	Corcelles sur Chavornay - Chavornay	531887.00	172741.00	439	115
38	Baulmes	530050.00	182450.00	642	121.6
39	L'Auberson	523852.00	186295.00	1096	98.2

40	Dombresson - Cernier - Boudevilliers	558105.00	208125.00	749	103.8
41	Mont-Soleil - Montagne-du-Droit	561830.00	222150.00	1170	120.2
42	Courtelary	573623.00	225597.00	695	92.7
43	Evilard - Magglingen	583037.00	221115.00	883	127.4
44	Unterboezberg	654098.00	654098.00	513	136
45	Sedrun	702480.00	170825.00	1400	126.3
46	Vals	734016.00	165552.00	1242	141.7
47	Ilanz	735685.00	181966.00	698	134.1
48	Savognin	765387.00	162663.00	1172	95.2
49	Davos	783514.00	187458.00	1594	90
50	Arosa	771030.00	184826.00	1878	136.1
51	Chur	759466.00	193153.00	556	94.6
52	Schiers - Gruesch	769617.00	205125.00	626	164
53	Sargans	752046.00	213364.00	590	158.2
54	Alstaetten	759910.00	250202.00	430	134.5
55	Arbon	750520.00	263110.00	402	124.6
56	Kreuzlingen - Wolfsberg	723350.00	279860.00	507	84.6
57	Eschenz	707865.00	278227.00	414	92.9
58	Buch SH	700944.00	286039.00	414	90.2
59	Diessenhofen	696730.00	283130.00	405	104.8
60	Lohn SH	692910.00	289775.00	585	75.4
61	Schaffhausen	688698.00	282796.00	438	96.8
62	Rheinau	687900.00	277990.00	385	114.9
63	Wil bei Rafz	680340.00	273225.00	406	127.4
64	Schleitheim	678225.00	288730.00	499	80.8
65	Hallau	677456.00	283472.00	419	96.7
66	Wilchingen	677050.00	280200.00	420	141.1
67	Moehlin	633053.00	269147.00	344	122.3
68	Rheinfelden	626380.00	266880.00	299	80
69	Kilchberg - Ruenenberg	633246.00	253846.00	611	86.6
70	Boeckten - Liestal - Sissach	627500.00	257130.00	380	77.5
71	Eptingen	628720.00	248410.00	565	103.8
72	Waldenburg - Langenbruck	624250.00	244720.00	731	98.5
73	Lampenberg - Reigoldswil	617700.00	249870.00	602	100.6
74	Liestal - Sissach	627500.00	257130.00	380	84.1
75	Arisdorf	625310.00	261860.00	480	88.4
76	Bellelay	579603.00	234880.00	923	101.8
77	Delémont	593269.00	244543.00	439	88.6
78	Therwil - Laufen	606652.00	251464.00	404	87.2
79	Pfeffingen - Gempen	616260.00	260400.00	585	107.8
80	Basel-Binningen	610911.00	265601.00	316	85
81	Riehen - Wenkenhof - Erlenpumpwerke	613930.00	269300.00	260	80

82	Laufenburg	646900.00	267700.00	330	96.5
83	Mervelier	603884.00	243975.00	540	112
84	Reckingen - Ulrichen	666740.00	150760.00	1346	134.6
85	Zermatt	624350.00	97560.00	1638	110
86	Leukerbad	614083.00	135090.00	1286	110
87	Visp	631149.00	128020.00	639	155.1
88	Sion	591630.00	118575.00	482	79.3
89	Grand St Bernard	579200.00	79720.00	2472	159.6
90	Bourg St Pierre	581350.00	86251.00	461	119
91	Martigny-Ville - Ravoire	569620.00	105038.00	1822	96.1
92	Bex	565806.00	121511.00	402	68.8
93	Montreux-Clarens - Vevey	552106.00	146847.00	405	113.2
94	Lausanne	538976.00	153256.00	601	122.9
95	Cossonay	527563.00	162465.00	590	97
96	Longirod	509387.00	150106.00	900	118
97	Nyon - Changins/Nyon	506880.00	139573.00	455	87
98	Jussy	508910.00	120364.00	466	82
99	Compesières - Croix de Rozon - Genève Aïre	495935.00	116925.00	376	130
100	Genève-Observatoire - Genève Cointrin	498905.00	122632.00	412	92.6
101	Les Brenets	544675.00	213685.00	907	84
102	La Chaux-de-Fonds	550919.00	214861.00	1018	100.8
103	Mormont	569727.00	254223.00	535	88.5
104	Airolo	688910.00	153400.00	1139	232
105	Aquarossa/Comprovasco - Olivone	715465.00	154865.00	958	199.7
106	Mesocco	737850.00	139825.00	830	170.5
107	Bellinzona	720913.00	116588.00	224	216.6
108	Locarno-Monti	704160.00	114350.00	367	317.9
109	Cevio	689688.00	130565.00	417	246.5
110	Lugano	717874.00	95884.00	273	262.8
111	Brusio-Piazzo	806477.00	127184.00	856	112.8
112	Soglio	761393.00	134474.00	1086	137.4
113	Bever - Samedan	787210.00	155700.00	1709	90.2
114	Scuol	817135.00	186393.00	1304	71.8
115	Santa Maria	828861.00	165580.00	1383	98.6
116	Saignelégier	565379.00	234076.00	883	93.5
117	Segl-Maria	778575.00	144976.00	1804	108
118	Ebnat-Kappel	726347.00	237176.00	623	175.3
119	Flawil	733050.00	252940.00	570	143
120	Saentis	744200.00	234920.00	2502	186.7
121	Appenzell	748012.00	245040.00	750	134
122	Bischofszell	735325.00	262285.00	470	109.1
123	Sulgen	731025.00	267175.00	480	98.8

124	Illhart	720294.00	275406.00	506	122.6
125	Tannegg - Allenwinden	713800.00	249550.00	865	111.5
126	Eschlikon	715699.00	256836.00	578	116.8
127	Aadorf - Taenikon	710515.00	259821.00	539	101.1
128	Affeltrangen	719070.00	265660.00	479	103.7
129	Frauenfeld	709480.00	270170.00	393	128.6
130	Kalchrain	709070.00	274350.00	605	143.2
131	Niederneunforn	700860.00	272510.00	440	112.6
132	Andelfingen	693810.00	273070.00	382	121.5
133	Bauma	708840.00	247160.00	866	125.3
134	Winterthur	699845.00	259054.00	506	112.3
135	Grueningen	698752.00	236666.00	535	143.2
136	Buelach	682010.00	263780.00	402	84.5
137	Glarus	723752.00	210568.00	517	121.8
138	Elm	732265.00	198425.00	958	127.9
139	Lachen	707637.00	226334.00	468	123.8
140	Kuesnacht ZH	686705.00	240573.00	412	97.7
141	Zuerich SMA	685117.00	248066.00	556	103.1
142	Einsiedeln	699984.00	221069.00	910	124.5
143	Baden - Muellingen	660530.00	256440.00	367	94
144	Goeschenen	688477.00	171926.00	950	143.5
145	Altdorf	690174.00	193558.00	438	118.8
146	Schwyz	691650.00	208410.00	480	125.9
147	Engelberg	674157.00	186097.00	1036	122.4
148	Sarnen	661580.00	193690.00	475	103.5
149	Luzern	665540.00	209848.00	454	111.8
150	Entlebuch	647935.00	204165.00	768	131.4
151	Unteraegeri - Zugerberg	682975.00	222000.00	920	181.3

Annexe II – Exemple du code Matlab

```

%% Estimations des précipitations T100 à partir d'une série de 50 ans
clear all % effacer toutes les données en mémoire
close all % fermer toutes les fenêtres ouvertes
clc % effacer toutes les entrées de la fenêtre de commande

% charger données précipitations
% col. 1 = année, col. 2:153 = stations pluies mm/j
data = load('PrecJourMaxCH1911-1960_NOHEADERS.txt');
% pluies journalières maximale par an, série de 50 ans 1911-1960
data_tot = load('PrecJourMaxCHTOT_NOHEADERS.txt');
% pluies journalières maximale par an, série complète 100 ans 1911-2010

%% charger label (pour le graphe)
labels = {liste des noms des stations}

%% mise en ordre et prévision des précipitation pour chaque station
for i = 2:size(data,2) % effectuer prévision pour toutes les stations
    % NaN au début et sort des données de la série
    % complète
    data_tot_NaN = sort(data_tot(:,i));
    data_tot_NaN(isnan(data_tot_NaN)) = -Inf;
    data_tot_sort = sort(data_tot_NaN);
    data_tot_sort(isinf(data_tot_sort)) = NaN;

    % extraction des données pour chaque station i
    P = data(:,i);
    % sort
    Ps = sort(P);
    Ps(isnan(Ps)) = -Inf; % NaN au début des prévisions
    Ps = sort(Ps);
    Ps(isinf(Ps)) = NaN; % sort des prévisions
    rank(:,1) = 1:50; % création des rangs

%% statistique échantillon
n = size(rank,1); % taille de l'échantillon
sigmaEc = std(P,'omitnan'); % écart type
muEc = mean(P,'omitnan'); % moyenne

%% calcul fréquence empirique par Hazen
FrE = (rank - 0.5)/n; % fréquence/probabilité empirique selon le rang
FrE_T100 = (100 - 0.5)/100;
T = 1./(1-(FrE)); % temps de retour selon la probabilité
Ttot = 1:100; % temps de retour pour la série complète

%% Estimations des Paramètres par Max de vraisemblance, distribution
théorique
% Frechet
pd = fitdist(Ps,'gev');
k = pd.ParameterValues(1); % shape
sigma = pd.ParameterValues(2); % scale
mu = pd.ParameterValues(3); % location

```

```

% distribution thÉorique
Estimations = icdf(pd,FrE);
PrecEst(:,i) = Estimations;

% valeur precipitations estimÉe pour le T100
ET100 = icdf(pd,FrE_T100)

% extraction R2 de la regression lineaire
mdl = fitlm(Estimations,Ps); % creation model donnÉe par les estimations
pour le donnÉes PS
R2 = mdl.Rsquared.Ordinary

%% Sauvegard
% Sauvegard T100, empirique, theorique, delta et R2
PT100(i,1) = data_tot_sort(100,1); % Precipitations empiriques # T100
PT100(i,2) = ET100; % Precipitations prevues # T100
PT100(i,3) = PT100(i,2)-PT100(i,1); % Delta
PT100(i,4) = PT100(i,3)/PT100(i,1)*100; % Delta relatif en (%)
PT100(i,5) = R2; % R2

%% Test d'adÉquation Chi2
% H0 = les donnÉes de Ps suivente une distribution telle que definie par pd
% If h = 1, this indicates the rejection of H0.
% If h = 0, this indicates a failure to reject H0.
% niveau significatif alpha = 5%, 0.05
% p is the probability of observing a test statistic as extreme as, or
more...
... extreme than, the observed value under the null hypothesis.Small values
of p cast doubt on the validity of the null hypothesis.

[h,p_chi] = chi2gof(Ps,'Emin',1,'CDF',pd); % Chi2 pour niveau alpha 0.05
Chi2(1,i) = h;
Chi2(2,i) = p_chi;

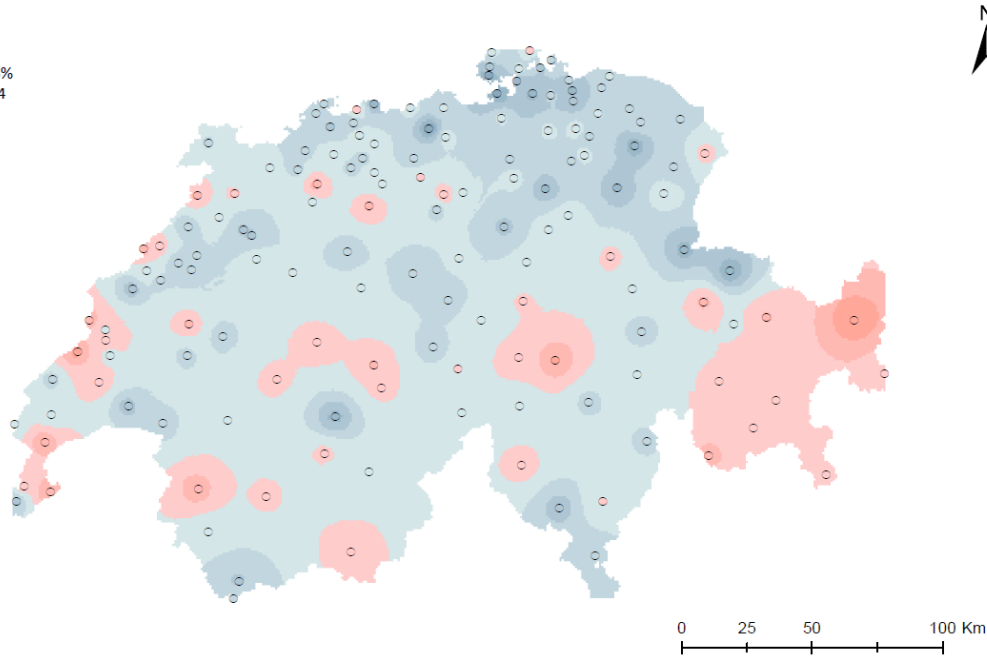
end

```


Annexe III - Estimations par la loi de Gumbel et la méthode des moindres carrés

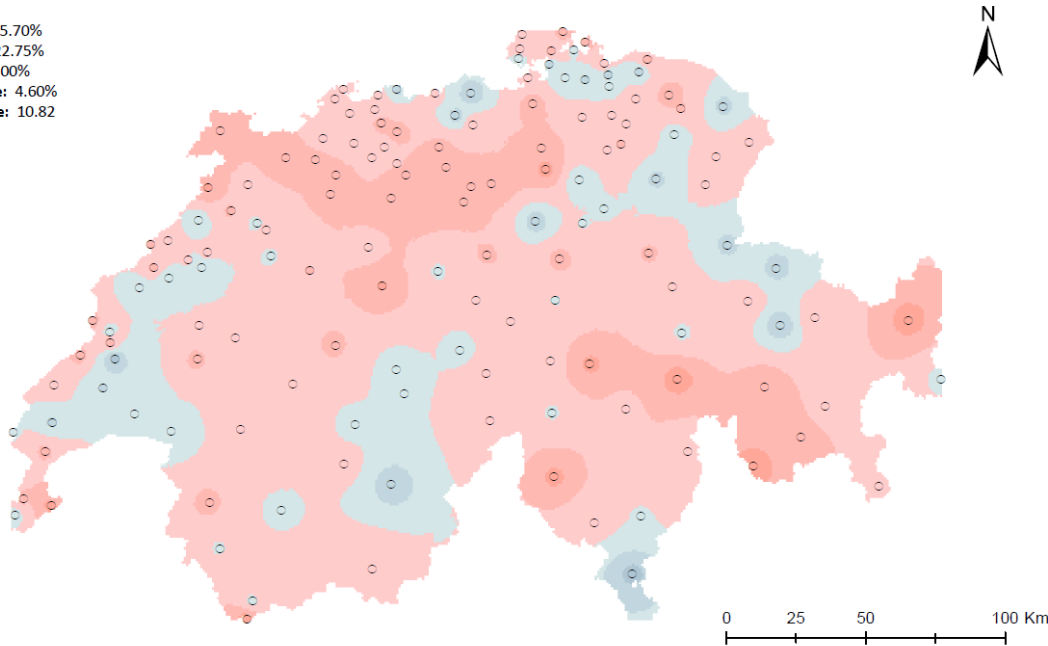
*Ecart (%) des précipitations T100 par la loi de Gumbel (Hazen, Moindres Carrés)
par rapport aux valeurs mesurées. Série1: 1911-1960*

Max+ : 28.59%
Max - : -47.64%
Min : 0.03%
Moyenne: -7.75%
EcartType: 14.14



Série 2 : 1961 - 2010

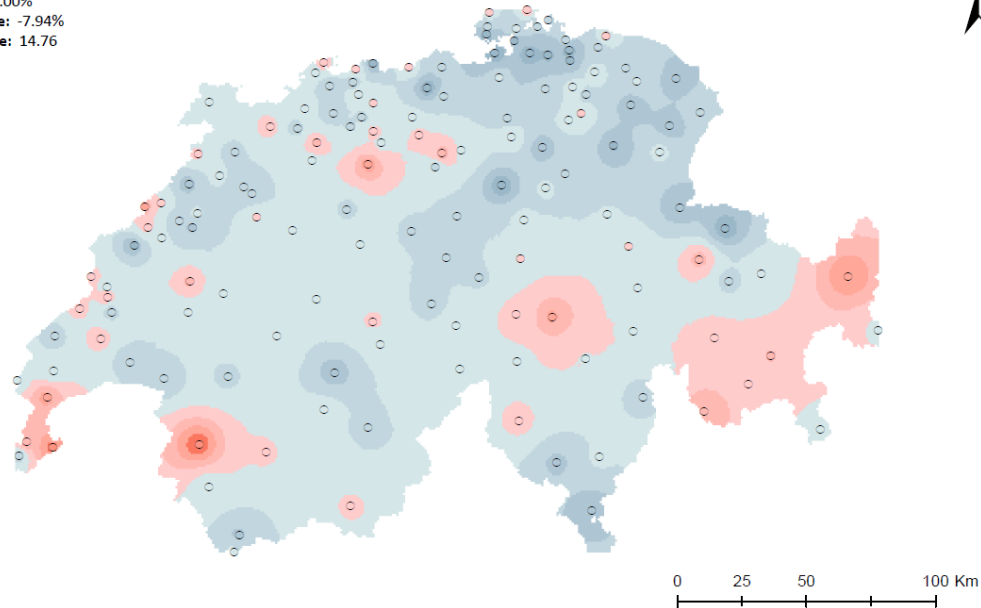
Max+ : 25.70%
Max - : -22.75%
Min : 0.00%
Moyenne: 4.60%
EcartType: 10.82



Annexe IV - Estimations par la loi de Gumbel et la méthode du maximum de vraisemblance

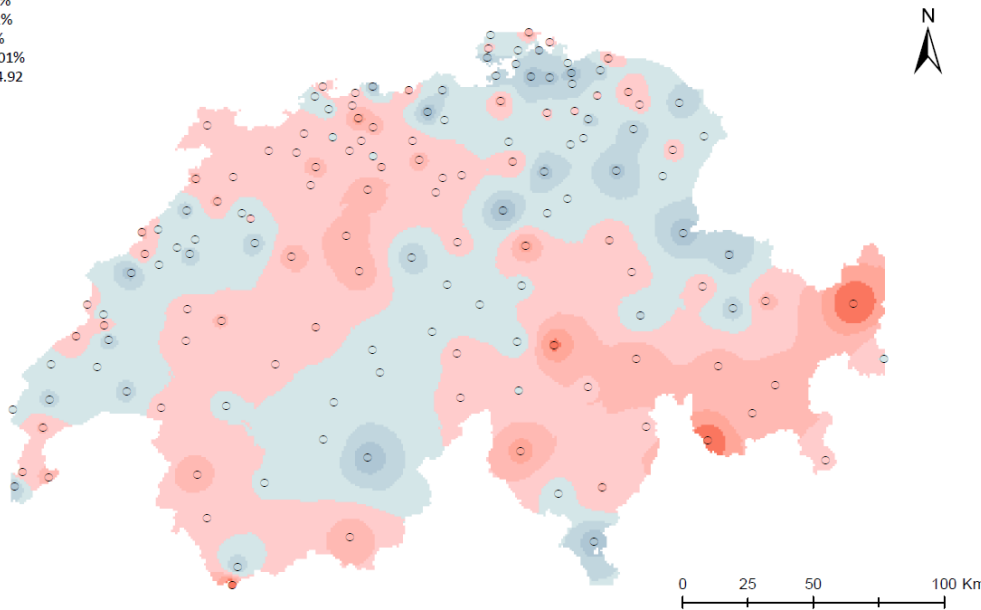
Ecart (%) des précipitations T100 par la loi de Gumbel (Hazen) par rapport aux valeurs mesurées. Série1: 1911-1960

Max+ : 37.07%
 Max - : -40.92%
 Min : 0.00%
 Moyenne: -7.94%
 EcartType: 14.76



Série 2 : 1961 - 2010

Max+ : 40.63%
 Max - : -35.22%
 Min : -0.13%
 Moyenne: 0.01%
 EcartType: 14.92



Annexe V – Résultats

ID	Pmax	Gumbel Moments				Gumbel Moindres carrés				Gumbel				Fréchet			
		Serie 1		Serie 2		Serie 1		Serie 2		Serie 1		Serie 2		Serie 1		Serie 2	
		T100_Est	DeltaS1(%)	T100_Est	DeltaS2(%)	T100_Est	DeltaS1(%)	T100_Est	DeltaS2(%)	T100_Est	DeltaS1(%)	T100_Est	DeltaS2(%)	T100_Est	DeltaS1(%)	T100_Est	DeltaS2(%)
1	129.4	129.08	-0.25	137.57	6.32	129.43	0.03	138.65	7.15	127.63	-1.37	133.22	2.95	131.78	1.84	143.70	11.05
2	110.9	91.04	-17.91	107.21	-3.33	91.51	-17.49	107.42	-3.14	93.91	-15.32	106.96	-3.55	87.31	-21.27	106.19	-4.25
3	100.7	102.62	1.91	100.45	-0.25	103.01	2.30	100.70	0.00	93.19	-7.46	92.28	-8.36	127.08	26.20	112.23	11.45
4	109.4	121.22	10.80	103.09	-5.77	121.20	10.78	103.28	-5.60	111.88	2.27	102.71	-6.11	131.95	20.61	101.99	-6.77
5	114.1	77.34	-32.22	112.17	-1.69	76.92	-32.58	112.56	-1.35	83.91	-26.46	102.82	-9.89	71.40	-37.43	126.88	11.20
6	105.6	107.93	2.20	108.83	3.06	108.44	2.69	109.31	3.52	103.59	-1.90	107.10	1.42	115.74	9.61	110.01	4.18
7	94.7	101.05	6.71	105.89	11.81	101.37	7.04	106.62	12.58	93.83	-0.92	104.20	10.03	114.91	21.34	108.55	14.63
8	90.3	82.70	-8.41	99.44	10.13	82.76	-8.35	100.15	10.91	85.31	-5.53	102.75	13.79	79.43	-12.04	95.33	5.57
9	96.9	96.20	-0.73	97.98	1.11	96.31	-0.61	98.46	1.61	85.14	-12.14	95.94	-0.99	113.36	16.99	100.54	3.76
10	101.6	89.25	-12.15	114.53	12.73	89.43	-11.98	114.99	13.18	96.60	-4.92	106.54	4.86	80.25	-21.01	135.70	33.57
11	91.2	78.96	-13.42	97.48	6.89	78.82	-13.58	97.98	7.44	85.00	-6.80	101.85	11.67	71.10	-22.04	92.07	0.95
12	93.5	92.03	-1.58	92.48	-1.09	92.58	-0.99	92.53	-1.04	93.95	0.49	77.60	-17.01	88.65	-5.19	136.53	46.03
13	89.6	98.43	9.86	89.89	0.32	99.12	10.62	90.17	0.64	100.02	11.63	93.01	3.81	95.75	6.87	85.46	-4.62
14	131.3	119.67	-8.86	130.06	-0.94	119.66	-8.86	130.64	-0.51	118.91	-9.44	123.46	-5.97	118.55	-9.71	138.31	5.34
15	123.6	106.83	-13.56	132.06	6.85	107.13	-13.32	133.15	7.73	102.37	-17.18	121.52	-1.68	109.24	-11.62	141.12	14.18
16	80.4	87.99	9.45	90.19	12.18	88.03	9.49	90.57	12.65	85.21	5.99	91.22	13.46	89.23	10.98	88.28	9.80
17	128.5	93.36	-27.34	116.87	-9.05	93.98	-26.87	115.73	-9.94	89.80	-30.12	95.01	-26.06	98.10	-23.66	142.70	11.05
18	108.6	94.57	-12.92	98.00	-9.76	94.77	-12.73	96.96	-10.72	98.40	-9.39	98.19	-9.59	89.57	-17.52	96.11	-11.50
19	94.5	93.46	-1.11	105.08	11.20	93.46	-1.10	105.61	11.76	98.37	4.10	104.64	10.73	86.83	-8.11	106.06	12.23
20	116.1	101.68	-12.42	105.03	-9.54	100.56	-13.39	104.43	-10.05	89.69	-22.75	96.21	-17.13	107.04	-7.80	110.01	-5.25
21	102.9	89.73	-12.80	105.94	2.95	89.91	-12.63	106.44	3.44	94.71	-7.96	99.28	-3.52	83.45	-18.90	118.24	14.90
22	113.3	88.06	-22.27	116.36	2.70	88.51	-21.88	116.66	2.97	92.34	-18.50	113.85	0.49	82.58	-27.12	116.16	2.53
23	105	101.78	-3.06	119.12	13.45	102.09	-2.77	119.25	13.57	100.52	-4.27	107.27	2.16	101.77	-3.07	145.43	38.50
24	95.5	91.10	-4.61	114.95	20.37	91.45	-4.24	114.98	20.40	94.60	-0.94	112.10	17.39	86.78	-9.13	119.31	24.93
25	94.7	77.86	-17.78	101.06	6.72	77.64	-18.02	101.40	7.07	82.47	-12.91	108.61	14.69	71.53	-24.46	93.20	-1.58
26	78.1	88.05	12.74	90.38	15.72	87.56	12.11	90.65	16.07	98.60	26.25	90.96	16.47	74.68	-4.39	89.58	14.70
27	86.1	79.99	-7.09	98.62	14.55	80.32	-6.71	98.93	14.90	83.97	-2.47	94.73	10.02	75.25	-12.61	104.59	21.48
28	83.1	95.50	14.92	94.98	14.30	95.29	14.67	95.25	14.62	92.03	10.75	97.00	16.72	96.68	16.34	91.19	9.74
29	99.8	94.88	-4.93	109.24	9.45	95.13	-4.68	108.72	8.93	102.83	3.03	97.99	-1.82	85.70	-14.13	121.29	21.54
30	96.5	79.20	-17.92	110.19	14.19	78.97	-18.17	110.17	14.17	88.39	-8.40	101.88	5.57	72.07	-25.31	119.26	23.59
31	92	78.99	-14.14	103.64	12.65	79.37	-13.73	104.24	13.31	82.16	-10.69	99.32	7.96	74.97	-18.52	110.86	20.50
32	94.9	94.69	-0.23	110.37	16.30	95.25	0.36	110.85	16.81	98.48	3.77	108.22	14.04	89.56	-5.63	113.43	19.52
33	92.7	101.54	9.54	104.40	12.62	101.87	9.89	104.78	13.03	107.90	16.40	98.48	6.24	94.34	1.77	115.47	24.56
34	93	83.88	-9.81	109.67	17.92	83.86	-9.83	109.68	17.94	92.11	-0.95	95.97	3.19	73.76	-20.69	162.87	75.13
35	109.9	101.74	-7.42	89.51	-18.55	100.45	-8.60	89.64	-18.44	91.58	-16.67	98.41	-10.45	103.69	-5.65	79.44	-27.72
36	100	122.16	22.16	113.97	13.97	123.39	23.39	114.55	14.55	103.43	3.43	110.69	10.69	178.92	78.92	119.16	19.16
37	115	110.17	-4.20	88.39	-23.14	110.09	-4.27	88.84	-22.75	97.03	-15.63	93.63	-18.58	122.96	6.92	81.86	-28.81
38	121.6	119.65	-1.61	117.20	-3.62	120.45	-0.94	117.42	-3.43	119.05	-2.10	110.39	-9.22	118.01	-2.95	121.86	0.21
39	98.2	114.86	16.97	112.60	14.67	116.19	18.32	112.72	14.78	101.63	3.50	107.60	9.57	146.66	49.35	117.15	19.30
40	103.8	85.04	-18.08	104.65	0.82	85.21	-17.91	106.52	2.62	83.15	-19.90	98.25	-5.34	86.77	-16.40	111.05	6.98
41	120.2	101.53	-15.54	108.87	-9.43	99.31	-17.38	108.79	-9.49	88.22	-26.61	101.53	-15.53	107.72	-10.38	126.57	5.30
42	92.7	88.86	-4.14	103.07	11.19	89.85	-3.07	103.47	11.62	86.10	-7.12	104.40	12.62	92.22	-0.52	102.07	10.11
43	127.4	99.41	-21.97	124.11	-2.59	99.63	-21.80	125.28	-1.67	103.04	-19.12	119.49	-6.21	95.41	-25.11	128.51	0.87
44	136	71.19	-47.66	116.35	-14.45	71.21	-47.64	114.43	-15.86	80.35	-40.92	93.12	-31.53	61.74	-54.60	139.05	2.24
45	126.3	152.10	20.43	154.29	22.16	152.38	20.65	153.53	21.56	154.09	22.00	167.34	32.50	150.56	19.21	136.71	8.24
46	141.7	136.53	-3.65	177.33	25.14	136.92	-3.37	177.41	25.20	141.01	-0.49	169.65	19.73	130.72	-7.75	192.23	35.66
47	134.1	114.35	-14.73	132.32	-1.32	114.43	-14.67	132.89	-0.90	127.53	-4.90	120.13	-10.42	100.03	-25.40	150.07	11.91
48	95.2	97.06	1.95	113.20	18.91	97.30	2.20	113.64	19.37	99.44	4.46	109.13	14.63	93.89	-1.38	122.50	28.67
49	90	100.10	11.23	98.39	9.32	99.81	10.91	98.87	9.85	85.17	-5.37	101.05	12.28	128.93	43.25	94.62	5.14
50	136.1	134.55	-1.14	110.83	-18.57	134.58	-1.12	111.50	-18.08	117.64	-13.57	114.18	-16.10	156.74	15.16	106.37	-21.84
51	94.6	105.87	11.92	103.46	9.36	106.48	12.56	103.69	9.61	107.95	14.11	100.03	5.74	102.48	8.33	113.85	20.35
52	164	102.23	-37.67	142.00	-13.42	101.91	-37.86	141.24	-13.88	102.91	-37.25	129.45	-21.07	99.49	-39.33	140.76	-14.17
53	158.2	105.68	-33.20	139.13	-12.05	105.94	-33.03	137.61	-13.01	112.29	-29.02	116.19	-26.55	97.72	-38.23	165.21	4.43
54	134.5	142.69	6.09	143.38	6.60	139.75	3.90	143.63	6.79	116.26	-13.56	124.64	-7.33	166.28	23.63	192.37	43.03
55	124.6	112.40	-9.79	107.66	-13.59	110.53	-11.29	108.35	-13.04	91.31	-26.72	104.01	-16.53	139.95	12.32	114.05	-8.46
56	84.6	77.12	-8.84	94.36	11.54	76.76	-9.26	94.84	12.11	87.21	3.09	95.91	13.37	67.47	-20.24	92.50	9.33
57	92.9	74.83	-19.46	101.83	9.62	75.06	-19.20	101.48	9.24	80.40	-13.46	88.83	-4.38	68.21	-26.57	118.83	27.91
58	90.2	77.52	-14.05	107.48	19.16	77.92	-13.62	107.64	19.33	80.10	-11.20	94.67	4.95	74.22	-17.72	136.01	50.78
59	104.8	82.37	-21.40	101.78	-2.88	82.80	-20.99	101.50	-3.15	83.93	-19.92	82.66	-21.13	80.10	-23.56	132.97	26.88
60	75.4	77.59	2.90	87.37	15.87	77.94	3.36	87.62	16.21	80.64	6.96	88.33	17.15	73.27	-2.83	85.44	13.31
61	96.8	92.38	-4.57	107.61	11.17	92.50	-4.44	107.87	11.44	89.34	-7.71	93.60	-3.30	93.18	-3.74	132.90	37.29
62	114.9	77.27	-32.75	103.31	-10.09	77.54	-32.51	103.77	-9.68	80.39	-30.03	96.80	-15.75	73.77	-35.79	104.34	-9.19
63	127.4	72.67	-42.96	134.35	5.45	72.98	-42.72	131.80	3.45	76.12	-40.25	102.89	-19.24	68.58	-46.17	164.45	29.08
64	80.8	78.43	-2.93	81.49	0.85	78.51	-2.84	81.84	1.28	81.78	1.21	78.19	-3.23	74.58	-7.70	87.25	7.98
65	96.7	76.32	-21.07	106.31	9.94	76.13	-21.27	106.98	10.63	82.07	-15.13	105.01	8.59	71.67	-25.88	107.29	10.95
66	141.1	82.09	-41.82	132.02	-6.44												

81	80	71.61	-10.49	86.43	8.04	70.26	-12.17	86.97	8.71	85.36	6.71	86.02	7.52	56.33	-29.59	87.60	9.50
82	96.5	92.70	-3.93	100.21	3.84	93.11	-3.51	100.47	4.12	96.94	0.46	107.46	11.36	88.31	-8.49	92.45	-4.20
83	112	97.86	-12.62	125.89	12.41	98.08	-12.43	126.62	13.05	96.11	-14.19	118.73	6.01	100.24	-10.50	139.91	24.92
84	134.6	130.93	-2.73	142.09	5.56	131.04	-2.65	142.73	6.04	131.79	-2.09	139.91	3.94	130.37	-3.14	146.47	8.82
85	110	115.79	5.26	120.72	9.74	116.67	6.06	120.65	6.68	111.05	0.95	127.40	15.82	120.83	9.85	111.80	1.63
86	110	111.47	1.33	114.19	3.81	111.95	1.77	113.49	3.18	102.87	-6.49	106.50	-3.18	129.26	17.51	119.89	8.99
87	155.1	145.23	-6.36	129.61	-16.43	145.23	-6.36	129.93	-16.23	135.39	-12.71	112.44	-27.50	156.03	0.60	168.36	8.55
88	79.3	80.30	1.26	77.76	-1.95	80.65	1.70	77.71	-2.01	80.25	1.19	78.75	-0.69	79.78	0.61	76.27	-3.82
89	159.6	133.40	-16.41	196.72	23.26	133.32	-16.47	196.48	23.11	145.38	-8.91	217.65	36.37	118.16	-25.96	170.01	6.52
90	119	93.58	-21.36	117.33	-1.40	93.95	-21.05	115.79	-2.70	92.94	-21.90	95.59	-19.67	94.52	-20.57	142.14	19.45
91	96.1	90.53	-5.80	95.77	-0.34	90.45	-5.88	96.12	0.02	91.07	-5.23	98.31	2.30	91.96	-4.31	92.18	-4.08
92	68.8	80.34	16.77	77.36	12.44	79.52	15.58	76.95	11.85	94.31	37.07	79.95	16.20	64.48	-6.29	74.38	8.11
93	113.2	98.19	-13.26	108.02	-4.58	96.76	-14.52	107.97	-4.62	91.22	-19.42	115.93	2.41	97.25	-14.09	98.78	-12.74
94	122.9	92.68	-24.59	113.44	-7.70	92.74	-24.54	113.16	-7.92	99.62	-18.94	106.56	-13.30	83.56	-32.01	116.81	-4.95
95	97	102.80	5.98	86.84	-10.48	103.32	6.51	86.46	-10.87	102.87	6.05	93.95	-3.15	102.29	5.45	77.41	-20.19
96	118	108.33	-8.20	104.64	-11.32	107.08	-9.25	105.34	-10.73	106.42	-9.81	100.87	-14.52	105.64	-10.47	110.63	-6.25
97	87	102.46	17.77	97.12	11.63	102.51	17.83	97.61	12.19	107.84	23.95	97.14	11.65	95.19	9.42	97.93	12.57
98	82	97.81	19.28	99.87	21.79	97.71	19.16	99.87	21.79	108.45	32.25	93.96	14.59	84.91	3.55	109.67	33.74
99	130	101.31	-22.07	123.86	-4.72	101.19	-22.16	123.72	-4.83	111.80	-14.00	103.58	-20.32	90.35	-30.50	160.19	23.22
100	92.6	97.31	5.09	103.32	11.58	97.07	4.83	103.91	12.21	107.95	16.57	102.50	10.69	83.89	-9.41	105.07	13.46
101	84	98.69	17.49	93.49	11.30	99.02	17.88	93.36	11.14	102.89	22.49	99.18	18.07	93.03	10.75	86.07	2.46
102	100.8	108.20	7.34	106.90	6.06	108.68	7.82	107.62	6.77	101.25	0.45	100.41	-0.39	121.14	20.17	115.89	14.97
103	88.5	79.10	-10.62	100.10	13.11	79.39	-10.29	100.47	13.53	81.63	-7.76	97.24	9.87	75.93	-14.21	106.29	20.10
104	232	211.04	-9.03	229.83	-0.93	211.78	-8.72	230.17	-0.79	226.06	-2.56	231.69	-0.13	193.58	-16.56	224.44	-3.26
105	199.7	174.66	-12.54	216.26	8.29	174.30	-12.72	217.97	9.15	199.56	-0.07	218.57	9.45	147.02	-26.38	213.45	6.89
106	170.5	148.60	-12.84	170.92	0.25	148.73	-12.77	171.06	0.33	141.59	-16.96	182.59	7.09	163.58	-4.06	159.77	-6.29
107	216.6	216.87	0.12	215.51	-0.50	217.22	0.29	215.15	-0.67	197.13	-8.99	239.09	10.38	246.15	13.64	186.95	-13.69
108	317.9	237.81	-25.19	323.96	1.91	238.80	-24.88	325.54	2.40	246.69	-22.40	303.91	-4.40	226.74	-28.68	346.16	8.89
109	246.5	258.44	4.85	300.66	21.97	258.60	4.91	301.41	22.28	254.27	3.15	306.91	24.51	268.37	8.87	289.88	17.60
110	262.8	222.11	-15.48	204.53	-22.17	217.54	-17.22	205.44	-21.83	187.74	-28.56	196.30	-25.30	236.07	-10.17	216.02	-17.80
111	112.8	117.64	4.29	122.25	8.38	116.90	3.63	122.98	9.02	107.57	-4.64	118.51	5.06	126.24	11.92	125.62	11.36
112	137.4	155.21	12.96	173.29	26.12	154.54	12.47	172.71	25.70	163.70	19.14	193.14	40.57	143.31	4.30	147.81	7.58
113	90.2	96.82	7.34	98.19	8.85	97.38	7.95	98.77	9.50	99.60	10.42	102.60	13.74	92.81	2.89	92.76	2.83
114	71.8	92.64	29.03	88.61	23.41	92.33	28.59	88.04	22.62	92.16	28.36	100.97	40.63	96.95	35.02	73.21	1.96
115	98.6	102.56	4.01	96.87	-1.76	103.04	4.50	97.01	-1.61	97.46	-1.15	98.32	-0.28	107.29	8.81	95.98	-2.66
116	93.5	102.45	9.57	113.11	20.97	104.13	11.37	113.18	21.04	95.36	1.99	104.49	11.75	111.93	19.71	139.35	49.04
117	108	111.79	3.51	119.63	10.77	112.36	4.03	120.19	11.28	116.72	8.07	122.59	13.51	104.83	-2.93	116.01	7.42
118	175.3	119.80	-31.66	152.63	-12.93	119.97	-31.56	150.65	-14.06	120.72	-31.13	133.92	-23.61	116.47	-33.56	162.14	-7.51
119	143	89.78	-37.21	133.59	-6.58	89.00	-37.76	131.71	-7.90	101.37	-29.11	115.41	-19.30	82.43	-42.36	147.13	2.89
120	186.7	182.01	-2.51	190.88	2.24	182.51	-2.24	191.61	2.63	175.29	-6.11	175.94	-5.76	185.96	-0.40	205.04	9.83
121	134	113.98	-14.94	139.75	4.29	114.28	-14.72	140.69	4.99	99.26	-25.93	140.97	5.20	146.25	9.14	137.05	2.27
122	109.1	94.02	-13.82	120.94	10.85	94.46	-13.42	121.60	11.46	98.82	-9.42	113.29	3.84	87.86	-19.47	132.87	21.78
123	98.8	83.74	-15.25	117.35	18.77	83.97	-15.01	117.74	19.17	79.38	-19.66	109.68	11.02	96.18	-2.65	131.98	33.58
124	122.6	99.46	-18.87	110.14	-10.17	99.71	-18.67	109.43	-10.75	102.17	-16.66	100.75	-17.82	96.31	-21.45	115.59	-5.72
125	111.5	104.97	-5.86	124.22	11.41	105.18	-5.67	124.70	11.84	112.67	1.05	109.70	-1.62	95.34	-14.49	165.21	48.17
126	116.8	95.65	-18.11	119.34	2.17	95.42	-18.31	119.11	1.98	102.28	-12.43	100.00	-14.39	86.58	-25.87	156.43	33.93
127	101.1	98.44	-2.63	108.95	7.77	98.93	-2.14	109.12	7.93	98.67	-2.41	103.04	1.92	97.61	-3.45	121.05	19.73
128	103.7	95.40	-8.01	110.37	6.43	95.11	-8.28	110.93	6.97	103.68	-0.02	104.24	0.52	84.44	-18.57	120.72	16.41
129	128.6	91.07	-29.18	123.32	-4.11	91.28	-29.02	122.19	-4.98	87.99	-31.58	106.55	-17.15	95.46	-25.77	140.51	9.26
130	143.2	93.44	-34.75	124.70	-12.92	93.79	-34.51	122.28	-14.61	88.79	-37.99	92.76	-35.22	101.02	-29.46	163.96	14.50
131	112.6	92.64	-17.73	101.32	-10.02	92.46	-17.89	100.58	-10.68	75.52	-32.93	86.19	-23.45	126.89	12.69	118.87	5.57
132	121.5	81.25	-33.13	109.83	-9.60	81.10	-33.25	107.69	-11.37	75.09	-38.20	84.05	-30.82	85.55	-29.59	134.68	10.85
133	125.3	110.14	-12.10	131.18	4.69	110.25	-12.01	131.63	5.05	117.89	-5.91	113.25	-9.62	99.93	-20.25	170.88	36.37
134	112.3	104.52	-6.93	122.78	9.33	104.77	-6.71	123.36	9.85	96.74	-13.86	115.01	2.41	119.31	6.24	135.67	20.81
135	143.2	97.26	-32.08	128.96	-9.94	97.89	-31.64	127.09	-11.25	101.24	-29.30	106.68	-25.50	92.28	-35.56	146.73	2.46
136	84.5	78.79	-6.76	100.67	19.14	79.02	-6.49	100.82	19.31	76.94	-8.94	97.63	15.54	80.02	-5.31	105.28	24.60
137	121.8	125.73	3.23	135.67	11.39	125.94	3.40	136.37	11.96	110.35	-9.40	134.31	10.27	174.47	43.24	139.11	14.21
138	127.9	124.24	-2.86	135.40	5.86	124.84	-2.40	135.87	6.23	127.90	0.00	134.04	4.80	119.17	-6.83	138.51	8.30
139	123.8	121.61	-1.77	122.59	-0.98	121.53	-1.83	122.77	-0.83	105.70	-14.62	120.98	-2.28	154.82	25.06	121.65	-1.74
140	97.7	91.14	-6.72	120.42	23.25	91.19	-6.67	120.31	23.14	97.13	-0.58	109.18	11.75	83.24	-14.80	152.29	55.88
141	103.1	89.51	-13.18	121.86	18.19	89.40	-13.29	120.73	17.10	88.91	-13.77	98.15	-4.80	87.29	-15.33	176.07	70.77
142	124.5	119.35	-4.14	124.17	-0.27	119.74	-3.82	123.95	-0.44	115.12	-7.53	114.75	-7.83	126.58	1.67	132.80	6.67
143	94	90.74	-3.47	101.60	8.08	90.42	-3.81	101.57	8.06	81.08	-13.74	91.89	-2.25	99.53	5.89	115.21	22.56
144	143.5	150.65	4.98	154.10	7.39	151.60	5.64	154.75	7.84	148.35	3.38	134.68	-6.15	157.04	9.44	201.83	40.65
145	118.8	119.56	0.64	118.37	-0.36	120.07	1.07	118.96	0.13	118.98	0.15	116.74	-1.74	117.62	-0.99	118.60	-0.17
146	125.9	117.65	-6.55	142.96	13.55	118.27	-6.06	143.50	13.98	117.08	-7.00	156.28	24.13	119.35	-5.21	128.33	1.93
147	122.4	120.05	-1.92	123.15	0.62	120.32	-1.70	123.74	1.09	108.19	-11.61	114.92	-6.11	137.49	12.33	135.43	10.64
148	103.5																

ID	Pmax	Weibull				Gamma				LogNormale			
		Serie 1		Serie 2		Serie 1		Serie 2		Serie 1		Serie 2	
		T100_Est	DeltaS1(%)	T100_Est	DeltaS2(%)	T100_Est	DeltaS1(%)	T100_Est	DeltaS2(%)	T100_Est	DeltaS1(%)	T100_Est	DeltaS2(%)
1	129.4	110.19	-14.84	118.04	-8.78	115.84	-10.48	122.82	-5.08	121.32	-6.25	130.13	0.57
2	110.9	78.11	-29.57	93.90	-15.33	82.20	-25.88	95.43	-13.95	85.48	-22.92	99.86	-9.96
3	100.7	87.54	-13.07	87.19	-13.41	91.48	-9.15	88.71	-11.90	96.87	-3.80	92.97	-7.68
4	109.4	104.62	-4.37	88.28	-19.30	106.98	-2.21	92.23	-15.70	113.93	4.14	97.32	-11.04
5	114.1	66.37	-41.83	96.84	-15.13	70.44	-38.26	99.35	-12.93	73.81	-35.31	106.54	-6.63
6	105.6	92.60	-12.31	93.93	-11.05	96.37	-8.74	97.08	-8.06	101.08	-4.28	102.22	-3.20
7	94.7	85.92	-9.27	90.24	-4.71	90.34	-4.60	95.07	0.39	97.04	2.47	101.87	7.57
8	90.3	70.17	-22.29	84.61	-6.31	74.79	-17.18	89.86	-0.49	78.28	-13.32	95.69	5.97
9	96.9	84.37	-12.93	84.37	-12.93	84.54	-12.75	87.48	-9.72	87.42	-9.78	91.92	-5.14
10	101.6	75.64	-25.55	97.88	-3.66	81.23	-20.05	102.35	0.74	85.71	-15.64	107.97	6.27
11	91.2	67.08	-26.45	83.53	-8.41	71.79	-21.29	87.99	-3.51	74.99	-17.78	92.75	1.70
12	93.5	79.22	-15.27	81.57	-12.76	82.63	-11.62	81.25	-13.10	88.77	-5.06	83.71	-10.47
13	89.6	83.98	-6.28	76.55	-14.57	88.74	-0.96	81.11	-9.47	95.68	6.79	85.36	-4.73
14	131.3	104.57	-20.36	113.80	-13.33	106.34	-19.01	115.35	-12.15	111.58	-15.02	119.81	-8.75
15	123.6	93.63	-24.25	114.42	-7.42	94.32	-23.69	116.06	-6.10	98.33	-20.45	122.24	-1.10
16	80.4	76.31	-5.09	76.84	-4.43	78.00	-2.98	81.16	0.94	81.66	1.57	86.70	7.84
17	128.5	80.68	-37.21	103.34	-19.58	83.17	-35.28	99.69	-22.42	86.79	-32.46	103.60	-19.38
18	108.6	82.07	-24.43	87.41	-19.51	84.89	-21.83	86.69	-20.17	89.37	-17.71	90.39	-16.77
19	94.5	78.78	-16.63	89.92	-4.85	84.79	-10.28	94.28	-0.24	89.36	-5.44	99.70	5.51
20	116.1	90.43	-22.11	92.63	-20.22	87.17	-24.92	91.27	-21.39	90.85	-21.75	96.09	-17.24
21	102.9	76.28	-25.87	91.52	-11.06	81.27	-21.02	94.19	-8.47	85.85	-16.57	98.80	-3.99
22	113.3	75.03	-33.78	100.86	-10.98	79.65	-29.70	103.24	-8.88	83.85	-25.99	110.03	-2.88
23	105	89.01	-15.23	101.69	-3.15	90.48	-13.83	105.89	0.85	94.74	-9.77	111.71	6.39
24	95.5	77.71	-18.63	97.94	2.56	82.38	-13.73	102.92	7.77	86.11	-9.84	108.57	13.68
25	94.7	65.83	-30.48	85.97	-9.22	70.72	-25.32	91.95	-2.91	73.73	-22.14	97.81	3.28
26	78.1	73.15	-6.33	77.20	-1.16	81.13	3.89	81.28	4.07	87.82	12.44	85.00	8.84
27	86.1	68.97	-19.89	84.31	-2.08	72.12	-16.24	88.04	2.26	75.86	-11.89	93.10	8.13
28	83.1	82.66	-0.53	81.58	-1.83	84.54	1.74	85.26	2.60	88.67	6.70	89.40	7.58
29	99.8	80.11	-19.73	94.60	-5.21	86.73	-13.09	95.69	-4.12	93.58	-6.23	100.79	0.99
30	96.5	67.76	-29.78	94.73	-1.83	72.76	-24.60	97.48	1.01	77.59	-19.59	104.44	8.23
31	92	68.35	-25.71	88.67	-3.61	71.26	-22.54	92.53	0.58	74.01	-19.56	97.52	6.00
32	94.9	80.32	-15.36	93.80	-1.16	85.82	-9.56	99.07	4.39	92.53	-2.49	105.82	11.51
33	92.7	86.67	-6.50	89.13	-3.85	92.40	-0.32	93.16	0.49	100.52	8.43	98.32	6.06
34	93	70.54	-24.15	93.55	0.60	76.60	-17.63	97.83	5.19	80.95	-12.96	103.32	11.10
35	109.9	89.87	-18.22	75.43	-31.37	87.51	-20.37	81.86	-25.52	91.55	-16.70	87.10	-20.75
36	100	103.94	3.94	97.55	-2.45	108.28	8.28	101.88	1.88	114.82	14.82	107.28	7.28
37	115	96.25	-16.31	74.61	-35.12	95.76	-16.73	80.33	-30.15	100.99	-12.18	85.68	-25.50
38	121.6	102.94	-15.35	102.31	-15.87	106.94	-12.06	103.11	-15.21	114.43	-5.90	108.68	-10.63
39	98.2	97.90	-0.31	97.23	-0.99	101.97	3.84	99.97	1.80	107.93	9.91	104.34	6.26
40	103.8	73.89	-28.81	90.85	-12.47	75.89	-26.89	92.35	-11.04	78.67	-24.21	97.27	-6.29
41	120.2	92.18	-23.31	92.45	-23.09	86.73	-27.84	97.39	-18.98	88.82	-26.11	102.86	-14.43
42	92.7	76.97	-16.97	87.50	-5.61	79.25	-14.51	92.99	0.31	82.29	-11.23	98.75	6.52
43	127.4	85.79	-32.66	107.81	-15.38	89.60	-29.67	110.08	-13.60	93.87	-26.32	116.59	-8.49
44	136	59.99	-55.89	102.96	-24.30	65.47	-51.86	98.34	-27.69	69.12	-49.18	102.95	-24.30
45	126.3	127.86	1.24	127.93	1.29	138.48	9.64	142.07	12.49	151.37	19.85	155.43	23.07
46	141.7	116.80	-17.57	150.12	5.94	123.07	-13.15	161.03	13.64	130.72	-7.75	178.89	26.25
47	134.1	95.57	-28.73	114.34	-14.73	105.43	-21.38	116.86	-12.86	114.24	-14.81	125.27	-6.58
48	95.2	82.66	-13.18	96.09	0.94	87.54	-8.04	101.63	6.75	91.77	-3.61	108.18	13.63
49	90	86.91	-3.43	84.22	-6.42	87.75	-2.50	88.57	-1.59	91.14	1.27	93.28	3.65
50	136.1	117.09	-13.97	94.68	-30.43	117.44	-13.71	99.95	-26.56	123.51	-9.25	104.90	-22.92
51	94.6	90.53	-4.30	87.50	-7.51	95.25	0.69	93.20	-1.48	101.61	7.41	99.16	4.82
52	164	90.32	-44.93	125.56	-23.44	90.76	-44.66	121.88	-25.68	94.53	-42.36	129.87	-20.81
53	158.2	91.00	-42.48	123.02	-22.24	95.63	-39.55	119.07	-24.74	99.75	-36.95	124.75	-21.14
54	134.5	124.49	-7.44	122.23	-9.12	121.88	-9.38	127.39	-5.29	128.76	-4.27	135.65	0.86
55	124.6	98.85	-20.67	91.59	-26.49	95.93	-23.01	96.57	-22.49	101.54	-18.50	103.53	-16.91
56	84.6	64.59	-23.65	80.33	-5.04	71.19	-15.85	85.03	0.51	76.27	-9.85	90.28	6.71
57	92.9	63.23	-31.93	88.59	-4.64	68.10	-26.70	88.89	-4.31	72.12	-22.37	93.04	0.15
58	90.2	66.15	-26.67	91.65	1.61	69.96	-22.44	95.76	6.17	74.20	-17.74	103.85	15.14
59	104.8	69.92	-33.28	88.62	-15.44	74.28	-29.13	87.88	-16.14	78.92	-24.69	93.13	-11.13
60	75.4	66.55	-11.74	74.53	-1.15	69.87	-7.33	78.50	4.11	74.10	-1.72	83.00	10.09
61	96.8	80.25	-17.10	92.26	-4.69	81.74	-15.55	95.13	-1.72	87.35	-9.76	102.53	5.92
62	114.9	66.34	-42.26	91.04	-20.77	69.79	-39.26	89.86	-21.79	74.91	-34.80	95.76	-16.66
63	127.4	63.01	-50.54	117.07	-8.10	65.47	-48.61	113.89	-10.60	68.38	-46.33	121.05	-4.98
64	80.8	68.47	-15.26	69.79	-13.62	70.32	-12.97	72.79	-9.91	74.48	-7.82	76.97	-4.74
65	96.7	66.03	-31.72	91.02	-5.87	69.24	-28.40	95.23	-1.52	73.91	-23.57	102.03	5.51
66	141.1	70.26	-50.21	115.67	-18.03	74.54	-47.17	110.08	-21.98	79.63	-43.57	117.01	-17.07
67	122.3	71.55	-41.49	94.46	-22.77	74.17	-39.35	92.01	-24.76	78.44	-35.86	97.69	-20.12
68	80	73.04	-8.70	69.25	-13.44	74.13	-7.33	73.83	-7.71	78.04	-2.45	78.37	-2.04
69	86.6	71.40	-17.55	83.75	-3.29	75.64	-12.66	89.34	3.16	79.91	-7.72	96.26	11.15
70	77.5	64.40	-16.91	76.31	-1.53	69.02	-10.95	85.15	9.87	72.41	-6.57	93.15	20.19
71	103.8	77.29	-25.54	93.83	-9.61	80.97	-21.99	98.90	-4.72	85.72	-17.42	106.52	2.62
72	98.5	71.31	-27.60	89.69	-8.94	75.62	-23.23	92.65	-5.94	79.52	-19.27	97.97	-0.53
73	100.6	86.58	-13.93	90.59	-9.95	86.52	-13.99	93.60	-6.96	91.81	-8.74	100.90	0.30
74	84.1	71.11	-15.44	77.94	-7.33	71.86	-14.55	86.90	3.33	75.11	-10.69	95.24	13.24
75	88.4	60.51	-31.55	77.30	-12.56	64.05	-27.54	82.67	-6.49	66.68	-24.58	89.28	1.00
76	101.8	90.69	-10.91	95.36	-6.33	90.42	-11.18	98.94	-2.81	94.21	-7.45	104.10	2.26
77	88.6	66.76	-24.64	87.99	-0.69	75.24	-15.08	90.03	1.61	82.10	-7.34	95.73	8.05
78	87.2	63.36	-27.34	78.94	-9.47	68.52	-21.42	84.00	-3.67	73.68	-15.51	90.26	3.51
79	107.8	73.45	-31.86	98.55	-8.58	76.23	-29.29	99.52	-7.68	81.24	-24.64	106.24	-1.45
80	85	58.99	-30.59	78.62	-7.51	65.30	-23.18	80.65	-5.12	70.22	-17.38	85.59	0.69

81	80	58.40	-27.00	73.63	-7.97	67.13	-16.09	77.79	-2.76	72.76	-9.06	83.39	4.24
82	96.5	81.24	-15.82	84.88	-12.04	83.06	-13.93	91.39	-5.29	88.00	-8.81	98.37	1.94
83	112	83.43	-25.51	107.14	-4.34	87.71	-21.69	113.17	1.05	93.33	-16.67	123.37	10.15
84	134.6	110.49	-17.92	121.42	-9.79	118.34	-12.08	127.49	-5.28	127.09	-5.58	135.35	0.55
85	110	99.11	-9.90	100.90	-8.27	104.11	-5.35	111.55	1.41	114.95	4.50	124.77	13.43
86	110	95.52	-13.16	100.24	-8.87	99.19	-9.82	100.29	-8.83	105.49	-4.10	104.25	-5.23
87	155.1	125.65	-18.99	110.74	-28.60	130.92	-15.59	115.57	-25.49	149.17	-3.82	126.22	-18.62
88	79.3	68.18	-14.02	67.40	-15.00	72.29	-8.84	69.63	-12.19	77.70	-2.02	73.70	-7.06
89	159.6	111.10	-30.39	163.15	2.23	122.45	-23.28	181.62	13.80	132.68	-16.87	198.85	24.59
90	119	79.59	-33.11	102.64	-13.75	84.06	-29.36	100.38	-15.64	89.42	-24.86	106.85	-10.21
91	96.1	75.81	-21.11	82.48	-14.17	82.41	-14.24	86.16	-10.35	89.47	-6.90	92.47	-3.78
92	68.8	66.30	-3.63	65.78	-4.40	74.54	8.34	70.13	1.93	79.77	15.94	72.89	5.95
93	113.2	87.99	-22.27	91.36	-19.29	84.57	-25.29	98.46	-13.02	87.87	-22.37	105.93	-6.42
94	122.9	78.17	-36.39	100.20	-18.47	84.31	-31.40	99.27	-19.22	88.51	-27.98	103.75	-15.58
95	97	87.93	-9.35	73.02	-24.72	92.35	-4.79	79.08	-18.48	99.01	2.07	83.44	-13.98
96	118	96.10	-18.56	90.38	-23.41	94.93	-19.55	93.32	-20.92	99.78	-15.44	97.68	-17.22
97	87	86.79	-0.24	82.59	-5.07	92.90	6.78	87.46	0.53	99.26	14.09	93.07	6.98
98	82	81.77	-0.28	85.08	3.75	89.71	9.40	89.08	8.63	95.98	17.05	94.56	15.32
99	130	84.98	-34.63	107.95	-16.96	93.21	-28.30	107.63	-17.21	100.95	-22.35	113.72	-12.52
100	92.6	81.27	-12.24	87.98	-4.99	89.07	-3.81	92.92	0.34	94.47	2.02	99.46	7.41
101	84	84.04	0.05	78.63	-6.40	89.17	6.16	84.97	1.15	94.52	12.53	89.63	6.70
102	100.8	93.05	-7.68	92.21	-8.52	96.28	-4.48	94.84	-5.91	100.80	0.00	99.65	-1.14
103	88.5	68.06	-23.09	85.28	-3.64	71.23	-19.51	89.78	1.45	74.63	-15.67	95.09	7.44
104	232	177.99	-23.28	198.32	-14.52	193.06	-16.78	206.16	-11.14	210.18	-9.41	223.37	-3.72
105	199.7	144.82	-27.48	183.69	-8.02	162.37	-18.69	197.22	-1.24	177.36	-11.19	219.36	9.84
106	170.5	126.11	-26.04	147.43	-13.53	133.15	-21.91	154.93	-9.13	140.63	-17.52	166.35	-2.43
107	216.6	187.96	-13.22	179.08	-17.32	191.17	-11.74	199.81	-7.75	203.89	-5.87	220.90	1.99
108	317.9	204.25	-35.75	279.20	-12.17	214.27	-32.60	288.07	-9.38	228.12	-28.24	313.42	-1.41
109	246.5	218.13	-11.51	254.25	3.14	233.31	-5.35	273.48	10.95	251.50	2.03	300.66	21.97
110	262.8	197.87	-24.71	174.54	-33.58	187.63	-28.60	182.85	-30.42	195.50	-25.61	195.99	-25.42
111	112.8	101.95	-9.62	104.81	-7.08	103.18	-8.53	109.13	-3.25	109.49	-2.94	117.09	3.81
112	137.4	129.65	-5.64	143.62	4.53	141.69	3.12	159.77	16.28	153.27	11.55	173.78	26.47
113	90.2	83.09	-7.88	82.85	-8.15	87.09	-3.45	89.29	-1.01	92.58	2.64	96.38	6.86
114	71.8	77.43	7.85	73.27	2.04	84.32	17.44	81.65	13.72	91.48	27.41	87.75	22.21
115	98.6	88.46	-10.28	81.70	-17.14	91.03	-7.68	87.59	-11.17	97.72	-0.89	92.72	-5.96
116	93.5	88.27	-5.60	95.71	2.36	90.69	-3.01	101.47	8.52	96.17	2.85	107.51	14.99
117	108	94.52	-12.48	101.83	-5.72	101.22	-6.28	108.03	0.02	107.65	-0.33	115.58	7.01
118	175.3	104.17	-40.58	137.34	-21.66	106.92	-39.01	131.12	-25.20	111.61	-36.33	134.82	-23.09
119	143	77.21	-46.01	118.06	-17.44	82.78	-42.11	114.56	-19.89	88.64	-38.01	119.83	-16.21
120	186.7	157.89	-15.43	165.76	-11.22	161.15	-13.69	167.92	-10.06	170.12	-8.88	176.23	-5.61
121	134	98.55	-26.46	120.07	-10.40	100.40	-25.08	125.32	-6.48	105.08	-21.58	132.96	-0.78
122	109.1	79.61	-27.03	103.48	-5.15	85.31	-21.81	107.86	-1.13	91.35	-16.27	116.32	6.61
123	98.8	71.05	-28.09	99.91	1.12	75.18	-23.91	105.21	6.49	79.46	-19.57	114.33	15.72
124	122.6	83.47	-31.92	97.09	-20.81	91.02	-25.76	95.73	-21.92	100.33	-18.16	101.05	-17.58
125	111.5	88.35	-20.77	106.65	-4.35	95.69	-14.18	110.24	-1.13	102.52	-8.06	116.03	4.06
126	116.8	80.22	-31.32	104.01	-10.95	87.10	-25.43	103.80	-11.13	92.84	-20.51	108.89	-6.77
127	101.1	84.39	-16.53	93.57	-7.45	88.31	-12.65	97.19	-3.86	94.31	-6.72	103.11	1.99
128	103.7	79.26	-23.57	94.76	-8.63	87.85	-15.29	98.33	-5.18	96.17	-7.26	105.06	1.31
129	128.6	78.45	-39.00	107.83	-16.15	81.37	-36.73	106.67	-17.05	87.65	-31.84	113.41	-11.81
130	143.2	79.74	-44.32	109.90	-23.25	83.67	-41.57	104.27	-27.18	90.39	-36.88	109.03	-23.87
131	112.6	80.54	-28.47	89.34	-20.66	80.39	-28.60	87.23	-22.53	85.42	-24.14	91.48	-18.75
132	121.5	71.14	-41.45	96.75	-20.37	71.07	-41.51	92.19	-24.13	75.02	-38.26	96.07	-20.93
133	125.3	92.28	-26.35	113.66	-9.29	100.43	-19.85	115.29	-7.99	107.54	-14.18	120.95	-3.47
134	112.3	89.22	-20.56	105.19	-6.33	93.13	-17.07	109.35	-2.63	99.46	-11.43	117.08	4.26
135	143.2	82.74	-42.22	114.63	-19.95	87.95	-38.58	109.76	-23.35	93.38	-34.79	113.48	-20.75
136	84.5	68.29	-19.19	85.52	1.21	70.04	-17.11	90.21	6.76	73.75	-12.72	96.02	13.63
137	121.8	108.22	-11.15	114.89	-5.67	111.70	-8.29	122.19	0.32	117.34	-3.66	130.40	7.06
138	127.9	106.95	-16.38	115.39	-9.78	111.76	-12.62	121.72	-4.83	117.10	-8.44	129.72	1.42
139	123.8	104.60	-15.51	107.34	-13.29	107.25	-13.37	108.66	-12.23	112.67	-8.99	113.86	-8.03
140	97.7	76.84	-21.35	101.85	4.24	82.83	-15.22	108.04	10.58	87.95	-9.97	116.12	18.85
141	103.1	78.45	-23.91	104.88	1.72	79.15	-23.23	106.44	3.24	83.39	-19.12	112.46	9.08
142	124.5	102.11	-17.98	109.93	-11.70	106.73	-14.27	109.07	-12.39	111.72	-10.27	112.55	-9.60
143	94	79.43	-15.50	88.57	-5.78	78.98	-15.98	89.42	-4.87	82.72	-12.00	92.97	-1.10
144	143.5	128.02	-10.79	132.51	-7.66	135.61	-5.50	136.26	-5.05	144.86	0.95	143.92	0.29
145	118.8	102.48	-13.74	102.55	-13.68	106.97	-9.96	105.39	-11.29	114.55	-3.58	111.72	-5.96
146	125.9	101.37	-19.48	121.08	-3.83	105.75	-16.00	131.68	4.59	109.77	-12.81	144.92	15.11
147	122.4	104.64	-14.51	105.93	-13.46	105.57	-13.75	109.26	-10.73	110.46	-9.75	114.93	-6.10
148	103.5	74.02	-28.49	91.36	-11.73	78.10	-24.54	90.99	-12.09	81.96	-20.82	94.78	-8.43
149	111.8	91.13	-18.49	107.02	-4.28	89.28	-20.14	110.53	-1.14	92.50	-17.27	117.68	5.26
150	131.4	89.78	-31.67	113.02	-13.99	97.41	-25.87	113.70	-13.47	103.60	-21.15	118.98	-9.45
151	181.3	129.89	-28.36	132.84	-26.73	119.11	-34.30	129.34	-28.66	122.34	-32.52	135.95	-25.01

Normale				
Serie 1: 1911-1961			Serie 2: 1961-2010	
ID	T100_Est	DeltaS1(%)	T100_Est	DeltaS2(%)
1	110.52	-14.59	116.24	-10.17
2	78.91	-28.84	91.59	-17.41
3	86.50	-14.10	85.00	-15.59
4	101.25	-7.45	87.57	-19.95
5	67.06	-41.23	93.44	-18.11
6	91.95	-12.93	92.46	-12.44
7	84.40	-10.88	89.01	-6.01
8	71.27	-21.08	84.44	-6.49
9	82.10	-15.28	83.40	-13.93
10	76.87	-24.34	97.08	-4.45
11	68.54	-24.84	83.51	-8.44
12	77.49	-17.13	79.22	-15.27
13	82.73	-7.67	77.01	-14.05
14	101.87	-22.41	111.39	-15.17
15	90.96	-26.41	110.94	-10.24
16	74.80	-6.96	76.17	-5.26
17	79.80	-37.90	97.38	-24.22
18	80.93	-25.48	83.82	-22.81
19	80.21	-15.12	89.24	-5.56
20	85.04	-26.75	87.91	-24.29
21	76.85	-25.31	89.99	-12.55
22	75.58	-33.29	97.71	-13.76
23	86.79	-17.34	100.48	-4.30
24	78.65	-17.65	97.61	2.21
25	67.58	-28.64	86.39	-8.78
26	74.88	-4.13	77.63	-0.60
27	68.65	-20.27	83.40	-3.13
28	80.96	-2.57	81.39	-2.06
29	80.52	-19.32	91.49	-8.33
30	68.29	-29.24	91.74	-4.94
31	68.57	-25.47	87.90	-4.46
32	79.86	-15.85	92.94	-2.06
33	85.56	-7.70	88.35	-4.70
34	72.26	-22.30	92.67	-0.35
35	84.99	-22.67	76.77	-30.15
36	102.44	2.44	96.84	-3.16
37	91.84	-20.14	75.24	-34.57
38	100.61	-17.26	98.64	-18.88
39	96.58	-1.65	95.98	-2.26
40	73.28	-29.40	88.29	-14.94
41	86.09	-28.37	92.17	-23.32
42	76.42	-17.56	87.54	-5.57
43	85.52	-32.88	104.61	-17.89
44	61.83	-54.54	96.00	-29.41
45	127.08	0.62	129.74	2.73
46	116.06	-18.09	146.31	3.25
47	97.24	-27.49	110.04	-17.94
48	83.38	-12.41	95.53	0.34
49	84.80	-5.78	84.12	-6.53
50	112.59	-17.27	95.14	-30.10
51	89.57	-5.32	87.51	-7.49
52	87.64	-46.56	117.43	-28.40
53	91.63	-42.08	115.61	-26.92
54	117.32	-12.78	119.91	-10.85
55	92.54	-25.73	90.34	-27.49
56	66.25	-21.69	80.13	-5.28
57	64.15	-30.94	85.52	-7.95
58	66.01	-26.82	88.90	-1.44
59	69.93	-33.27	84.04	-19.81
60	66.07	-12.38	74.30	-1.45
61	77.31	-20.13	88.98	-8.08
62	65.31	-43.16	86.02	-25.14
63	62.74	-50.76	109.34	-14.17
64	66.83	-17.29	68.96	-14.66
65	65.11	-32.67	89.32	-7.63
66	69.94	-50.43	106.91	-24.23
67	70.39	-42.45	88.51	-27.63
68	70.89	-11.38	69.58	-13.02
69	71.56	-17.37	83.11	-4.02
70	65.58	-15.38	77.79	0.38
71	76.62	-26.18	92.16	-11.22
72	71.80	-27.11	87.94	-10.72
73	82.47	-18.02	87.62	-12.91
74	69.10	-17.84	79.29	-5.72
75	61.39	-30.55	76.79	-13.13
76	87.39	-14.16	94.20	-7.46
77	68.75	-22.40	85.20	-3.83
78	63.71	-26.93	78.27	-10.24
79	71.89	-33.31	94.37	-12.46
80	60.55	-28.76	76.37	-10.15

81	61.67	-22.92	72.76	-9.05
82	79.02	-18.11	85.00	-11.92
83	82.60	-26.25	104.51	-6.68
84	110.31	-18.05	120.25	-10.66
85	95.59	-13.10	100.35	-8.77
86	93.61	-14.90	97.08	-11.75
87	118.29	-23.73	106.74	-31.18
88	67.49	-14.89	66.04	-16.72
89	112.83	-29.30	165.78	3.87
90	79.13	-33.51	96.25	-19.11
91	75.92	-21.00	80.79	-15.93
92	69.31	0.75	67.23	-2.28
93	82.74	-26.91	91.62	-19.07
94	80.02	-34.89	95.91	-21.96
95	86.51	-10.82	74.70	-22.98
96	91.53	-22.43	89.28	-24.34
97	87.05	0.06	82.23	-5.48
98	83.65	2.01	84.06	2.52
99	86.06	-33.80	102.97	-20.80
100	83.64	-9.67	87.01	-6.03
101	84.17	0.20	80.27	-4.45
102	92.07	-8.66	90.53	-10.19
103	67.98	-23.19	84.81	-4.17
104	177.86	-23.34	192.28	-17.12
105	148.63	-25.57	179.24	-10.24
106	125.98	-26.11	145.20	-14.84
107	180.89	-16.49	181.06	-16.41
108	201.90	-36.49	268.17	-15.64
109	216.80	-12.05	250.74	1.72
110	184.21	-29.90	171.34	-34.80
111	98.17	-12.97	102.35	-9.26
112	130.97	-4.68	146.64	6.72
113	82.17	-8.90	82.82	-8.19
114	77.68	8.19	75.67	5.38
115	85.57	-13.22	82.57	-16.26
116	86.09	-7.93	95.66	2.31
117	95.18	-11.87	101.15	-6.34
118	102.71	-41.41	129.28	-26.25
119	77.40	-45.87	111.32	-22.15
120	153.59	-17.73	160.93	-13.81
121	96.26	-28.17	118.47	-11.59
122	79.74	-26.91	100.71	-7.69
123	71.06	-28.08	97.45	-1.37
124	82.93	-32.36	92.02	-24.94
125	89.26	-19.95	104.94	-5.88
126	81.55	-30.18	99.81	-14.55
127	83.03	-17.87	91.88	-9.12
128	80.24	-22.62	92.51	-10.79
129	76.11	-40.81	101.99	-20.69
130	77.91	-45.60	102.11	-28.69
131	76.60	-31.97	84.41	-25.04
132	68.07	-43.98	90.29	-25.69
133	93.63	-25.27	110.43	-11.87
134	87.52	-22.07	102.68	-8.57
135	82.84	-42.15	107.82	-24.71
136	66.80	-20.94	84.88	0.44
137	106.49	-12.57	114.55	-5.95
138	106.70	-16.57	114.38	-10.57
139	102.38	-17.30	104.30	-15.75
140	77.88	-20.29	100.66	3.03
141	75.80	-26.48	101.31	-1.74
142	101.94	-18.12	106.32	-14.60
143	76.13	-19.01	86.37	-8.12
144	127.08	-11.44	129.46	-9.78
145	100.51	-15.39	99.98	-15.84
146	101.77	-19.16	120.86	-4.00
147	101.44	-17.13	104.15	-14.91
148	74.33	-28.18	88.02	-14.96
149	87.00	-22.18	104.36	-6.65
150	91.35	-30.48	109.26	-16.85
151	119.49	-34.09	125.05	-31.03

