

Schéma directeur des Eaux Pluviales des Arcs 1600 et 1800



Phase 2

N° de référence : 22-018

Version 1

11/2022

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Maitre d'ouvrage Commune de Bourg Saint Maurice

Opération Schéma directeur des Eaux Pluviales des Arcs 1600 et 1800
22-018
S.TEUTSCH
Phase 2

Emetteur HYDRETUDES - Alpes du Nord
P.A Alpespace – Bât Saturne 112 Voie Albert Einstein
73800 PORTE DE SAVOIE
Tél : 04 79 96 14 57
Mail : contact-savoie@hydretudes.com



Document Phase 1
11/2022

Indice	Date	Mise à jour	Rédigé par	Vérifié par
1	11/2022		ST	SG
2				
3				
4				
5				

SOMMAIRE

1.	DONNEES CLIMATIQUES SUR LA ZONE D'ETUDE.....	6
1.1.	Petits rappels sur les crues des bassins de montagnes (Queffélén et al. 2015).....	6
1.2.	Saisonnalité et perturbations à l'origine des événements remarquables.....	7
1.3.	Les données de précipitations.....	7
1.3.1.	Stations mesurant les précipitations à l'intérieure et à l'extérieure du périmètre.....	7
1.3.2.	Données pluviométriques et statistiques locales collectées.....	9
1.3.3.	Données sur la répartition spatiale/altitudinale de la pluie (extension géographique) ..	11
1.3.3.1.	Normales.....	11
1.3.3.2.	Précipitations extrêmes	13
2.	CONTEXTE PLUVIOMETRIQUE GLOBAL	14
2.1.	Climatologie des précipitations à méso-échelle : les Alpes du nord	14
2.2.	Les précipitations sur la zone d'étude (échelle locale)	18
2.2.1.	Le régime annuel et saisonnier des précipitations	18
2.2.2.	Les records de précipitations maximales journalière	22
2.2.3.	Les précipitations journalières décennales et centennales	23
2.2.4.	Les précipitations maximales infra-journalières	28
3.	CONSTRUCTION DES PLUIES DE PROJET A COMPLETER	30
3.1.	Construction	30
3.2.	Comparaison avec des pluies historiques.....	33
4.	DEFINITION DES BASSINS VERSANTS	34
4.1.	Théorie	34
4.1.1.	Paramètres	34
4.1.2.	Découpage des sous bassins versants	34
4.1.3.	Occupation du sol des sous bassins versants.....	37
4.2.	Modélisation hydrologique	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Types de temps à l'origine des plus fortes crues sur les cours d'eau des différents secteurs constituant la zone d'étude (Cipriani, 2010).....	7
Figure 2 : Localisation des stations météorologiques à proximité du secteur d'étude	9
Figure 3. Cumuls pluviométriques annuels moyens de référence 1981-2010 (Modèle Aurelhy - Météo France)	12
Figure 4. Cartographie des précipitations moyennes annuelles sur la région Rhône Alpes (d'après les données de WorldClim2, Fick et Hijmans, 2017)	13
Figure 5 - Cumuls pluviométriques annuels moyens de référence 1981-2010 Alpes issues des données Météo France (Cipriani et al., 2012).....	15
Figure 6. Cartographie des précipitations moyennes annuelles selon SPAZM (Gottardi et al, 2012).....	15

Figure 7. Ébauches des précipitations moyennes journalières par type de temps pour 6 types de temps (d'après Gottardi et al. 2012) – extrait sur la zone nord alpine	17
Figure 8. Gradient altimétrique par type de temps en mm/ jour/100m (d'après Gottardi et al. 2012) – extrait sur la zone nord alpine.....	17
Figure 9. Occurrences annuelles et saisonnières des 8 classes de types de temps (enregistrements pour la période 1953–2005) – (données issues de Gottardi et al. 2012 18	18
Figure 10 : Répartition mensuelle des précipitations et des températures à la station de BOURG ST MAURICE, située à 865 m d'altitude dans la vallée. Sur la période de 1981-2010.	19
Figure 11. Cumuls pluviométriques annuels moyens de référence 1981-2010 issues des données Météo France (d'après Cipriani et al, 2012)	19
Figure 12. Précipitation annuelle moyenne (période 1997-2004) selon les estimations SPAZM/EDF sur la zone d'étude (d'après Claude, 2011).....	20
Figure 13 - Variabilité des précipitations et températures moyennes annuelles selon l'altitude sur le bassin versant (données issues de WorldClim2).....	20
Figure 14 : Précipitation annuelle des pixels WorldClim et estimations locales issues des fiches climatologiques de Météo-France	21
Figure 15 : Précipitation maximale selon les estimations des fiches climatologiques de Météo-France.....	22
Figure 16 : Carte des pixels de la pluie SHYREG (IRSTEA, 2019).	23
Figure 17. Carte de la pluie journalière décennale de l'ensemble des Alpes issue des données Météo France (Cipriani et al., 2012)	24
Figure 18. Cartes du krigeage direct des pluies décennales et centennales de 24 heures et Gradex 24h (Djerboua, 2001).....	24
Figure 19 - Evolution des quantiles de précipitations 24h en fonction de l'altitude pour les stations pluviométriques autour de la zone d'étude - Période de retour de 10 ans (données METEO France)	25
Figure 20 - Localisation des stations METEO France à proximité de la zone d'étude	26
Figure 21 - Evolution des quantiles de précipitations 24h en fonction de l'altitude pour les stations pluviométriques autour de la zone d'étude - Période de retour de 10 ans (données issues de DJERBOUA, 2001).....	27
Figure 22 - Localisation des stations DJERBOUA à proximité de la zone d'étude.....	27
Figure 23. Comparaison des quantiles de pluie infra journaliers	29
Figure 24 - Courbes IDF retenues	30
Figure 25 – Présentation des différents types de pluies de projet (CEREMA, Guide des conditions pluviométriques locales, fiche n°3, 12/2014).....	31
Figure 26 - Schéma de principe simplifié de détermination du temps de concentration t_c à partir du modèle hydraulique	32
Figure 27 - Schéma de principe de détermination du temps de concentration maximum des sous bassins versants	32
Figure 28 : Forme de la pluie de projet.....	33
Figure 29 - Découpage des sous bassins versants urbains - Arc 1600	35
Figure 30 - Découpage des sous bassins versants urbains - Arc 1800	36
Figure 31 - Occupation du sol sur la zone urbaine - Arc 1600.....	38
Figure 32 - Occupation du sol sur la zone urbaine - Arc 1800.....	39

Figure 33 : production = transformation pluie brute / pluie nette.....	40
Figure 34 : transfert = transformation pluie nette / débit.....	41

1. DONNEES CLIMATIQUES SUR LA ZONE D'ETUDE

1.1. PETITS RAPPELS SUR LES CRUES DES BASSINS DE MONTAGNES (QUEFFÉLEAN ET AL. 2015)

Queffélean et al. (2015) donne un bon aperçu des nombreuses caractéristiques qui induisent des réponses variées d'un bassin versant montagneux aux précipitations. Ils différencient :

- Des **caractéristiques pérennes dans le temps**, ou supposées telles à l'échelle des phénomènes étudiés : pédologie, géologie, superficie, pente, aménagements anthropiques...
- Des **caractères variables dans le temps** : antécédents pluviométriques, taux d'humidité du sol, état du couvert végétal, pratiques culturales, et en montagne présence et étendue de la couverture neigeuse, voire des glaciers.

C'est cette variabilité temporelle de certaines des caractéristiques du bassin versant qui participe à la **non linéarité de sa réponse aux précipitations** : une même pluie n'aura pas les mêmes conséquences en termes de ruissellement, puis de crue selon l'époque à laquelle elle se produit en raison précisément de la variabilité des états de surface du sol, de la couverture végétale... qui varient d'une saison à l'autre, d'un événement à l'autre, voire au cours d'un même événement.

Ainsi, suivant la saison de l'année trois grandes familles de crues se distinguent en Montagne (Queffélean et al., 2015) :

- Les **crues rapides** qui se produisent plutôt en été (de juin à septembre) suite à des orages violents et localisés qui ne durent en général que quelques heures. Ce sont celles qui sont généralement les plus dangereuses pour les riverains, car les temps de réponse sont courts entre la pointe de crue et la précipitation qui l'a générée.

En revanche, ce ne sont pas forcément ces crues courtes qui génèrent les manifestations morphologiques les plus impressionnantes car le transport solide par charriage (lié « directement » au volume d'eau ruisselé, au seuil de mise en mouvement près) reste plus limité lors de ces épisodes. Le transport solide peut être très intense mais la durée plus réduite de la crue fait que le volume de matériaux mobilisés reste limité.

- Les **crues « lentes »** qui peuvent durer plusieurs jours en automne ou au printemps, voire exceptionnellement en hiver. Le volume d'eau est alors très important, de même que le volume de matériaux transportés durant la crue.
- Les **crues de fonte de neige** qui se produisent préférentiellement au printemps suite à un fort redoux, voire même en hiver. Associées aux fortes précipitations qui peuvent se produire à cette époque de l'année, elles peuvent générer des crues exceptionnelles (Retour d'Est de l'Arc et du Guil en Juin 1957, crue des Pyrénées en juin 2013). Dans ces deux cas, l'influence de la fonte des neiges et de la saturation des sols liée à la persistance d'un important stock de neige en altitude a conduit à des crues extrêmes mais avec des temps de montée peu rapides.

Certains bassins réagissent à tous types de crues, d'autres qu'à une seule famille de crues. En dehors des caractéristiques intrinsèques du bassin, les facteurs qui influencent ainsi le plus la réponse du bassin sont la pluviométrie (intensité, durée, forme des précipitations) et l'état initial d'humidité et de saturation des sols. Pour un même bassin versant, la forme des crues est ainsi en général très fortement dépendante du déroulement de l'épisode pluvieux.

1.2. SAISONNALITE ET PERTURBATIONS A L'ORIGINE DES EVENEMENTS REMARQUABLES

En hiver, le froid et les précipitations neigeuses limitent, et parfois stoppent, l'écoulement des cours d'eau en montagne. En revanche, pendant les périodes de redoux, généralement entre la fin du printemps et jusqu'au début de l'été, les stocks de neige fondent rapidement. Lors d'un épisode pluvieux, les précipitations associées à la fonte du manteau neigeux provoquent parfois de très longues crues caractérisées par de forts débits de base. En automne, les débits mensuels sont moins importants (fin du stock neigeux) mais relativement conséquent du fait des apports pluvieux de cette saison.

Djeboua (2001) constate que la saisonnalité des crues dans les Alpes, s'étale de juin à septembre. Une saison où les précipitations ne sont pas sous forme neigeuse, et peuvent de plus ruisseler sur une morphologie plus acérée en altitude (i.e. sur de fortes pentes).

L'analyse des types de temps (classification EDF/DTG) à l'origine des plus fortes crues sur les cours d'eau des massifs alpins français montre que les perturbations à l'origine des plus fortes crues diffèrent suivant les zones homogènes et les sous-massifs (Mathys et Peteuil, 2010, Cipriani, 2010).

Le graphique ci-dessous montre que les perturbations à l'origine des plus fortes crues pour les stations hydrométriques des massifs des Alpes Internes du nord (Beaufortain, Belledonne, Giffre et Mont-Blanc, Grandes Rousses, Maurienne, Mercantour, Oisans et Ecrins, Queyras, Tarentaise, Ubaye et Vanoise) sont liées à des perturbations venant de l'Est, du Sud et de l'Ouest (influences également prépondérantes).

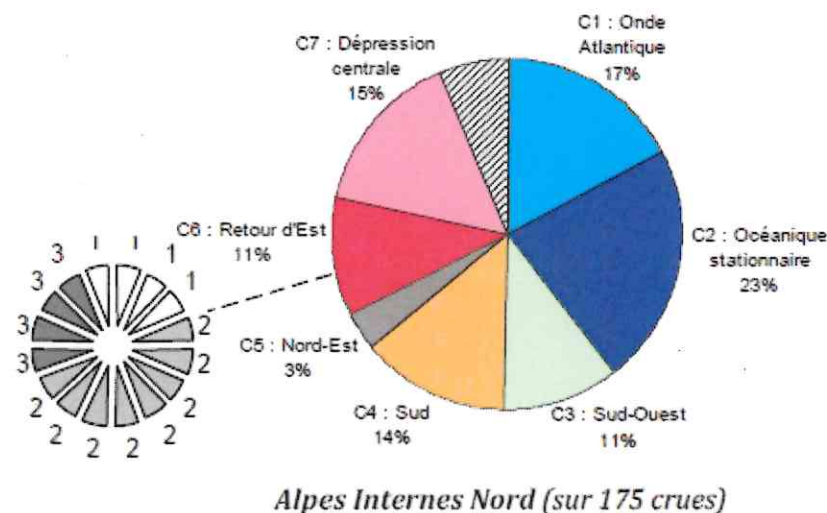


Figure 1. Types de temps à l'origine des plus fortes crues sur les cours d'eau des différents secteurs constituant la zone d'étude (Cipriani, 2010)

1.3. LES DONNEES DE PRECIPITATIONS

1.3.1. Stations mesurant les précipitations à l'intérieure et à l'extérieure du périmètre

Il existe différents types de stations mesurant les précipitations appartenant à différents types de réseaux sur le secteur élargi de la zone d'étude :

- **Stations du réseau Météo France (fermées et en activité).** Météo-France gère des réseaux de stations météorologiques sur l'ensemble du territoire dont certains en partenariat avec d'autres organismes¹. Ces stations sont de différents types (pluviomètres, pluviographes) et collectent des données variées. Les séries chronologiques issues de ces différentes stations sont de longueurs très variables et de différents types (données horaires, journalières, voire uniquement mensuelles) et ne permettent pas toutes d'établir toutes les statistiques souhaitées. De nombreuses stations situées sur le secteur étudié sont aujourd'hui fermées.

Seule la station de BOURG SAINT MAURICE dispose d'une période d'observation relativement longue et fiable au pas de temps de 1h (depuis 1993) et de 6 min (depuis 2005). Les précipitations quotidiennes sont calculées depuis 1945. **Elle se situe dans une zone de faible pluviométrie typique de la vallée de la tarentaise.**

- **Stations du réseau EDF-DTG** (données brutes non accessibles). Ce réseau de 603 postes pluviométriques (pluviomètres et pluviographes) est centré sur les enjeux d'EDF ; il dispose de ce fait de données de précipitations (disponibles au pas de temps journalier) à des altitudes supérieures à 2000 m (Gottardi, 2009). Le réseau EDF-DTG dispose également de postes de mesures de la neige (constitués principalement de perches, de Nivo-Pluviomètres Totalisateurs et Nivomètres à Rayonnement Cosmique).
- **Stations météo semi-professionnelles du Réseau ROMMA** (Réseau d'Observation Météorologique du Massif Alpin²). Le site fournit des données pluviométriques de base (climatologie mensuelle, précipitations quotidiennes, précipitation horaire). Les données pluviométriques ne sont pas forcément complètes et de longueurs très variables. Les stations à proximité de la zone d'étude sont trop récentes pour réaliser de analyses statistiques.

¹ Météo-France échange des données avec EDF (300 stations), la Direction générale de la prévention de risques (500 stations) et l'Institut national de la recherche agronomique (40 stations) dans le cadre des réseaux d'intérêt commun ou RIC.

² <http://romma.fr/>

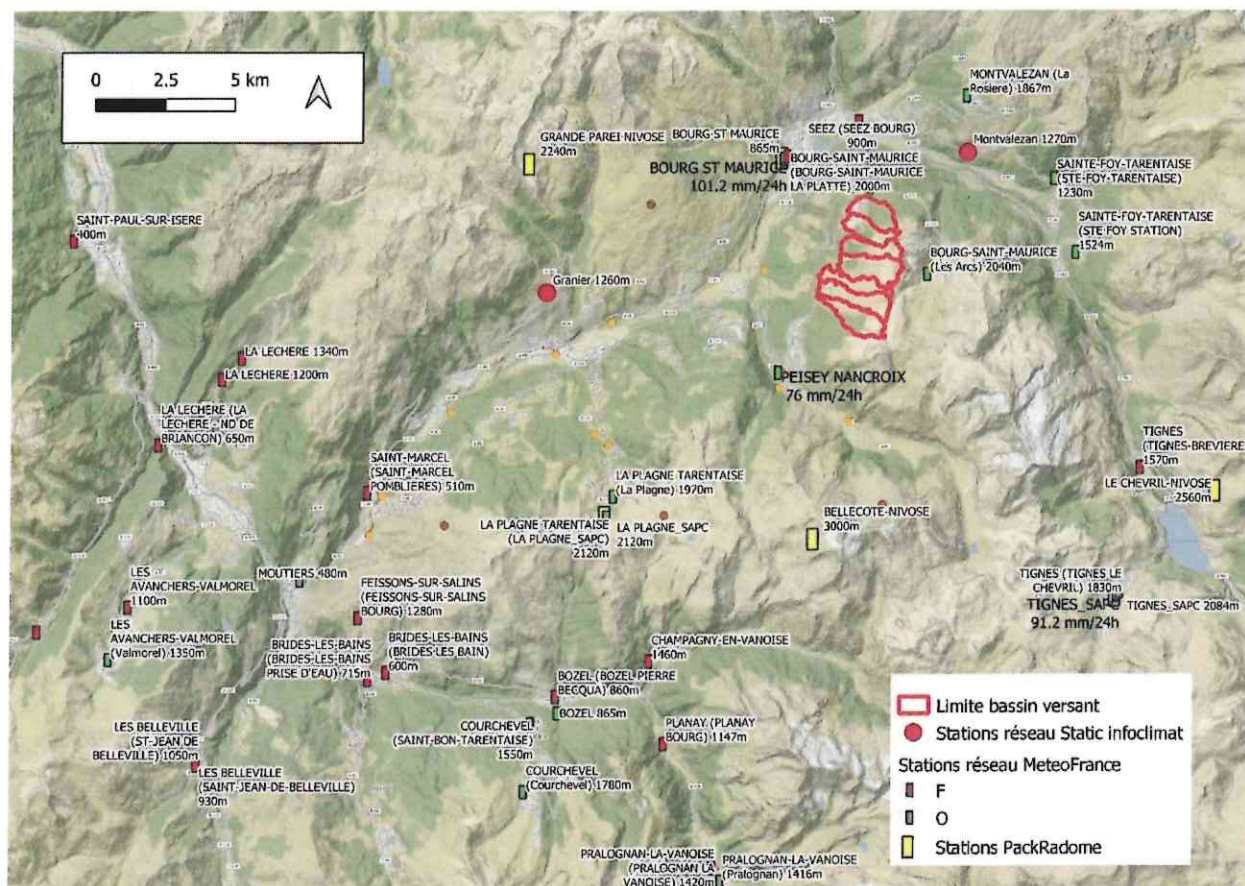


Figure 2 : Localisation des stations météorologiques à proximité du secteur d'étude

1.3.2. Données pluviométriques et statistiques locales collectées

Les normales et les records pluviométriques en 24h et par mois ont été récupérés à la station de BOURG ST MAURICE au travers de fiches climatologiques « températures/précipitations » (gratuites) ; ces données permettent d'établir la climatologie globale du périmètre d'étude sur la période 1981-2010.

Les quantiles de précipitation pour les périodes de retour (5 ans, 10 ans, 20 ans, 30 ans, 50 ans, et 100 ans) et la durée de 24h pour la station de BOURG ST MAURICE ont été acquis auprès de Météo France en 2020 par HYDRETUDES. Les coefficients de Montana pour des pluies de durées de 6 min à 30 min, de 30 min à 3 h, de 3 h à 6 h et de 6 heures à 24 heures ont été récupérés. C'est actuellement la seule station pour laquelle la série est assez longue pour fournir des ajustements et des courbes Intensité-Durée-Fréquence directement disponibles sur le site de Météo-France. Les périodes de retour de 2 ans ne sont pas disponibles.

Rappelons que les ajustements statistiques effectués par Météo France sont réalisés par la méthode GEV Locale-Régionale. L'échantillon des fortes pluies ayant servi à ajuster les paramètres de la loi Locale-Régionale GEV pour la station de BOURG ST MAURICE :

- Contient 350 valeurs maximales annuelles.
- Provient également des 6 stations : 73055001 (BOZEL), 73057001 (BRIDES_LES_BAIN), 73244001 (ST-JEAN_DE_BELL), 73167001 (MONTGELLAFREY), 73258001 (ST-MARTIN_DE_LA), 73261003 (ST_MICHEL_MAU_) situées sur un rayon de 49.7 km.

Avertissement : Les quantiles estimés par Météo France varient selon la méthode utilisée et la période d'analyse, les données récupérées auprès de Météo France dans les études antérieures peuvent être différentes de celles actuellement disponibles.

Méthode GEV Locale-Régionale (Météo France)

Depuis 2018, les ajustements statistiques effectués par Météo France sont réalisés par la méthode GEV Locale-Régionale permettant de prendre en compte les événements pluvieux maxi annuels de la station et des stations voisines. Le principe est d'augmenter la taille des échantillons de pluies extrêmes des stations jaugées (pour tous les cumuls de précipitations, de 6min à 10 jours), en intégrant le « signal » des stations voisines situées dans une zone estimée « homogène ». Comme les précipitations présentent une corrélation spatiale, la région d'influence est continue et déterminée dans l'espace géographique, donc circulaire autour du site cible. La sélection du voisinage est également déterminée par le relief et les précipitations moyennes annuelles.

Les 5 valeurs maximales de l'échantillon traité sont également précisées, en intégrant les valeurs des stations les plus proches de la station sélectionnée. Le choix de cette méthode de calcul permet a priori un bon ajustement des queues de distribution et moins de variabilité. Les événements pluvieux rares sont ainsi mieux appréhendés. La méthode Locale-Régionale GEV permet également de présenter des intervalles de confiance à 70%.

Pour plus d'info : <http://climatheque.meteo.fr/Docs/DRR2R-methode.pdf>

D'autres données de quantiles sur des pluviomètres locaux des Alpes franco-italiennes sont disponibles dans la thèse de A. Djerboua (2001). Cette étude fournit des ajustements statistiques réalisés par la méthode de Gumbel et par une méthode régionale TCEV (Two Component Extrem Values) pour différents postes pluviométriques des Alpes issus des principaux organismes français³ de l'époque malheureusement assez peu nombreux dans le secteur étudié et pour la plupart arrêtés aujourd'hui et la DDAF (Direction Départemental de l'Agriculture et de la Forêt).

- Des estimations pour le pas de temps de 1h, 2h, 3h, 6h, 12h du gradex, de la pluie décennale et centennale par la loi de Gumbel et la TCEV sont proposées sur 90 postes pluviométriques (pluviographes). La pluie de 12h est par exemple le cumul sur la période 00-12 et 12-24.
- Des estimations pour le pas de temps de 24h, du gradex et de la pluie décennale et centennale par la loi de Gumbel et la TCEV sont proposées sur 463 pluviomètres. Il faut noter ici, que les pluies journalières représentent la pluie tombée entre 6 heures TU du jour J à 6 heures TU du jour J+1. La mesure française est relevée le jour J+1 et affectée à la veille (le jour J).

Tableau 1 : Caractéristiques des stations utilisées par Djerboua (2001) sur le secteur élargi de la zone d'étude.

Station	Numéro	Nom du plu	X(km)	Y(km)	Cote(m)	Durée	Période début	Période fin
Pluviomètres Pj10	1512	VERSOYE LES GRANGES	947.2	2083.8	1330	37	1958	1994
	1520	PEISEY NANCROIX	945	2076.4	1350	37	1958	1994
	73232001	STE-FOY-TARENTEISE	954.4	2077.8	1230	60	1948	1995
	1510	STE FOY LE MIROIR	954.8	2077.1	1225	60	1936	1994

³ EDF (Electricité de France), Météo France, Cemagref, SRAE (Service Régional d'Aménagement des Eaux).

	73187002	LECHERE(LA)	935.7	2070.6	1345	38	1958	1995
	73296002	TIGNES	958.4	2067.5	1560	48	1951	1995
	1508	LES BREVIERES	958.2	2066.8	1560	48	1948	1994
Pluviographes pas de temps infra-journalier	EDF 1580	Belleville Hauteluce	934.4	2095	1215	31	1960	1990
	EDF 1610	Bonneval Tralenta	969.2	2052.7	1830	12	1984	1995
	EDF 1514	Bourg St Maurice	945	2077.6	895	30	1960	1989
	EDF 1571	Roselend Beaufort	934	2086	1580	11	1985	1995
	EDF 1548	Vignotan	932.2	2058.9	600	32	1959	1990

Une cartographie des pluies extrêmes sur les saisons à risque a été aussi proposée et par la suite plus spécifiquement sur le département de l'Isère par Djerboua et Obled (2005).

Des données sur les précipitations annuelles moyennes observées sur 13 stations du bassin versant de l'Isère à Moutiers sont également disponibles dans la thèse de Claude (2011) sur la période d'étude allant du 01/08/1997 au 31/07/2006.

1.3.3. [Données sur la répartition spatiale/altitudinale de la pluie \(extension géographique\)](#)

1.3.3.1. *Normales*

1. AURELHY

Une première approche des régimes pluviométriques peut être faite grâce aux cartes obtenues à l'aide de la méthode de spatialisation AURELHY de Météo France, à partir de séries de données pluviométriques homogènes sur la période 1981-2010 (données payantes).

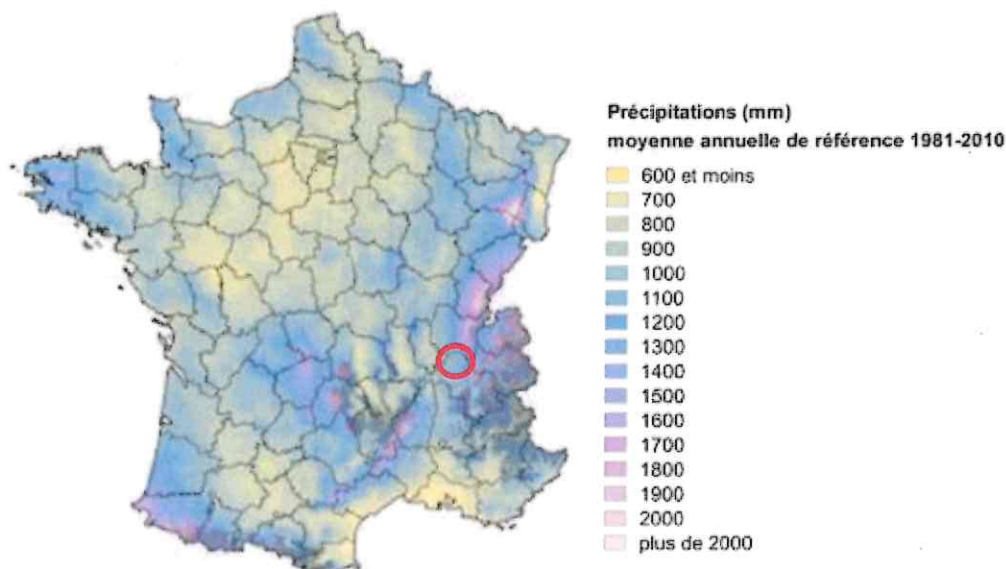


Figure 3. Cumuls pluviométriques annuels moyens de référence 1981-2010 (Modèle Aurelhy - Météo France)

2. SPAZM

Une autre cartographie de la pluie moyenne annuelle est issue des réanalyses au pas de temps journalier issues du modèle d'interpolation des précipitations et des températures en zones de montagne SPAZM (SPAtialisation en Zone de Montagne - Gottardi, 2009, Gottardi et al., 2012. Ces données sont à la maille de 1 km, sur la période 1948-2010 et sur les trois massifs montagneux (Alpes, Massif Central et Pyrénées). L'estimation de la précipitation journalière tombée sur un pixel considéré s'appuie sur les précipitations locales journalières (i.e. observées aux stations les plus proches) et sur un gradient altimétrique correspondant au type de temps du jour considéré. Les estimations de précipitations au-dessus de 2000 m environ, sont presque toujours réalisées en extrapolation (Gottardi, 2009). En d'autres termes il n'existe aucun poste de mesure plus haut que le pixel sur lequel est réalisée l'estimation de précipitation. L'intérêt de la méthode est notamment l'assimilation des données des différents réseaux d'enneigement d'EDF.

3. WORLDCLIM2

Enfin, des données spatiales gratuites à 1km² du site WorldClim2 sont disponibles⁴. Il s'agit de données climatiques mensuelles disponibles au niveau mondial avec un maillage à 30 secondes d'arc (environ 1km²). Les valeurs moyennes mensuelles ou annuelles des précipitations et les valeurs minimales, maximales et moyennes des températures ont par exemple été calculées sur la période 1970-2000. Le modèle d'interpolation à partir des observations locales aux stations au sol est basé sur l'altitude, la longitude et la latitude, ainsi que des données satellites (Fick et Hijmans, 2017).

⁴ <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>

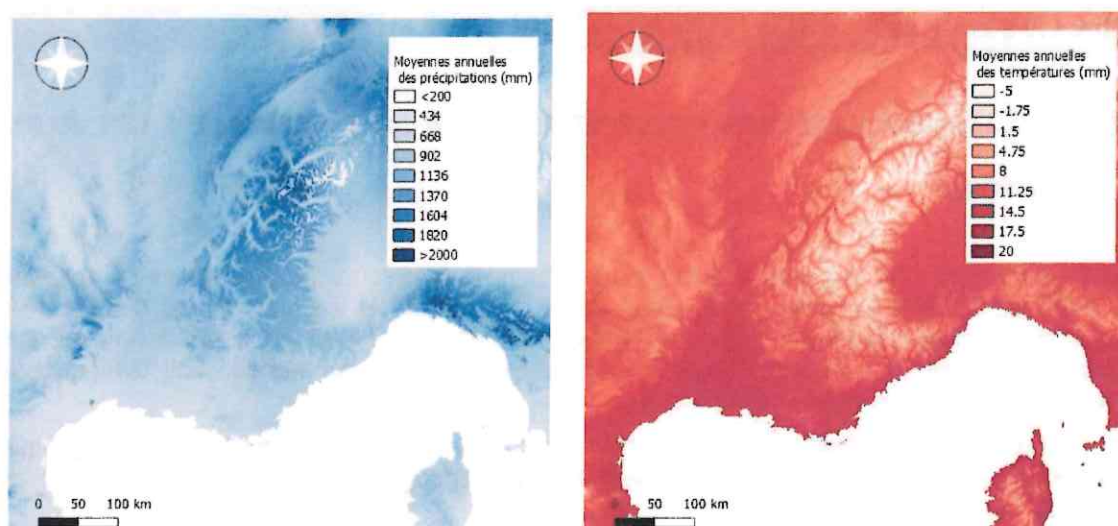


Figure 4. Cartographie des précipitations moyennes annuelles sur la région Rhône Alpes (d'après les données de WorldClim2, Fick et Hijmans, 2017)

1.3.3.2. Précipitations extrêmes

De nombreuses études se sont penchées sur la régionalisation des extrêmes pluviométriques dans les Alpes. Ces études confortent en premier lieu l'intérêt prioritaire des analyses régionales à faire sur les lois des pluies (à moyenne échelle).

Des cartes des quantiles de pluies journalières issues de différents travaux à l'échelle du Sud-est de la France sont disponibles dans la littérature (Djerboua, 2001 ; Djerboua et Obled, 2005, Cipriani, 2010 ; travaux menés lors du projet EXTRAFLow⁵ entre autres Garavaglia et. al, 2011, Penot, 2014). La répartition des quantiles de pluies journalières met en évidence le comportement des grandes zones climatiques françaises. Les cartographies des pluies extrêmes proposées par Djerboua (2001) sur les alpes franco-italiennes et Djerboua et Obled (2005) sur le département de l'Isère et sur les saisons à risque apportent des informations sur des pas de temps infra-journalier.

⁵ Résultats du projet ExtraFlo (ANR 2009-2013) sur l'estimation des pluies et crues extrêmes.

2. CONTEXTE PLUVIOMETRIQUE GLOBAL

2.1. CLIMATOLOGIE DES PRECIPITATIONS A MESO-ECHELLE : LES ALPES DU NORD

Les Alpes du Nord sont soumises à la fois à des influences océaniques (apportant des précipitations régulières et modérées), continentales (froid l'hiver, chaud l'été et avec des pluies d'été souvent orageuses) et méditerranéennes (vagues de chaleur et sécheresses en été, apportant des masses d'air humides en automne), auxquelles s'ajoute la présence des reliefs qui introduit une différenciation spatiale à l'origine d'une variabilité importante.

De nombreuses études ont ainsi depuis longtemps mis en évidence certaines caractéristiques climatologiques propres à cette région (Bénévent, 1926 ; Loup, 1966 ; Blanchet & Richoux, 1999 ; Djerboua, 2001) :

- Dans les Alpes françaises, la quantité de précipitations décroît graduellement du nord au sud. Les Alpes du Nord, avec 1 200 à 2 000 mm de pluviométrie annuelle moyenne, sont globalement plus arrosées que les Alpes du Sud (850 à 1 200 mm), mais les précipitations y sont plus régulières et pondérées. Cette grande régularité annuelle et interannuelle est due à la position de carrefour occupée par les Alpes française du Nord qui peuvent recevoir des précipitations par flux océanique, méditerranéen et des orages de type continental, c'est à dire par n'importe quel type de temps pluvieux (se reporter aux cartes ci-dessous).
- Les Alpes du nord ont une prédominance du régime océanique. L'influence de l'océan atlantique se fait sentir loin dans les terres ; ce sont les grands reliefs exposés à l'ouest qui arrêtent la plupart des perturbations océaniques sur leur versant ouest et reçoivent donc des quantités de précipitations importantes d'où l'abondance pluviale des Préalpes et des massifs centraux. Ce sont les Préalpes du Nord (Chablais, Bornes, Bauges, Chartreuse et Vercors), directement exposées aux perturbations océaniques venant des secteurs ouest ou nord-ouest, qui sont les plus arrosées, avec de 1 200 à 2 000 mm. Les massifs centraux (massif du Mont Blanc, Beaufortain, Belledonne, Pelvoux) sont comparativement, malgré leur altitude plus élevée, moins arrosés (1 200 à 1 500 mm) que les Préalpes du Nord.
- La zone intra-alpine (Tarentaise, Maurienne, Romanche), plus protégée des perturbations pluvieuses que le reste du massif Alpin français du fait de sa position géographique, a des pluviométries annuelles de l'ordre de 850 à 1 000 mm. Elle est cependant exposée à des phénomènes de retour d'Est.

La carte ci-dessous présentant un extrait des estimations de cumuls pluviométriques annuels moyens obtenus à l'aide de la méthode Aurelhy de Météo France met en évidence les forts contrastes entre les contreforts du massif qui reçoivent des cumuls importants et les vallées intérieures plutôt sèches

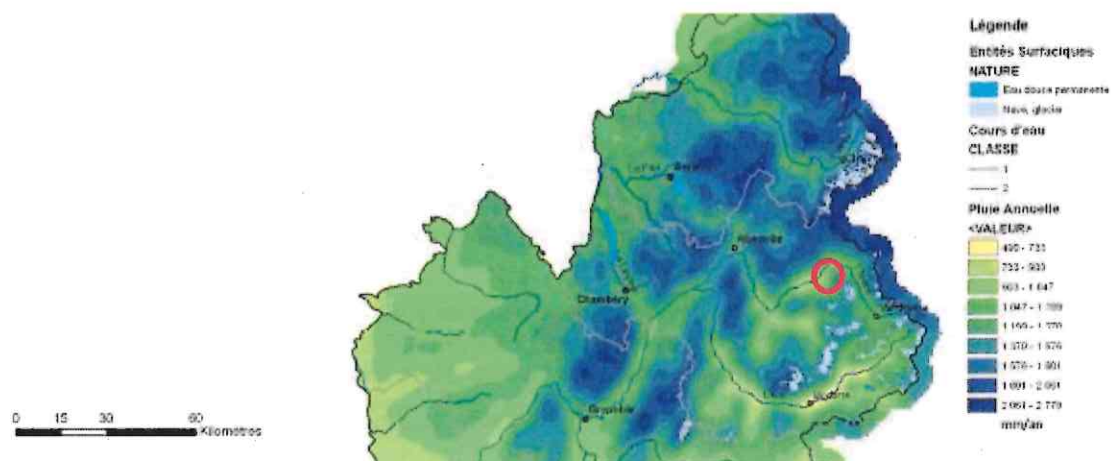


Figure 5 - Cumuls pluviométriques annuels moyens de référence 1981-2010 Alpes issues des données Météo France (Cipriani et al., 2012)

La cartographie de la pluie moyenne annuelle issue du modèle d'interpolation des précipitations et des températures en zones de montagne SPAZM (SPAtialisation en Zone de Montagne - Gottardi, 2009, Gottardi et al., 2012) met aussi en évidence la décroissance des précipitations d'ouest en est.

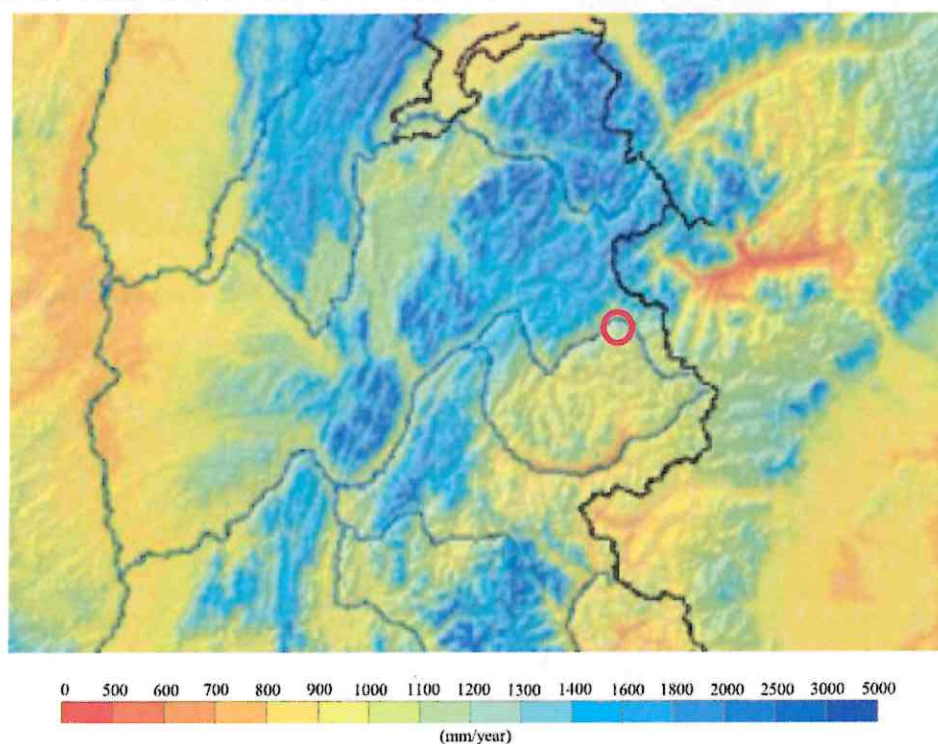


Figure 6. Cartographie des précipitations moyennes annuelles selon SPAZM (Gottardi et al., 2012)

Deux autres cartographies issues des travaux d'EDF apportent des estimations intéressantes :

- Les cartographie des précipitations moyennes journalières par type de temps.
- Les gradients moyens annuels par type de temps.

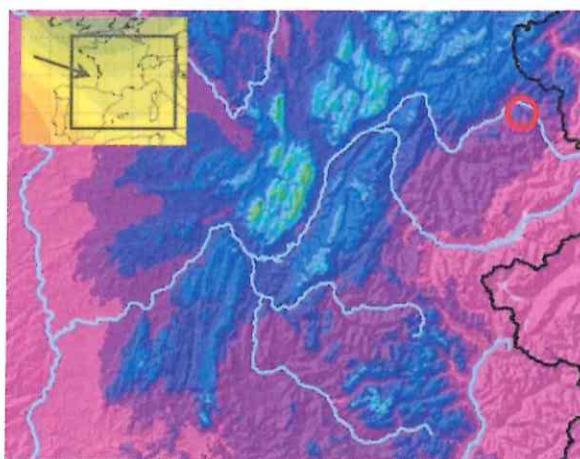
Les estimations d'EDF (Gottardi et al., 2012) confirment que les perturbations d'origine océanique (TT1 : Onde atlantique et TT2 Flux atlantique stationnaire) impactent essentiellement le Jura et les Alpes du nord. La différence entre ces deux types de temps est essentiellement temporelle (TT2 dure

généralement plus de jours que TT1). Les gradients altitudinaux sont très importants sur les Préalpes et soulignent les effets de ces reliefs sur ce type de flux.

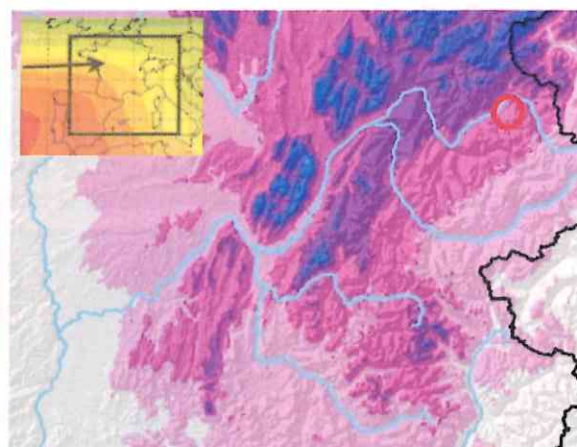
Le type de temps TT6 (Retour d'Est) qui représente une circulation méditerranéenne (dite « lombarde ») est généralement limité à la frontière Franco-italienne. Les précipitations pénètrent finalement très peu au-delà de la frontière, le Piémont italien essuyant presque à lui seul l'ensemble des précipitations. Néanmoins, sur la partie française, la Haute Vallée de l'Isère, la Haute Maurienne, le Haut Queyras et la Côte d'Azur (surtout la région de Nice) sont identifiés comme potentiellement très touchés, ce qui est en pratique souvent la réalité.

Le TT7 (Dépression centrale) correspond aussi à des circulations qui proviennent de la Méditerranée amenant des épisodes pluvieux particulièrement intenses sur les Alpes du Sud. La dépression, centrée sur la France induit alors des gradients importants sur le Jura et les Préalpes du nord.

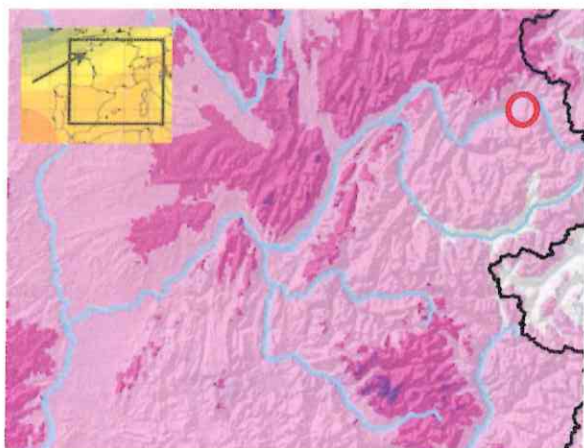
Le TT8 (classe anticyclonique) où il ne tombe en moyenne aucune précipitation, est une période d'orages d'été dans les zones montagneuses.



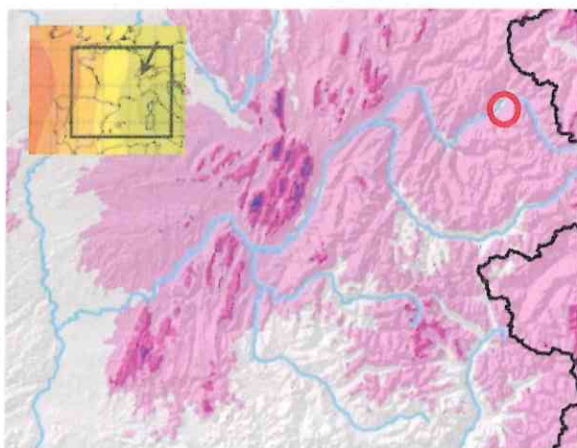
Ebauche TT1 Onde Atlantique



Ebauche TT2 Flux atlantique stationnaire



Ebauche TT3 : Circulation de Sud-Ouest



Ebauche TT5 : Circulation de Nord-Est

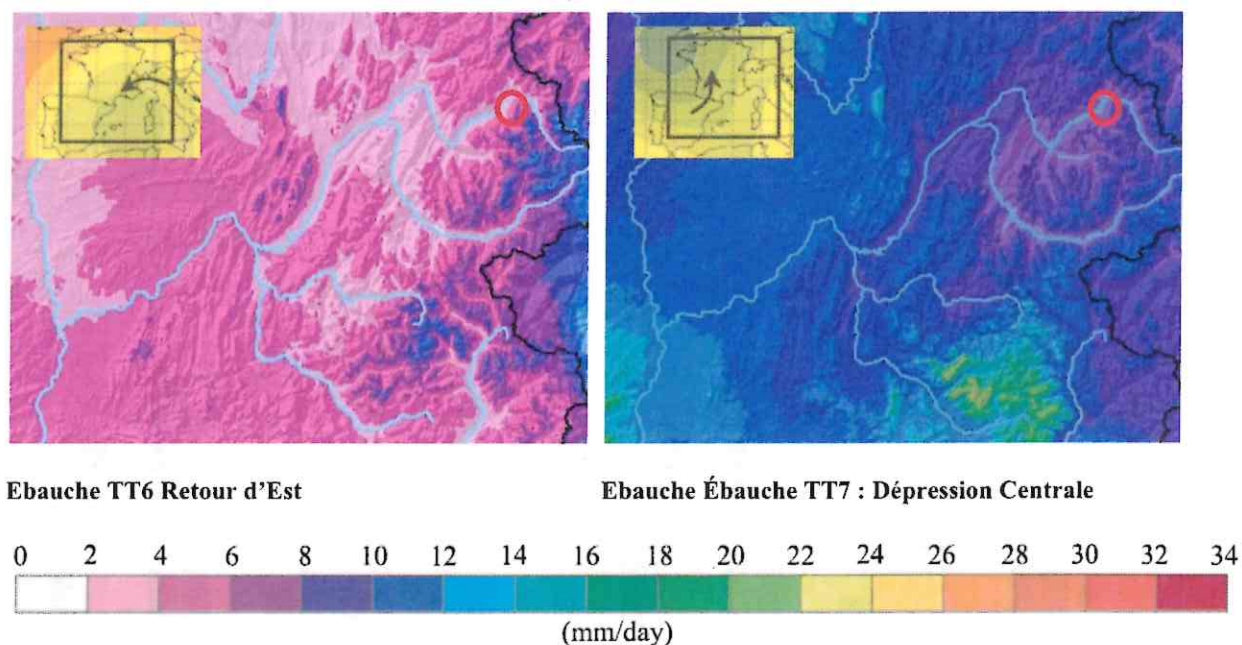


Figure 7. Ébauches des précipitations moyennes journalières par type de temps pour 6 types de temps (d'après Gottardi et al. 2012) – extrait sur la zone nord alpine

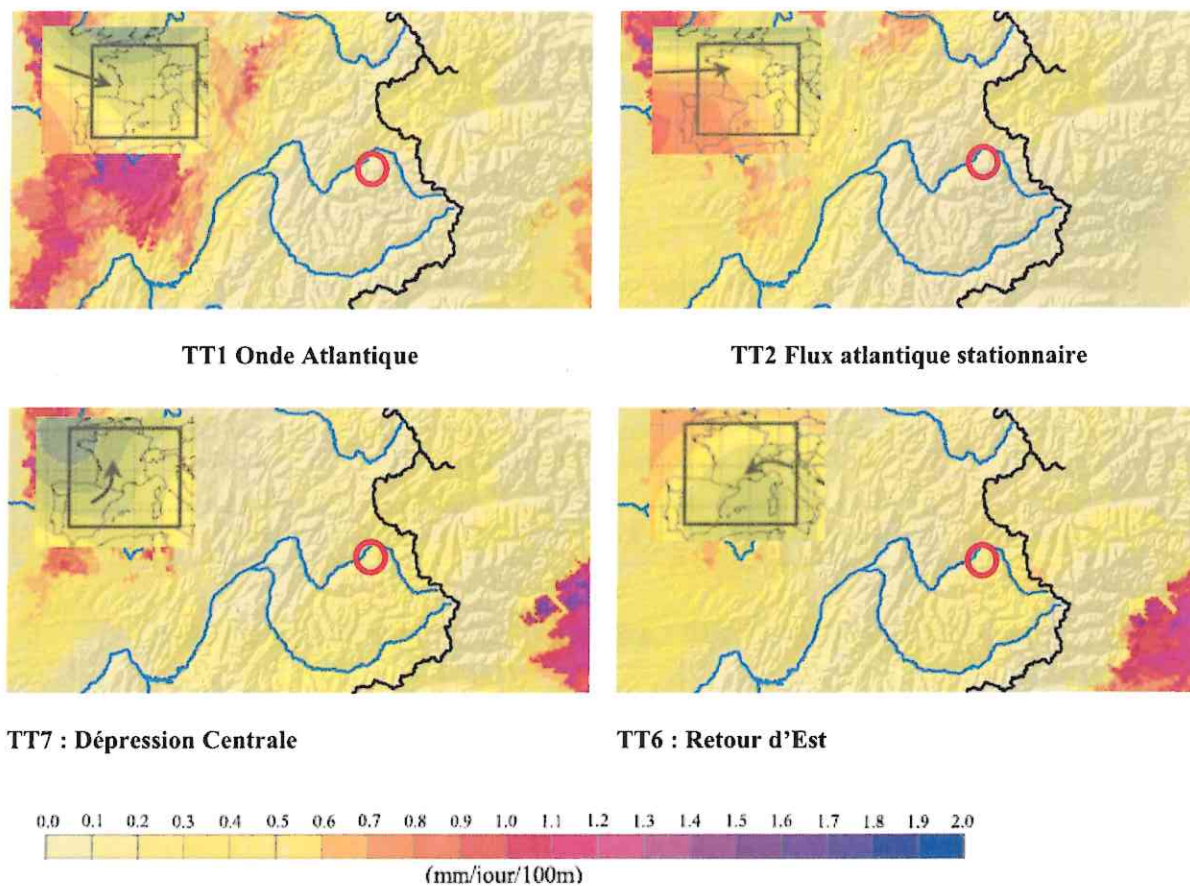


Figure 8. Gradient altimétrique par type de temps en mm/ jour/100m (d'après Gottardi et al. 2012) – extrait sur la zone nord alpine

La figure ci-dessous montre la répartition des types de temps en fonctions des saisons. Elle permet de constater que tous les types de temps amenant des perturbations sont présents quelle que soit la saison.

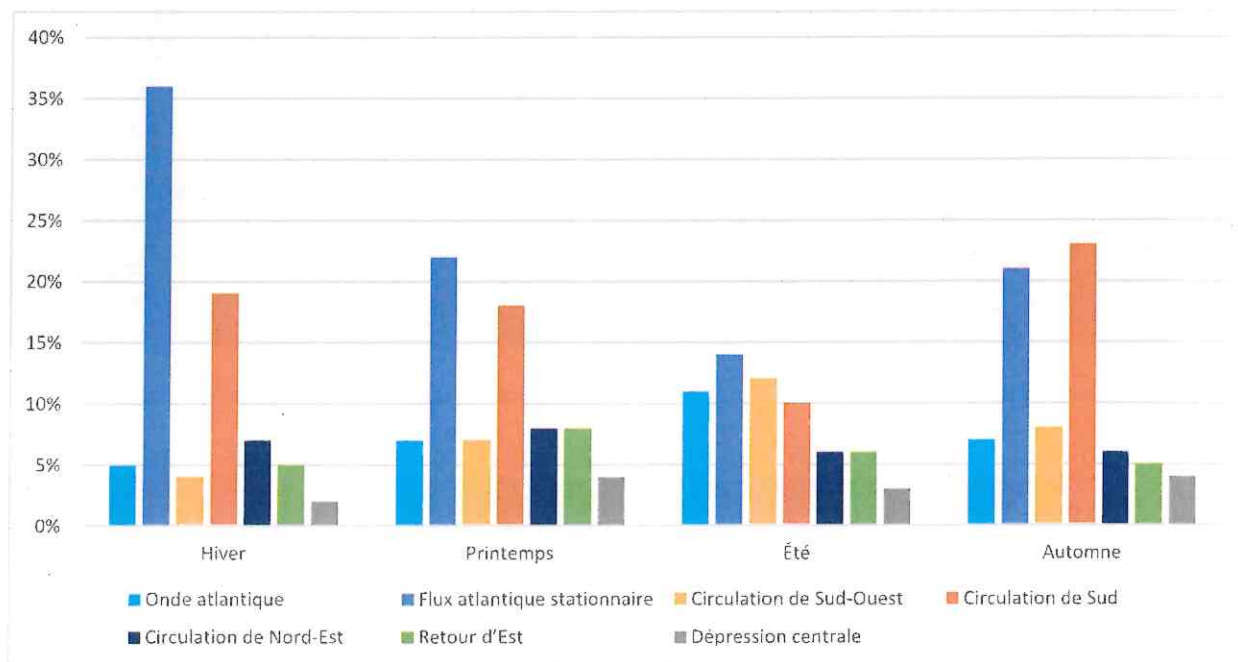


Figure 9. Occurrences annuelles et saisonnières des 8 classes de types de temps (enregistrements pour la période 1953–2005) – (données issues de Gottardi et al. 2012)

A retenir :

Les Alpes du nord ont une prédominance du régime océanique d'où l'abondance pluviale des Préalpes du Nord (Chablais, Bornes, Bauges, Chartreuse et Vercors) qui sont directement exposées aux perturbations océaniques venant des secteurs ouest ou nord-ouest. Les massifs centraux (massif du Mont Blanc, Beaufortain, Belledonne, Pelvoux) sont comparativement, malgré leur altitude plus élevée, moins arrosés (1 200 à 1 500 mm) que les Préalpes du Nord. La zone intra-alpine (Tarentaise, Maurienne, Romanche), plus protégée des perturbations pluvieuses que le reste du massif Alpin français du fait de sa position géographique, a des pluviométries annuelles de l'ordre de 850 à 1 000 mm. Elle est cependant exposée à des phénomènes de retour d'Est.

Cependant, tous les types de temps étant présents, le gradient orographique de précipitation présente une variabilité importante fonction du type de circulation atmosphérique considéré (Gottardi et al. 2012).

2.2. LES PRECIPITATIONS SUR LA ZONE D'ETUDE (ECHELLE LOCALE)

2.2.1. Le régime annuel et saisonnier des précipitations

La zone d'étude se situe entre le massif du Beaufortain et la vallée de la tarentaise.

Une première analyse du régime des précipitations est réalisée à partir de la station de référence de BOURG ST MAURICE, située à 865 m d'altitude dans la vallée. Sur la période de 1981-2010, la hauteur de précipitations moyenne est de 985.9 mm/an et la température moyenne de 10 °C.

Les précipitations sont réparties tout au long de l'année de manière typique pour la région alpine avec un minima en avril. Les mois de Décembre et Janvier sont les plus importants en termes de cumuls.

Les précipitations des mois d'hiver sont souvent neigeuses. Les mois de mai et juin, octobre et novembre sont relativement importants en termes de précipitations sous forme de pluie.

La hauteur quotidienne maximale de précipitations établie sur la période entre 1945 et 2020 est de 101,2 mm (atteint le 21 décembre 1991).

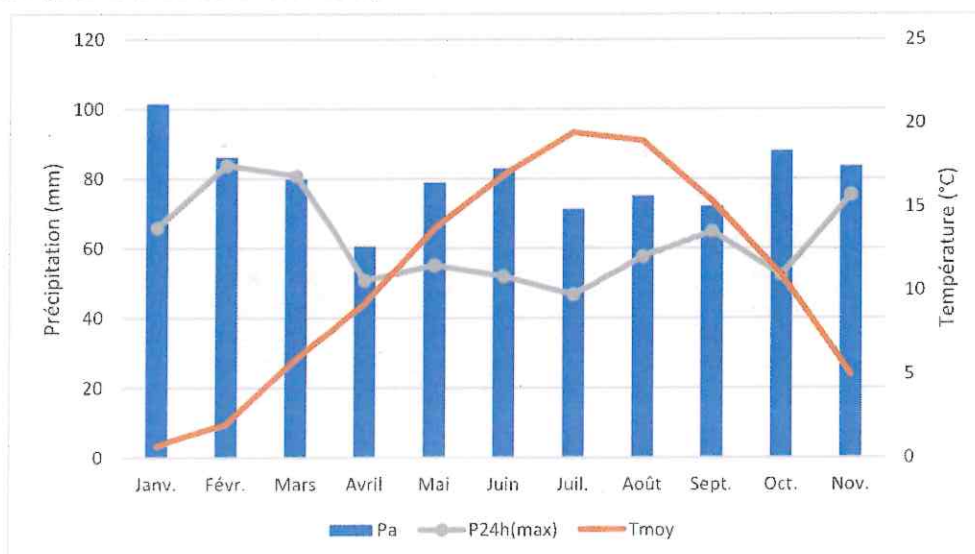


Figure 10 : Répartition mensuelle des précipitations et des températures à la station de BOURG ST MAURICE, située à 865 m d'altitude dans la vallée. Sur la période de 1981-2010.

La carte ci-dessous présente la **pluviométrie annuelle moyenne de référence 1981-2010** issue des données Météo France. La répartition des précipitations annuelles n'est pas homogène sur la zone d'étude. Elle montre un gradient pluviométrique moyen SUD-NORD sur la zone d'étude traduisant l'effet de l'altitude combiné aux influences des flux océaniques. Les réanalyses d'EDF (SPAZM) montrent également des cumuls pluviométriques annuels sur la zone d'étude. D'après ces deux cartes, Les cumuls pluviométriques annuels peuvent atteindre 1000 à 1500 mm/an sur les bassins versants des Arcs, comparativement aux 500 à 1000 mm/an en fond de vallée à Bourg-Saint-Maurice.

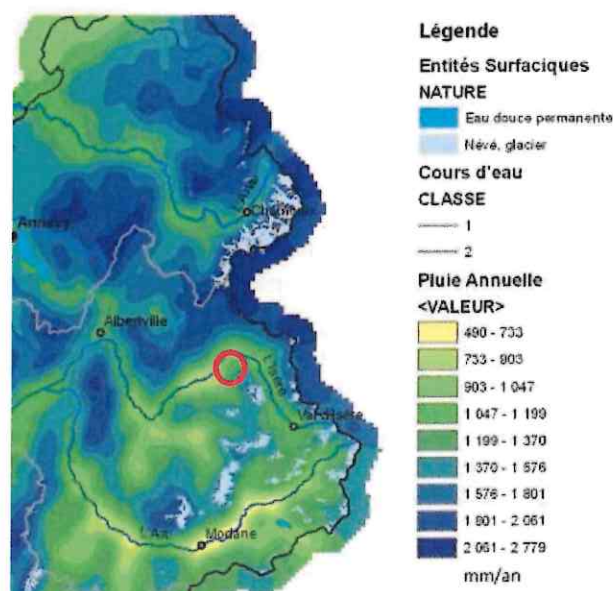


Figure 11. Cumuls pluviométriques annuels moyens de référence 1981-2010 issues des données Météo France (d'après Cipriani et al, 2012)

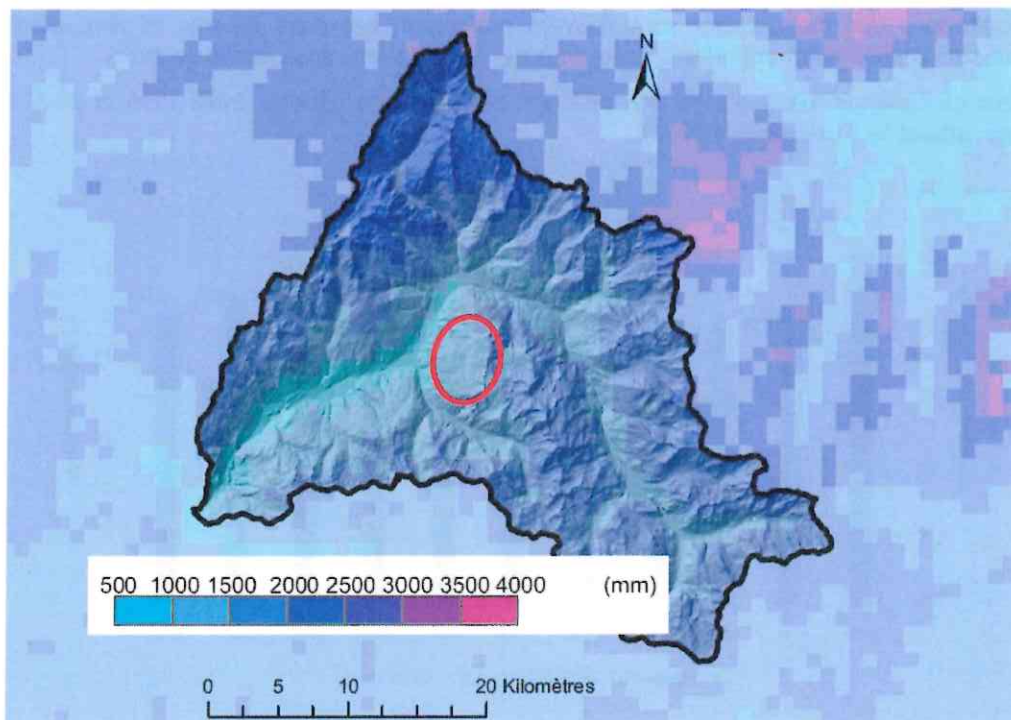


Figure 12. Précipitation annuelle moyenne (période 1997-2004) selon les estimations SPAZM/EDF sur la zone d'étude (d'après Claude, 2011)

La représentation ci-après de l'axe Sud-Nord (passant par la station de surface de BOURG ST MAURICE), illustre bien la répartition des précipitations moyennes annuelles en fonction de l'altitude et les effets de versant.

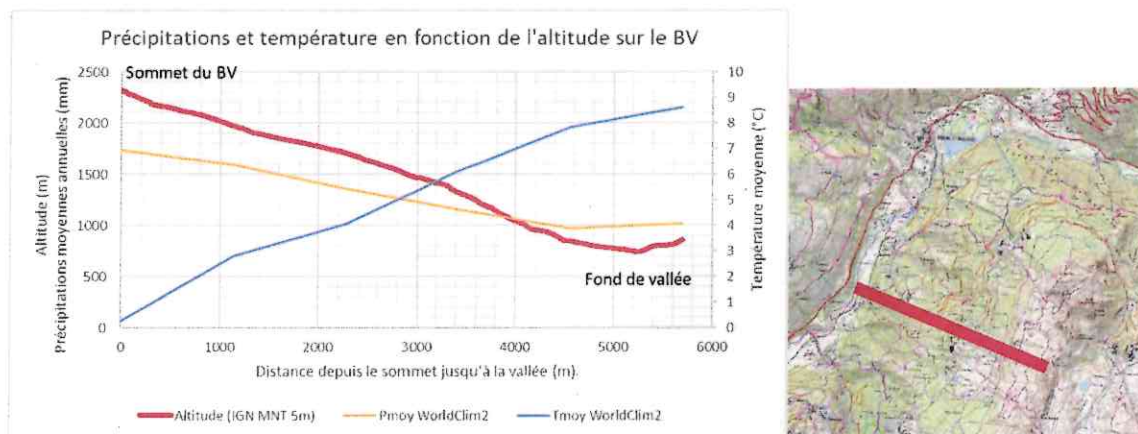


Figure 13 - Variabilité des précipitations et températures moyennes annuelles selon l'altitude sur le bassin versant (données issues de WorldClim2)

D'après les données de WorldClim, les précipitations moyennes interannuelles centrées sur le fond de vallée (proche de Landry) sont de 938mm/an. Les précipitations moyennes interannuelles sont maximums en haut du bassin versant : elles sont de 1734mm/an.

Il est à noter que la variabilité spatiale de pluviométrie est plus importante sur les événements longs que sur les événements courts. Un gradient est observé sur les précipitations annuelles par rapport à l'altitude, mais cela ne signifie pas que le même gradient sera observé pour des événements courts de type orages.

A retenir :

Un gradient pluviométrique avec l'altitude est observé pour les précipitations annuelles moyennes (et pour les températures). Ces gradients ont une importance prépondérante sur les volumes, la répartition pluie/neige dans l'année.

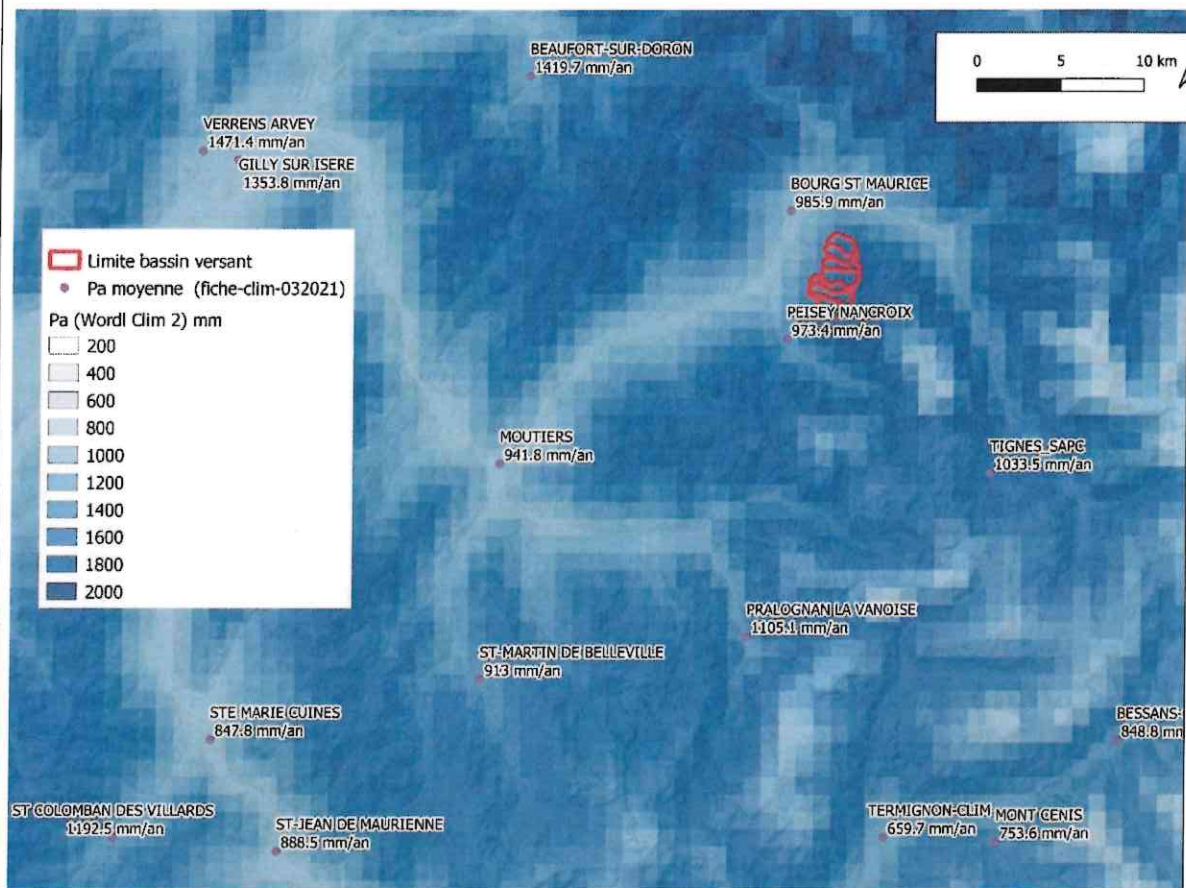


Figure 14 : Précipitation annuelle des pixels WorldClim et estimations locales issues des fiches climatologiques de Météo-France

Les précipitations moyennes interannuelles à partir de la moyenne des pixels WorldClim sur les 7 bassins versant de l'étude sont :

Tableau 2 - Pa moyenne sur la superficie des 7 bassins versant d'après World Clim 2

Nom	Area (km2)	Pa moyenne (mm)	Ta moyenne (°C)
Preissaz	1.53	1663.5	1.2
Villards	1.18	1673.1	1.9
Saint-Pantaléon	0.88	1612.2	2.4
Eglise	1.84	1640.3	2.4
Eglise2	1.15	1544.9	2.8
Ravoire	0.96	1563.7	3.2
Moulins	1.24	1531.1	3.8

Les précipitations moyennes interannuelles sur la surface des bassins versants étudiés (Pa) sont :

		Arcs 1800	Arcs 1600
Pa (BV)	Pluviométrie moyenne annuelle sur le bassin versant	1637 mm	1582 mm

2.2.2. Les records de précipitations maximales journalière

Les records de précipitations en 24 heures en Savoie sont accessibles aux stations du réseau Météo-France (fiches climatologiques avec statistiques 1981–2010 et records - accessible publique).

Le record absolu est localisé à la station de Bessan en haute Maurienne avec 202mm de précipitations en 24h le 24/11/2016 (retour d'Est - axe orageux qui balaie le sud-est). La carte ci-dessous montre que les records au niveau de la zone d'étude, massif interne de la Vanoise, sont bien plus faibles avec un record de 76mm/24h (le 14/02/1990) à la station PEISEY-NANCROIX et de 101.2 mm/24h (le 21/12/1991) à la station de BOURG ST MAURICE. Ces deux épisodes sont liés à de très fortes chutes neige dans les stations de ski et les vallées alpines et des inondations en plaine notamment en Isère et Savoie (dépressions centrales qui touchent toute la France).

Ces records montrent les faibles cumuls caractéristiques de cette région interne de la Tarentaise.

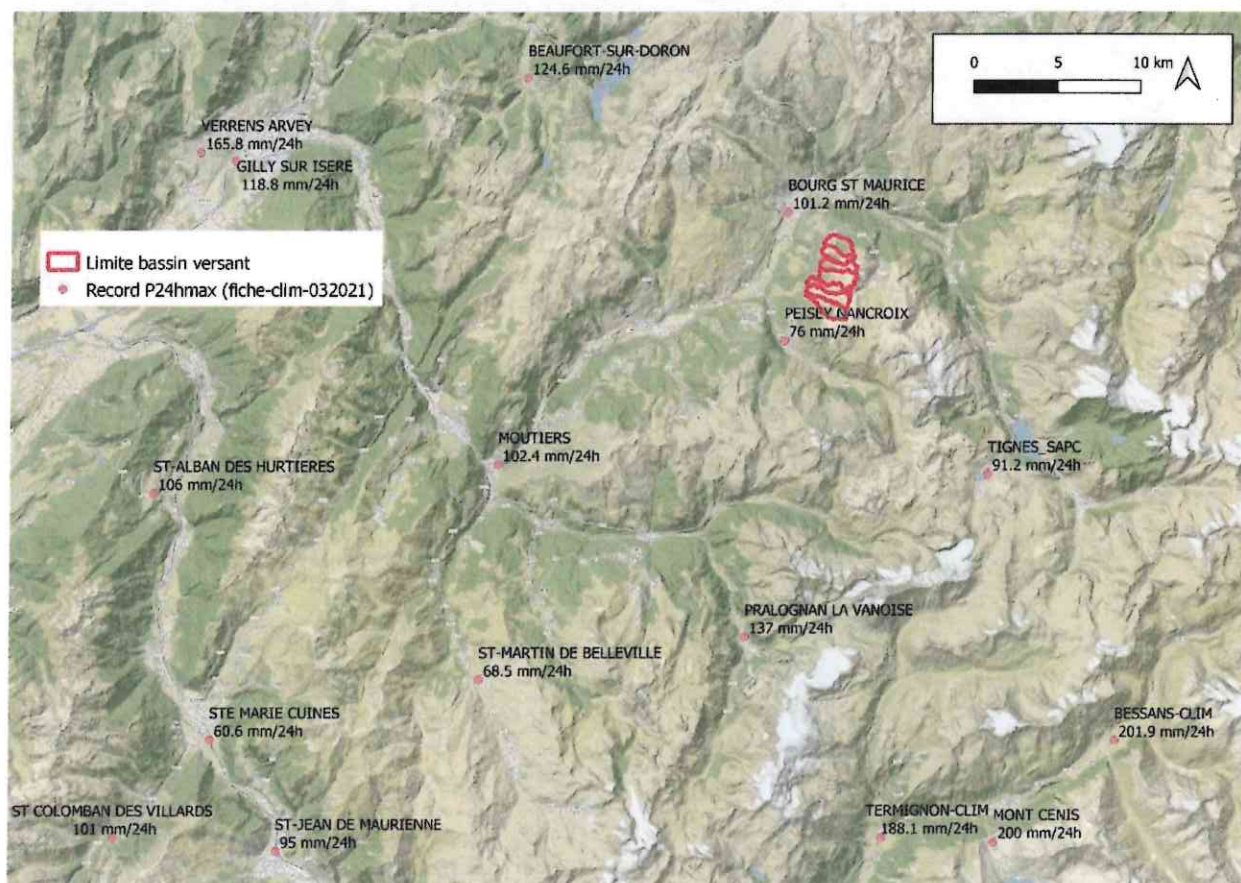


Figure 15 : Précipitation maximale selon les estimations des fiches climatologiques de Météo-France

2.2.3. Les précipitations journalières décennales et centennales

Les précipitations décennales et centennales pour la durée de 24h à la station de Peisey-Nancroix, Bourg-Saint-Maurice, Brides-les-bains, Pralognan la Vanoise et de Moutiers ont été acquises auprès de Météo France en 2021 par HYDRETTUES (cf. tableau ci-dessous avec intervalles de confiance à 70%). Elles ont été comparées aux données régionales de la carte de la précipitation journalière décennale de l'ensemble des Alpes issue des données MétéoFrance (cf. ci-dessous).

A noter que la variabilité Pj10 SHYREG ponctuelle pour le bassin versant du Ruisseau de la Preissaz (données issues du produit SHYREG-Débit de l'INRAE – IRSTEA, 2019) représentatif des bassins versants étudiés se situe entre : 69.4 et 83.3 mm pour un relief entre 895 – 2520 m ; soit un gradient moyen de 0.9mm/100m.

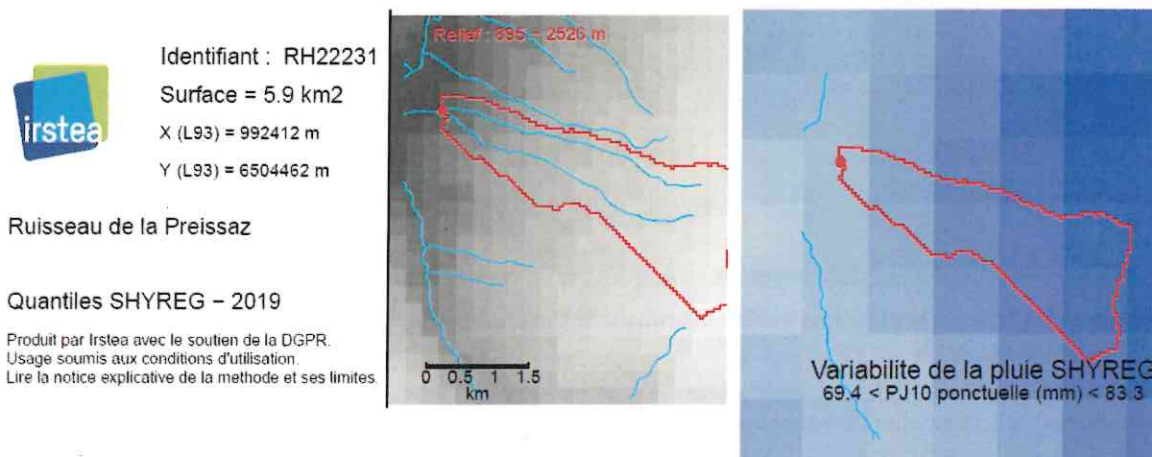


Figure 16 : Carte des pixels de la pluie SHYREG (IRSTEA, 2019).

L'éventuelle nécessité de retenir un gradient pluviométrique fonction de l'altitude à partir de la station de Bourg-St-Maurice ne s'avère pas justifiable ; il n'y a pas de gradient évident entre l'altitude et les précipitations journalières pour les stations météorologiques sur le secteur étudié (cf. tableau et figure dans l'encadré ci-dessous).

Faut-il prendre un gradient pluviométrique sur les quantiles de pluie journalières de la zone d'étude à partir de la station de Bourg Saint-Maurice ?

L'impact du relief et de l'altitude sur la saisonnalité et les cumuls de pluie étant souvent constaté lors de nombreux événements de crue, la question se pose sur le territoire de l'étude pour les précipitations journalières décennales et centennales.

Dans un premier temps les quantiles de précipitations pour la durée de 24h à la station de BOURG ST MAURICE, située à 865 m d'altitude dans la vallée, peuvent être comparés aux quantiles estimés sur la carte des quantiles de pluies journalières décennales issue de Météo France (travaux à l'échelle du Sud-est de la France de Cipriani, 2010).

L'extrait ci-dessous met en évidence le comportement des grandes zones climatiques Alpes du nord françaises, avec des pluies journalières décennales relativement faibles (50-71 mm/j) sur les massifs de la Vanoise, de la Maurienne et du Briançonnais, protégés des flux d'ouest.

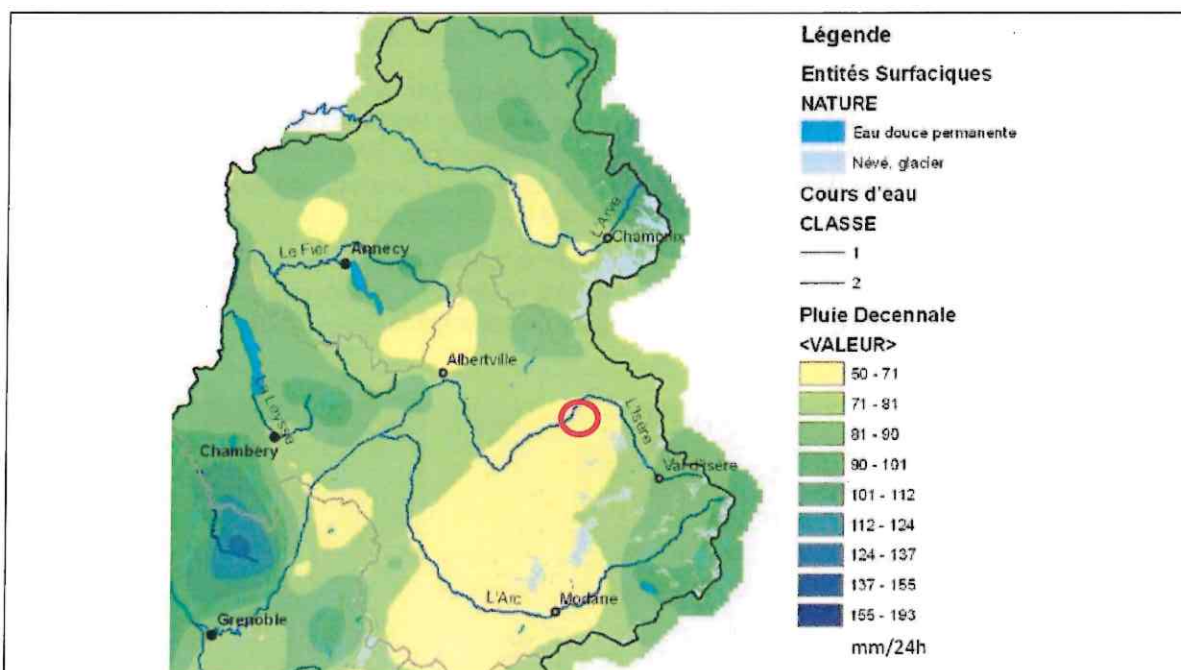


Figure 17. Carte de la pluie journalière décennale de l'ensemble des Alpes issue des données Météo France (Cipriani et al., 2012)

Les cartographies des pluies extrêmes journalières proposées par Djerboua (2001) sur les Alpes franco-italiennes confirment ces observations sur les pluies décennales et centennales de 24 heures. Le Gradex des pluies 10 - 100 ans (pour 24h) est par ailleurs de 15 sur la zone d'étude.

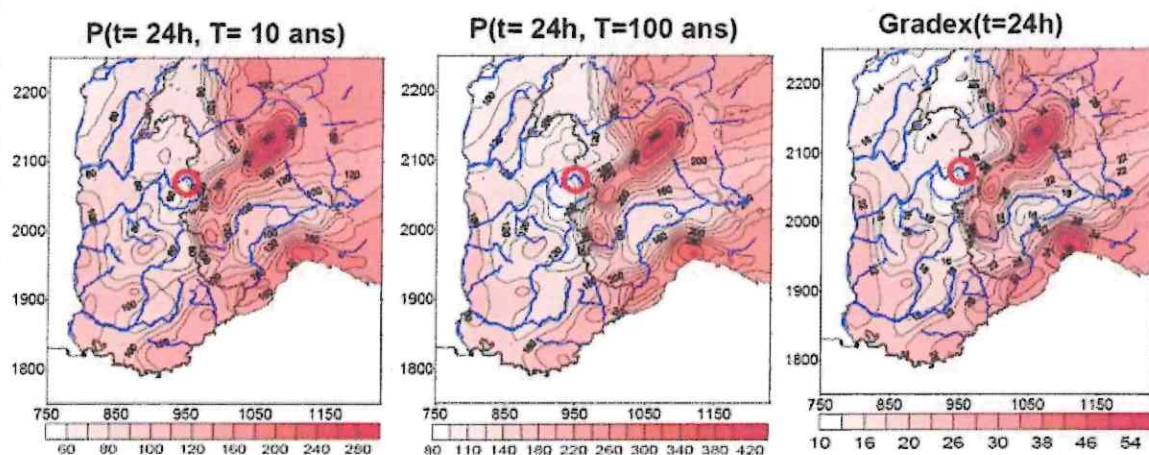


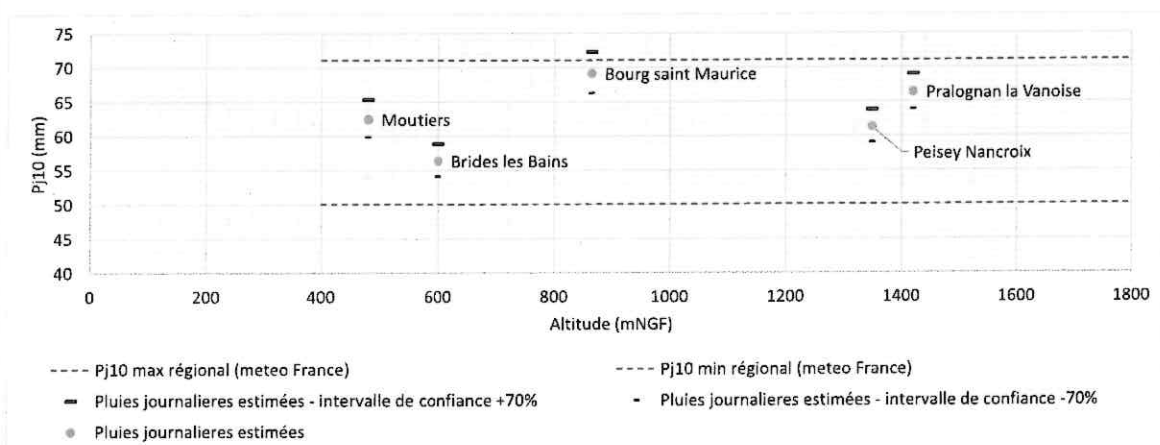
Figure 18. Cartes du krigeage direct des pluies décennales et centennales de 24 heures et Gradex 24h (Djerboua, 2001)

L'évolution des quantiles de précipitations 24h de temps de retour 10 ans et 100 ans en fonction de l'altitude pour les stations pluviométriques autour de la zone d'étude (tableau et figure ci-dessous) ne montre pas de gradient altimétrique évident. Le Gradex des pluies 10 - 100 ans (pour 24h) est en revanche relativement variable d'une station à une autre (entre 7.9 et 13.4) mais également sans relation avec l'altitude.

Tableau 3 - Quantiles des précipitations journalières au niveau des pluviomètres les plus proches du territoire de l'étude (données issues de METEO FRANCE)

	Ic -70%	Pj estimé	Ic +70%	Gradex (10 à 100 ans) :

Station	Altitude	PJ10	PJ100	PJ10	PJ100	PJ10	PJ100	Ic - 70%	Pj estimé	Ic +70%
	mNGF	mm	mm	mm	mm	mm	mm	-	-	-
Pralognan la Vanoise	1420	63.9	81.2	66.4	86	69	91	7.4	8.3	9.4
Peisey Nancroix	1350	59.1	75.8	61.3	79.8	63.8	84.5	7.1	7.9	8.8
Bourg saint Maurice	865	66.3	95.5	69.1	101.3	72.3	109.7	12.4	13.7	15.9
Brides les Bains	600	54.1	78.3	56.4	82.8	58.9	89	10.3	11.2	12.8
Moutiers	480	59.9	88.6	62.5	93.9	65.4	101.6	12.2	13.4	15.4



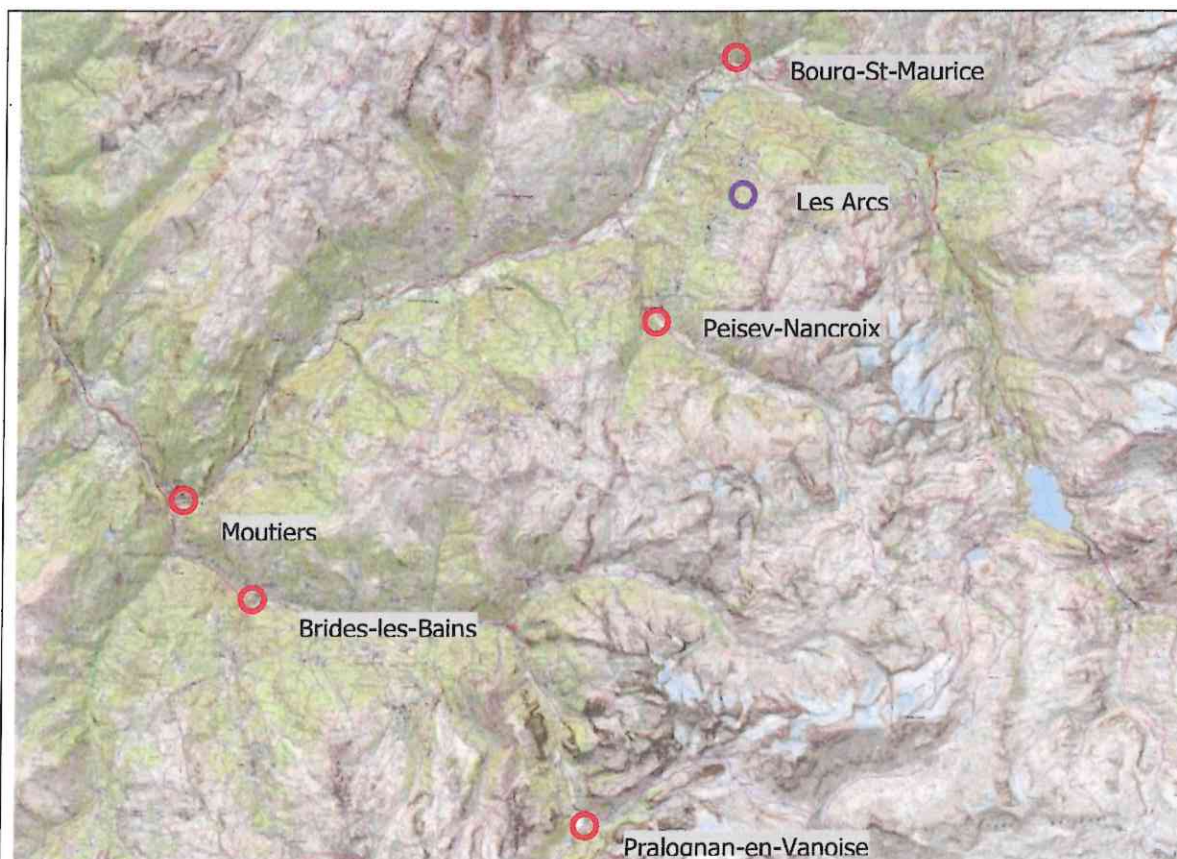


Figure 20 - Localisation des stations METEO France à proximité de la zone d'étude

Des estimations de pluies extrêmes journalières ont également été réalisées par DJERBOUA en 2001. L'absence de gradient altimétrique pour P24h est retrouvée sur les données de précipitations extrêmes journalières ponctuelles au niveau des pluviomètres les plus proches du territoire de l'étude (tableau ci-dessous).

Tableau 4. Quantiles des précipitations journalières au niveau des pluviomètres les plus proches du territoire de l'étude (données issues de Djerboua, 2001)

DJERBOUA	Altitude	Gumbel P10 (mm en 24h)			Gumbel P100 (mm en 24h)			TCEV (mm en 24h)	
		inf	moy	sup	inf	moy	sup	P10	P100
Ste-Foy-Tarentaise	1230	55	60	66	80	88	100	78	112
Versoye-les-Granges	1330	64	71	81	91	104	123	96	137
La Léchère	1345	57	63	72	81	92	108	80	114
Peisey-Nancroix	1350	51	56	63	72	81	96	70	100
Tignes	1560	59	64	72	85	95	110	82	118

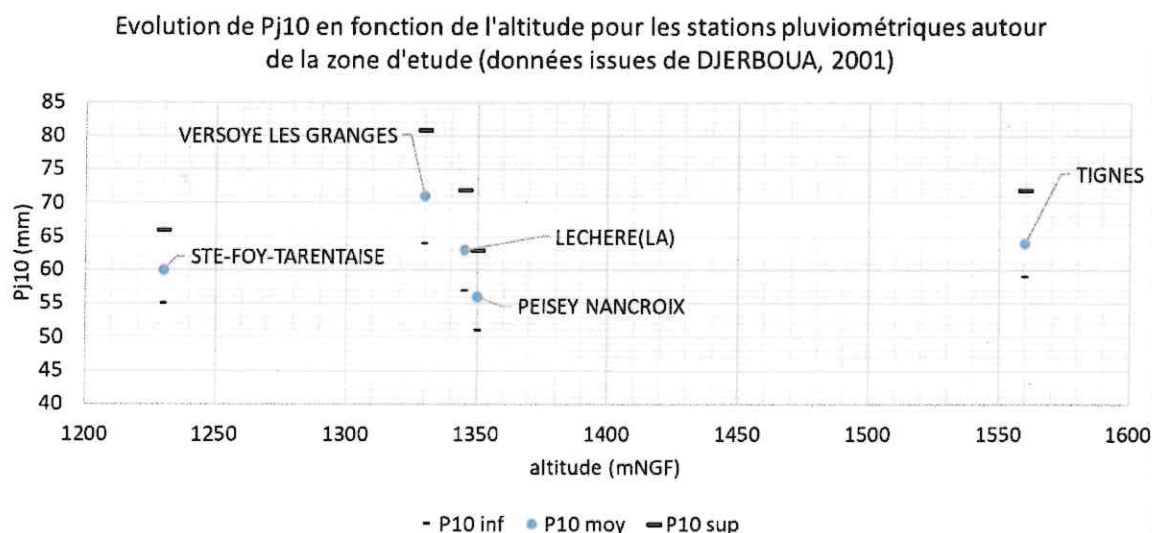


Figure 21 - Evolution des quantiles de précipitations 24h en fonction de l'altitude pour les stations pluviométriques autour de la zone d'étude - Période de retour de 10 ans (données issues de DJERBOUA, 2001)

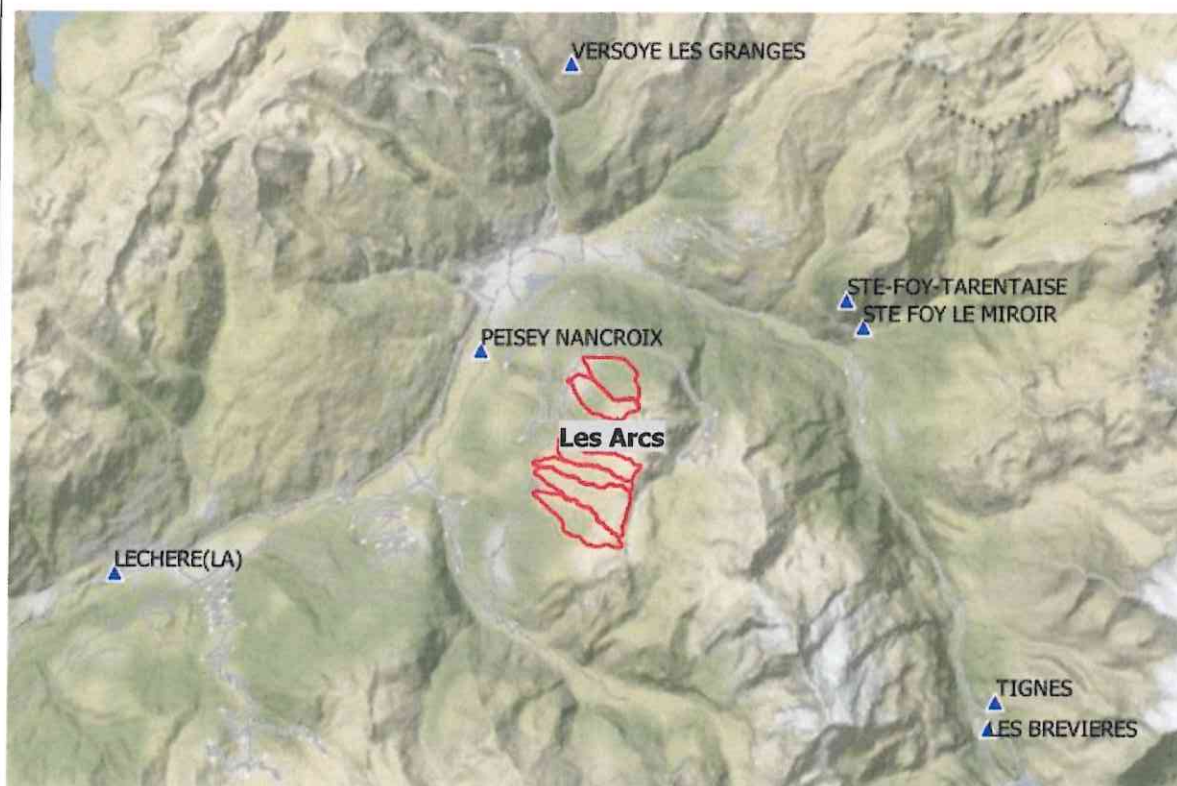


Figure 22 - Localisation des stations DJERBOUA à proximité de la zone d'étude

L'altitude n'est pas le seul paramètre explicatif des variabilités précipitations journalières. La situation au sein du massif des stations les amène à être plus ou moins exposées aux flux principaux.

A retenir :

La station METEO FRANCE la plus proche et robuste de Bourg-St-Maurice (longue série de données) est retenue comme représentative des précipitations sur le secteur d'étude. Elle se situe dans une zone de faible pluviométrie typique de la vallée de la tarentaise. Elle offre cependant les quantiles de précipitations et le gradex P10-P100 pour la durée de 24h les plus importants des stations météorologiques du secteur et donc les plus sécuritaires.

Les quantiles supérieurs sont adoptés pour prendre en compte les incertitudes liées à la neige. C'est aussi ceux qui correspondent le plus aux estimations Pj10 ponctuelles SHYREG-Pluic pour le ruisseau de la Preissaz (entre 69.4 et 83.3 mm pour un relief entre 895 – 2520 m). Le gradex des précipitations P10-P100 de 16 obtenu est donc maximisant. Aucun abattement spatial n'est utilisé.

Les estimations suivantes sont retenues pour les 7 bassins versant étudiés :

Pj10 (BV)	Hauteur décennale de précipitations journalières sur le bassin versant.	72	mm
Pj100 (BV)	Hauteur centennale de précipitations journalières sur le bassin versant.	110	mm
Gradex 24h	Gradex des Précipitations P10-P100	16	-

2.2.4. Les précipitations maximales infra-journalières

Les données infra-journalières, issues de postes pluviographiques, sont peu nombreuses. Les 2 pluviographes les plus proches de la zone d'étude et à des altitudes supérieures à 1200 sont les postes de Belleville Hauteluce (1215 m d'altitude) et Roselend Beaufort (1580 m d'altitude), situés hors des bassins versants étudiés et surtout plus au nord-ouest dans une zone d'avantage soumise aux flux d'Ouest. La comparaison avec les estimations réalisées par Djerboua (2001) sur ces 2 pluviographes montrent que les quantiles à pas de temps infra-journalier à BOURG ST MAURICE se situent entre ceux estimés avec la méthode TCEV. A noter que les données sur Bourg St Maurice en 2001 sont faibles par rapport aux estimations actuelles. Cela est a priori lié à la méthode utilisée par Météo France depuis 2018 qui utilisent les données de postes proches.

Tableau 5. Quantiles des précipitations au niveau des pluviographes les plus proches du territoire de l'étude (données issues de Djerboua, 2001)

DJERBOUA	Altitude	TCEV (mm en 1h)		TCEV (mm en 2h)		TCEV (mm en 3h)		TCEV (mm en 6h)		TCEV (mm en 12h)	
		P10	P100	P10	P100	P10	P100	P10	P100	P10	P100
	(mNGF)										
Bonneval Tralenta	1830	14	24	18	30	23	37	37	51	53	75
Roselend Beaufort	1580	20	34	24	40	27	42	34	47	50	70
Belleville Hauteluce	1215	27	46	33	55	38	59	48	66	68	95
Bourg St Maurice	895	16	27	21	35	25	39	34	48	50	70
Vignotan	600	17	28	20	34	24	37	31	43	42	58

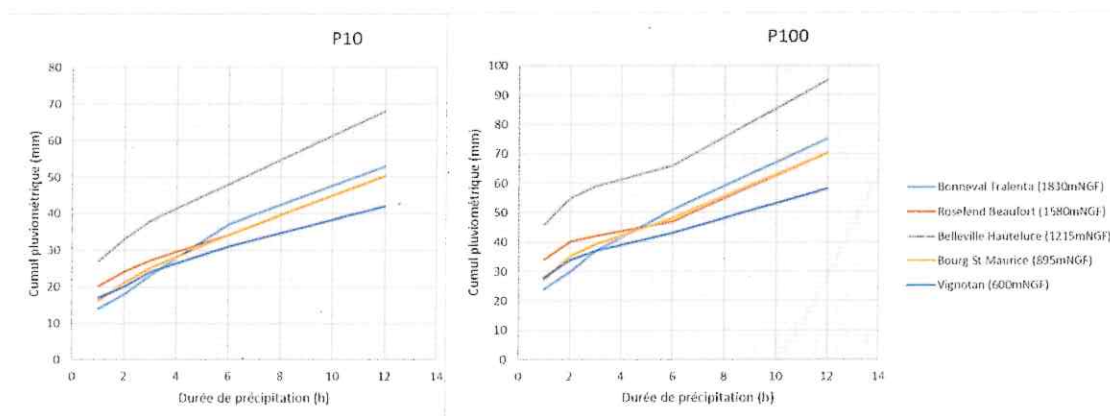


Figure 23. Comparaison des quantiles de pluie infra journaliers

Gradient pluviométrique sur les quantiles de pluie infra journaliers de la zone d'étude ?

Il serait hasardeux de choisir un gradient de précipitation à partir des données disponibles et de la seule altitude. Il est possible de retenir, d'après les travaux menés sur le réseau TPG⁶, que plus le pas de temps de la pluie diminue et plus le relief semble jouer un rôle faible dans l'estimation des quantiles. Cela justifie en partie qu'il est possible d'appliquer aux versants et sommets les quantiles observés en vallées, et ce d'autant plus que les pas de temps sont faibles (pluie de quelques heures).

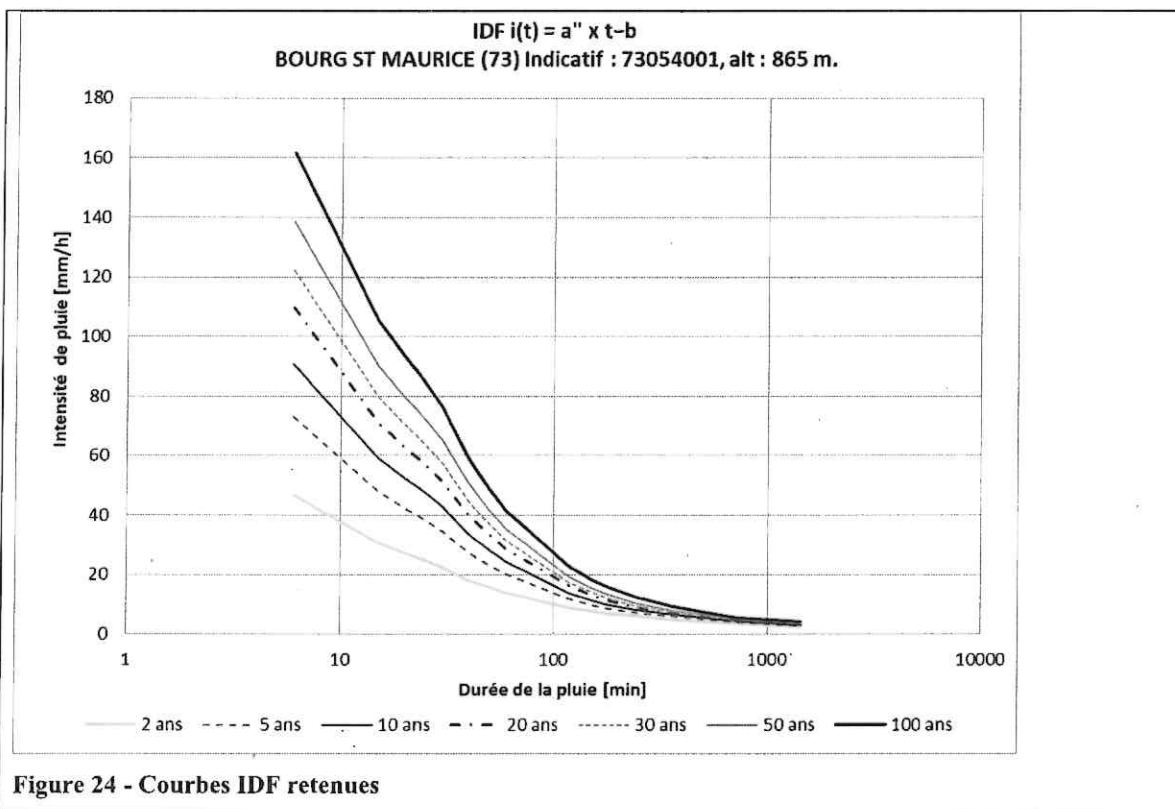
A retenir :

Les données à pas de temps infra-journalier (≤ 12 h) à la station de BOURG ST MAURICE sont issues des coefficients de Montana acquis par HYDRETUDES en 2020 (Météo France). HYDRETUDES propose de construire des courbes IDF représentatives des pluies de la zone d'étude à partir :

- du seul jeu de données issu de la station de BOURG ST MAURICE et basé sur la méthode GEV Locale-Régionale (les maxima annuels de 6 autres stations situées sur un rayon de 49.7 km sont utilisés).
- De deux points pivot à : 30 min et 3h.

Remarque : Un ajustement n'est valable que pour la plage de durées de pluie pour laquelle il a été construit. L'utiliser en dehors de cette plage peut conduire à surestimer ou sous-estimer de façon très importante des intensités.

⁶ TPG (Transect de Pluviographes pour l'analyse et la modélisation des Gradients hypsométriques) – durée du projet entre 1987-1992 -Etude des séries de 23 pluviographes placés le long d'une ligne quasiment droite entre le Lyonnais et le Grésivaudan sur une distance d'environ 60 km.



3. CONSTRUCTION DES PLUIES DE PROJET A COMPLETER

3.1. CONSTRUCTION

Plusieurs méthodes de construction de la pluie de projet sont envisageables.

Le tableau suivant, issu d'un guide du CEREMA, présente les pluies de projet couramment utilisées, à savoir pluie rectangle (ou bloc), pluie triangle et pluie double triangle.

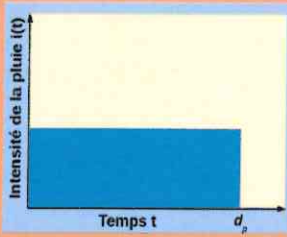
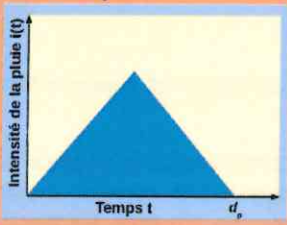
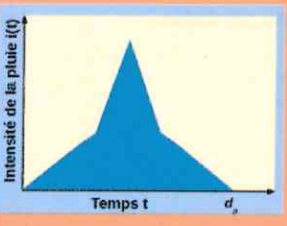
Profil de pluie de projet	Paramètres de caractérisation	Domaine et conditions d'emploi
Pluie « rectangle », continue 	Forme rectangulaire du hyétogramme, totalement déterminée par : — la durée DT de la pluie de projet, et ; — l'intensité i de la pluie de projet, constante sur la durée DT ($i = HT/DT$) ou : — la hauteur totale de précipitation HT sur la durée DP ($HT = i * DT$).	1. Calcul d'un débit d'eaux pluviales généré par une pluie continue, d'intensité constante i sur la durée DT (profil utilisé implicitement par la méthode rationnelle) ; pour le calcul d'un débit de pointe d'eaux pluviales, DT prise égale au temps de concentration. 2. Calcul d'un volume d'eaux pluviales pour le dimensionnement d'un ouvrage de stockage : plusieurs durées de pluie sont testées. 3. Vérification du fonctionnement d'un ouvrage de stockage : simulation des conditions de remplissage et de vidange, etc.
Pluie « triangle » 	Forme triangulaire du hyétogramme, totalement déterminée par : — la durée DT de la pluie de projet, — l'instant de son intensité maximale, — la hauteur totale de précipitation HT précipitée sur la durée DT.	1. Calcul d'un débit d'eaux pluviales maximal et d'un hydrogramme ; pour le calcul d'un débit de pointe d'eaux pluviales, DT prise égale au temps de concentration. 2. Calcul d'un volume pour le dimensionnement d'un ouvrage de stockage : plusieurs durées de pluie testées pour rechercher la durée de pluie dimensionnante. 3. Vérification du fonctionnement d'ouvrage de stockage : conditions de remplissage et de vidange, etc.
Pluie double triangle 	Forme double triangle du hyétogramme, totalement déterminée par : — la durée DT de la pluie de projet, — la position de la période intense de la pluie, — la durée de la période intense DM, — la hauteur totale précipitée HT sur la durée totale, — la hauteur précipitée HM au cours de la durée intense.	1. Calcul d'un débit d'eaux pluviales maximal et d'un hydrogramme (la durée de la période intense est alors prise égale au temps de concentration, la durée totale de la pluie, de l'ordre de 4 fois la durée intense par exemple). 2. Vérification d'un volume d'eaux pluviales pour le dimensionnement d'un ouvrage de stockage : plusieurs durées de pluie testées (volume d'autant peu sensible à la forme du hyétogramme que le débit de vidange est faible). 3. Vérification du fonctionnement d'un réseau de collecte ou d'un ouvrage de stockage.

Figure 25 – Présentation des différents types de pluies de projet (CEREMA, Guide des conditions pluviométriques locales, fiche n°3, 12/2014)

Dans le cas du présent SDEP, la pluie bloc (ou rectangle) est retenue dans un premier temps. Il s'agit d'une pluie longue. La durée retenue est 24h.

La pluie de projet retenue pour la modélisation du réseau pluvial sera de type double triangle : elle représente à la fois le remplissage progressif du réseau via la « pluie de durée longue » ; et l'intensité d'une forte pluie via la « pluie courte et intense ». Il s'agit d'un schéma pluvial traditionnellement utilisé en hydrologie urbaine.

La durée de la pluie intense correspondra au temps de concentration du bassin versant. Ainsi la goutte d'eau la plus éloignée du bassin versant aura rejoint l'exutoire au pic de crue.

Le temps de concentration du bassin versant urbain sera déterminé de manière empirique à partir du modèle hydraulique du réseau.

Après construction du modèle (non aboutie au moment de la rédaction de la présente note), la pluie bloc 24h sera injectée dans le modèle hydraulique. Elle permettra de définir le temps de concentration du BV urbain.

Le schéma suivant explique le principe :

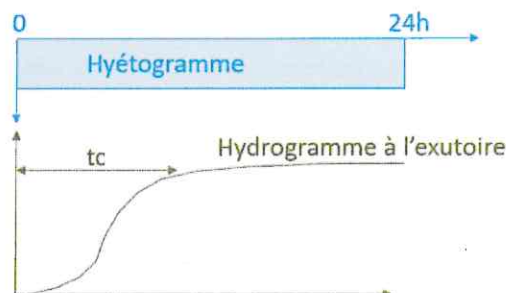


Figure 26 - Schéma de principe simplifié de détermination du temps de concentration t_c à partir du modèle hydraulique

Dans le cas des stations des Arcs 1600 et 1800, plusieurs exutoires sont présents et représentent différentes branches du réseau pluvial.

Afin de représenter le cas le plus défavorable, la durée de la pluie intense correspondra au temps de concentration de la plus longue branche du réseau pluvial. Ainsi chaque sous bassin versant urbain aura assez de temps pour contribuer pleinement au remplissage du réseau. En d'autres termes la goutte d'eau la plus éloignée de tous les sous bassins versants aura rejoint l'exutoire au pic de crue, ainsi que toutes les autres gouttes d'eau tombées sur chacun des sous bassins versants.

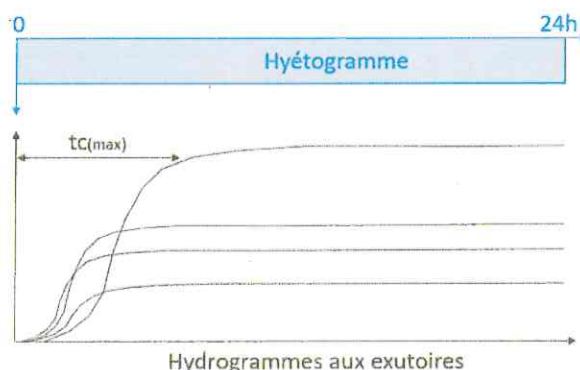


Figure 27 - Schéma de principe de détermination du temps de concentration maximum des sous bassins versants

A partir de ce temps de concentration max déterminé par le modèle hydraulique, la pluie de projet sera construite comme suit :

- Forme : type Desbordes « Double triangle » : une période de pluie intense avec montée et descente symétrique de l'intensité de pluie, comprise dans une période de pluie moins intense.
- Durée totale $\sim 4 * t_c$ (valeur communément utilisée pour les pluies de Desbordes)
- Durée de la période de pluie intense : t_c
- Pour chaque pluie de projet dite « de période de retour T », les intensités sont de période de retour T sur la durée totale et sur la durée de pluie intense (d'après les courbes IDF)
- Le pic de pluie intense arrive après $\sim 2 * t_c$

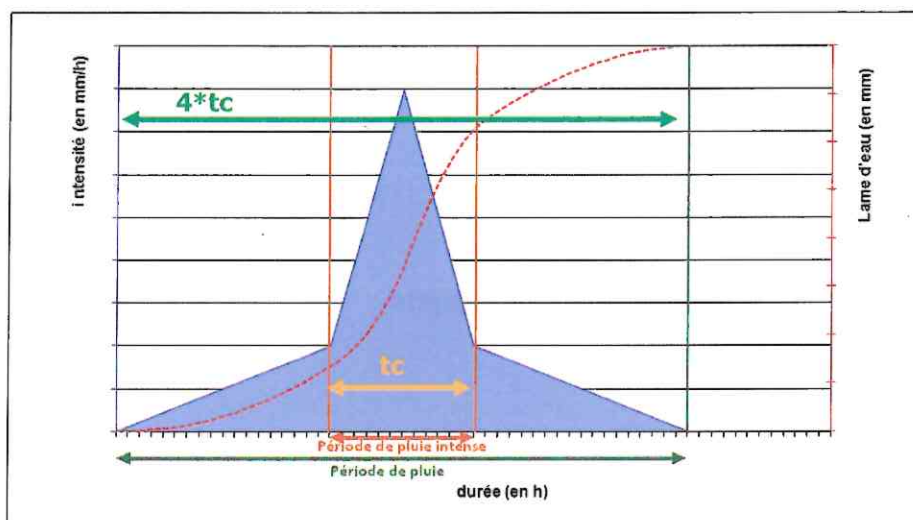


Figure 28 : Forme de la pluie de projet

Le modèle une fois construit et simulé avec une pluie journalière (Pj10) permettra de compléter le tableau suivant :

Tableau 6 : Caractéristiques des pluies de projet en fonction du temps de retour de l'événement pluvieux

Type de pluie	DESBORDES double triangle
TR (ans)	
Intensité maximale	
Durée de la pluie	
Lame d'eau totale	
Durée de la période intense	
Lame d'eau pendant la période intense (mm)	

A remplir après détermination de t_c par le modèle hydraulique

3.2. COMPARAISON AVEC DES PLUIES HISTORIQUES

Une fois ces résultats obtenus, la pluie de projet ainsi construite sera comparée aux pluies historiques (2000, 2008 par exemple). Des références à la note biblio seront faites.

4. DEFINITION DES BASSINS VERSANTS

4.1. THEORIE

4.1.1. Paramètres

La réponse d'un bassin versant à une pluie donnée dépend :

- De ses paramètres physiques :
 - surface,
 - pente,
 - forme,
- De l'occupation de son sol :
 - taux d'imperméabilisation,
 - végétation,
- De son sous-sol : capacité d'infiltration

Ces paramètres sont représentés dans le modèle hydraulique comme suit :

Paramètres physiques :

Sur chaque bassin versant sont mesurés :

- la surface S ,
- la longueur du plus long parcours hydraulique (du point le plus haut au point le plus bas) L ,
- l'altitude maximale (Z_{MAX}) et l'altitude minimale (Z_{MIN}).
- La pente moyenne p est donnée par :
$$p = \frac{Z_{MAX} - Z_{MIN}}{L}$$
- L'allongement est donné par le rapport entre la surface et la longueur, rapportée à ces paramètres mesurés sur un bassin circulaire. Plus ce rapport est faible, plus le bassin est compact et donc susceptible de répondre rapidement.

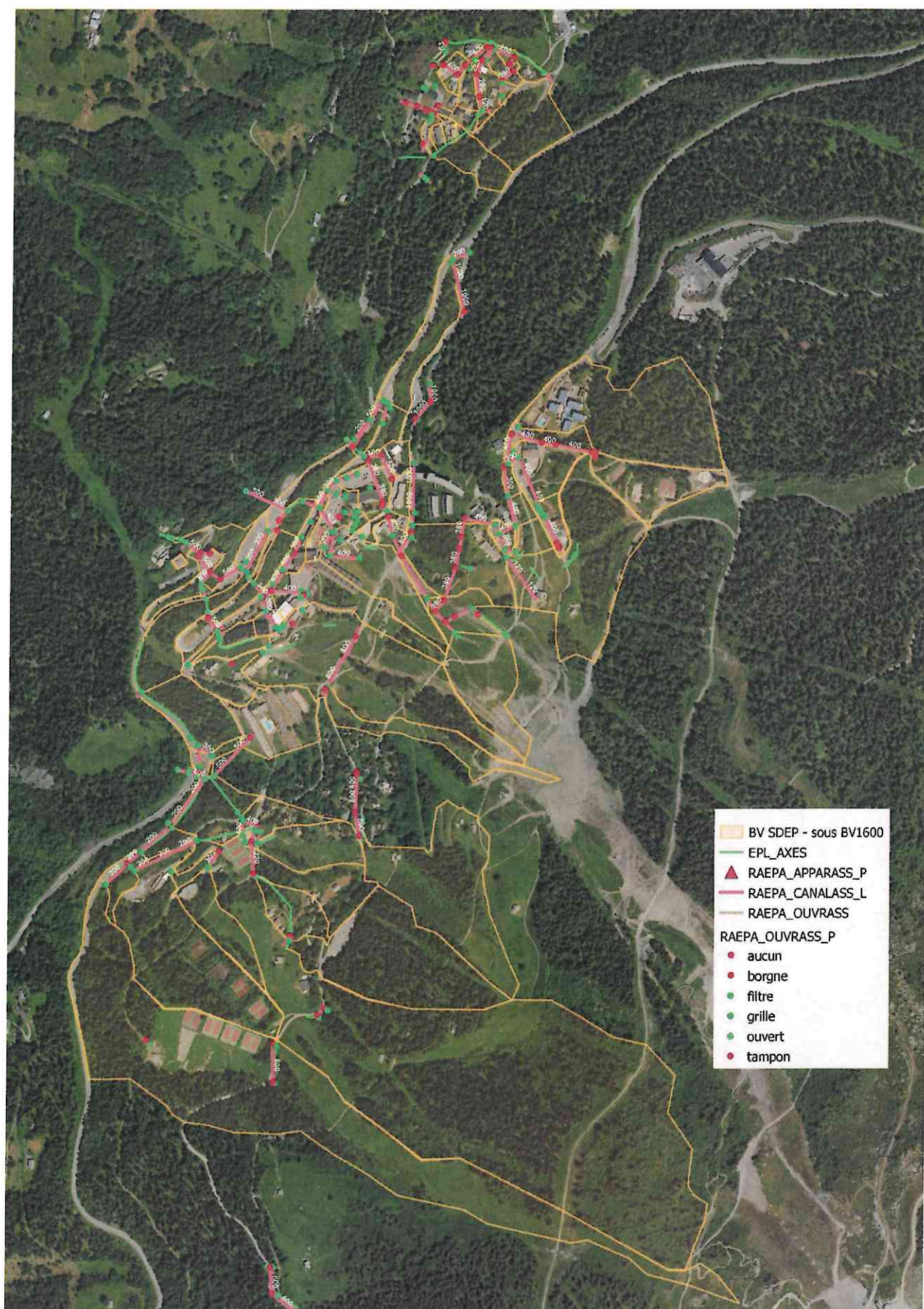
Imperméabilisation

Les photographies aériennes nous ont servi de support à la définition de l'imperméabilisation. Les surfaces imperméables comprennent :

- Les toitures
- Les routes, voies privées, chemins goudronnés,
- Les terrasses,
- Les parkings

4.1.2. Découpage des sous bassins versants





4.1.3. Occupation du sol des sous bassins versants

Plusieurs types d'occupations du sol ont été considérés :

- Eroulement / surface rocheuse (BV amont) ;
- Route / piste ;
- Piste de ski ;
- Prairie ;
- Forêt ;
- Golf ;
- Urbain.

La surface étudiée est subdivisée en différentes occupations du sol : forêt, urbain, prairie, roches affleurantes, pistes de ski, route, golf. Les sources utilisées pour la délimitation sont les suivantes :

- Pistes de ski : fichier shp fourni par le CCHT ;
- Routes : BD IGN licence ouverte (« tronçon de route »). Une zone tampon de 2 à 7m est appliqué afin d'obtenir une surface de route à partir du tracé sous forme de ligne.
- Forêts, prairies : BD IGN licence ouverte (« zone de végétation ») ;
- Golf, zones urbaines, secteurs de roches affleurantes : déduction à partir de l'orthophoto et des zones restantes.

La correspondance occupation du sol/coefficient de ruissèlement suivante est adoptée :

Tableau 7 - Coefficient de ruissèlement en fonction de l'occupation du sol

Occupation du sol	Coefficient de ruissèlement
Eroulement / surface rocheuse	0.7
Forêt	0.4
Golf	0.8
Piste de ski	0.8
Prairie	0.35
Route / piste	0.9
Urbain	0.7

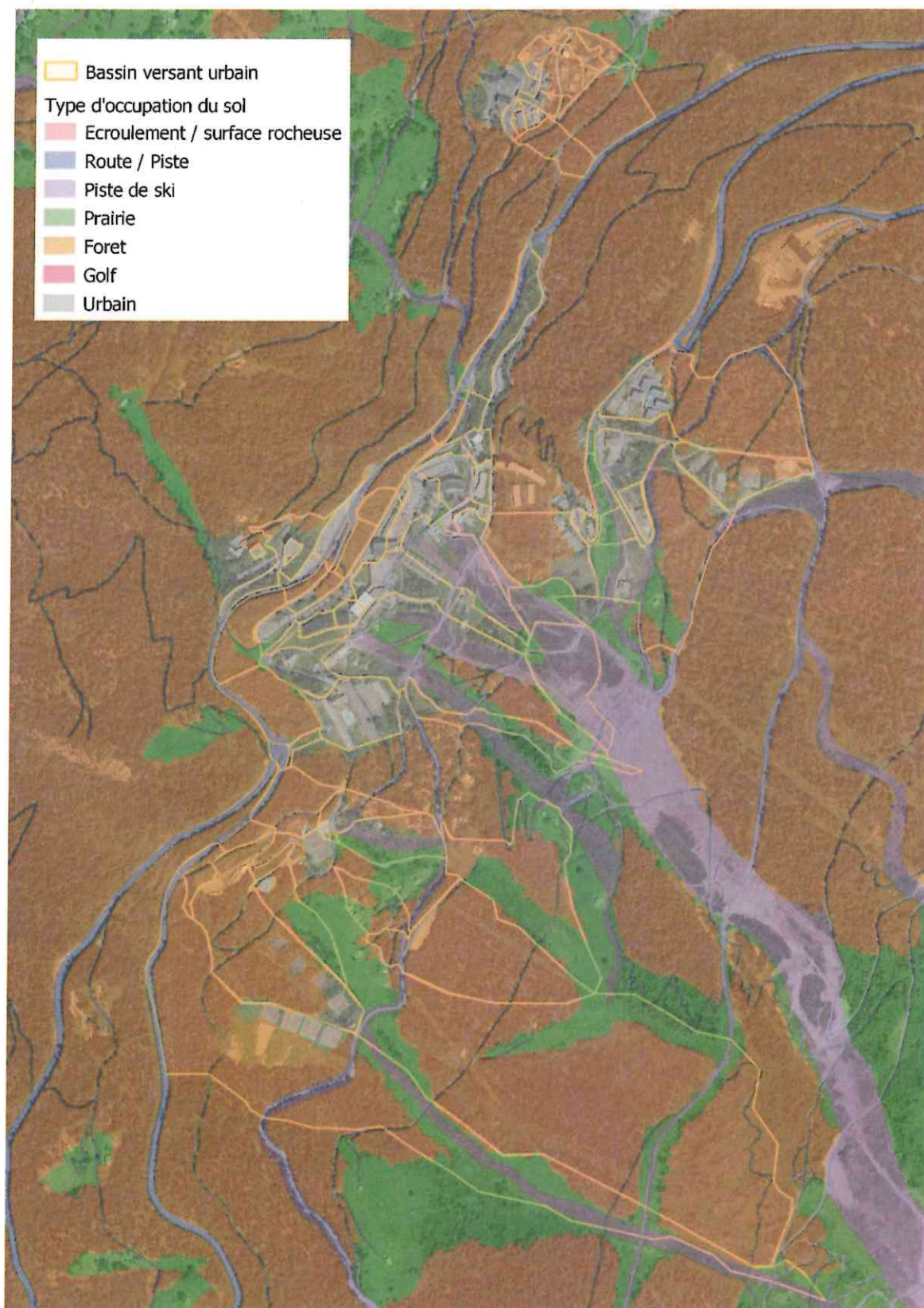


Figure 31 - Occupation du sol sur la zone urbaine - Arc 1600

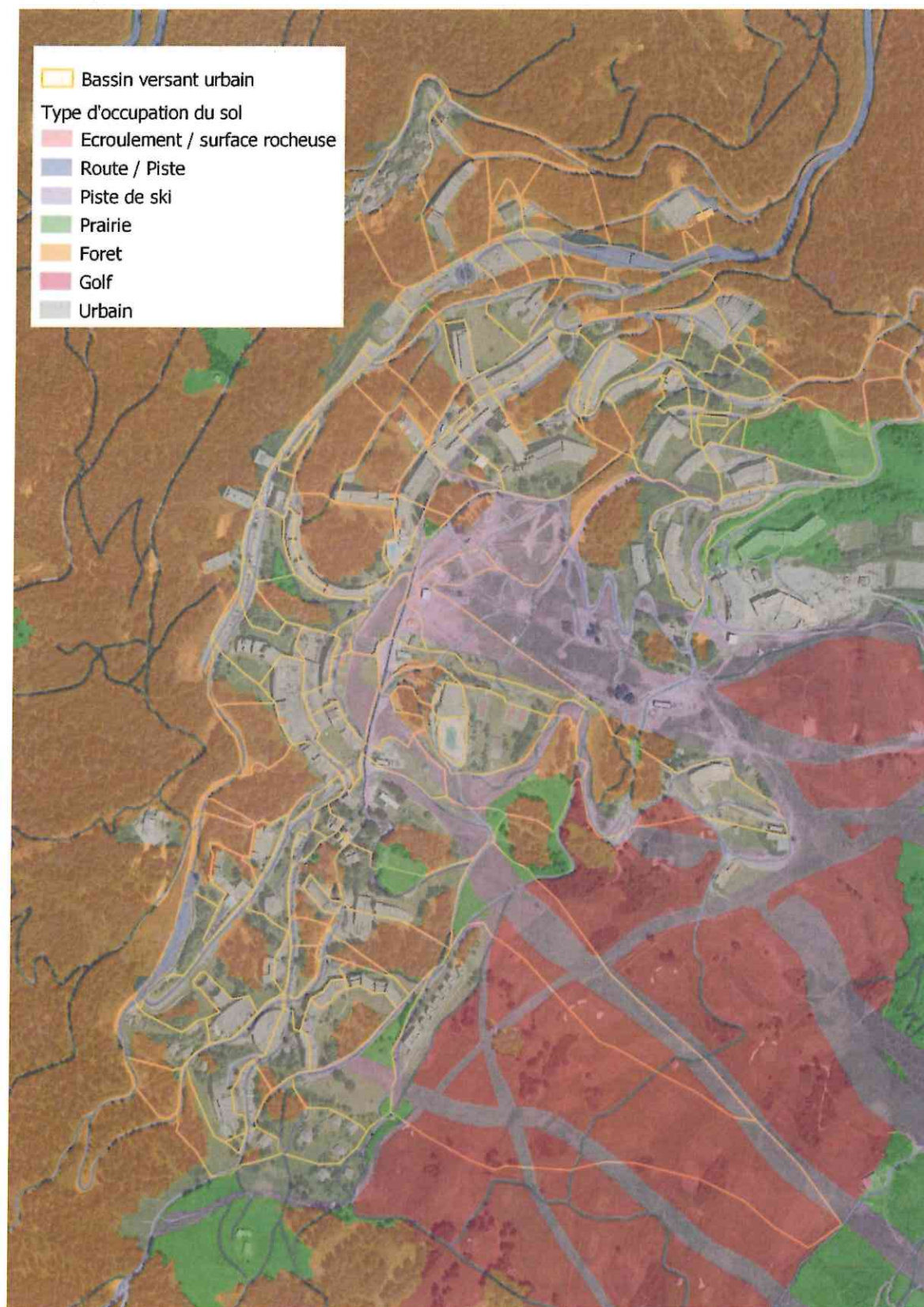


Figure 32 - Occupation du sol sur la zone urbaine - Arc 1800

- Les surfaces non urbanisées : essentiellement des champs et des forêts (Curve Number pris égal à 70 par défaut pour les champs et <70 pour les forêts) pour lesquels la transformation Pluie-débit est menée par la méthode SCS ;
- Les surfaces urbanisées pour lesquels la transformation Pluie-débit est menée par la méthode Desbordes : le taux d'imperméabilisation pour les zones urbanisées est calculé à partir de la photographie aérienne en recensant toutes les surfaces imperméabilisées (bâtis, parking, chemin, route, terrasses, etc...)

A ces surfaces imperméabilisées, sont appliqués un coefficient de ruissellement actif de **C=1** et **C=0.15** pour les surfaces restantes (champs, forêts, jardins, etc.)

Pour la génération des écoulements sur les bassins versants élémentaires, on distingue les bassins versants à dominante urbaine (imperméabilisation > 20%) des bassins versants à dominante rurale (imperméabilisation < 20%) :

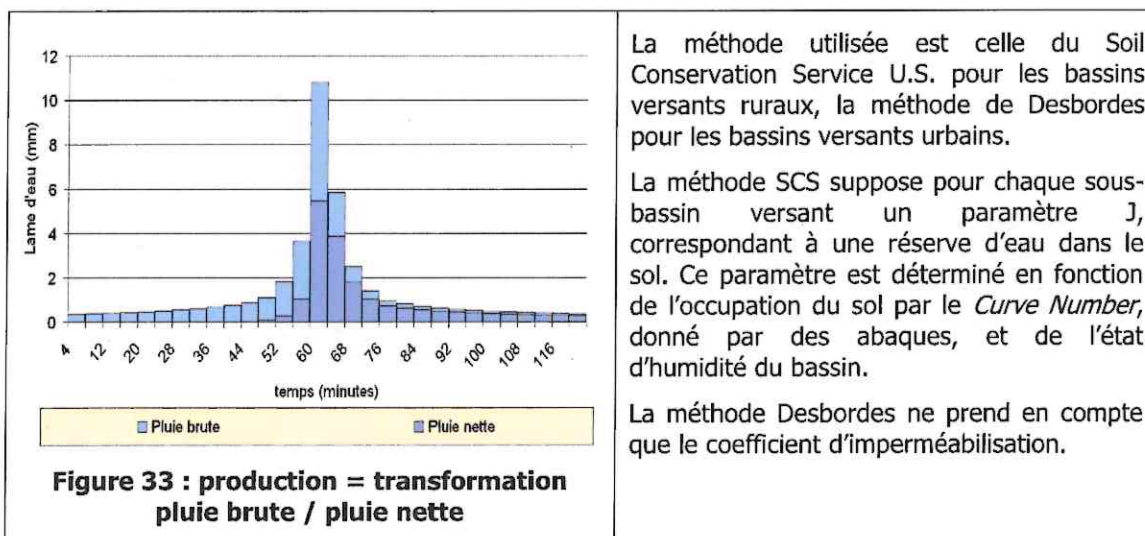
- dans les bassins versants « Urbains », les zones imperméables produisent la quasi-totalité des écoulements (on considère que très peu de surfaces perméables dans ces zones sont connectées au réseau d'écoulement) ;
- dans les bassins versants « ruraux » les écoulements sont produits par saturation des sols et ruissellement sur les surfaces saturées.

4.2. MODELISATION HYDROLOGIQUE

La modélisation hydrologique se fait en trois phases distinctes :

1. Production : c'est l'estimation pour chaque sous-bassin versant, de la pluie nette (pluie destinée à l'écoulement rapide) à partir de la pluie brute (précipitations)
2. Transfert : c'est l'estimation des débits à la sortie de chaque sous-bassin versant à partir de la pluie brute
3. Propagation : c'est l'estimation des débits en chaque point du réseau hydrographique à partir des résultats du transfert.

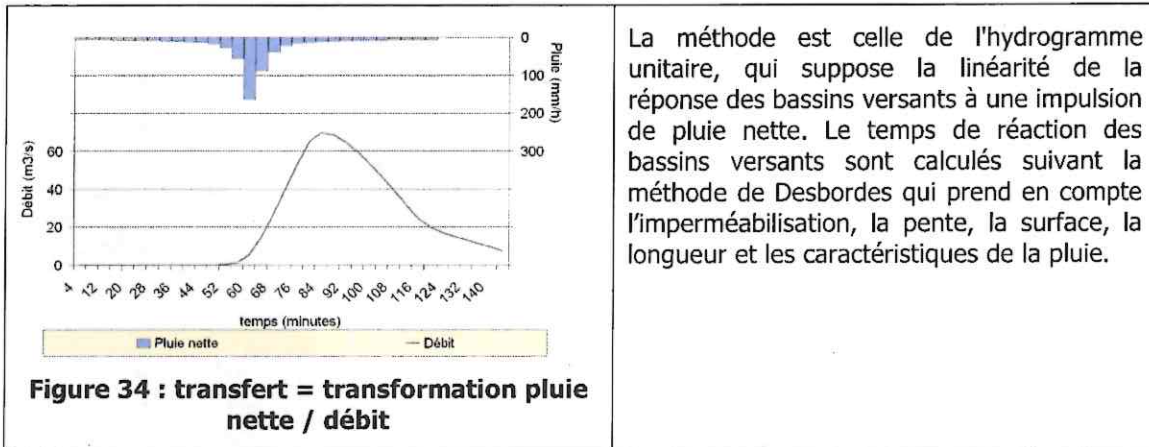
Les deux premières phases relèvent de l'hydrologie et sont décrites ci-dessous, la dernière relève de l'hydraulique et est décrite dans le chapitre suivant.



La méthode utilisée est celle du Soil Conservation Service U.S. pour les bassins versants ruraux, la méthode de Desbordes pour les bassins versants urbains.

La méthode SCS suppose pour chaque sous-bassin versant un paramètre J , correspondant à une réserve d'eau dans le sol. Ce paramètre est déterminé en fonction de l'occupation du sol par le *Curve Number*, donné par des abaques, et de l'état d'humidité du bassin.

La méthode Desbordes ne prend en compte que le coefficient d'imperméabilisation.



NOS DOMAINES D'ACTIVITÉS

UNE EXPERTISE DE L'EAU COMPLETE ET UN ACCOMPAGNEMENT SUR MESURE

Rivières, lacs et torrents

Prévention, prévision, protection, gestion du risque inondation,
Expertise post crue, gestion de crise.
Gestion sédimentaire.
Réalisation d'ouvrages de protection des biens et des personnes
(Barrages, digues, ouvrages de franchissement).

Environnement et écologie

Renaturation & valorisation des cours d'eau et milieux associés.
Développement durable.
Protection des milieux.
Continuité écologique.

Réseaux

Production, stockage & distribution d'eau potable.
Assainissement & épuration des eaux usées.
Gestion des eaux pluviales.
Conception et gestion des aménagements
D'irrigation et d'enneigement.

Topographie

Topographie de rivières, de réseaux.
Récolement.

Contact :
contact@hydretudes.com
www.hydretudes.com



Flashez et visitez notre site

Saint-Pierre
de la Réunion

