

Société de Calcul Mathématique SA

Outils d'aide à la décision

depuis 1995



Perspectives de pluviométrie extrêmes pour la

Ville de Villiers le Bâcle

L'apport des méthodes probabilistes pour l'aide à la décision

octobre 2024

Introduction, par M. Guillaume Valois, Maire de Villiers le Bâcle

Le responsable public fait parfois face à des décisions complexes, la réponse à des événements exceptionnels en fait partie. Lorsqu'un village subit une inondation sérieuse suite à un orage « jamais-vu-de-mémoire-d'habitant », l'exécutif local est attendu sur sa réaction – d'autant plus que le sujet est très émotionnel.

D'un côté, il y a une pression à agir – engager des travaux pour prévenir le retour des dégâts. De l'autre, les travaux peuvent avoir un coût exorbitant – en tout cas très au-delà des moyens du village, pour une utilité à démontrer. Pour prendre une bonne décision, il est donc clé de bien analyser le sujet : quelles sont les causes ? Quelles sont les solutions possibles et, surtout, comment bien les dimensionner – c'est-à-dire a-t-on eu affaire à un événement tellement exceptionnel que les coûts de sa prévention ne sont pas justifiés, ou bien a-t-on eu affaire à un événement dont la récurrence oblige à une action précise et bien calibrée ? C'est dans ce contexte qu'il faut pouvoir se tourner vers des spécialistes - non pas des événements climatiques, mais de la façon d'appréhender ces phénomènes probabilistes, pour nous aider à bien poser la question et à avoir une réponse claire et actionnable. C'est exactement pour cette raison que la commune de Villiers-le-Bâcle s'est tournée vers la SCM pour l'aider à décider.

Résumé opérationnel

La ville de Villiers le Bâcle, commune de l'Essonne, a été, il y a quelques années, victime d'orages spectaculaires : le réseau d'évacuation des eaux a été saturé et la commune partiellement inondée. Elle se demande : une telle situation est-elle exceptionnelle, ou bien devons-nous prévoir une amélioration du réseau ? Les méthodes probabilistes, essentiellement dues à Laplace, permettent de répondre à la question.

La difficulté principale, rarement traitée de manière satisfaisante dans la littérature, est la suivante : comment comptabiliser les tempêtes ? Nous ne pouvons pas nous limiter à compter celles qui ont frappé la ville elle-même : c'est réducteur. Si les tempêtes Lothar et Martin revenaient, elles pourraient passer 20 km au nord ou 30 km au sud. Nous considérons donc une quinzaine de villes dans le voisinage (rayon 30 km). Nous ne pouvons pas non plus affecter à la ville-cible toutes les tempêtes qui ont affecté le voisinage : ce serait se pénaliser de manière absurde, une tempête étant généralement localisée. Nous déterminons donc le risque pour chaque ville du voisinage, sur la base de son historique propre, en utilisant la méthode de Laplace. Enfin, nous affectons à la ville-cible le risque maximum, sur la base des 16 calculs qui ont été faits.

Tous calculs faits, notre conclusion a été : la probabilité qu'il ne se passe rien sur 5 ans est forte (0.7), donc pas d'urgence ; par contre, sur 10 ans, elle tombe à 0.5 ; on ne peut pas se permettre de ne rien faire. Plus précisément, notre conclusion est donnée dans le tableau ci-dessous :

Durée/Seuil	Seuil 60 mm	Seuil 80 mm
5 ans	0.53	0.68
10 ans	0.29	0.52

Deux seuils sont considérés : hauteurs de pluie de 60 mm et 80 mm (en un jour) ; deux durées d'anticipation sont considérées : 5 ans et 10 ans. Dans la case correspondante, figure la probabilité de "rien", c'est-à-dire que l'événement ne se produise pas. Pour chaque seuil, la probabilité "pas d'ennuis sur dix ans" est évidemment plus faible que la probabilité "pas d'ennuis sur cinq ans".

Sur cinq ans, il y a plus d'une chance sur deux que l'on ne verra pas de chute à 60 mm et 7 sur 10 que l'on ne verra pas de chute à 80 mm. Sur dix ans, il y a moins d'une chance sur trois de ne pas voir de chute à 60 mm et une sur deux de ne pas voir de chute à 80 mm.

Notre conclusion, en réponse à la demande formulée par VLB, est donc très claire : le retour de pluies semblables à celles de 2007, sur une durée de dix ans, n'est pas du tout improbable. Sur cinq ans, la probabilité est assez faible : la Ville a le temps de prendre ses dispositions.

Le sens précis d'un énoncé probabiliste s'entend par référence à la loi des grands nombres. Ici, la conclusion est celle-ci : si nous considérons une centaine de laps de temps de dix années consécutives (soit mille années), à peu près la moitié, soit 50, verra un épisode à 80 mm.

Les seuils de 60 et 80 mm, les durées de 5 et 10 ans, sont choisis arbitrairement pour la clarté de la présentation. Nous pouvons fournir les résultats pour tout autre seuil et toute autre durée.

Table des matières

Résumé opérationnel	2
I. Présentation du besoin	4
II. Méthode de travail	4
III. Qualité des données	5
IV. Présentation des données	5
V. Probabilité d'occurrence	7
VI. Traitement mathématique	7

I. Présentation du besoin

Le 29 avril 2007, la commune de Villiers le Bâcle a subi un épisode orageux particulièrement violent avec 90 mm de pluie dont 85 mm en 4 heures. Cela a provoqué des inondations dans la ville et les villes environnantes.

Source : <https://eclips.cearc.fr/sites/eclips.cearc.fr/files/pictures/Atlas%20des%20zones%20inondées%2029%3A04%3A07.pdf>.

Une des possibles causes de l'inondation, en plus de la pluie, serait l'engorgement des canalisations qui, saturées, auraient débordé. Pour empêcher de futures inondations, des travaux sont nécessaires afin d'entretenir et de rénover les réseaux d'évacuations des eaux de pluie. Mais ces travaux sont très coûteux.

Si l'épisode pluvieux de 2007 est exceptionnel, la rénovation des canalisations n'est pas considérée comme prioritaire. A l'inverse, si de tels épisodes peuvent se reproduire dans un avenir proche, cette opération de maintenance devient nécessaire, d'où la présente étude.

II. Méthode de travail

On ne peut pas se limiter à la pluviométrie sur le seul site de VLB : ce serait réducteur. Un orage ayant frappé une commune voisine peut parfaitement revenir et frapper VLB ; si une tempête de type Lothar et Martin revient, rien ne dit qu'elle suivra exactement la même trajectoire.

A l'inverse, on ne peut pas dire non plus que toute tempête passant dans un rayon de 20 km autour de VLB frappera nécessairement VLB : ceci reviendrait à se pénaliser de manière excessive et absurde. L'analyse des données sur les différentes villes (voir plus bas) montre que les tempêtes frappent au plus une ou deux villes et non la totalité.

Cette question est très mal traitée dans la littérature scientifique concernant ce sujet. Nous avons adopté la démarche suivante, que nous pensons nouvelle : nous considérons vingt villes autour de VLB ; pour chacune nous déterminons le tableau des durées de retour (seuils 60 et 80 mm, échéances 5 et 10 ans) et nous affectons à VLB la pire des conclusions.

En d'autres termes, plus faciles à comprendre, nous faisons comme si VLB était, parmi les 20 villes analysées, celle qui est la plus sujette à orages extrêmes. En faisant ainsi, nous nous pénalisons, mais dans les limites du raisonnable. Il doit être bien clair que cela ne revient pas à affecter à VLB tous les orages ayant affecté la région.

Cette approche est originale et devra être soumise à la communauté scientifique pour analyse critique, comme il est d'usage. La SCM prend la pleine responsabilité de ses conclusions. La qualité des données est discutable (voir Annexes) ; nous estimons cependant qu'elle est suffisante pour les conclusions obtenues.

III. Qualité des données

Pour les températures, les données sont généralement anciennes et de bonne qualité : une température est localement stable et les thermomètres fonctionnent de manière satisfaisante.

Pour la pluviométrie, le point positif est que l'on sait quoi mesurer, à savoir une hauteur d'eau (ce qui se traduit par un volume de précipitation). Le point négatif est que les pluviomètres sont en petit nombre et ne mesurent pas nécessairement les phénomènes (la pluviométrie n'est pas localement stable) et qu'ils sont mal entretenus.

Pour les tempêtes, les séismes, les choses sont pires : on mesure la force maximale du vent et la magnitude du séisme, mais non la durée de l'événement, ce qui fait que le traitement en termes d'assurance est généralement impossible.

IV. Présentation des données

Pour mener à bien notre étude, nous analysons les données de pluviométrie de la ville de Villiers le Bâcle et des communes environnantes. Nous nous intéressons aux données de pluviométrie quotidiennes pour plusieurs villes.

Les données sont issues du site MétéoData.gouv.fr :

<https://meteo.data.gouv.fr/datasets/donnees-climatologiques-de-base-quotidiennes/>

Ces fichiers de données recensent les précipitations par jour pour un certain nombre de villes. Chaque fichier ne concerne qu'un département pour une période de temps définie. Trois périodes sont disponibles sur le site : 2023-2024, 1950-2022 et avant 1950. Nous ne nous intéressons qu'aux deux premières périodes, soit 1950-2024. La commune de Villiers le Bâcle étant située à la frontière de l'Essonne et des Yvelines, nous avons étudié des villes de ces deux départements. Nous sélectionnons une vingtaine de villes situées autour de Villiers et à moins de 30 km.

La liste des villes retenues est donnée ci-dessous avec leur nom, leur département, leur distance et orientation par rapport à Villiers ainsi que la plage de temps des données.

Ville	Orienta- tion	Distance (km)	Département	Période
Villiers-le-Bâcle	/	/	91	17/01/2011 – 28/09/2021
Toussus-le-Noble	N	2.3	78	01/12/1964 – 28/07/2024
Versailles INRAE	N	8.6	78	01/01/1959 – 28/07/2024
Saint-Germain-en-Laye	N	19.4	78	26/02/1972 – 31/03/2020
Rambouillet	SO	23.2	78	01/01/1950 – 31/01/1991
Saint-Chéron	S	19	91	01/01/1970 – 30/11/2017
Bretigny-sur-Orge	SE	18.6	91	01/01/1950 – 28/07/2024
Orly	E	20	91	01/01/1950 – 28/07/2024
Jouy-en-Josas	NE	5.5	78	01/11/1962 – 31/12/1990

Meudon	NE	12.7	92	01/01/1950 – 28/02/2019
Paris 15 ^e Vaugirard	NE	16	75	12/08/1959 – 31/10/2015
Le Perray-en-Yvelines	O	20	78	28/01/1970 – 28/07/2024
Trappes	NO	10.8	78	01/01/1950 – 28/07/2024
Le Pecq	N	19	78	01/02/1954 – 28/07/2024
Maule	NO	29	78	01/01/1950 – 28/07/2024
Saint-Léger-en-Yvelines	O	27	78	01/05/1992 – 28/07/2024
Villacoublay	NE	8.5	78	01/01/1950 – 28/07/2024
Dourdan	SE	23	91	01/06/1988 – 28/07/2024
Gometz-le-Châtel	S	5.3	91	01/02/1950 – 28/07/2024
Joinville-le-Pont	NE	27	94	01/01/1950 – 28/07/2024
Suresnes	N	17.7	92	01/01/1950 – 28/07/2024

Nous réunissons les données de toutes ces villes dans une seule base. Un extrait est donné ci-dessous :

Ville	Rambouillet	Saint-Chéron	Bretigny-sur-Orge	Orly	Jouy-en-Josas	Meudon
Pluviométrie (mm) ▾	▾	▾	▾	▾	▾	▾
19500101	0		0	0		0
19500102	0		0	1		1,8
19500103	1,3		0	0,8		2,6
19500104	0		0	0,9		0,7
19500105	2,4		0,3	1,4		1,1
19500106	0		0	0		0
19500107	0		0	0		0
19500108	0		0	0		0
19500109	0		0	0		0
19500110	0		0	0		0,2
19500111	0		0,5	0,1		0,8
19500112	0		0,2	0,8		0
19500113	0		0,1	0		0
19500114	0		0,2	0,5		0
19500115	7,3		1,2	0		7,5
19500116	6,2		10,5	9		4,5
19500117	0		0,1	0		0
19500118	0		0	0		0

L'ensemble de la base est présente dans le fichier Excel « SCM_Villiers_Pluies_2024_08_01 » fourni avec ce rapport. Les dates sont au format AAAAMMJJ.

Nos données proviennent des sites de Météo France et de European Climate Assessment & Dataset (<https://www.ecad.eu/>). Nous les avons croisées, comparées et analysées et nous les considérons comme fiables ; voir difficultés en Annexe.

V. Probabilité d'occurrence

Pour répondre à la question posée par VLB, nous ne retenons que les jours de fortes pluies. Nous intéressons à deux seuils de pluviométrie : 60 mm et 80 mm. Pour chacune des villes, nous calculons le nombre de jours atteignant ou dépassant ces seuils. Un extrait des résultats est donné ci-dessous :

Ville	Villiers-le-Bâcle	Toussus-le-Noble	Versailles INRAE	Saint-Germain-en-Laye	Rambouillet	Saint-Chéron	Bretigny-sur-Orge
Nombre de jours dépassant ou égaux à 10 mm de pluie	172	1047	1068	837	687	757	1073
Nombre de jours dépassant ou égaux à 20 mm de pluie	27	201	189	171	131	138	192
Nombre de jours dépassant ou égaux à 40 mm de pluie	4	25	19	15	12	12	20
Nombre de jours dépassant ou égaux à 60 mm de pluie	0	7	1	4	3	1	5
Nombre de jours dépassant ou égaux à 80 mm de pluie	0	2	1	1	0	0	1

VI. Traitement mathématique

Nous utilisons une formule due à Laplace ("Théorie Analytique des Probabilités", 1812) qui permet de calculer la probabilité $p(n', N'; n, N)$ qu'un accident se produise n' fois sur N' essais ultérieurs, sachant qu'il s'est produit n fois sur N essais antérieurs. Ici : N = nombre de jours d'observation au total, n = nombre de fois où ce niveau de pluie a été observé, N' = horizon de temps considéré (3650 jours sur dix ans) et $n' = 0$ (pas d'occurrence du phénomène).

La démonstration de cette formule (qui n'est pas une évidence) est donnée dans notre livre "Méthodes Probabilistes pour l'étude des phénomènes réels" : https://scmsa.eu/livres/SCM_MPPR_order.htm

La formule a été traduite par la SCM sous la forme d'un outil logiciel appelé Evalrisk, librement téléchargeable sur notre site web.

Nous mettons en œuvre la formule de Laplace pour chacune des villes, pour un horizon de temps de 5 et 10 ans et pour les seuils de 60 mm et 80 mm. Nous retenons la probabilité associée au nombre d'occurrence égal à 0 ; probabilité qu'il n'y ait aucune inondation durant la période de

temps choisie. Nous obtenons ainsi pour chacune des villes un tableau de résultat de la forme suivante :

Durée/Seuil	Seuil 60 mm	Seuil 80 mm
5 ans		
10 ans		

Comme expliqué plus haut, nous considérons qu'une tempête qui a touché une ville voisine de Villiers aurait pu toucher la commune. Nous prenons pour chaque configuration la pire situation possible. Par exemple, pour le seuil à 60 mm et une durée future de 5 ans, nous regardons les probabilités calculées de chaque ville et nous prenons la plus faible. Une probabilité faible signifie un risque plus accru d'inondation. Nous effectuons ce calcul pour les quatre cases du tableau. Le tableau peut être rempli avec des résultats issus de 4 villes différentes par exemple.

Le tableau de résultats est le suivant :

Durée/Seuil	Seuil 60 mm	Seuil 80 mm
5 ans	0.53	0.68
10 ans	0.29	0.52

Pour le seuil à 60 mm, les données sont issues de la ville de Toussus-le-Noble, située à 2 km de Villiers le Bâcle. Pour le seuil à 80 mm, les données proviennent de la ville de Villiers le Bâcle elle-même.

Une autre source de données, l'ECA, révèle un historique plus fourni. L'un des fichiers recense pour VLB les maxima de précipitations journalières par mois depuis 1945 jusqu'à 2023. Parmi ces maximales, deux ont dépassé le seuil de 80 mm : avril 2007 et juillet 1982.

Tenant compte de ces nouvelles données, nous modifions les calculs : la période de référence est dorénavant 28 853 jours et le nombre d'occurrences est de 2. Les probabilités qui en résultent pour un nombre d'inondation nul est de 0.83 pour une durée de 5 ans et 0.7 pour une durée de 10 ans. Ces probabilités sont supérieures à celles précédemment trouvées. La conclusion reste celle obtenue à partir des seules données de Météo-France.

ANNEXE 1

Difficultés rencontrées avec les données

L'analyse que nous avons menée se base sur deux sources différentes :

- meteo.data.gouv.fr, qui recense la pluviométrie journalière pour plusieurs villes de l'Essonne, sur des périodes différentes pour chaque ville ;
- ecad.eu, qui recense la pluviométrie journalière pour quelques villes de l'Essonne, et la pluviométrie mensuelle pour plusieurs villes, de 1945 à 2023.

Si nous prenons l'exemple de la Ville de Villiers-le-Bâcle, voici ce que nous trouvons :

Source	Période disponible	Données disponibles	Episodes extrêmes (seuil 60 mm)	Episodes extrêmes (seuil 80 mm)
meteo.data.gouv.fr	17/01/2011 – 28/09/2021	Précipitation journalière	Aucun	Aucun
ecad.eu	01/01/1945 – 31/12/2023	Précipitation journalière maximale sur un mois	Avril 2007 Août 1987 Juillet 1982 Juin 1970	Avril 2007 Juillet 1982

Nous nous posons alors les questions suivantes :

- Y a-t-il eu un pluviomètre à Villiers-le-Bâcle entre 1945 et 2023 ou bien s'agit-il de données extrapolées de villes environnantes ?
- Comment des statistiques mensuelles peuvent-elles être disponibles sur le site de l'ECAD mais pas l'historique journalier ?

En définitive, lorsqu'on s'intéresse à la région de l'Essonne dans son ensemble, recenser deux épisodes extrêmes de plus n'impacte pas la probabilité de retour que nous trouvons ; ceci s'explique par le fait que la durée de référence est plus longue, et le nombre de villes plus important.

Cependant, si nous nous restreignons à la ville de Villiers-le-Bâcle, les probabilités deviennent plus importantes :

Durée prise en compte dans le futur	5 ans		10 ans	
	60 mm	80 mm	60 mm	80 mm
Seuil	69%	83%	49%	70%
Probabilité que le risque ne se produise pas	69%	83%	49%	70%
Probabilité que le risque se produise au moins une fois	25%	15%	46%	24%
Nombre max d'occurrences du risque possible	1	1	2	1

Evalrisk – Villiers-le-Bâcle 1945 – 2023

Toutefois, nos recommandations restent les mêmes.

ANNEXE 2

Extrait de la base de données de l'ECAD

L'ECAD (European Climate Assessment & Dataset) regroupe différentes sources européennes officielles de données de pluviométrie.

Pour la ville de Villiers-le-Bâcle, nous ne disposons pas du volume de pluie journalier (RR). Nous disposons cependant d'indicateurs mensuels d'extrêmes climatiques dont l'historique mensuel est bien fourni (de 1945 à 2023 pour Villiers-le-Bâcle).

Le tableau suivant résume quelques indicateurs d'extrêmes climatiques disponibles sur le site de l'ECAD :

Indicateur mensuel	Description	Volume de pluie journalier (RR)
RR1	Nombre de jours pluvieux	RR >= 1mm
RR10	Nombre de jours très pluvieux	RR >= 10mm
RR20	Nombre de jours extrêmement pluvieux	RR >= 20mm
RX1DAY	Volume de pluie journalier maximal enregistré	RR Max

La Ville de Villiers-le-Bâcle est référencée sous l'ID 21734.

Voici un extrait de la base de données pour l'indicateur RX1DAY (précipitation journalière maximale enregistrée durant le mois) :

```
EUROPEAN CLIMATE ASSESSMENT & DATASET (ECA&D)
File created on: 14-07-2024
THESE DATA CAN BE USED FOR NON-COMMERCIAL RESEARCH AND EDUCATION PROVIDED THAT THE FOLLOWING
SOURCE IS ACKNOWLEDGED:
Klein Tank, A.M.G. and Coauthors, 2002. Daily dataset of 20th-century surface
air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment.
Int. J. of Climatol., 22, 1441-1453.
Data and metadata available at http://www.ecad.eu
THIS FILE HOLDS DATA FOR STATION FRANCE VILLIERS-LE-BACLE2 STA ID: 21734)
LATITUDE: dd:mm:ss +48:44:07
LONGITUDE: ddd:mm:ss +002:06:57
ELEVATION: 161m
DATA IS FOR INDEX Highest 1-day precipitation amount (RX1day) with unit 0.01 Precipitation
(mm)

AN    JAN    FEV    MAR    AVR    MAI    JUN    JUL    AOU    SEP    OCT    NOV    DEC
2023  2870   1330   120    2070   1440   1960   1310   2560   3670   2770   2870   1690
```