

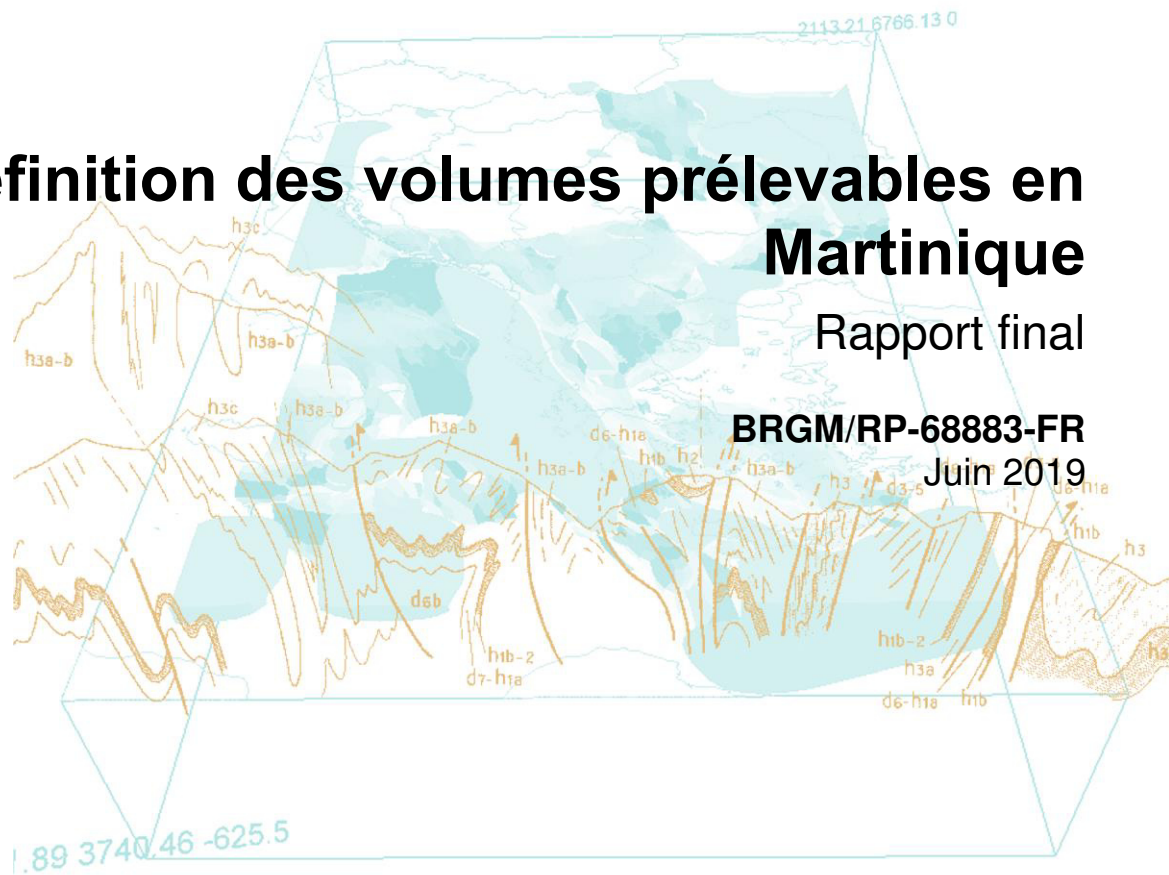


Définition des volumes prélevables en Martinique

Rapport final

BRGM/RP-68883-FR

Juin 2019



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Définition des volumes prélevables en Martinique

Rapport final

BRGM/RP-68883-FR

Juin 2019

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2018-2019

A.-L. Taïlamé et S. Lanini

Vérificateur :

Nom :

Fonction :

Date :

Signature :

Approbateur :

Nom : B. Vittecoq

Fonction : Directeur régional

Date :

Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots-clés : Ressource, volumes prélevables, eau souterraine, eau de surface, prélèvements, AEP, irrigation, débit minimum.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Taïlamé, A.L., S. Lanini, S. (2019) – Définition des volumes prélevables en Martinique. Rapport final. BRGM/RP-68883-FR, 45 p., 29 ill., 3 ann..

© BRGM, 2019, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Sommaire

1. Introduction	9
2. Modélisation des débits des cours d'eau et des niveaux piézométriques des aquifères	11
2.1. METHODOLOGIE.....	11
2.1.1. Découpage de la Martinique en unités de gestion.....	11
2.1.2. Principe de la modélisation hydrologique et hydrogéologique	14
2.2. DONNEES D'ENTREE DU MODELE	17
2.2.1. Pluviométrie	17
2.2.2. ETP	18
2.2.3. Réserve Utile du Sol	19
2.2.4. Données de prélèvements	20
2.3. CALAGE DU MODELE	22
2.4. RESULTATS DES SIMULATIONS.....	25
2.4.1. Simulations des débits et de la piézométrie	25
2.4.2. Bilan hydrologique par unité.....	28
3. Résultats hydrologiques et hydrogéologiques	31
3.1. FORMAT DE REPRESENTATION DES RESULTATS	31
3.1.1. Format de représentation des bilans annuels.....	31
3.1.2. Format de représentation des Bilan mensuel et des caractéristiques par unités de gestion	32
3.1.3. Etat naturel	32
3.1.4. Simulation des unités de gestion soumise à des prélèvements AEP	34
3.2. CYCLE DE L'EAU REGIONAL.....	35
3.3. RESULTATS PAR UNITES DE GESTION.....	35
3.3.1. Emprise géographique du bassin versant de la Lézarde	35
3.3.2. Bilan annuel par unités de gestion	36
3.3.3. Bilan mensuel par unité de gestion	38
3.3.4. Volumes prélevables « eau superficielle »	40
4. Conclusion.....	43
5. Bibliographie	45

Liste des illustrations

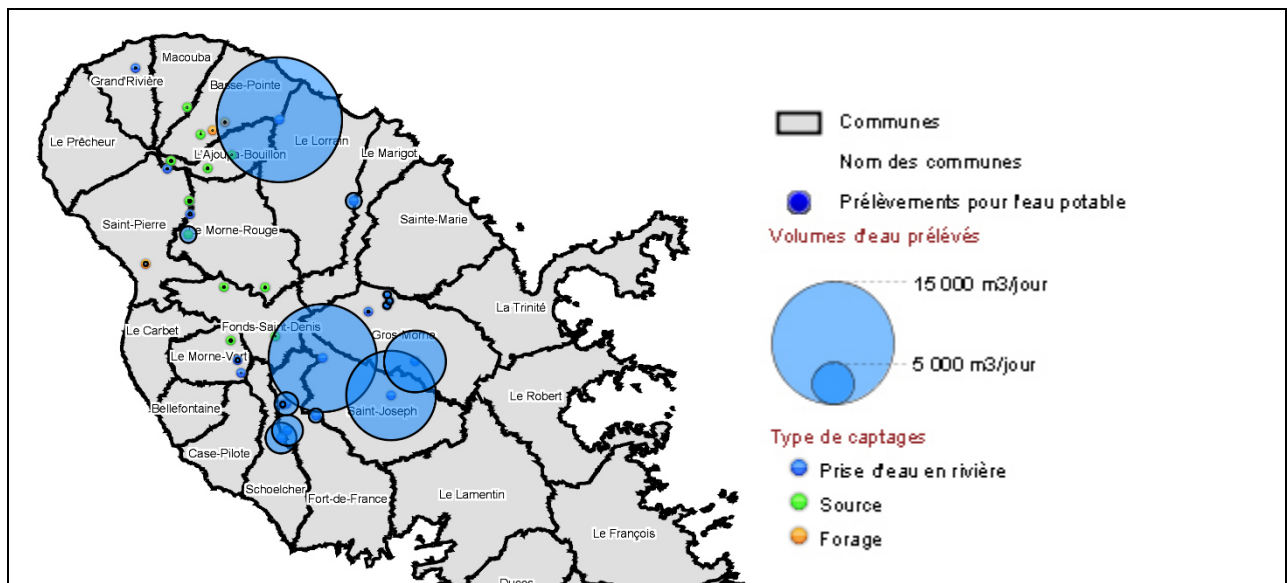
Illustration 1 : Carte de localisation des prélèvements pour l'eau potable en Martinique (source : Observatoire de l'Eau Martinique)	9
Illustration 2 : Découpage de la Martinique en 1206 mailles de 1 km ² et 69 unités de gestion ..	12
Illustration 3 : Cours d'eau, unités de gestion et localisation des piézomètres et des stations de mesure des débits.....	13
Illustration 4 : Bilan hydrique du sol à l'échelle du km ² , et agrégation à l'échelle de l'unité de gestion	15
Illustration 5 : Schéma de principe du modèle de réservoirs pour les sous-bassins emboîtés...	16
Illustration 6 : Carte de la pluviométrie moyenne annuelle 1991-2010	17
Illustration 7 : Distribution de l'ETP moyenne annuelle par rapport à celle calculée à la station du Lamentin	18
Illustration 8 : Carte des sols (capacité de rétention) et de RU _{max}	19
Illustration 9 : localisation des captages AEP de la Martinique	20
Illustration 10 : localisation des principaux prélèvements agricoles.....	21
Illustration 11 : Coefficient de ruissellement.....	22
Illustration 12 : Distribution spatiale du paramètre beta	23
Illustration 13 : Distribution spatiale du paramètre τ_1	24
Illustration 14 : Distribution spatiale du paramètre τ_2	24
Illustration 15 : Distribution spatiale de la porosité	25
Illustration 16 : Comparaison des débits simulés et observés pour 7 unités de gestion (BV)	26
Illustration 17 : Piézométrie simulée et observée pour 7 unités de gestion (BV)	27
Illustration 18 : Répartition de la pluie efficace par unité de gestion	28
Illustration 19 : répartition de l'infiltration par unité de gestion	29
Illustration 20 : répartition du ruissellement par unité de gestion	30
Illustration 21 : Résultats des bilans annuels sous forme de tableau et de schéma.....	31
Illustration 22 : Exemple de bilan mensuel de l'état naturel et données de prélèvements d'une unité de gestion.....	33
Illustration 23 : Exemple de simulation avec des prélèvements AEP sur le BV2.....	34
Illustration 24 : Bilan des circulations d'eaux à l'échelle de la Martinique, em Mm ³	35
Illustration 25 : Unités de gestion emboîtées du BV 44.....	35
Illustration 26 : Cartographie des unités de gestion ayant pour exutoire la rivière Lézarde	36
Illustration 27 : Bilan annuel en Mm ³ des unités de gestion impliquées dans le bassin versant 4438	
Illustration 28 : Histogrammes des débits mensuels et prélèvements existants par UG du BV44 de la Lézarde	39
Illustration 29 : Tableau des caractéristiques des volumes prélevables et tensions du BV 44 ...	41

Liste des annexes

Annexe 1 Pluviomètres de Météo France utilisés	47
Annexe 2 Autres données d'entrée pour le modèle	51
Annexe 3 Résultats des bilans hydrologique et hydrogéologique par unité de gestion	55

1. Introduction

Le relief, le climat contrasté de l'île et la très forte hétérogénéité des formations du sous-sol entraînent une forte disparité et de fortes incertitudes sur la ressource en eau aussi bien dans l'espace que dans le temps. Actuellement, 90% de l'eau prélevée pour l'alimentation en eau potable s'effectue à partir de prises d'eau en rivière situées dans cinq bassins versants : rivière Capot, Lorrain, Galion, Case Navire et la Lézarde-Blanche (cf. Illustration 1). Ainsi, même si l'eau ne manque pas en Martinique, la situation peut devenir critique lors de certains carêmes secs avec des prélèvements entraînant un dépassement du débit de crise de certaines rivières.



La gestion de la ressource en eau à l'échelle de la Martinique est pilotée par le SDAGE, Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux. Avec le SDAGE 2016-2021, la Martinique entame son 3^{ème} cycle de gestion des eaux en mettant une note nouvelle sur la connaissance, la protection et la valorisation des milieux aquatiques. En particulier, la mesure N°2 du programme de mesure du SDAGE met en évidence la nécessité de définir, pour l'ensemble du bassin Martinique, les volumes prélevables toutes ressources et tous usages confondus.

L'ODE, la DEAL et le BRGM se sont donc associés pour réaliser cette étude dont l'objectif est de définir les volumes d'eau disponibles pour le prélèvement (dits « volumes prélevables ») en eau de surface et eau souterraine pour l'ensemble de la Martinique en découpant le territoire en une centaine d'unités de gestion. Pour chaque unité de gestion, les données caractéristiques du cours d'eau principal seront ainsi calculées.

2. Modélisation des débits des cours d'eau et des niveaux piézométriques des aquifères

Une modélisation de type réservoirs a été mise en œuvre pour estimer les volumes d'eau disponibles dans les cours d'eau et les aquifères de Martinique. Elle repose en grande partie sur une méthodologie développée lors du projet SIESMAR (rapport BRGM/RP-55099-FR, Vittecoq et *al.*, 2007), et mise à jour en 2014 (rapport BRGM/RP-62676-FR, Arnaud et Lanini, 2014).

Le modèle repose sur un découpage de la Martinique en unités de gestion cohérentes et homogènes, et sur le calcul des flux au sein de ces unités par un modèle de réservoirs en cascade. Un modèle hydrologique global à trois réservoirs a été développé. Il intègre un changement d'échelle entre les deux premiers réservoirs (Sol et ZNS) et le réservoir aquifère.

L'île a ainsi été discrétisée en mailles de 1 km², pour chacune desquelles le bilan hydrique du sol, l'infiltration et le ruissellement sont calculés (2 premiers réservoirs). Les résultats obtenus sont ensuite agrégés à l'échelle des unités de gestion. Ce changement d'échelle permet de calculer les variations de stock dans la nappe et le débit à l'exutoire de chacune des UG (3^{ème} réservoir).

La mise à jour effectuée en 2014 avait porté essentiellement sur l'amélioration de la méthode de spatialisation des données météorologiques d'entrée du modèle. Dans le cadre de la présente étude, le modèle de réservoirs en cascade a été étendu afin de pouvoir explicitement prendre en compte plusieurs sous-bassins dans un même bassin versant hydrographique. Le branchement des réservoirs permet d'assurer la continuité des écoulements de surface et souterrains de l'amont vers l'aval. La dynamique des écoulements n'est toutefois pas prise en compte (transfert instantané d'un sous-bassin à l'autre).

Les méthodes de modélisation et de génération des chroniques météorologiques spatialisées nécessaires en entrée du modèle, le calage des paramètres du modèle, et les résultats obtenus sur quelques bassins instrumentés sont présentés dans ce chapitre.

2.1. METHODOLOGIE

2.1.1. Découpage de la Martinique en unités de gestion

Le premier niveau du calcul du bilan hydrique (ruissellement et infiltration) est réalisé sur une grille de 55 lignes et 48 colonnes, de maille de 1 km². Par rapport aux versions précédentes du modèle, cette grille a été légèrement corrigée pour mieux prendre en compte le trait de côte. La surface de la Martinique couvre désormais 1206 mailles de cette grille.

Un découpage de la Martinique en 24 entités hydrologiquement homogène avait été proposé dans le cadre du projet SIESMAR (Vittecoq et *al.*, 2007). Ce découpage reposait sur le croisement des informations géologiques, hydrogéologiques, du réseau hydrographique et la topographie. Bien que regroupant parfois plusieurs rivières pérennes, ces entités constituaient des bassins versants, au sens où toute goutte de pluie tombant sur l'une d'elle est supposée y rester (soit en rejoignant un des cours d'eau de surface de l'unité, soit en s'infiltrant dans une nappe liée à l'unité, et uniquement à elle). Il n'y a donc pas, en théorie, d'échange naturel d'eau (de surface ou souterraine) entre ces entités. Compte-tenu des autres informations disponibles (pluviométrie, ETP, nature du sol, RU_{max}, occupation du sol, pentes), ces entités constituaient ainsi des unités homogènes pour la gestion des ressources en eau.

Dans le cadre de la présente étude, ces 24 entités ont été redécoupées en 69 unités de gestion (Illustration 2), en tenant compte des stations de jaugeage des débits existantes et en incluant des sous-bassins versants en tension quantitative (Illustration 3).



Illustration 2 : Découpage de la Martinique en 1206 mailles de 1 km² et 69 unités de gestion

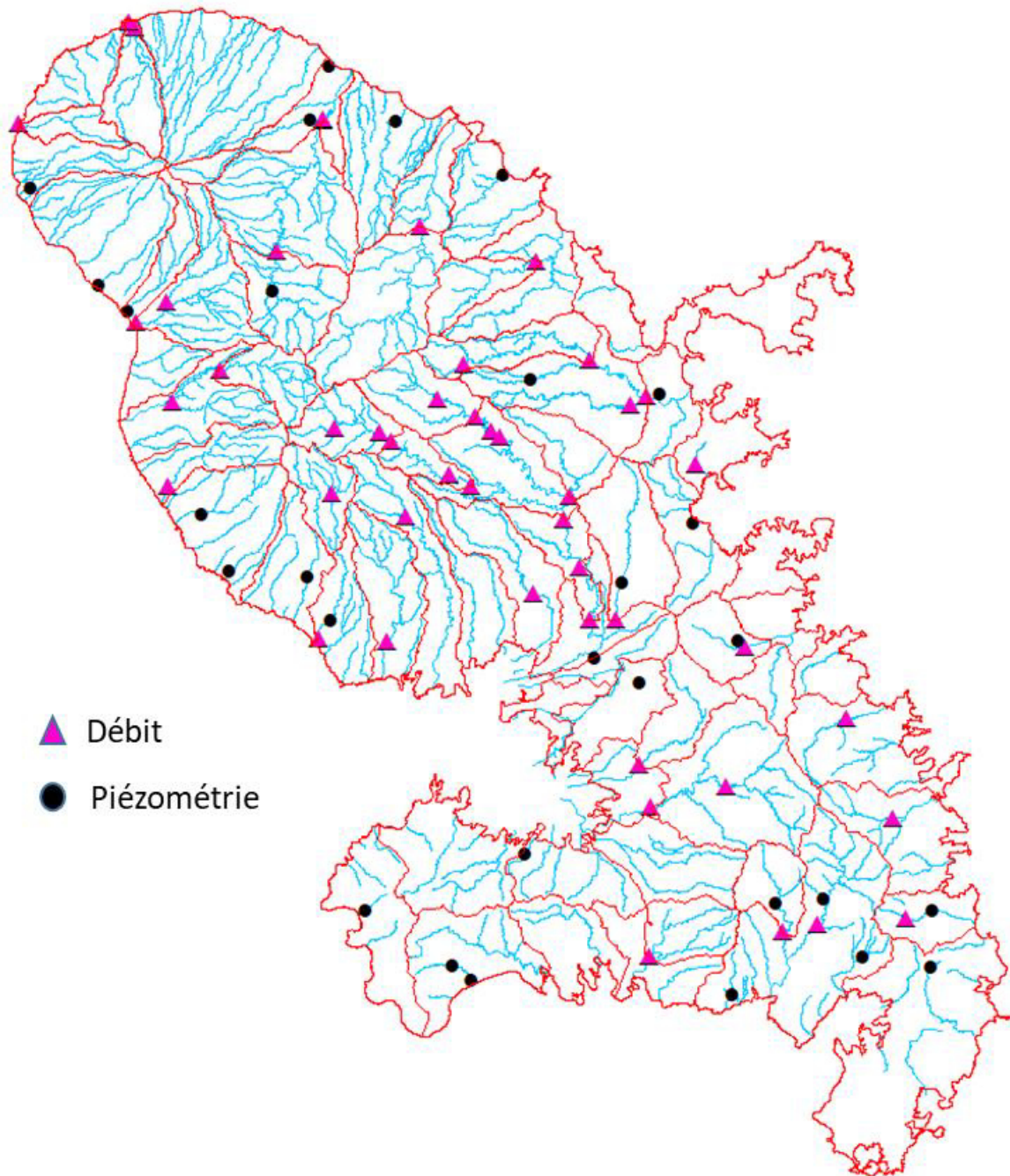


Illustration 3 : Cours d'eau, unités de gestion et localisation des piézomètres et des stations de mesure des débits

2.1.2. Principe de la modélisation hydrologique et hydrogéologique

Le principe de la modélisation mise en œuvre est synthétisé sur l'illustration 4 et sur l'illustration 5.

Dans un premier temps, une méthode de bilan hydrique du sol est appliquée pour estimer la pluie efficace journalière à l'échelle du km^2 . La méthode choisie, initialement présentée dans Edijatno et Michel (1989), est celle qui est implémentée dans les outils de modélisation pluie-débit de l'IRSTEA (GR4J) et du BRGM (GARDENIA). On y a ajouté la prise en compte de l'influence de la végétation à différents stades phénologiques via un coefficient K_c , variable au cours des saisons, qui module les données d'ETP. La distribution des cultures (canne et bananes), ainsi que les valeurs de K_c et leurs variations au cours de l'année sont celles décrites dans Vittecoq *et al.*, 2007. Elles sont rappelées en Annexe 2.

Dans chaque maille, la vidange exponentielle du sol est répartie entre ruissellement (écoulement rapide de surface et sub-surface) et infiltration (écoulement plus lent qui alimente l'aquifère sous-jacent). Pour chaque maille, la partition entre les deux composantes du flux est supposée constante dans le temps (coefficient de ruissellement). Ce coefficient macroscopique ne peut être directement mesuré.

Les flux de ruissellement et d'infiltration issus des mailles de 1 km^2 sont agrégés à l'échelle des unités de gestion (Illustration 2 et Illustration 4). Ils constituent des entrées pour la seconde partie du modèle de réservoirs qui calcule les débits à l'exutoire de chaque unité de gestion, ainsi que le niveau piézométrique (supposé uniforme). Ces calculs sont réalisés en faisant un bilan volumique du réservoir « nappe », dont on suppose qu'il se vidange selon une loi exponentielle. Les débits des cours d'eau sont calculés à l'exutoire des unités de gestion en sommant le ruissellement et les apports des nappes souterraines. Les prélèvements et apports dans les eaux de surface et les eaux souterraines (identifiés et décrits au §0) sont pris en compte dans ce bilan. Le temps de transfert au sein des unités de gestion n'est pas modélisé (il est supposé inférieur au pas de temps de calcul, soit 1 jour).

Par rapport au modèle mis en œuvre dans les précédents projets, le schéma conceptuel des réservoirs en cascade a été modifié afin de pouvoir tenir compte d'unité de gestion en série (découpage d'un bassin versant en un ou plusieurs sous-bassins versants). Le schéma retenu est présenté dans l'illustration 5.

Sur la base du modèle conceptuel présenté ici pour estimer les débits et la piézométrie dans les unités de gestion, un modèle numérique a été développé et mis en œuvre avec le code Matlab/Simulink®.

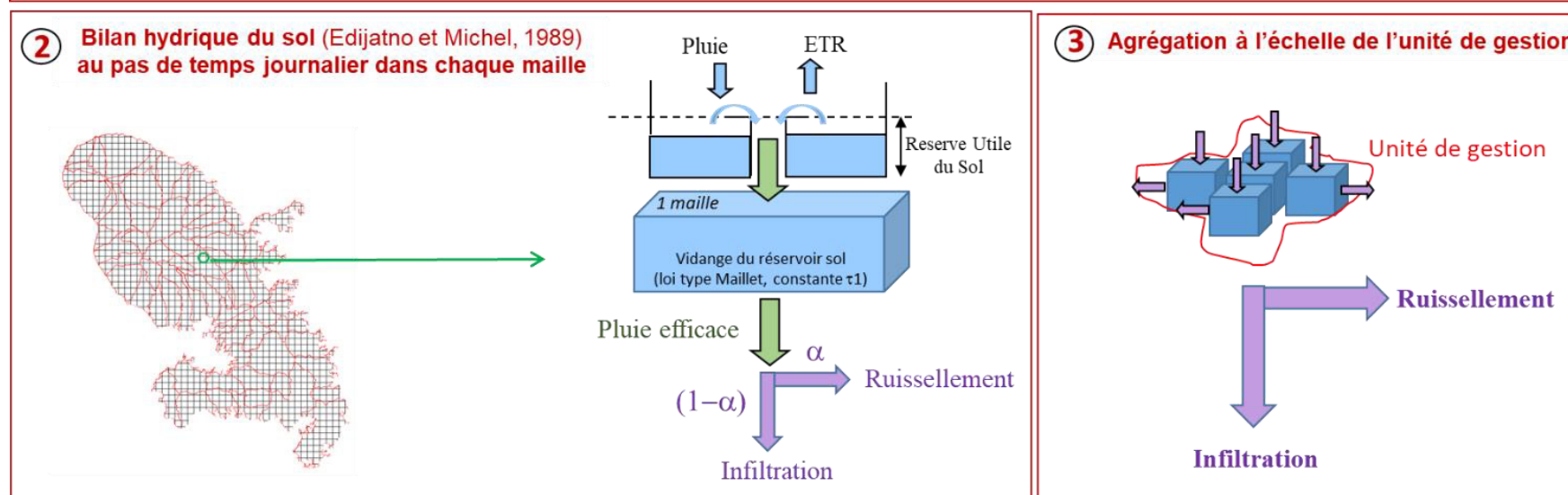
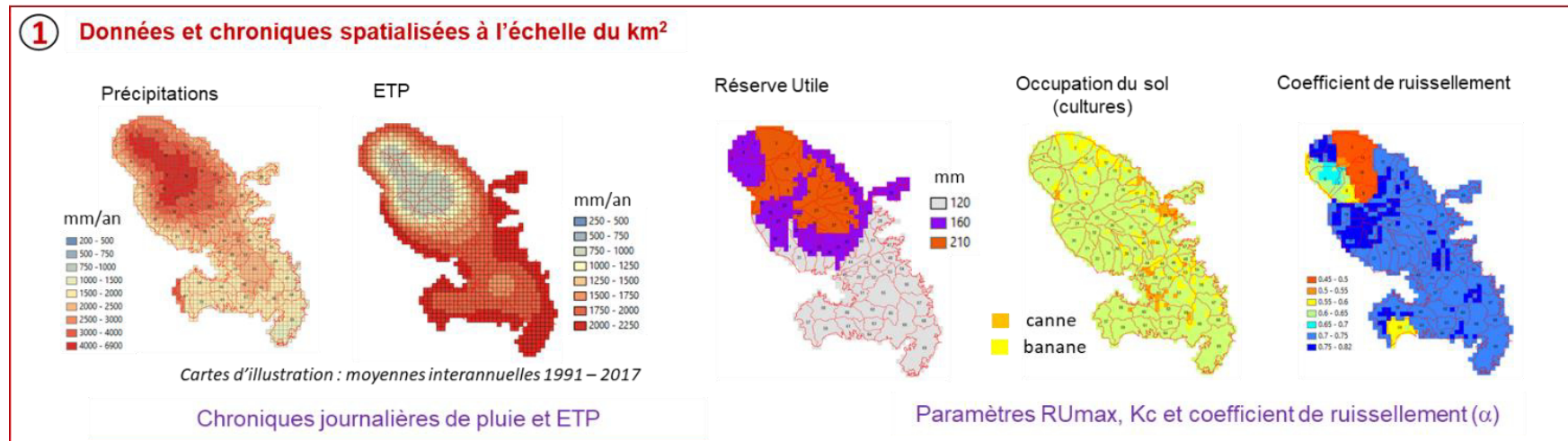


Illustration 4 : Bilan hydrique du sol à l'échelle du km², et agrégation à l'échelle de l'unité de gestion

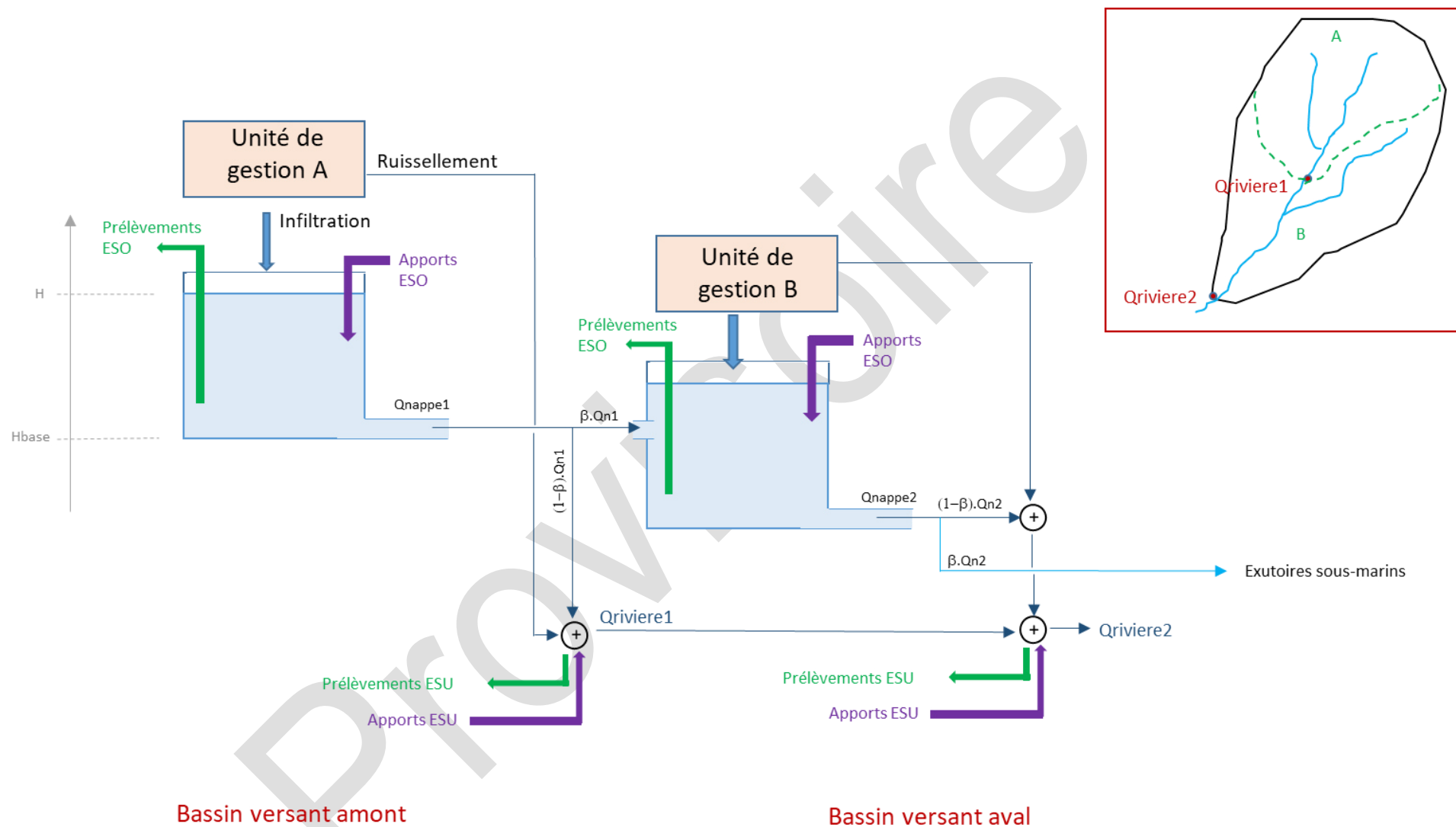


Illustration 5 : Schéma de principe du modèle de réservoirs pour les sous-bassins emboîtés

2.2. DONNEES D'ENTREE DU MODELE

2.2.1. Pluviométrie

Dans le cadre de l'étude réalisée en 2014, MétéoFrance a produit une carte des précipitations moyennes annuelles sur la période 1991-2010, avec une résolution de 1 km² (Illustration 6).

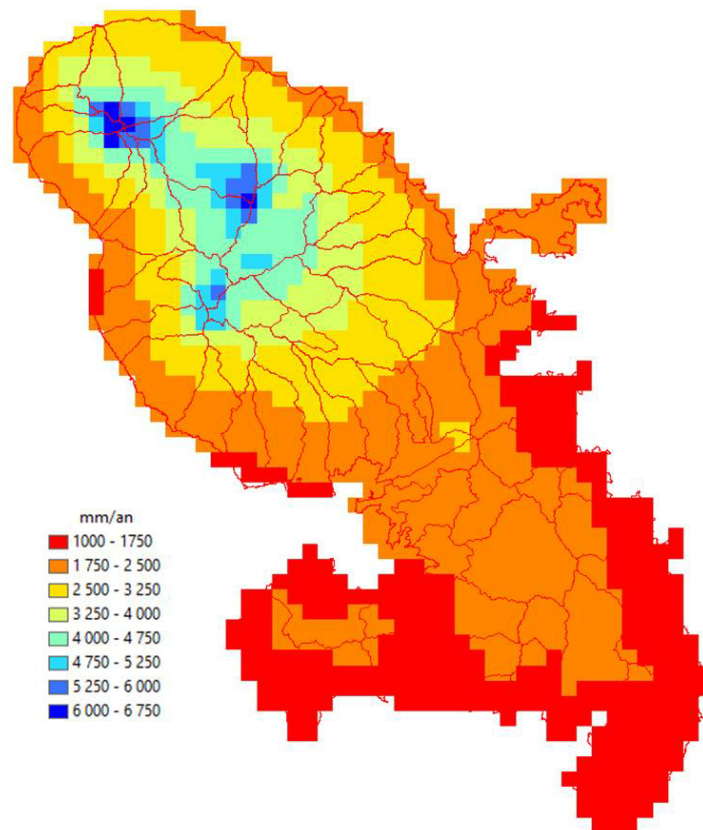


Illustration 6 : Carte de la pluviométrie moyenne annuelle 1991-2010

Par ailleurs, des chroniques journalières de précipitations sont disponibles sur la période 1991 – 2017 grâce à 30 stations météorologiques réparties sur le territoire. En se basant sur le découpage en 14 Zones Pluviométriquement Homogènes (ZPH) proposé par Mobèche (2003), et afin d'exploiter le maximum de chroniques disponibles, la Martinique est découpée en 21 ZPH. Un pluviomètre de référence est associé à chacune de ces 21 ZPH (voir Annexe 1).

Pour générer des chroniques de pluie journalière en chaque maille de 1 km², on utilise la chronique du pluviomètre de référence de la ZPH à laquelle elle appartient, que l'on corrige pour tenir compte de la répartition spatiale des pluies (liées notamment à l'altitude)¹.

$$P_i(t) = \frac{P_m}{P_r} \cdot P_r(t)$$

¹ A défaut de disposer d'une mise à jour de la carte des isohyètes à la résolution de 1 km², on suppose que la répartition spatiale des pluies sur la période 1991-2017 est identique à celle établie sur la période 1991-2010.

Avec :

P_m : valeur sur la carte des précipitations moyenne interannuelle 1991- 2010 pour la maille i

$P_r(t)$: chronique de pluie journalière au pluviomètre de référence de la ZPH dans laquelle se situe la maille i

\bar{P}_r : la valeur moyenne sur la période 1991- 2010 des données journalières du pluviomètre de référence

2.2.2. ETP

Pour spatialiser l'ETP, on ne dispose que d'une carte des iso-ETP établie sur la période 1961-1980 (voir Annexe 2), et d'une chronique de valeurs journalières à la station de Fort de France - Aéroport. On affecte donc cette chronique à chaque maille de l'île, en la multipliant par le rapport entre l'ETP moyenne annuelle de la maille fournie par la carte des iso-ETP discrétisée et l'ETP moyenne annuelle à la station de Fort de France sur la période 1961-1980 (1670 mm/an).

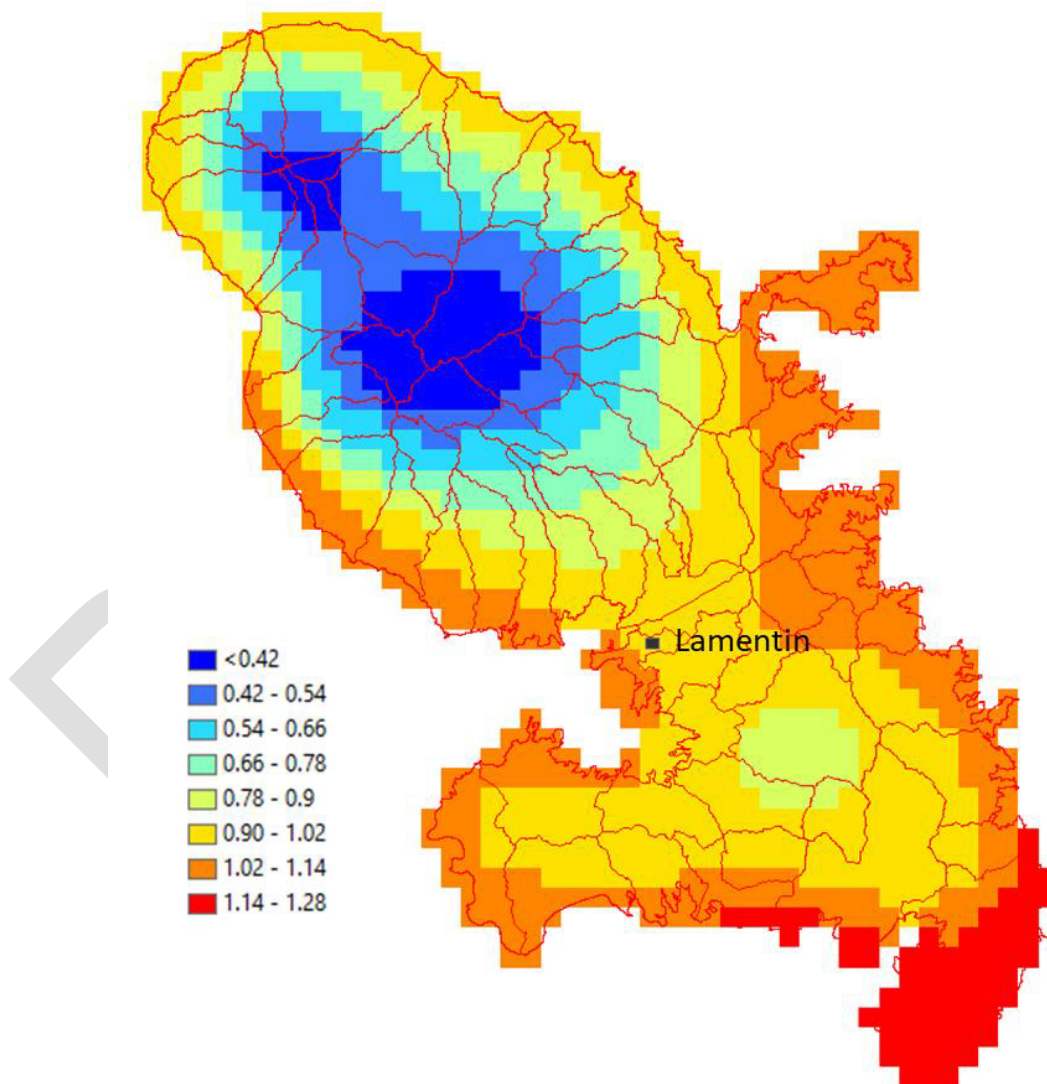


Illustration 7 : Distribution de l'ETP moyenne annuelle par rapport à celle calculée à la station du Lamentin

2.2.3. Réserve Utile du Sol

La distribution de la réserve utile des sols a été estimée à partir d'une carte de classes de capacité de rétention des sols (rapport BRGM RP-52257-FR, Desprats et al., 2003) auxquelles on a associé une valeur de R_{Umax} (d'après Reguieg, 1986).

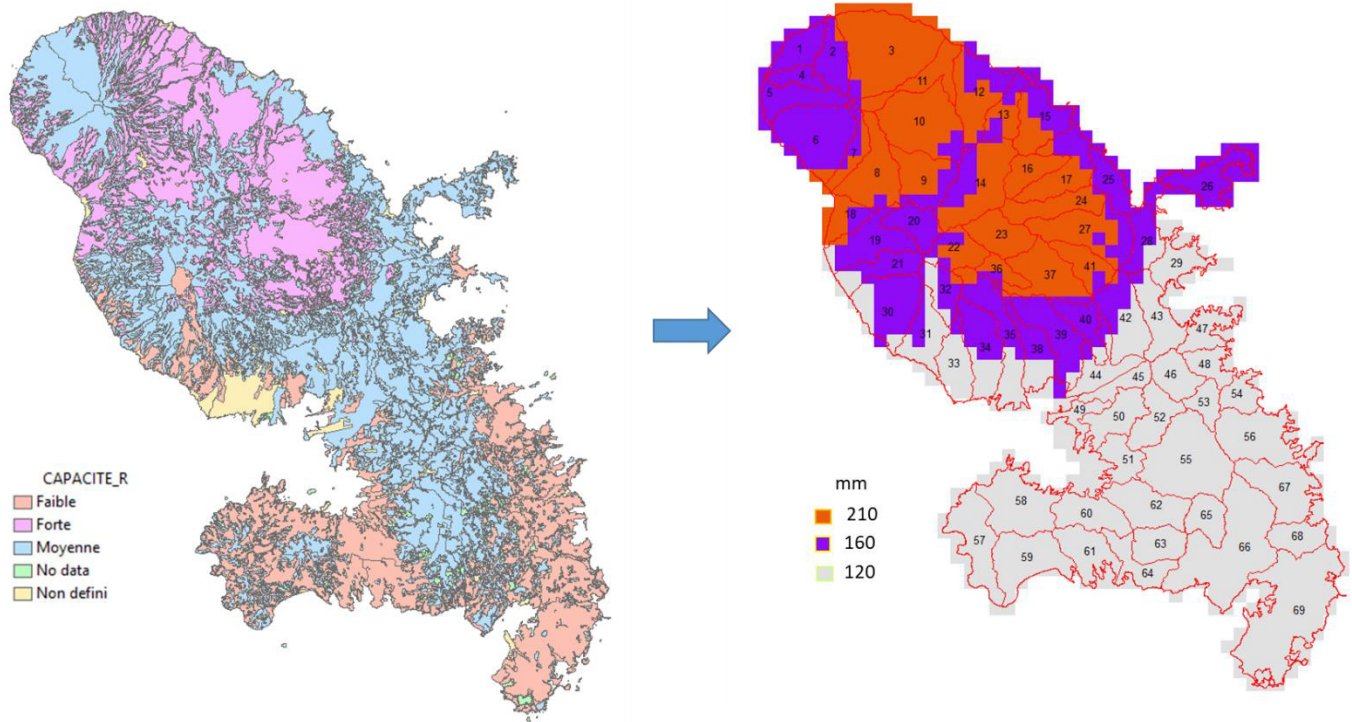


Illustration 8 : Carte des sols (capacité de rétention) et de R_{Umax}

2.2.4. Données de prélèvements

Les données de prélèvements des 36 captages AEP ont été intégrées au modèle (Illustration 9). Les prélèvements pour l'irrigation intégrés dans le modèle ont été fournis par la chambre d'agriculture (Illustration 10). Enfin, les rejets des 32 principales stations de traitement des eaux usées ont également été intégrés.

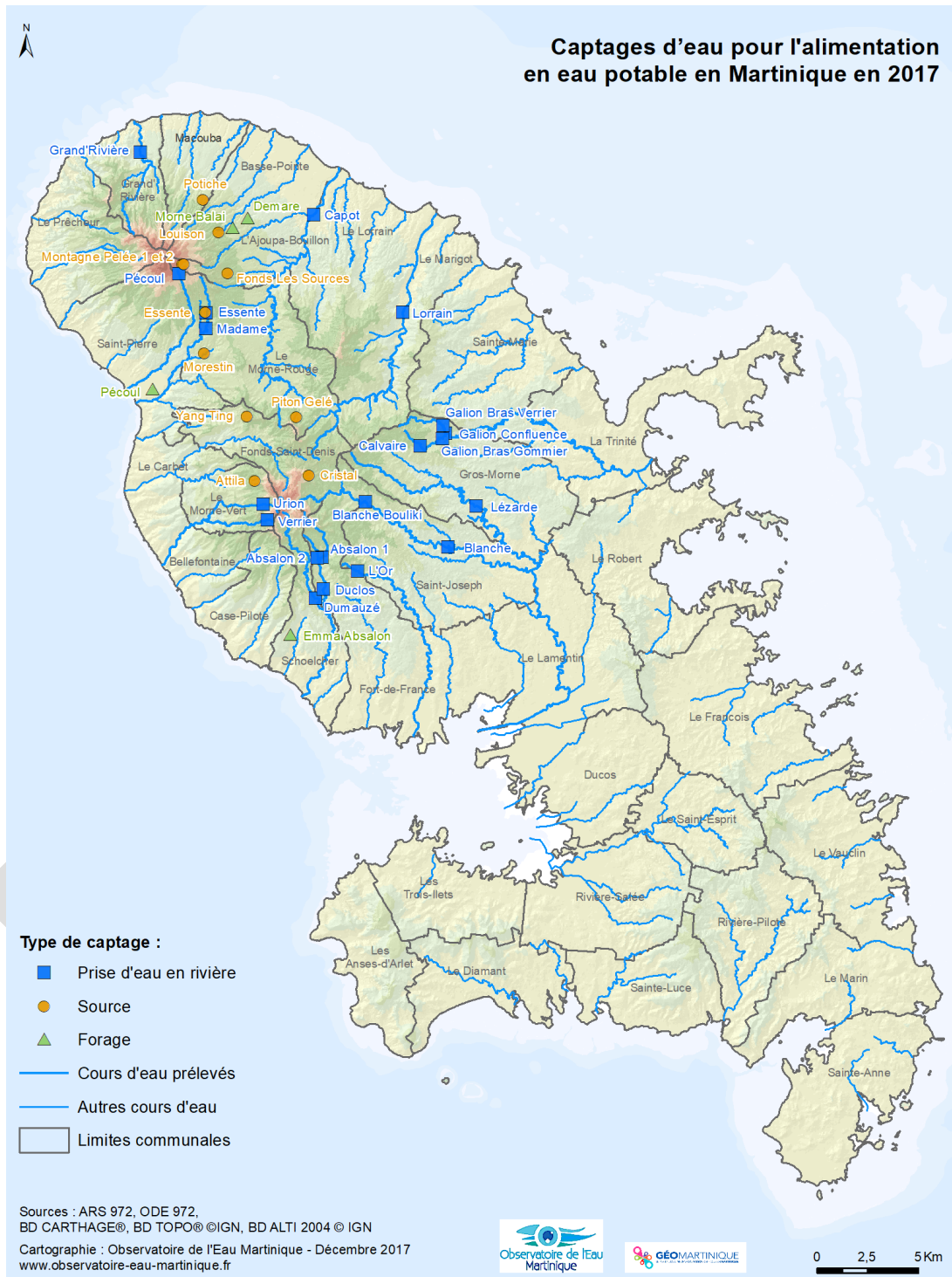


Illustration 9 : localisation des captages AEP de la Martinique

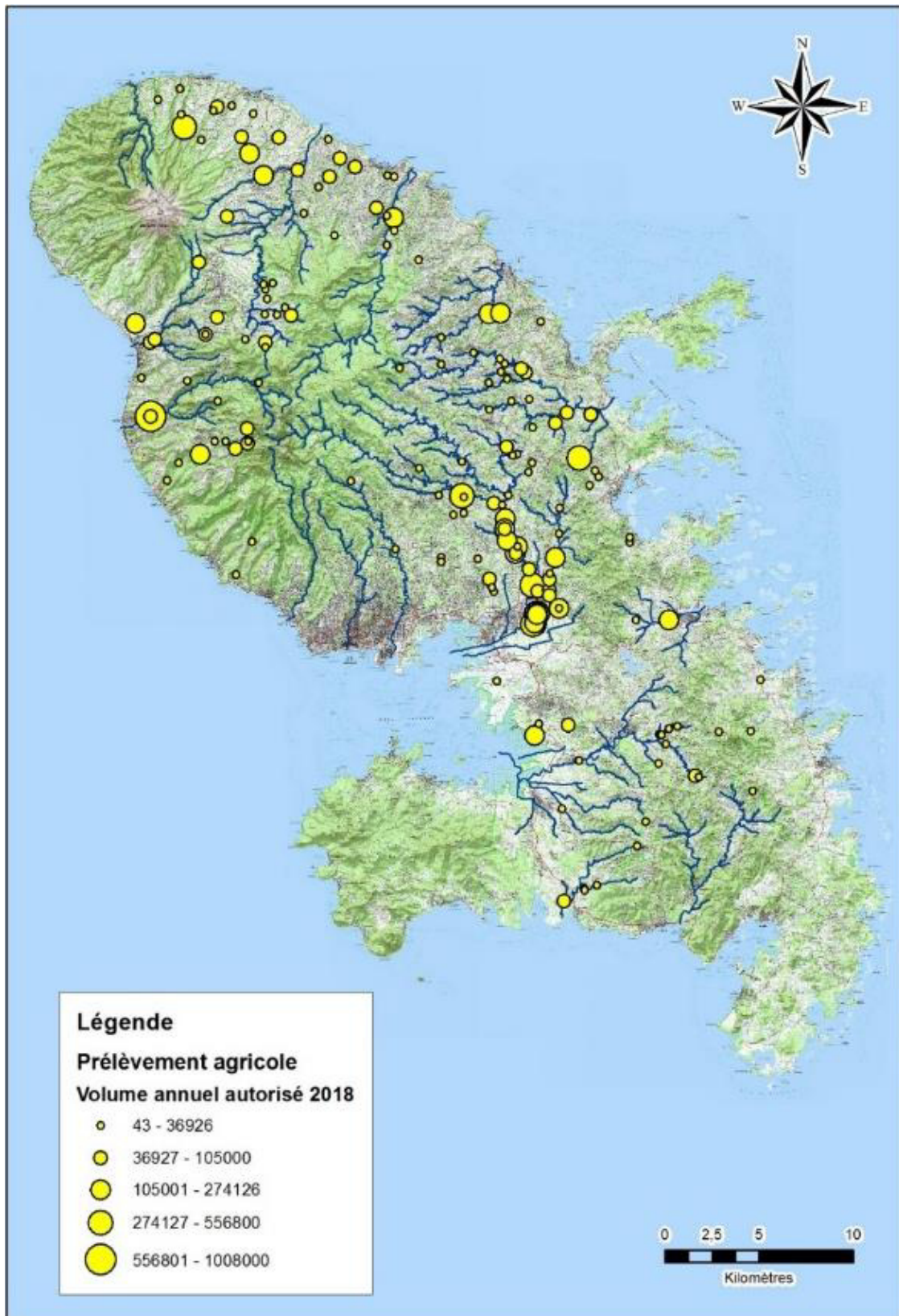


Illustration 10 : localisation des principaux prélèvements agricoles

2.3. CALAGE DU MODELE

Le modèle proposé comporte un certain nombre de paramètres :

Pour chaque maille de 1 km² :

- Le coefficient de ruissellement (α)
- Le coefficient de tarissement du réservoir sol (τ_1)

Pour chaque unité de gestion :

- Le coefficient de tarissement du réservoir nappe (τ_2)
- La porosité efficace de l'aquifère (utilisée pour convertir le volume d'eau infiltré dans le réservoir en charge piézométrique)
- Un coefficient de calage (beta) : pour les unités qui se situent en amont d'une autre unité, il s'agit de la fraction du flux de vidange de la nappe qui alimente la nappe aval (le reste alimentant le cours d'eau) ; pour les unités littorales, il s'agit de la fraction du flux de vidange de la nappe vers un exutoire sous-marin.

Il existe plusieurs approches pour fournir une valeur par défaut au coefficient de ruissellement. Dans un premier temps, nous avons choisi d'utiliser les valeurs établies lors de l'étude initiale de 2007 (basées sur la pente moyenne puis calées), sans y apporter de modification.

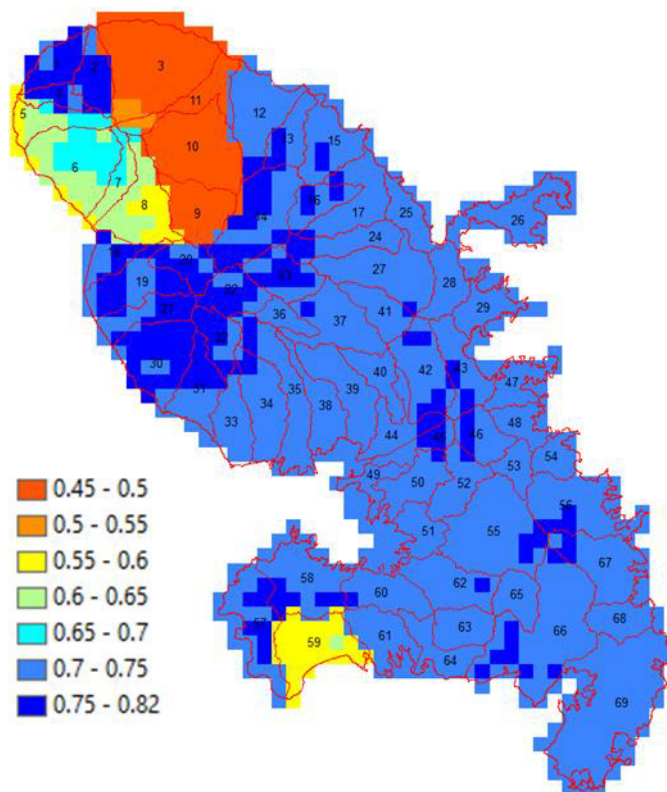


Illustration 11 : Coefficient de ruissellement

Parmi les autres paramètres du modèle, certains ont pu être calés en essayant de reproduire au mieux les débits observés (disponibles pour 21 unités de gestion) et les niveaux piézométriques (disponibles pour 13 unités de gestion).

La distribution spatiale des valeurs des paramètres beta, mise au regard des caractéristiques géologiques, morphologiques ou lithologiques des unités, a permis de proposer une extrapolation pour fixer les valeurs de beta pour les unités non instrumentées.

Caractéristiques du bassin versant (BV)	β
BV non littoraux et/ou amont (Nord de l'île)	0.05
BV non littoraux avals, BV littoraux de forme allongée avec peu de bordure côtière	0.1
BV littoraux de forme allongée avec peu de bordure côtière (côte Ouest)	0.2
BV littoraux avec une bordure côtière	0.3
BV littoraux avec bordure côtière importante	0.4
BV littoraux avec bordure côtière importante (Sud de l'île)	0.5

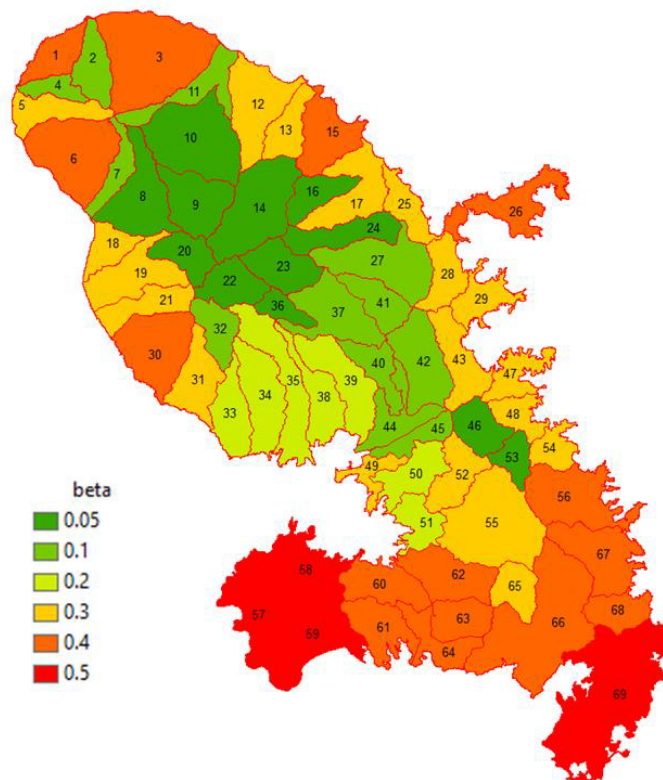


Illustration 12 : Distribution spatiale du paramètre beta

Pour les autres paramètres, ce type d'extrapolation n'a pas été possible. Dans ce cas, des valeurs moyennes ont été utilisées : ($\tau_1=0.3 \text{ j}^{-1}$, $\tau_2=0.01 \text{ j}^{-1}$, porosité=10%).

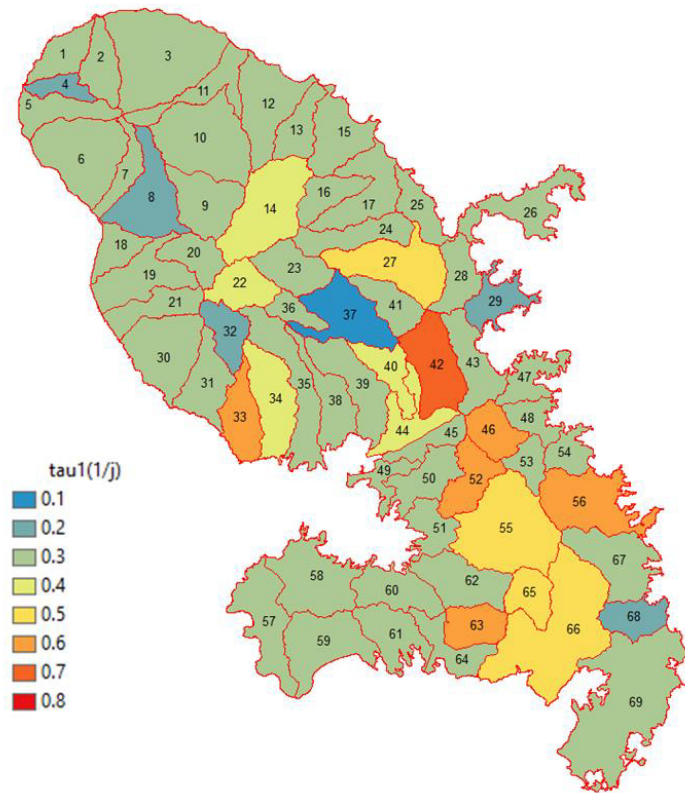


Illustration 13 : Distribution spatiale du paramètre τ_1

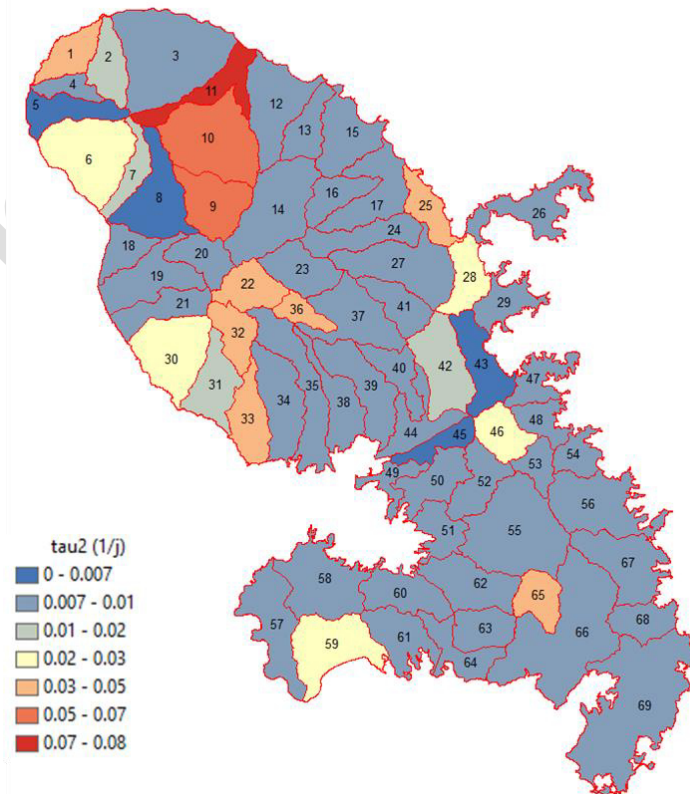


Illustration 14 : Distribution spatiale du paramètre τ_2

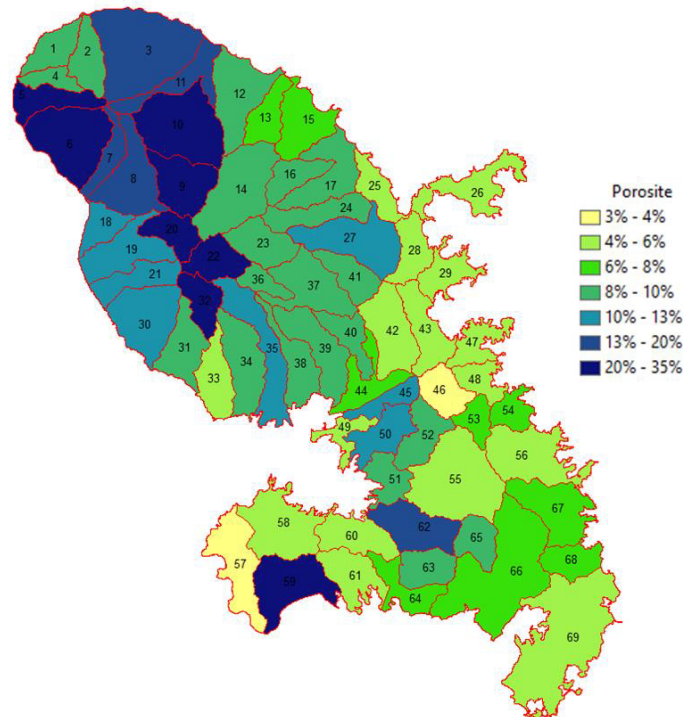


Illustration 15 : Distribution spatiale de la porosité

2.4. RESULTATS DES SIMULATIONS

Le modèle a été mis en œuvre en utilisant les données journalières de pluie, d'ETP (évapotranspiration potentielle) et les prélèvements connus ou estimés sur la période 1991-2017.

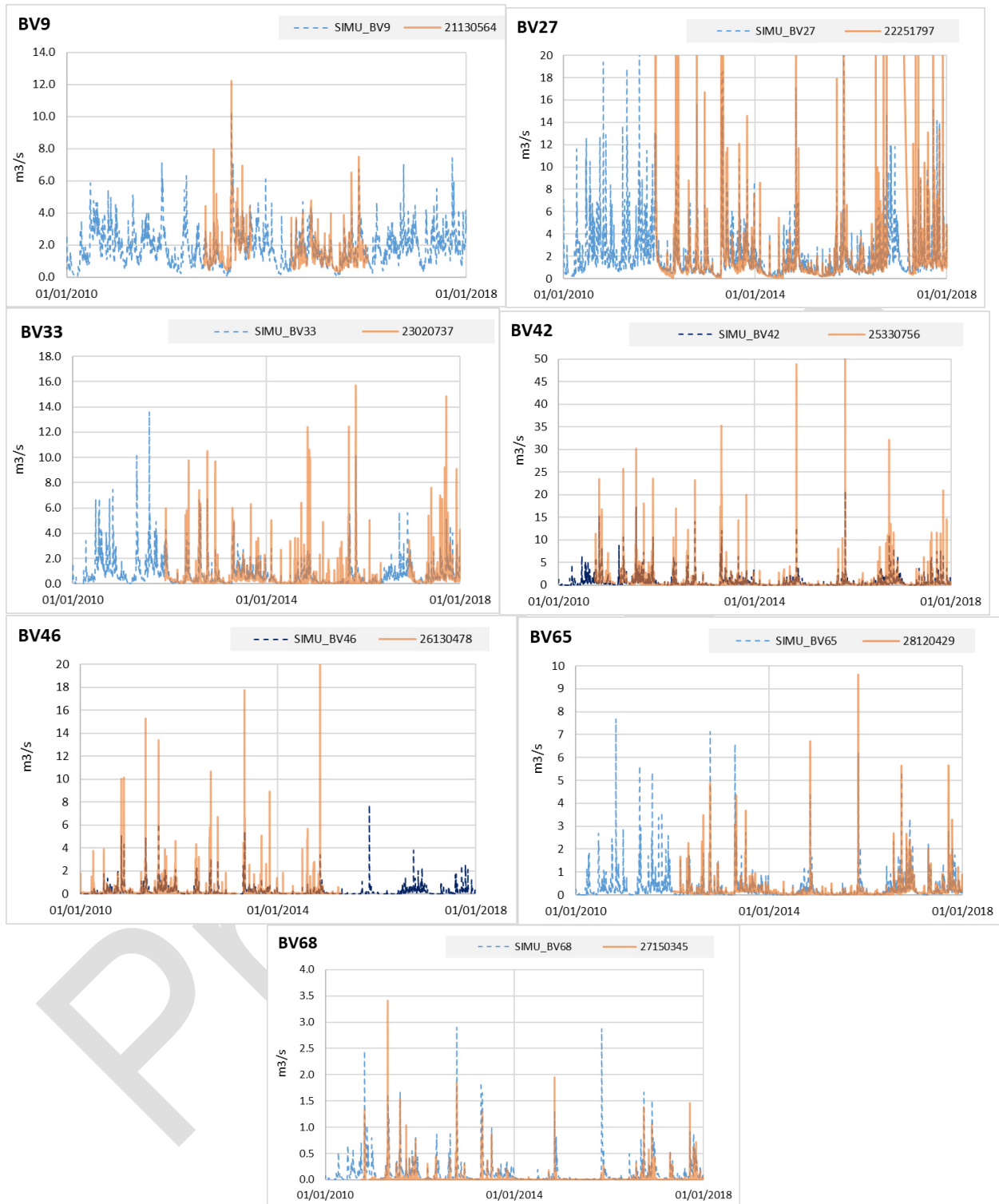
2.4.1. Simulations des débits et de la piézométrie

Pour les unités de gestion instrumentées en mesure de débit ou de piézométrie, la qualité de la simulation a été évaluée en calculant différents critères de performance sur la période 2012-2017 (Nash, RMSE normalisée, coefficients de corrélation et de détermination entre les séries de débit ou de piézométries observées et les séries simulées).

A titre d'information, les illustrations des pages suivantes présentent les graphes comparant les séries observées et simulées pour quelques unités de gestion², choisies en raison de la disponibilité à la fois de mesures de débits et de mesures de piézométrie.

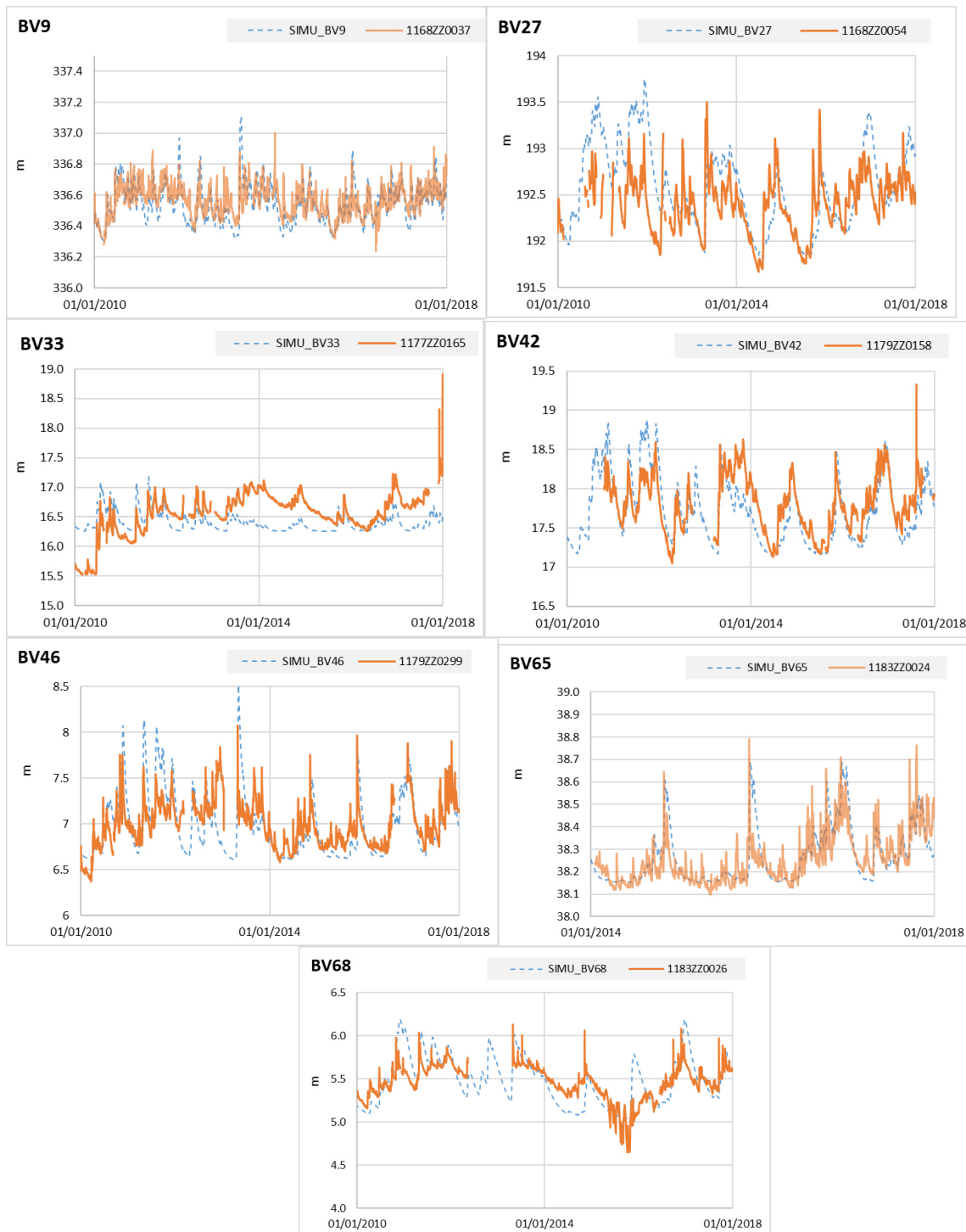
² Dénommées BV sur les graphes

Définition des volumes prélevables



BV	9	27	33	42	46	65	68
Nash	0.58	0.07	0.20	0.27	0.24		
Coefficient corrélation R	0.80	0.33	0.48	0.53	0.51	0.46	0.33
Coefficient détermination R ²	0.64	0.11	0.23	0.28	0.26	0.22	0.11
Erreur = RMSE normalisée	6.4%	11.4%	6.8%	3.5%	4.4%	5.1%	11.6%

Illustration 16 : Comparaison des débits simulés et observés pour 7 unités de gestion (BV)



BV	9	27	33	42	46	65	68
Nash				0.45	0.00	0.20	0.05
Coefficient corrélation R	0.61	0.60	0.51	0.81	0.65	0.68	0.64
Coefficient détermination R ²	0.37	0.36	0.26	0.66	0.42	0.47	0.41
Erreur = RMSE normalisée	13.4%	17.8%	14.0%	11.7%	16.8%	14.0%	14.3%

Illustration 17 : Piézométrie simulée et observée pour 7 unités de gestion (BV)

2.4.2. Bilan hydrologique par unité

Les illustrations ci-dessous représentent les résultats sous forme de cartes de valeurs moyenne annuelle de la pluie efficace, de l'infiltration et du ruissellement sur la période 1991 - 2017.

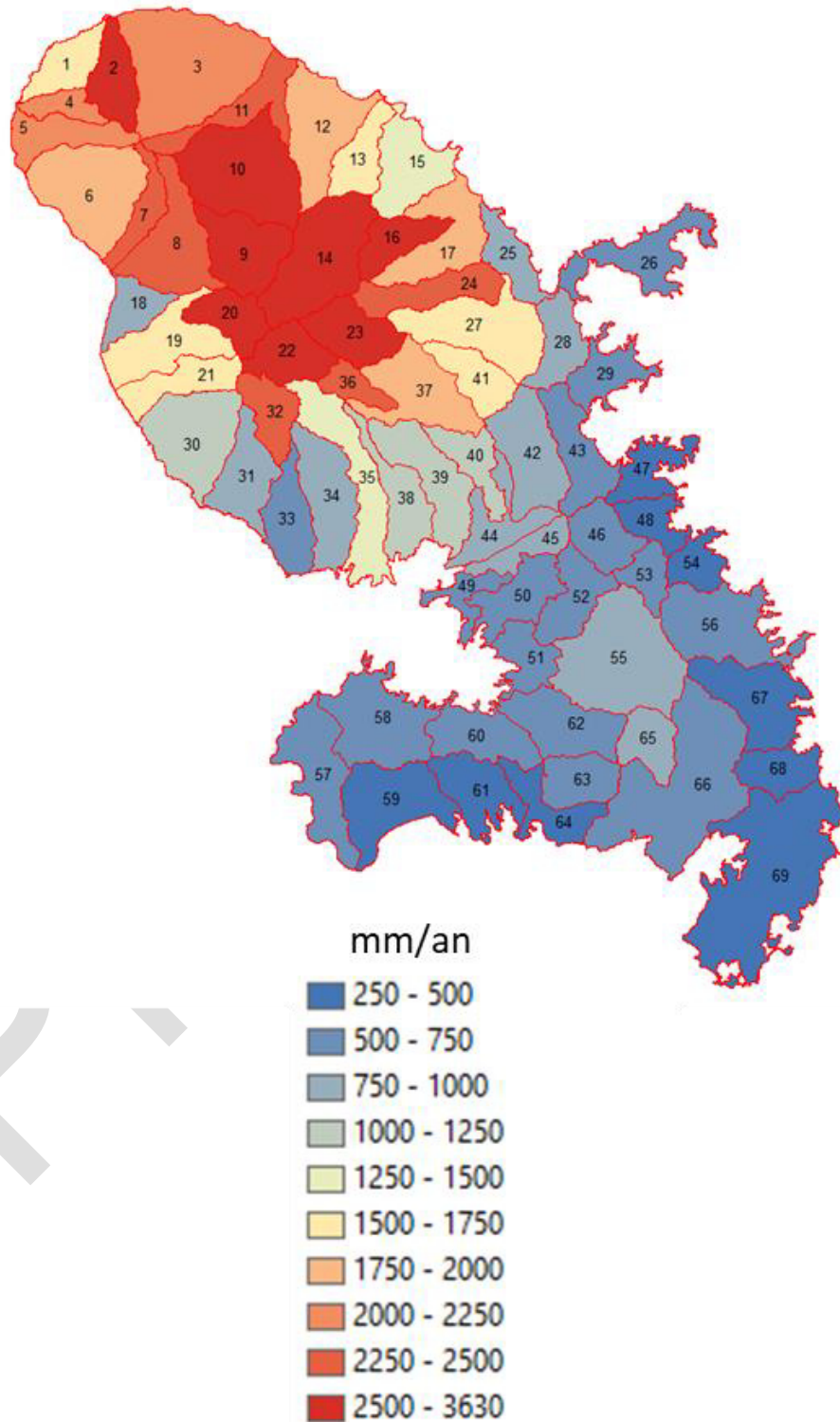


Illustration 18 : Répartition de la pluie efficace par unité de gestion

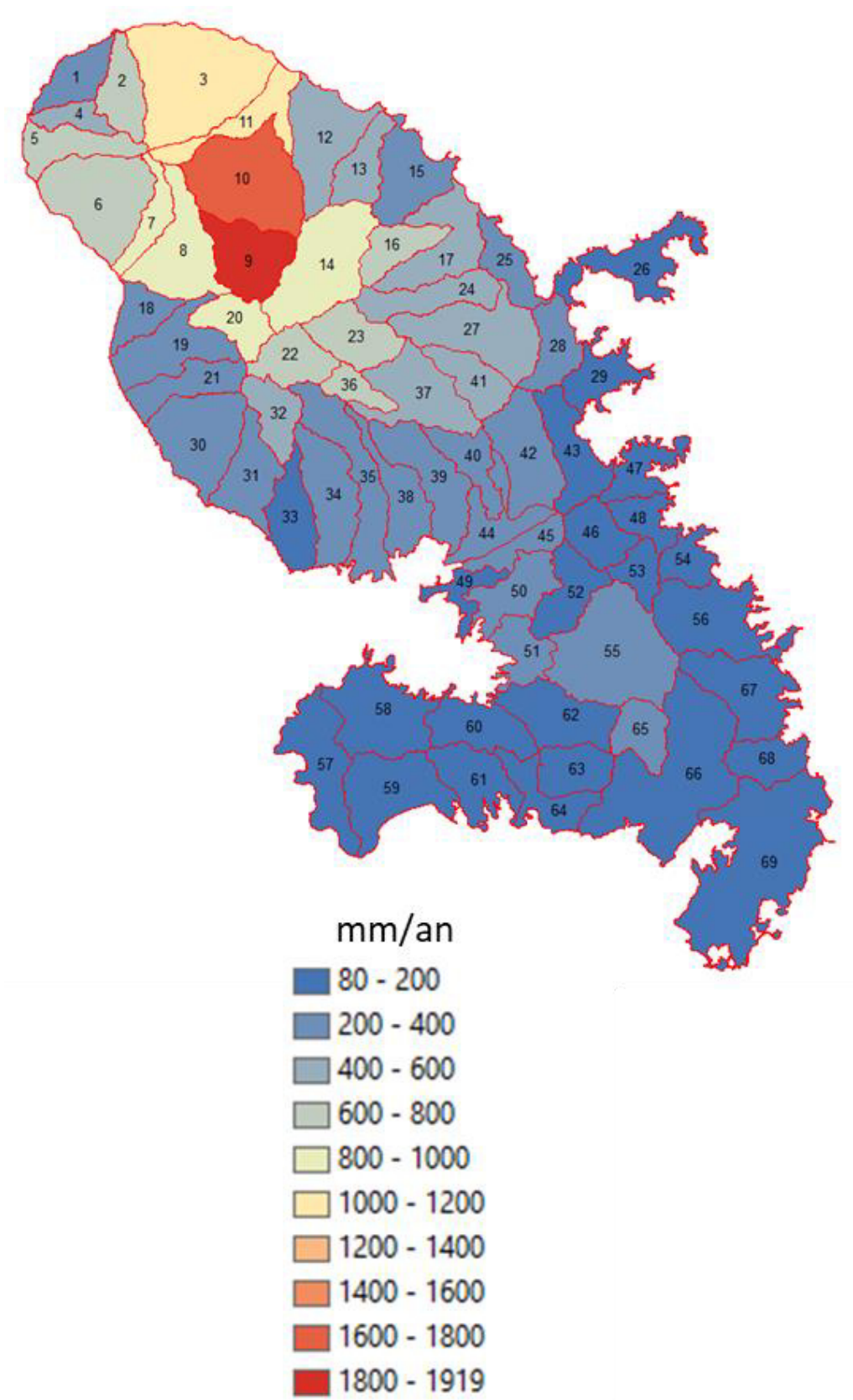


Illustration 19 : répartition de l'infiltration par unité de gestion

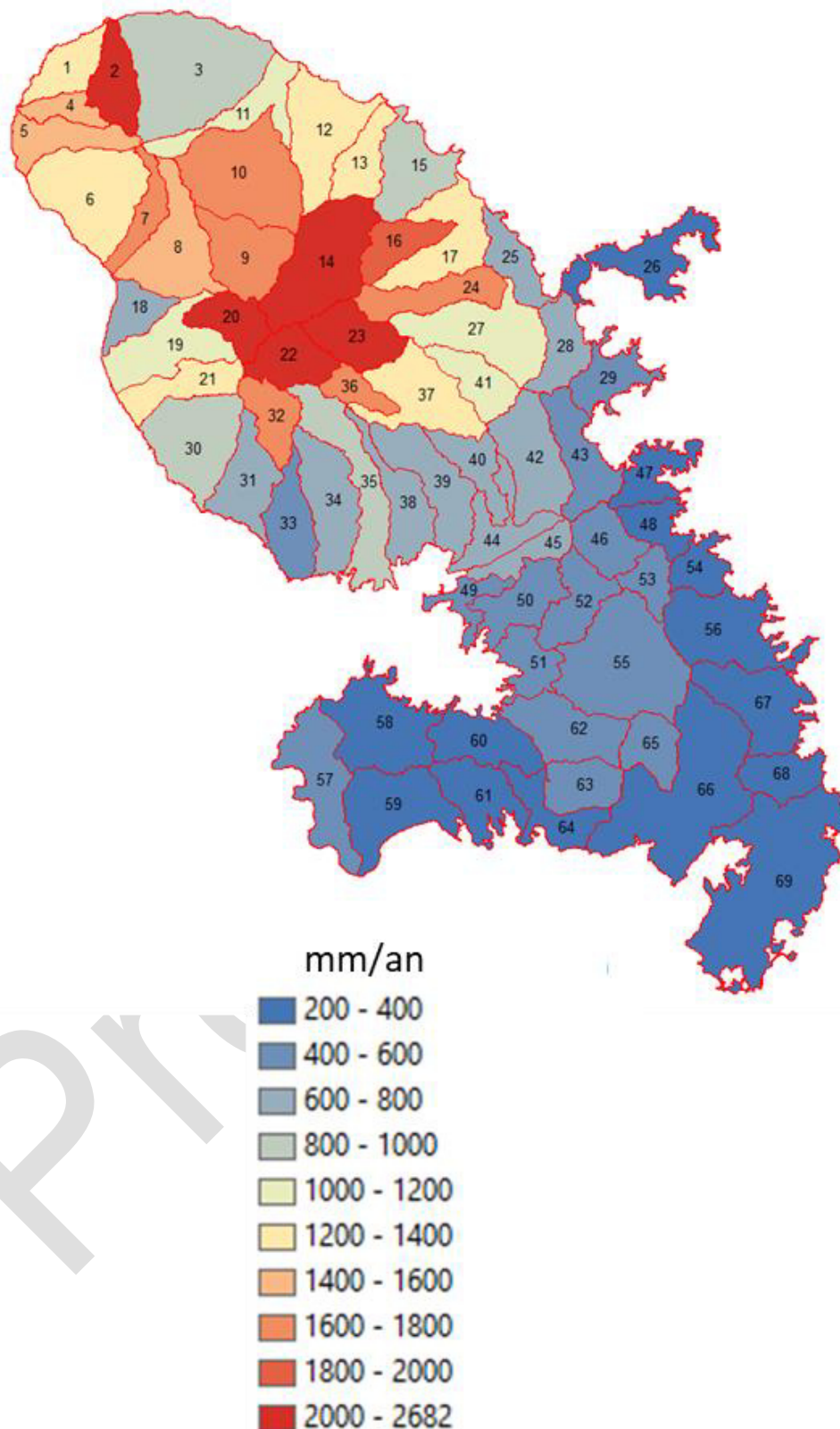


Illustration 20 : répartition du ruissellement par unité de gestion

3. Résultats hydrologiques et hydrogéologiques

3.1. FORMAT DE REPRESENTATION DES RESULTATS

3.1.1. Format de représentation des bilans annuels

La synthèse des moyennes interannuelle a été réalisée sur une période de 10 ans entre 2008 et 2017 afin de prendre en compte l'ensemble des prélèvements qui s'exercent sur les unités de gestion.

La synthèse des résultats est présentée sous forme de tableau et de graphe suivant le modèle présenté dans l'illustration ci-dessous. La représentation schématique du cycle de l'eau par unité de gestion est une traduction des bilans présentés dans le tableau.

		Unités de gestion	1	2	3	Etc...
		Surface (km ²)	9,82	10,90	39,77	xx
		Porosité en %	10%	10%	20%	xx
Données d'entrée et de modélisation	Pluie		31,13	46,78	138,95	xx
	Peфф		15,83	32,82	82,02	xx
	Infiltration		3,36	7,48	41,71	xx
	Ruissellement		12,38	25,14	39,87	xx
Prélèvements	Captage AEP Mm3/an		0	0,06	0,05	xx
	Captage Agri Mm3/an		0	0	0	xx
	Captage Indus Mm3/an		0	0	0	xx
	Forage AEP Mm3/an		0	0	0	xx
	Forage agricole Mm3/an		0	0	0	xx
	Forage Indus Mm3/an		0	0	0	xx
Apports ESU	Rejet STEP moy (Mm3/an)		0	0	0	xx
	Débit vidange moy (Mm3/an)		2,01	6,69	24,74	xx
Résultats	Débit exutoire moy (Mm3/an)		14,39	31,76	64,26	xx
	Débit fuite moy (Mm3/an)		1,34	0,74	16,49	xx

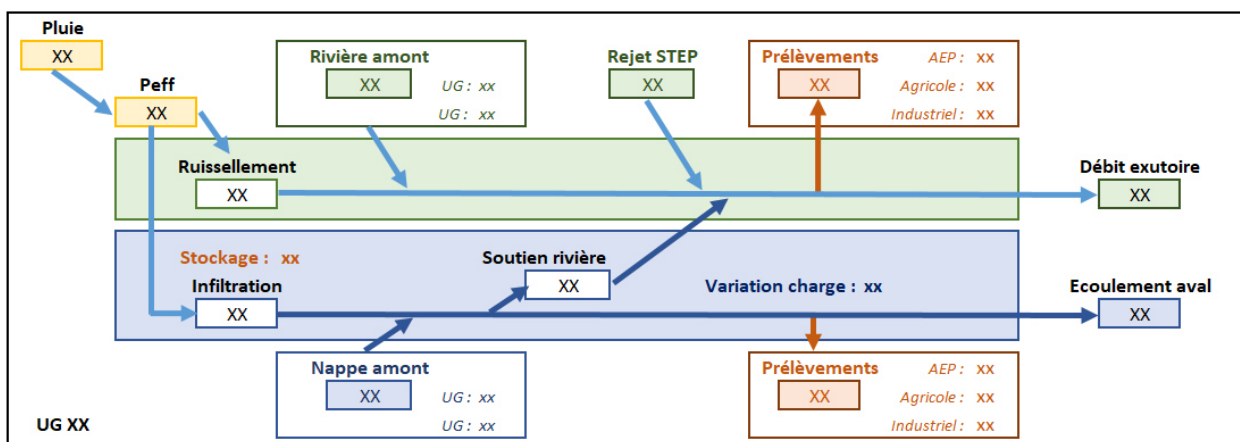
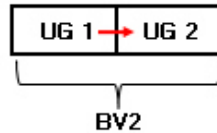


Illustration 21 : Résultats des bilans annuels sous forme de tableau et de schéma

3.1.2. Format de représentation des Bilan mensuel et des caractéristiques par unités de gestion

Les résultats sont présentés sous forme de tableau, les illustrations suivantes prennent l'exemple d'un bassin versant composé et deux unités de gestion (UG) emboîtées. C'est-à-dire que l'UG1 se déverse dans UG 2, l'ensemble représente le BV 2.



3.1.3. Etat naturel

Les cases jaunes des tableaux sont renseignées à partir des résultats de la simulation et des données connues ou estimées de prélèvements afin d'obtenir les calculs automatiques des cases suivantes. Les cases vertes distinguent les données qui seront à utiliser dans le cadre d'unités de gestion emboîtées. L'ensemble des caractéristiques sont données en m³/s et/ou en m³/an.

L'état naturel correspond à l'état naturel du cours d'eau ; il s'agit des résultats de la modélisation auquel on rajoute les pressions qui s'exercent sur celui-ci. On distingue les données issues des moyennes interannuelles et celles de quinquennale sec. Les définitions suivantes permettent de préciser le contenu de chaque ligne du tableau :

- **Débit mensuel interannuel UG2** : La donnée est issue des résultats de la modélisation, il s'agit du débit moyen interannuel du mois considéré ;
- **Débit mensuel interannuel Naturel de UG2** : le débit moyen interannuel recalculé en ajoutant les prélèvements qui s'exercent sur l'UG 2, $QM\ nat = QM + PRV (AEP, IND, IRR)$ de UG2 ;
- **Débit mensuel interannuel NATUREL de BV2** : le BV2 prend en compte les prélèvements qui s'exercent sur l'UG1 en amont, $QM\ nat\ BV = QM\ nat + PRV (AEP, IND, IRR)$ de UG1 ;
- **Module du BV2** : Moyenne des débits mensuels interannuels naturels de BV2, $Q = Moyenne (QM\ nat\ BV)$;
- **Débit réservé BV2** : correspond à 20% du module ; $Dr = 0,2 * Q$;
- **Débit mensuel prélevable UG2** : il s'agit du débit naturel de l'UG auquel on ôte le débit réservé, $Dp\ UG = QM\ nat - Dr$;
- **Débit mensuel prélevable BV2** : il s'agit du débit naturel du BV auquel on ôte le débit réservé, $Dp\ BV = QM\ nat\ BV - Dr$;
- Les volumes en m³ sont déduits des débits en m³/s par mois ($V = Q * 24 * 3600 * \text{nombre de jours du mois considéré}$).
- **Débit quinquennial sec UG2** : il a une probabilité de 4/5 d'être dépassé chaque année, il s'agit du minimum des débits mensuels du mois considéré, observé en moyenne sur une période de 5 ans. Dans notre cas, l'étude porte sur 10 années, le débit quinquennial sec correspond à la moyenne de deux valeurs de débit minimum de chaque mois.

Les calculs pour le quinquennial sec sont les mêmes que pour les moyennes interannuelles.

- **Débit d'étiage** : il correspond au débit minimum quinquennial sec naturel, $QMNA5 = Min (Qm\ nat\ sec\ BV)$
- **Respect naturel du débit réservé de l'UG2** : il arrive que même sans pression sur l'unité de gestion, le débit du cours d'eau en quinquennial sec soit inférieur au débit réservé.

Unité de gestion : 2

BV = UG amont + UG étudiée

ETAT NATUREL

	Valeur	Unité
Module BV2	Q	m ³ /s
Débit d'étiage BV2	QMNA5	m ³ /s

MOYENNE INTERANNUELLE

	Unité/ Mois	Janvier	février	mars	Etc...
	Jours	31	28	31	30
Débit mensuel interannuel UG2	m ³ /s	QM1	QM2	QM3	QM4
Débit mensuel interannuel NATUREL UG2		QM nat1	QM nat2	QM nat3	QM nat4
Débit mensuel interannuel NATUREL BV2		QM nat1 BV	QM nat1 BV	QM nat1 BV	QM nat1 BV
Débit réservé BV2		Dr	Dr	Dr	Dr
Débit mensuel prélevable UG2		Dp 1	Dp 2	Dp 3	Dp 4
Débit mensuel prélevable BV2	Dp BV1	Dp BV2	Dp BV3	Dp BV4	
Volume mensuel interannuel NATUREL UG2	m ³	VM nat1	VM nat2	VM nat3	VM nat4
Volume mensuel interannuel NATUREL BV2		VM nat BV1	VM nat BV2	VM nat BV3	VM nat BV4
Volume réservé BV2		Vr	Vr	Vr	Vr
Volume mensuel prélevable UG2		Vp1	Vp2	Vp3	Vp4
Volume mensuel prélevable BV2		Vp BV1	Vp BV2	Vp BV3	Vp BV4

QUINQUENNAL SEC

	Unité/ Mois	Janvier	février	mars	avril
Débit quinquennal sec UG2	m ³ /s	Qm sec1	Qm2	Qm3	Qm4
Débit mensuel quinquennal sec NATUREL UG2		Qm nat sec 1	Qm nat sec 2	Qm nat sec 3	Qm nat sec 4
Débit mensuel quinquennal sec NATUREL BV2		Qm nat sec BV1	Qm nat sec BV2	Qm nat sec BV3	Qm nat sec BV4
Débit mensuel prélevable UG2		Qp sec1	Qp sec2	Qp sec3	Qp sec4
Débit mensuel prélevable BV2		Qp sec BV1	Qp sec BV2	Qp sec BV3	Qp sec BV4
Volume mensuel quinquennal sec NATUREL UG2	m ³	Vm sec nat1	Vm sec nat2	Vm sec nat3	Vm sec nat4
Volume mensuel quinquennal sec NATUREL BV2		Vm sec nat BV1	Vm sec nat BV2	Vm sec nat BV3	Vm sec nat BV4
Volume mensuel prélevable UG2		Vp sec1	Vp sec2	Vp sec3	Vp sec4
Volume mensuel prélevable BV2		Vp sec BV1	Vp sec BV2	Vp sec BV3	Vp sec BV4
Respect naturel du débit réservé actuel UG2			OUI / NON	OUI / NON	OUI / NON

DONNEES DE PRELEVEMENTS

Prélèvement UG2	Unité/ Mois	Janvier	février	mars	avril
AEP	m ³ /s	Q AEP1	Q AEP2	Q AEP3	Q AEP4
Industrie		Q IND1	Q IND2	Q IND3	Q IND4
Irrigation		Q IRR1	Q IRR2	Q IRR3	Q IRR4
AEP	m ³	V AEP1	V AEP2	V AEP3	V AEP4
Industrie		V IND1	V IND2	V IND3	V IND4
Irrigation		V IRR1	V IRR2	V IRR3	V IRR4
Prélèvement UG1 amont	Unité/ Mois	Janvier	Février	Mars	Avril
AEP	m ³ /s	Q' AEP1	Q' AEP2	Q' AEP3	Q' AEP4
Industrie		Q' IND1	Q' IND2	Q' IND3	Q' IND4
Irrigation		Q' IRR1	Q' IRR2	Q' IRR3	Q' IRR4
AEP	m ³	V' AEP1	V' AEP2	V' AEP3	V' AEP4
Industrie		V' IND1	V' IND2	V' IND3	V' IND4
Irrigation		V' IRR1	V' IRR2	V' IRR3	V' IRR4
Prélèvement BV2	Unité/ Mois	Janvier	février	mars	avril
AEP	m ³ /s	S Q+Q'	S Q+Q'	S Q+Q'	S Q+Q'
Industrie		S Q+Q'	S Q+Q'	S Q+Q'	S Q+Q'
Irrigation		S Q+Q'	S Q+Q'	S Q+Q'	S Q+Q'
AEP	m ³	S V+V'	S V+V'	S V+V'	S V+V'
Industrie		S V+V'	S V+V'	S V+V'	S V+V'
Irrigation		S V+V'	S V+V'	S V+V'	S V+V'

Illustration 22 : Exemple de bilan mensuel de l'état naturel et données de prélèvements d'une unité de gestion

3.1.4. Simulation des unités de gestion soumise à des prélèvements AEP

Actuellement, l'alimentation en eau potable se fait à 96% grâce aux prélèvements réalisés dans les eaux de surface ou à partir de sources et les moyens de diversification sont actuellement limités.

L'objectif de la simulation des unités de gestion prenant en compte des prélèvements AEP est de présenter les tensions vis-à-vis des autres prélèvements existants (industriel et irrigation) sur l'unité de gestion ou le bassin versant en considérant que l'AEP est un prélèvement inéluctable.

SIMULATION AVEC AEP sur BV :

MOYENNE INTERANNUELLE

	Unité/ Mois	Janvier	février	mars	avril
Débit mensuel interannuel naturel BV2	m ³ /s	QM AEP1	QM AEP2	QM AEP3	QM AEP4
Volume mensuel interannuel naturel BV2	m ³	VM AEP1	VM AEP2	VM AEP3	VM AEP4
Volume mensuel prélevable hors AEP du BV2	m ³	Vp AEP1	Vp AEP2	Vp AEP3	Vp AEP4
Unité en tension		OUI / NON	OUI / NON	OUI / NON	OUI / NON

QUINQUENNAL SEC

	Unité/ Mois	Janvier	février	mars	avril
Débit mensuel quinquennal sec BV2	m ³ /s	Qm sec AEP1	Qm sec AEP2	Qm sec AEP3	Qm sec AEP4
Volume mensuel quinquennal sec BV2	m ³	Vm sec AEP1	Vm sec AEP2	Vm sec AEP3	Vm sec AEP4
Volume mensuel prélevable BV2		Vp sec AEP1	Vp sec AEP2	Vp sec AEP3	Vp sec AEP4
Unité en tension		OUI / NON	OUI / NON	OUI / NON	OUI / NON

Illustration 23 : Exemple de simulation avec des prélèvements AEP sur le BV2

La majorité des définitions des lignes sont les mêmes que pour l'état naturel sauf que le prélèvement AEP est déduit des débits et volumes mensuels. Les définitions complémentaires sont les suivantes :

- **Débit mensuel interannuels BV2** : il s'agit du débit interannuel naturel du BV – prélèvement AEP, $QM AEP = QM nat BV - PRV AEP BV$;
- **Le volume mensuel interannuel naturel BV2** est déduit du débit mensuel interannuel.
- **Volume mensuel prélevable BV2** : correspond au volume mensuel interannuel naturel BV2 de la simulation avec AEP, auquel on ôte le volume réservé du BV, $Vp AEP = VM AEP - Vr$.

Le principe est le même pour la seconde partie du tableau en prenant en compte le débit interannuel quinquennal sec naturel du BV.

Il est ainsi possible de conclure que le BV est en tension si les prélèvements industriels ou agricoles sont supérieurs au volume mensuel prélevable du BV en moyenne interannuel ou en quinquennal sec.

3.2. CYCLE DE L'EAU REGIONAL

Le schéma du cycle de l'eau à l'échelle de la Martinique est présenté en Illustration 24.

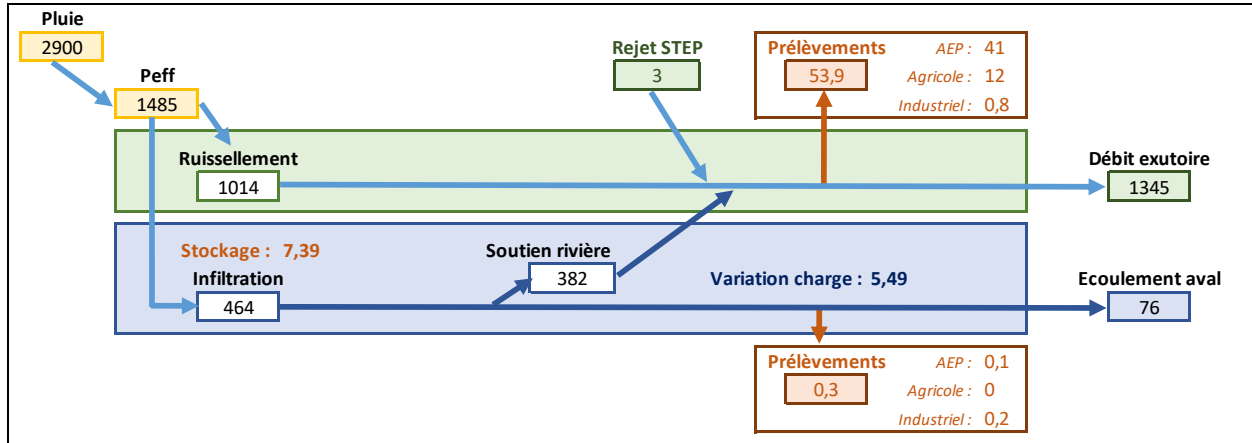


Illustration 24 : Bilan des circulations d'eaux à l'échelle de la Martinique, en Mm³

3.3. RESULTATS PAR UNITES DE GESTION

L'ensemble de résultats par unités de gestion est présenté en 3 parties :

- Le bilan annuel par unités de gestion ;
- Le bilan mensuel par unités de gestion en considérant les prélèvements actuels ;
- Le calcul des caractéristiques mensuelles par unités de gestion et évaluation de l'impact des prélèvements.

Ce chapitre présentera l'exemple du bassin versant de la Lézarde, le plus complexe, comprenant des unités de gestion emboîtées. Les autres résultats sont présentés en Annexe 2.

3.3.1. Emprise géographique du bassin versant de la Lézarde

Le bassin versant est composé de 8 unités de gestion sur lequel s'exerce des pressions d'alimentation en eau potable, industrielles et agricoles. Sa surface totale est d'environ 100 km² avec une altitude de 1117 m dans l'UG 22 à 0 dans l'UG 44.

Les unités de gestion sont emboîtées selon le schéma suivant :

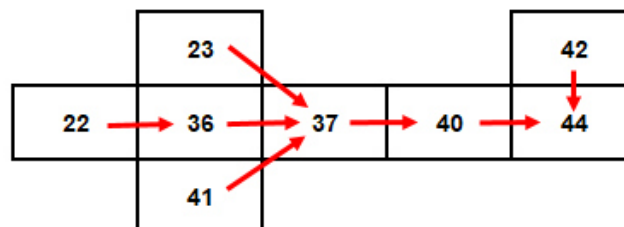


Illustration 25 : Unités de gestion emboîtées du BV 44

La cartographie des unités de gestion sont présentées dans l'illustration 26.

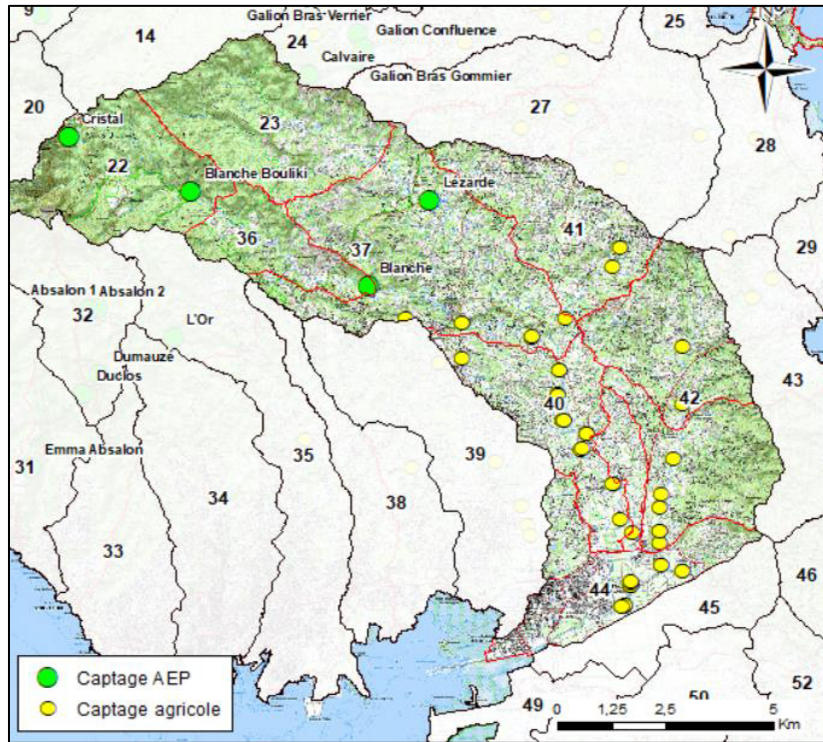
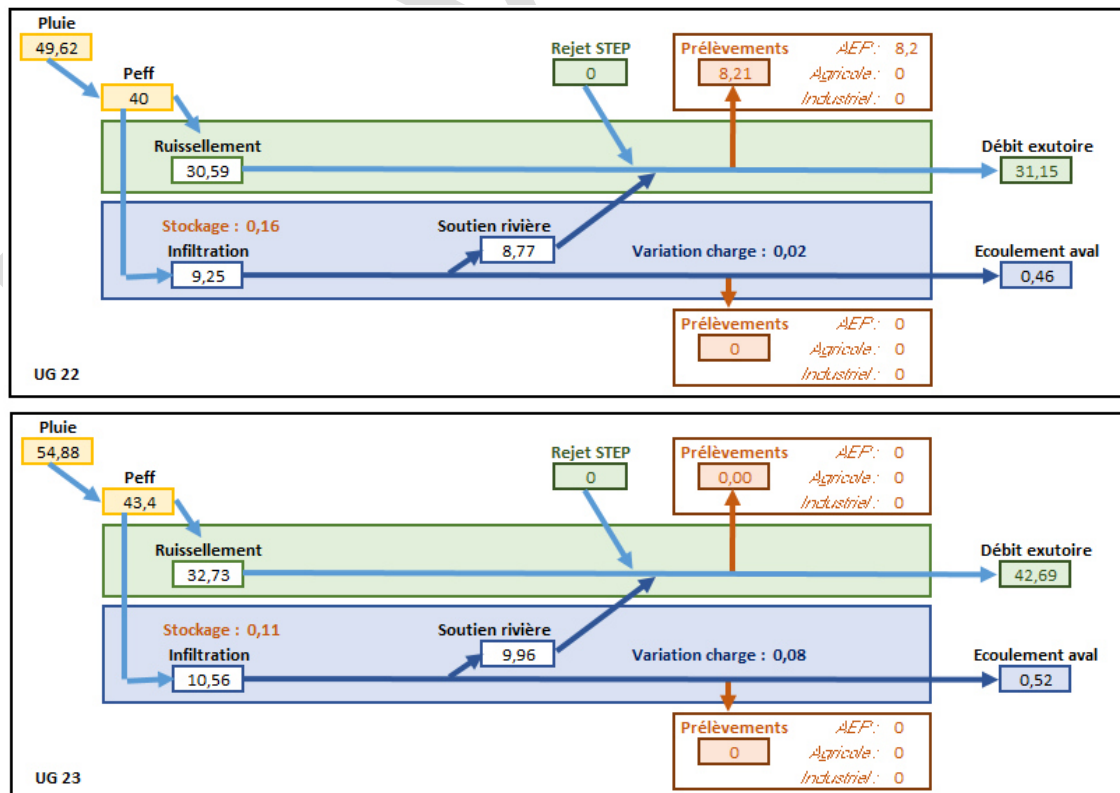
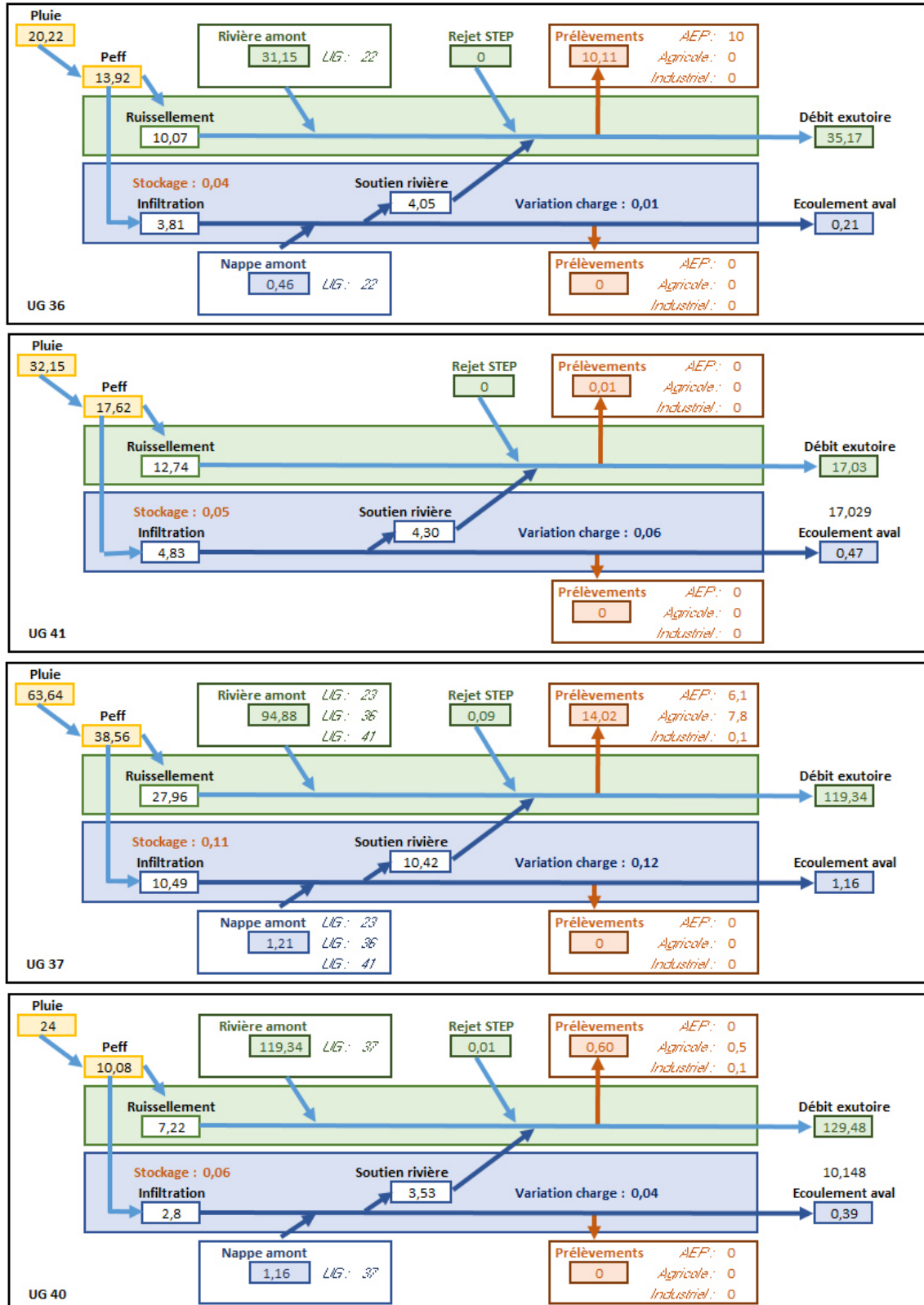


Illustration 26 : Cartographie des unités de gestion ayant pour exutoire la rivière Lézarde

3.3.2. Bilan annuel par unités de gestion

Le bilan annuel par unités de gestion en Mm³ a été réalisé sur une période de 10 ans, de 2008 à 2017. Il est présenté par unités de gestion dans les illustrations ci-dessous :





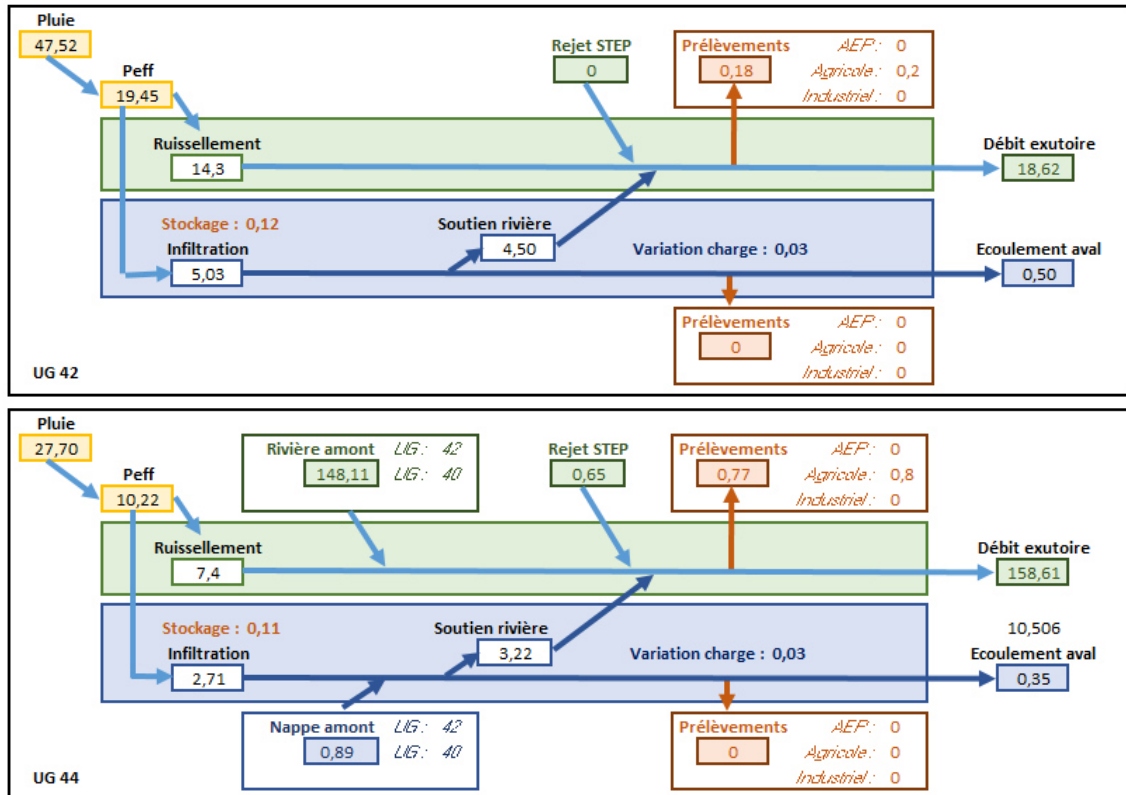


Illustration 27 : Bilan annuel en Mm³ des unités de gestion impliquées dans le bassin versant 44

3.3.3. Bilan mensuel par unité de gestion

Les histogrammes de l'illustration 28, issus des tableaux de caractéristiques des volumes prélevables et tensions par UG, présentent, en bleu, les débits mensuels interannuels de chaque unité de gestion contribuant au bassin versant de la Lézarde. A ces débits sont cumulés les prélèvements en AEP (bleu ciel), industriels (orange) et agricoles qui s'exercent sur l'UG étudiée. Le cumul représente le débit mensuel interannuel naturel de l'unité de gestion.

Enfin, est présenté en jaune le débit mensuel quinquennal sec naturel, et par un trait rouge le débit réservé du BV, correspondant à 20% du module.

Ces graphiques permettent ainsi de mettre en évidence le respect ou non des débits réservés par UG vis-à-vis :

- du débit moyen mensuel interannuel naturel ;
- du débit quinquennal sec mensuel interannuel naturel ;
- du débit moyen mensuel interannuel en considérant les prélèvements connus de l'AEP, industriels et estimés par la chambre d'agriculture en irrigation.

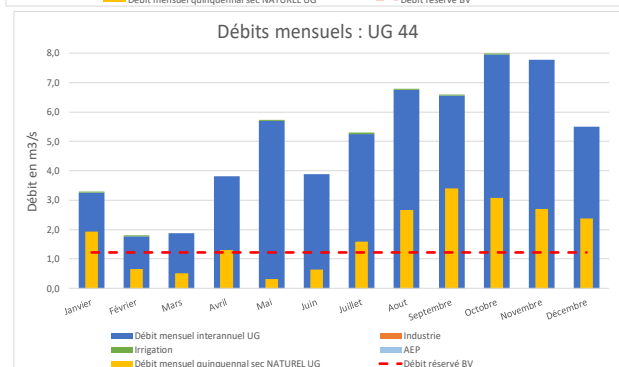
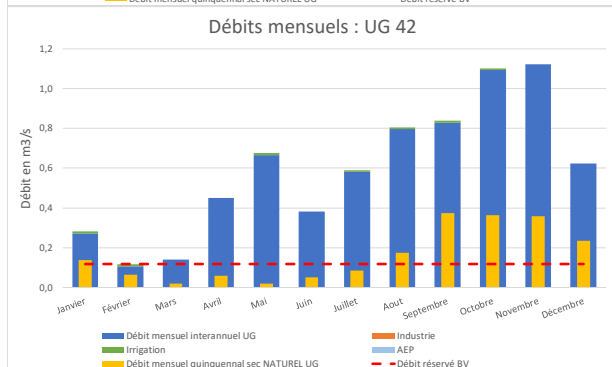
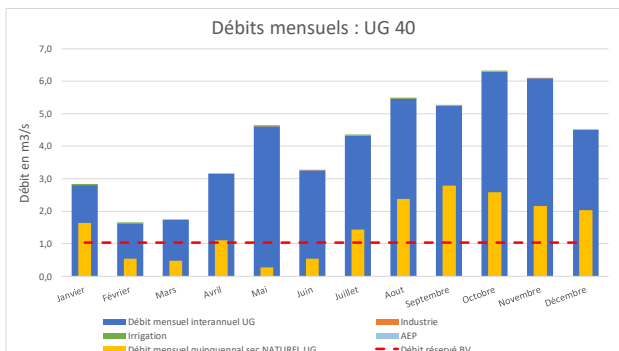
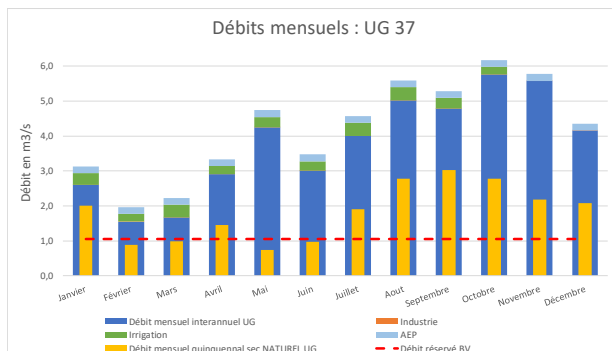
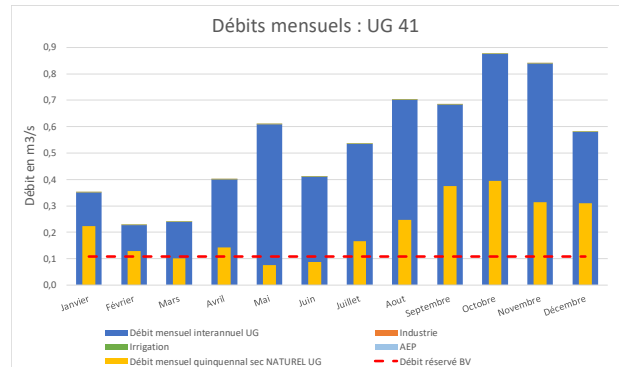
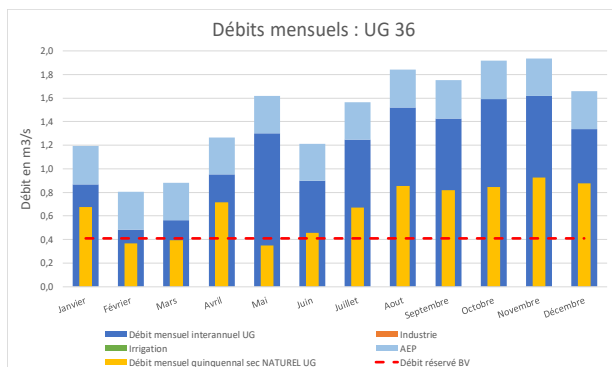
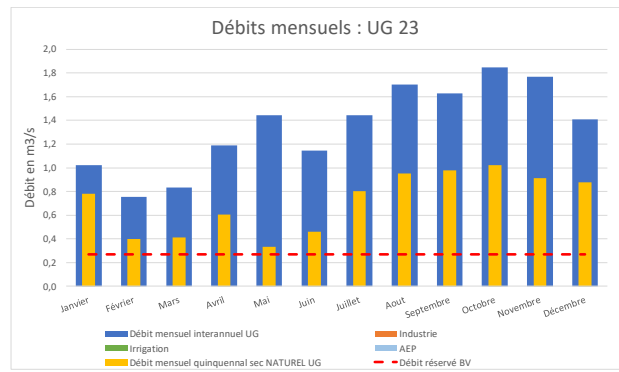
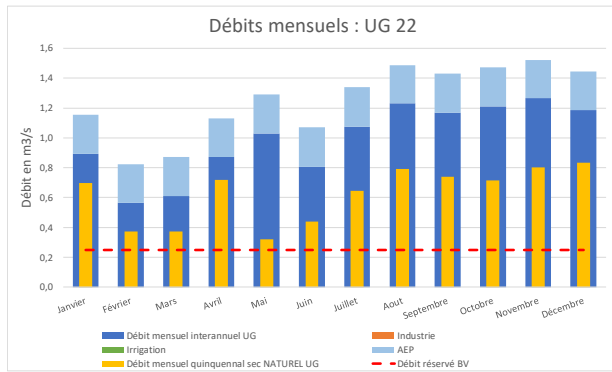


Illustration 28 : Histogrammes des débits mensuels et prélèvements existants par UG du BV44 de la Lézarde

L'analyse de ses histogrammes permet de faire ressortir les informations suivantes :

- Les unités de gestion en amont du bassin telles que UG 22, 23 et 36 présentent des débits moyens interannuels supérieurs à leur débit réservé respectif tout au long de l'année, en raison d'une pluviométrie importante dans les reliefs au niveau des Pitons du Carbet.
- Compte-tenu de la ressource existante,
- Les prélèvements AEP les plus importants se situent dans les UG 22 et 36 : 8,2 Mm³/an (cf. Illustration 27) pour l'UG 22 au captage Blanche Bouliki – Durand et 10,1 Mm³/an pour l'UG 36 au captage Blanche – Rivière Blanche. Les pressions AEP qui s'exercent sur ces unités respectent leur débit réservé respectif au cours des années normales ou à pluviométrie excédentaire.
- Dans le cas de l'unité 36, le débit mensuel quinquennal sec naturel au mois de février, mars et mai (0,37 m³/s en moyenne) ne respecte pas le débit réservé de 0,41 m³/s (hypothèse de besoins en AEP constants, soit 0,32 m³/s en moyenne), le débit de la rivière au cours de ces mois pendant les années quinquennales sèches est ainsi très faible, en moyenne de 0,05 m³/s (soit 50 l/s).
- Le débit moyen interannuel de l'unité de gestion 42, qui s'étend du Vert Pré à Roche Carré au Lamentin, ne respecte pas au mois de février le débit réservé de 0,12 m³/s. Cette unité ne connaît que très peu de prélèvements agricoles déclarés (< 15000 m³/ an) et aucun prélèvement pour l'AEP et industriel. Durant les années quinquennales sèches le débit réservé ne peut être respecté la moitié de l'année, du mois de février au mois de juillet.
- Sur l'ensemble des unités de gestion, aucune n'est en tension avec et sans prélèvements au cours des années normales (excepté UG 42 en février). En revanche, en période de carême des années quinquennales sèches, à l'exception de l'UG 23 en amont du bassin versant qui possède une pluviométrie abondante et aucune pression, toutes les autres UG sont systématiquement en dessous des débits réservés.

3.3.4. Volumes prélevables « eau superficielle »

L'illustration 29 présente le tableau des caractéristiques et tensions qui s'exercent sur le bassin versant 44, en considérant donc l'ensemble des unités amont.

Au cours d'une année normale :

- A l'état naturel, donc sans prélèvements, les volumes prélevables en eau de surface varient de 4,04 à 20,98 Mm³/mois en fonction du mois ;
- Avec les prélèvements AEP, le BV 44 ne présente pas de tension et permet de prélever dans les eaux de surface entre 2,17 à 18,89 Mm³/mois en fonction du mois ;

Au cours d'une année quinquennale sèche, il ressort que :

- A l'état naturel, les volumes en eau de surface varient de 0,67 à 8,6 Mm³/mois en fonction du mois et respecte naturellement le débit réservé du BV de 1,22 m³/s ;
- Avec les prélèvements AEP, le BV 44 ne respecte pas le débit réservé, au cours des mois de février, mars, mai et juin. Pour le respecter toute l'année, il faudrait diminuer les prélèvements de 0,64 Mm³ à 1,4 Mm³.

Unité de gestion : 44 BV = UG 42 + BV 40 + UG 44

ETAT NATUREL

Valeur	Unité
6.09	m³/s
0.33	m³/s

MOYENNE INTERANNUELLE

Unité/ Mois	Janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Jours	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Débit mensuel interannuel UG	3.25	1.77	1.88	3.81	5.70	3.89	5.25	6.75	6.55	7.95	7.77	5.49
Débit mensuel interannuel NATUREL UG	3.29	1.81	1.88	3.81	5.74	3.89	5.29	6.79	6.59	7.99	7.77	5.49
Débit mensuel interannuel NATUREL BV	4.47	2.89	3.01	4.81	6.88	4.93	6.51	8.02	7.74	9.05	8.53	6.27
Débit réservé BV	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
Débit mensuel prélevable UG	2.07	0.60	0.66	2.60	4.52	2.67	4.07	5.57	5.38	6.77	6.55	4.28
Débit mensuel prélevable BV	3.25	1.67	1.79	3.59	5.66	3.71	5.29	6.80	6.52	7.83	7.32	5.05
Volume mensuel interannuel NATUREL UG	8 820 806	4 389 646	5 032 065	9 886 868	15 373 321	10 078 553	14 175 165	18 191 915	17 092 987	21 393 193	20 135 269	14 715 005
Volume mensuel interannuel NATUREL BV	11 982 386	6 994 183	8 067 418	12 456 776	18 436 576	12 786 491	17 442 565	21 477 686	20 068 737	24 244 547	22 122 493	16 795 496
Volume réservé BV	3 264 542	2 948 619	3 264 542	3 159 235	3 264 542	3 159 235	3 264 542	3 264 542	3 159 235	3 264 542	3 159 235	3 264 542
Volume mensuel prélevable UG	5 556 263	1 441 027	1 767 522	6 727 633	12 108 779	6 919 319	10 910 623	14 927 373	13 933 752	18 128 651	16 976 035	11 450 463
Volume mensuel prélevable BV	8 717 844	4 045 564	4 802 876	9 297 541	15 172 034	9 627 256	14 178 023	18 213 144	16 909 503	20 980 004	18 963 258	13 530 953

4045564 20980004

QUINQUENNAL SEC

Unité/ Mois	Janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Débit quinquennal sec UG	1.89	0.61	0.51	1.30	0.29	0.64	1.55	2.62	3.36	3.03	2.70	2.39
Débit mensuel quinquennal sec NATUREL UG	1.93	0.65	0.51	1.30	0.33	0.64	1.59	2.66	3.40	3.07	2.70	2.39
Débit mensuel quinquennal sec NATUREL BV	3.11	1.73	1.65	2.29	1.47	1.68	2.81	3.89	4.55	4.14	3.47	3.16
Débit mensuel prélevable UG	0.71	-0.57	-0.71	0.08	-0.89	-0.58	0.38	1.44	2.19	1.86	1.49	1.17
Débit mensuel prélevable BV	1.89	0.51	0.43	1.08	0.25	0.46	1.60	2.67	3.33	2.92	2.25	1.94
Volume mensuel quinquennal sec NATUREL UG	5 170 738	1 579 782	1 375 707	3 376 381	873 959	1 656 512	4 271 173	7 133 427	8 823 962	8 235 116	7 009 458	6 389 728
Volume mensuel quinquennal sec NATUREL BV	8 332 318	4 184 319	4 411 060	9 946 289	3 937 213	4 364 450	7 538 573	10 419 198	11 799 713	11 086 469	8 996 682	8 470 219
Volume mensuel prélevable UG	1 906 195	-1 368 837	-1 888 836	217 147	-2 390 584	-1 502 722	1 006 630	3 868 884	5 664 728	4 970 574	3 850 223	3 125 186
Volume mensuel prélevable BV	5 067 776	1 235 700	1 465 517	2 767 055	672 671	1 205 215	4 274 030	7 154 655	8 640 478	7 821 927	5 837 447	5 205 676
Respect naturel du débit réservé actuel	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

SIMULATION AVEC AEP sur BV :

MOYENNE INTERANNUELLE

Unité/ Mois	Janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Débit mensuel interannuel naturel BV	3.70	2.12	2.24	4.05	6.11	4.16	5.73	7.24	6.96	8.27	7.77	5.50
Volume mensuel interannuel naturel BV	9 900 038	5 118 471	6 003 006	10 496 384	16 361 365	10 789 833	15 347 978	19 397 930	18 062 074	22 159 836	20 145 791	14 725 678
Volume mensuel prélevable du BV	6 635 495	2 169 852	2 738 463	7 337 149	13 096 822	7 630 599	12 083 435	16 133 388	14 892 840	18 895 293	16 986 556	11 461 335
BV en tension	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON

2169862 18695293

QUINQUENNAL SEC

Unité/ Mois	Janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Débit mensuel quinquennal sec du BV	2.33	0.95	0.88	1.54	0.70	0.91	2.03	3.11	3.77	3.36	2.71	2.39
Volume mensuel quinquennal sec du BV	6 249 969	2 308 608	2 346 647	3 985 897	1 862 002	2 367 792	5 443 985	8 339 441	9 783 050	9 001 758	7 019 980	6 400 601
Volume mensuel prélevable du BV	2 985 427	-640 011	-917 895	826 663	-1 402 540	-791 442	2 179 443	5 074 899	6 623 815	5 737 216	3 860 745	3 136 058
BV en tension	NON	OUI	OUI	NON	OUI	OUI	NON	NON	NON	NON	NON	NON

Illustration 29 : Tableau des caractéristiques des volumes prélevables et tensions du BV 44

4. Conclusion

5. Bibliographie

Arnaud L., Lanini S (2014). Impact du changement climatique sur les ressources en eau de Martinique. Rapport BRGM/RP-62676-FR, 91 p., 26 ill., 5 ann.

Desprats J.F., Comte J.P., Perian G. (2003) Cartographie par analyse multicritère des sols potentiellement pollués par organochlorés en Martinique. Rapport Phase 2. BRGM/RP-52257-Fr.

Edijatno et Michel C. (1989). Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres. La Houille Blanche, n°2, pp 113-122. doi:10.1051/lhb/1989007

Mobèche JP. (2003) Homogénéisation et traitement des données pluviométriques de la Martinique par la méthode du vecteur régional. *Les Cahiers du PRAM*, octobre 2003, pp. 15-19.

Requieg (1986) L'évapotranspiration et bilan hydrique en Martinique. Rapport Météo France

Vittecoq B., Lachassagne P., Lanini S., Ladouche B., Marechal J.C., Petit V. (2007) Elaboration d'un système d'information sur les eaux souterraines de la Martinique : identification et caractérisations quantitatives. Rapport BRGM/RP-55099-FR, 221 p., 87 ill., 8 ann.

Annexe 1

Pluviomètres de Météo France utilisés

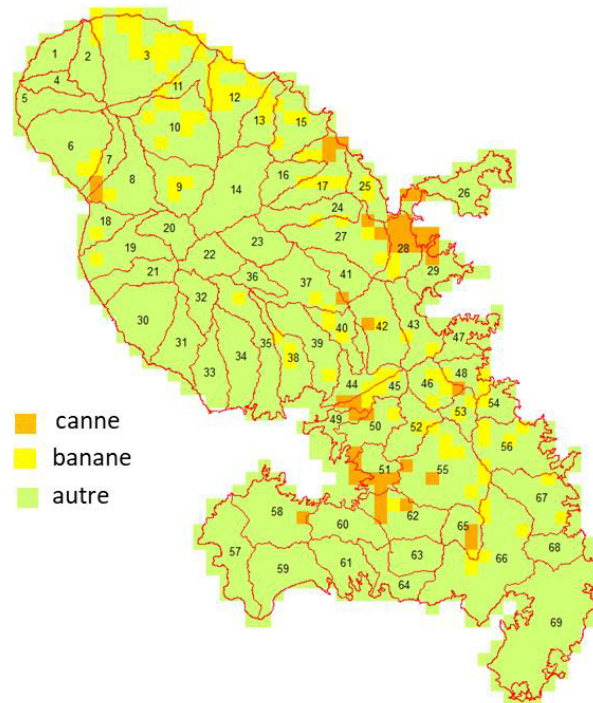
Code station	Commune	Station	X (WGS84 N20)	Y (WGS84 N20)
97201001	Ajoupa-Bouillon	Habitation Eden	702002,84	1638115,10
97204001	Carbet	Bout Bois	697594,83	1628580,23
97206001	Diamant	Quartier Jacqua	710570,35	1601821,87
97209004	Fort-de-France	Desaix	708227,16	1616772,53
97210001	François	Chopotte	723959,30	1618295,03
97210004	François	Usine du Simon	729241,35	1613670,94
97213004	Lamentin	Aéroport	715523,23	1614284,27
97215001	Macouba	Bellevue	699264,36	1643779,15
97218002	Morne-Rouge	Champflore	703008,87	1632283,02
97220004	Rivière-Pilote	Gendarmerie	725456,09	1601984,10
97220005	Rivière-Pilote	Mare Capron	728145,04	1602746,69
97222002	Robert	Pointe Fort	722802,33	1623695,25
97223001	Saint-Esprit	Gendarmerie	721425,45	1610494,01
97224001	Saint-Joseph	Rabuchon	707596,16	1624083,38
97224004	Saint-Joseph	rivière Lézarde	715101,13	1621412,57
97228004	Sainte-Marie	Concorde	714912,91	1632539,51
97228005	Sainte-Marie	Morne des Esses	712803,12	1630922,24
97230002	Trinité	Spoutourne	723148,68	1631599,47
97231002	Trois-Ilets	Golf	710099,65	1607843,06
97232003	Vauclin	Château Paille	732721,08	1609829,92

Zone Pluviométrique	Pluviomètre de référence	Réf. Pluvio	Moyenne interannuelle 1991-2010 du pluvio de référence (mm/an)
1	MACOUBA-Bellevue	97215001	2723
2	Ste-MARIE Concorde	97228004	3035
3A	ROBERT-Pointe Fort	97222002	1586
3B	FRANCOIS-Chopotte	97210001	1738
4A	TRINITE-Spoutourne	97230002	1961
4B	VAUCLIN-ChateauPaille	97232003	1185
4C	Ste-ANNE Belfond SECI	97226001	1465
5A	R.PILOTE-Gendarmerie	97220004	1749
5B	DIAMANT-Quart. Jacqua	97206001	1563
6	TROIS ILETS-Golf	97231002	1648
7	R.PILOTE-Mare Capron	97220005	1931
8A	St-ESPRIT Gendarmerie	97223001	2014
8B	LAMENTIN-Aéroport	97213004	2046
9A	F. DE FRANCE-Desaix	97209004	2010
9B	St-JOSEPH Riv. Lézarde	97224004	2387
10	MORNE-ROUGE-CHAMP	97218002	4697
11	Morne ROUGE-Gendarmerie	97218001	4295
12	AJOUPA-B.habitation Eden	97201001	3679
13	St-PIERRE Périnelle	97225001	1951
14A	St-PIERRE Périnelle	97225001	1951
14B	CARBET-Bout Bois.	97204001	2078

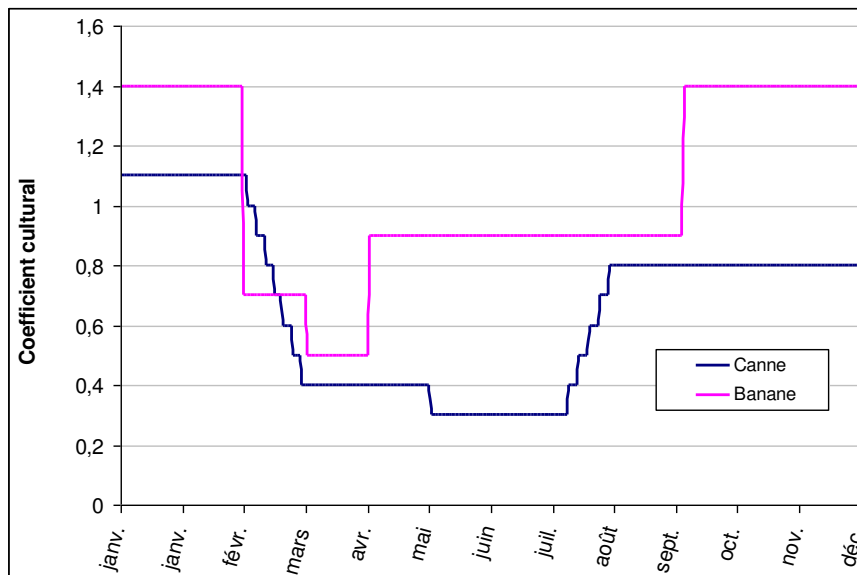
Annexe 2

Autres données d'entrée pour le modèle

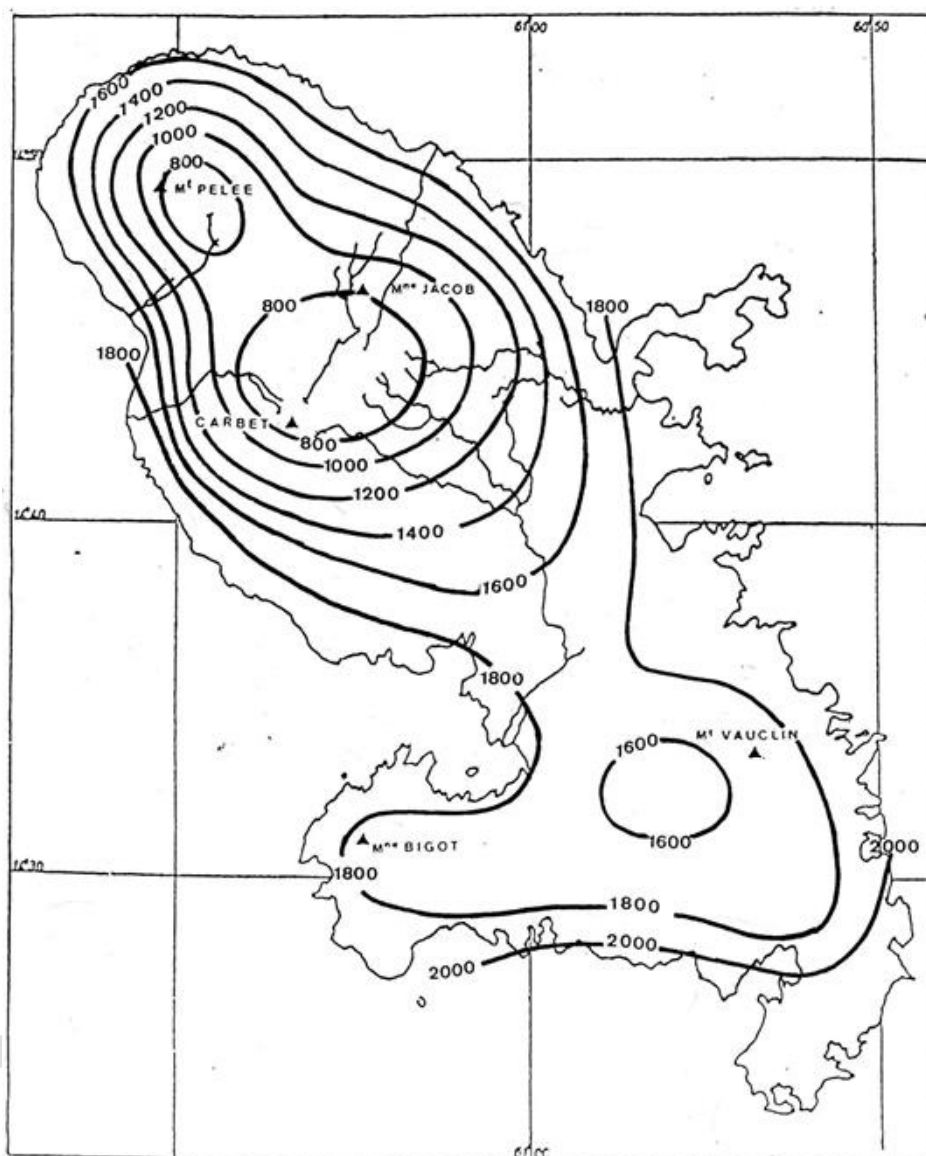
Carte de répartition des cultures (canne et banane) pour déterminer le coefficient Kc dans chaque maille.



Variation des coefficients culturels de la canne et de la banane au cours de l'année



Evapotranspiration moyenne annuelle en Martinique entre 1961 et 1980 en mm/an

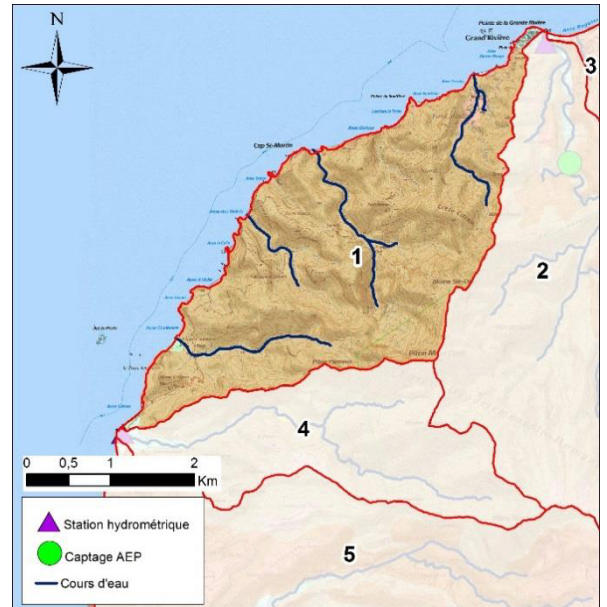


Source : Reguieg (1986)

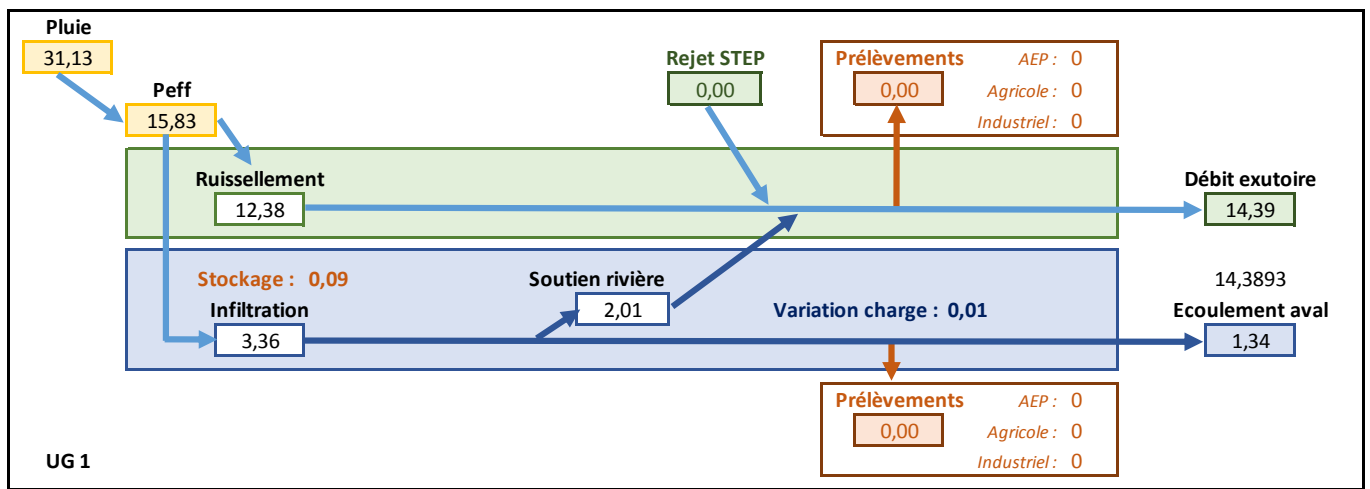
Annexe 3

Résultats des bilans hydrologique et hydrogéologique par unité de gestion

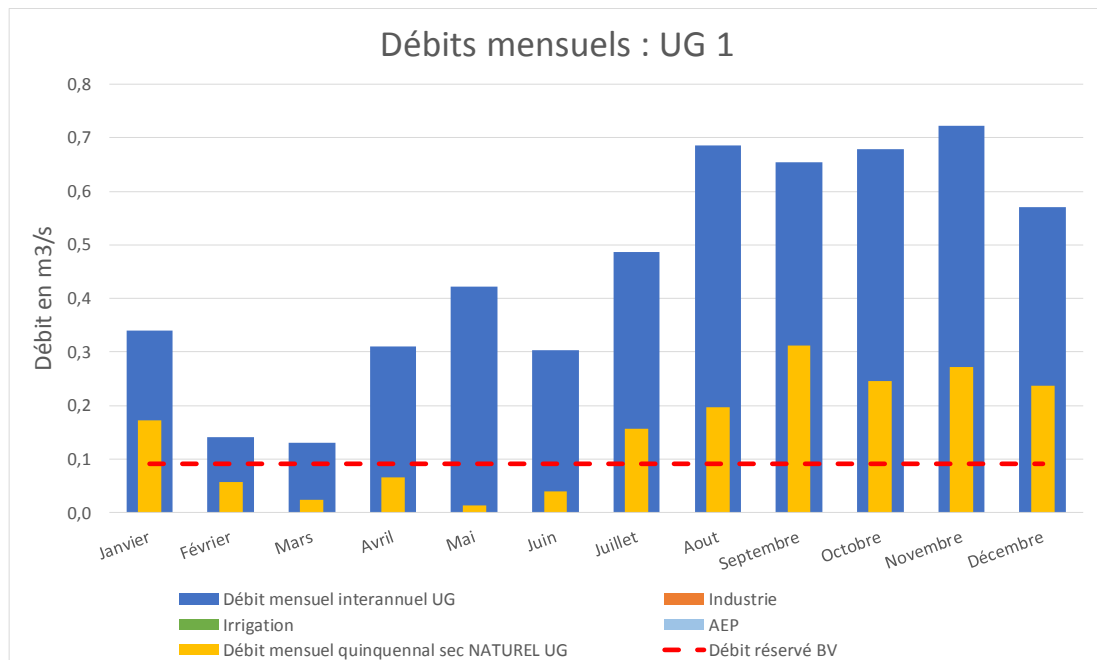
UG 1



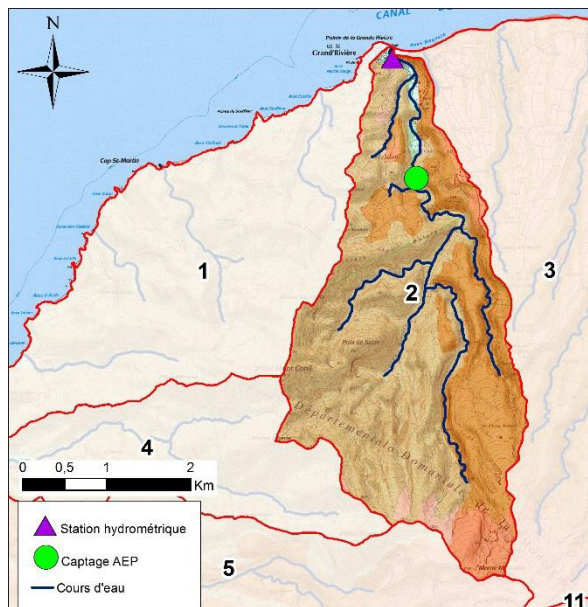
Bilan annuel



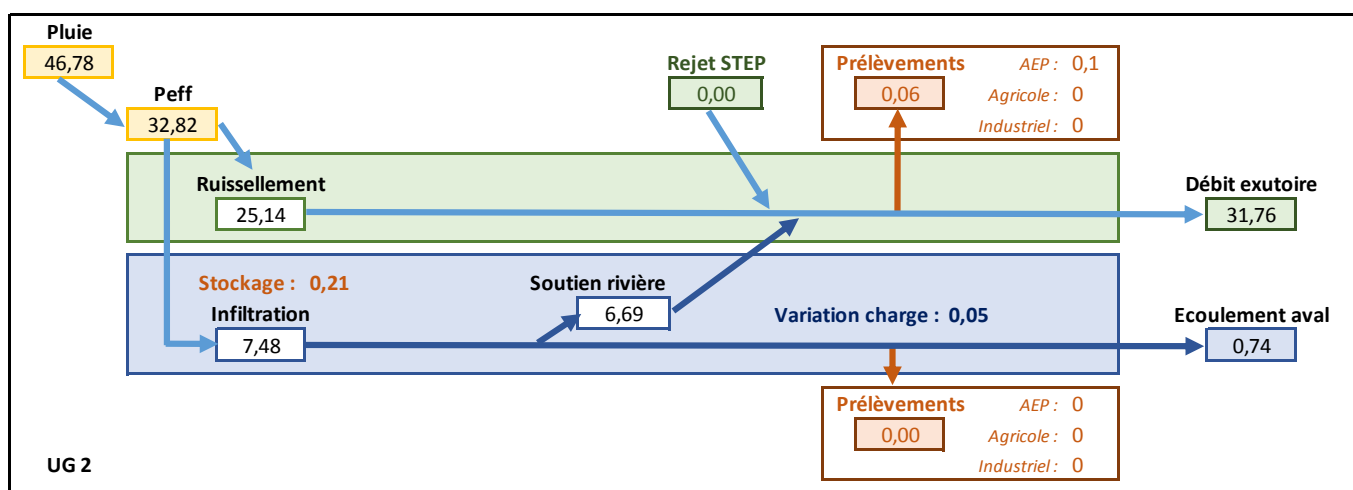
Bilan mensuel



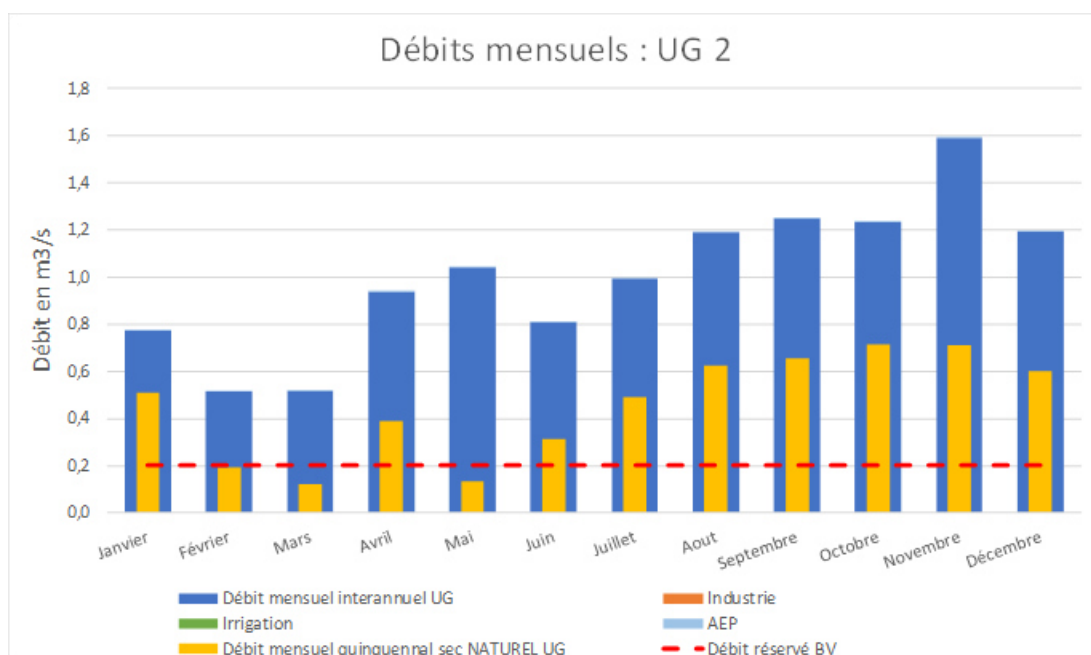
UG 2



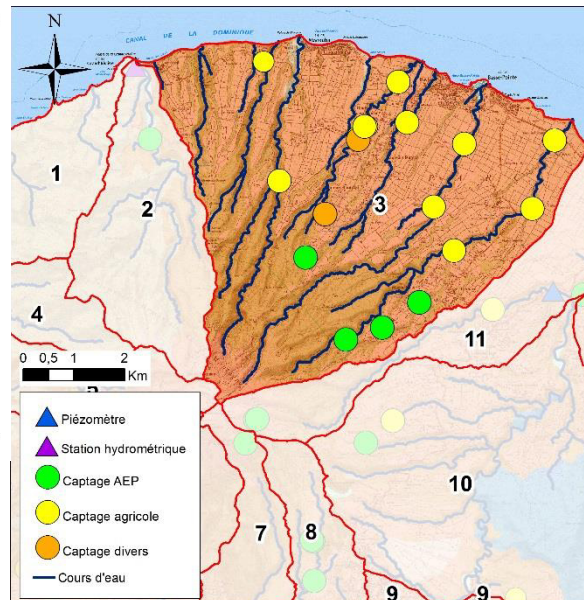
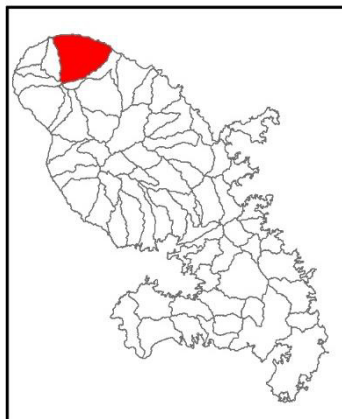
Bilan annuel



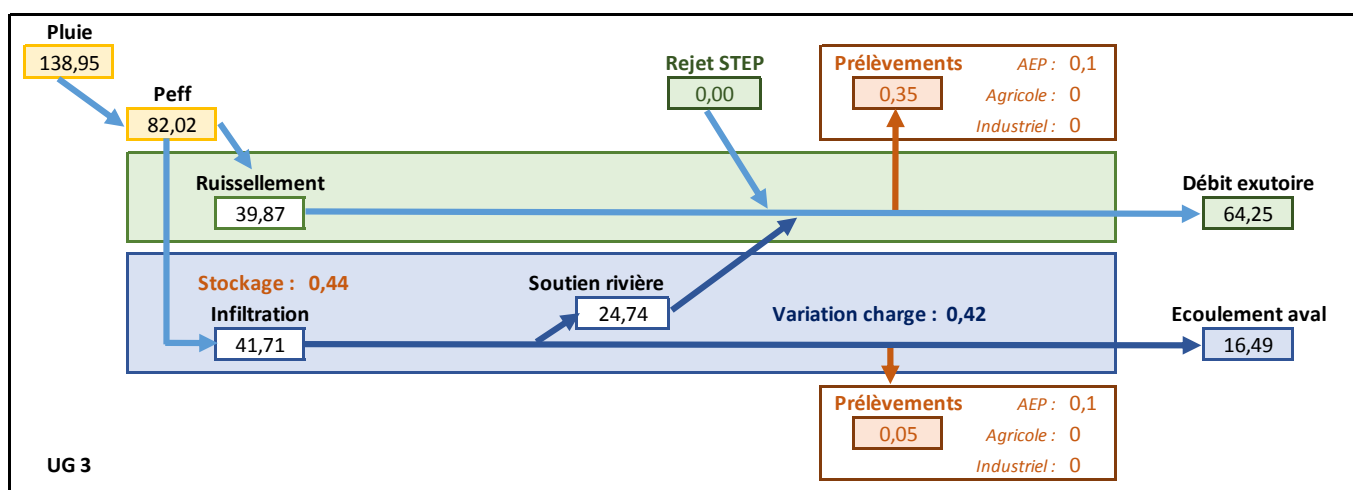
Bilan mensuel



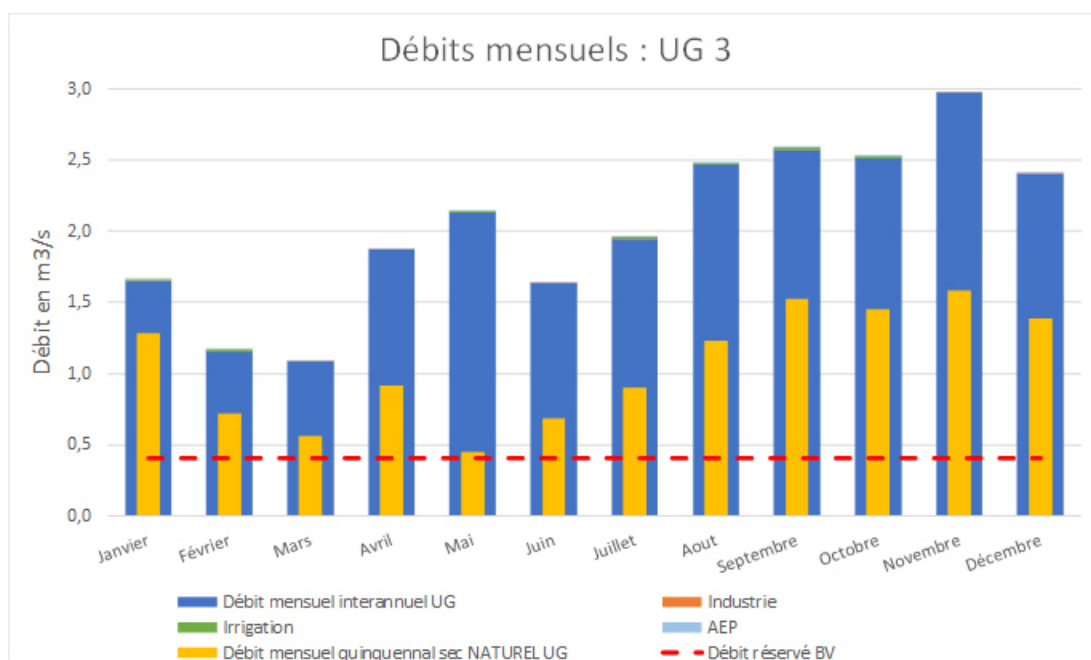
UG 3



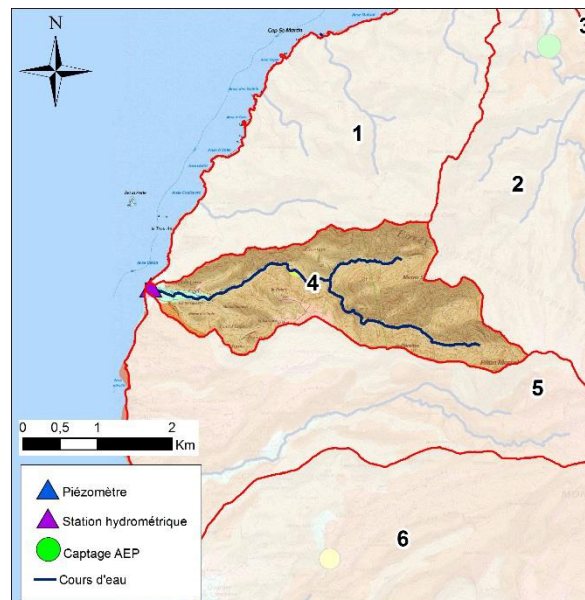
Bilan annuel



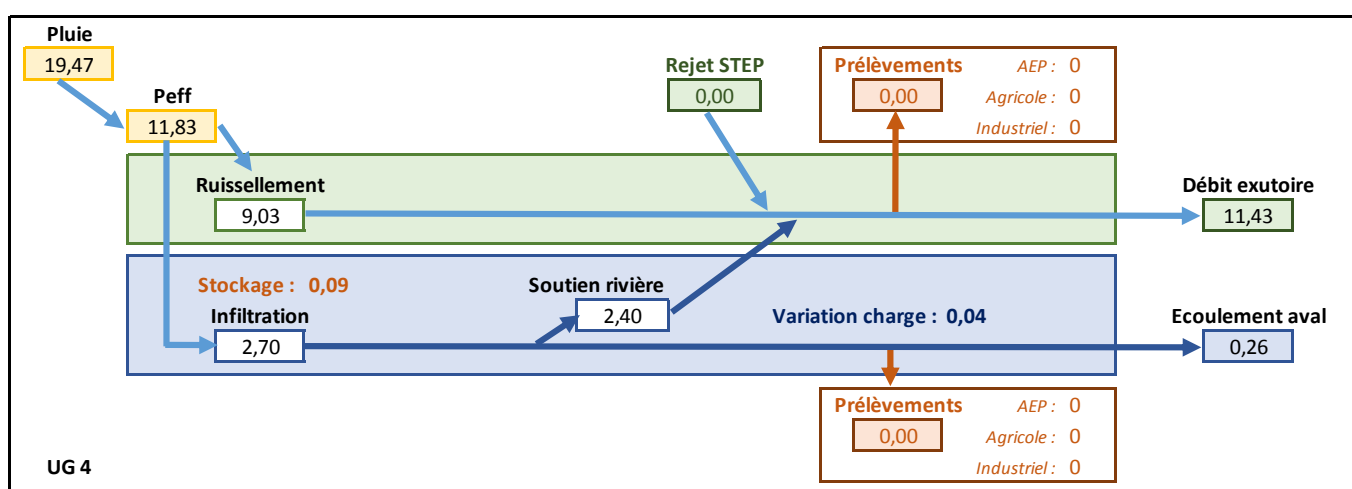
Bilan mensuel



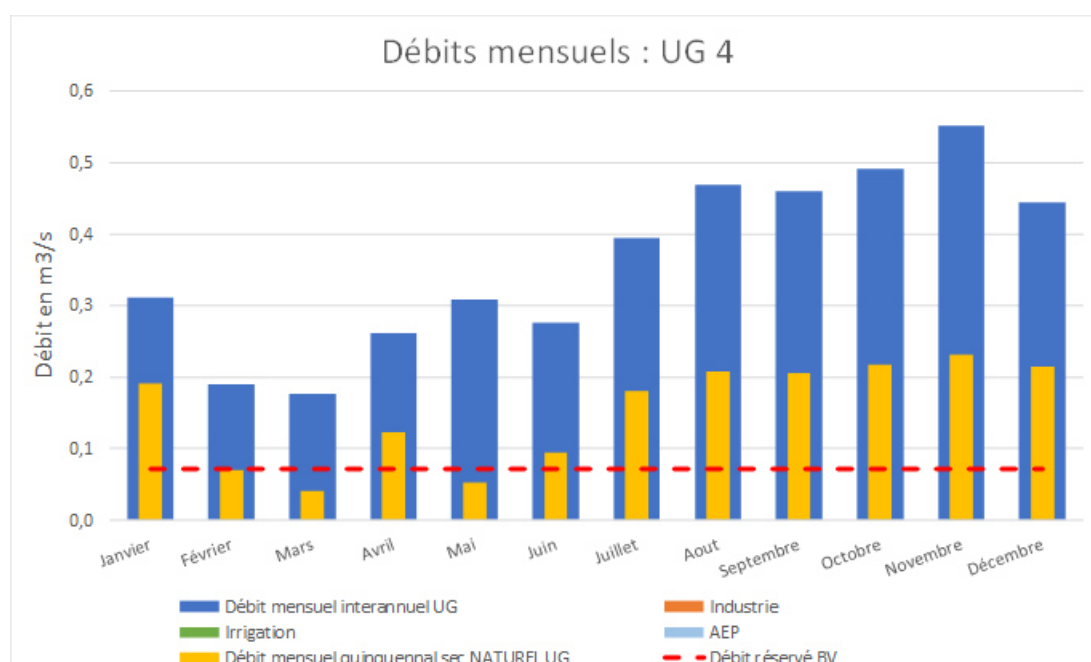
UG 4



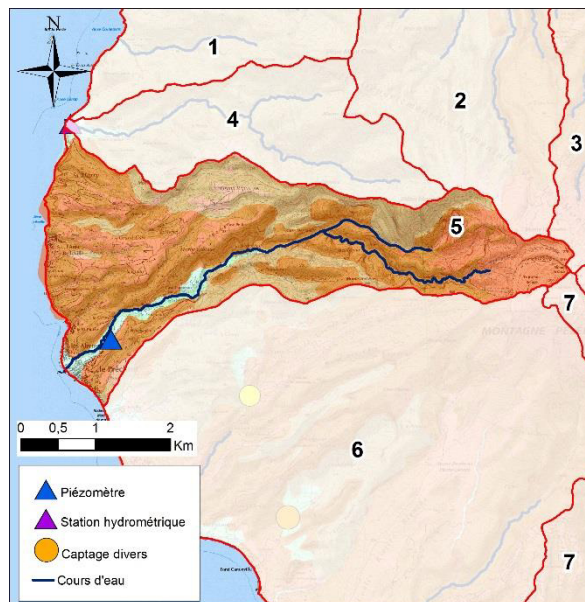
Bilan annuel



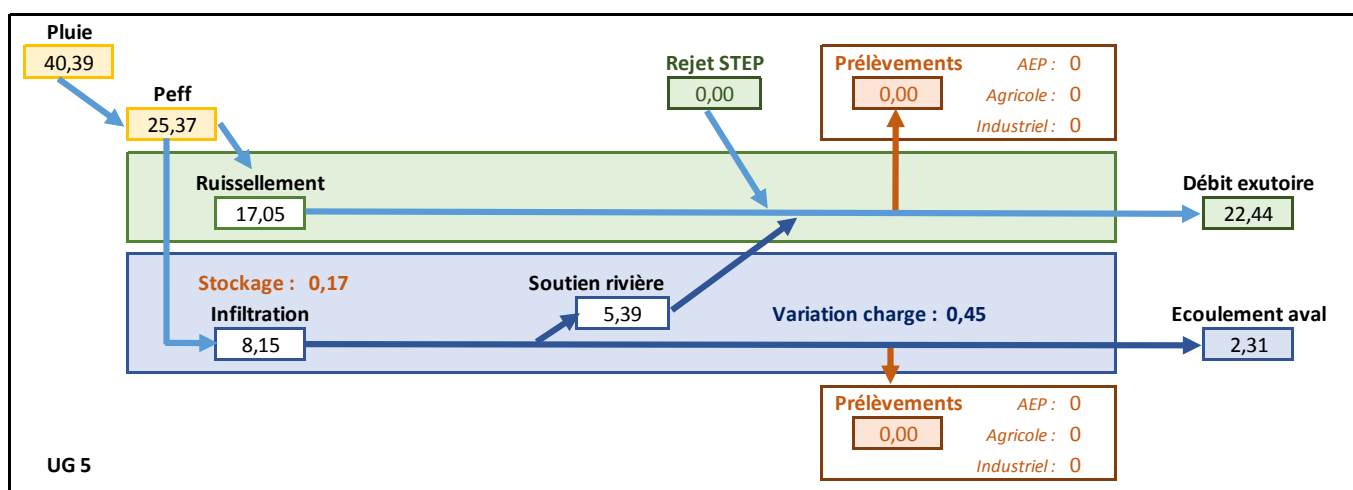
Bilan mensuel



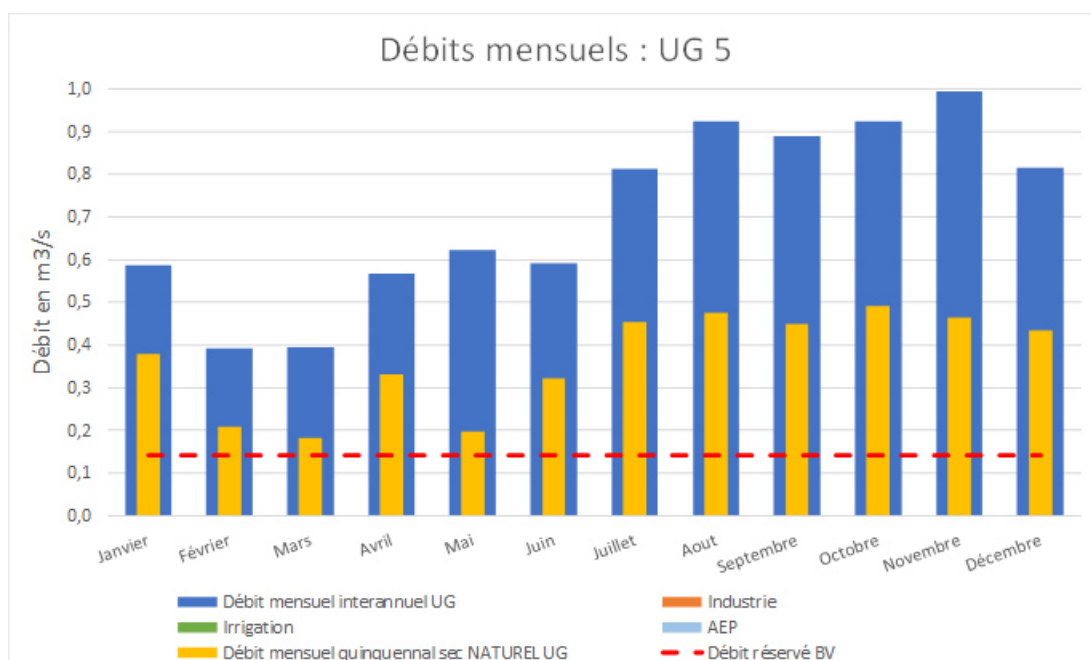
UG 5



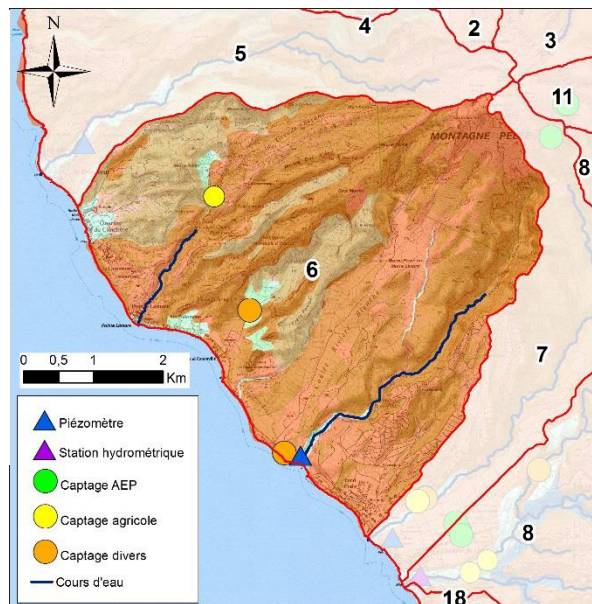
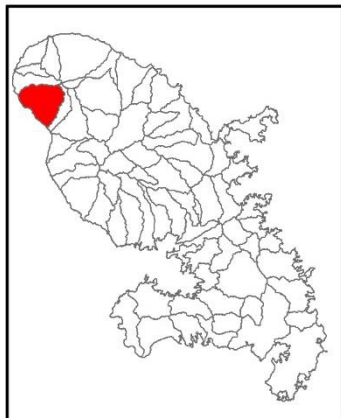
Bilan annuel



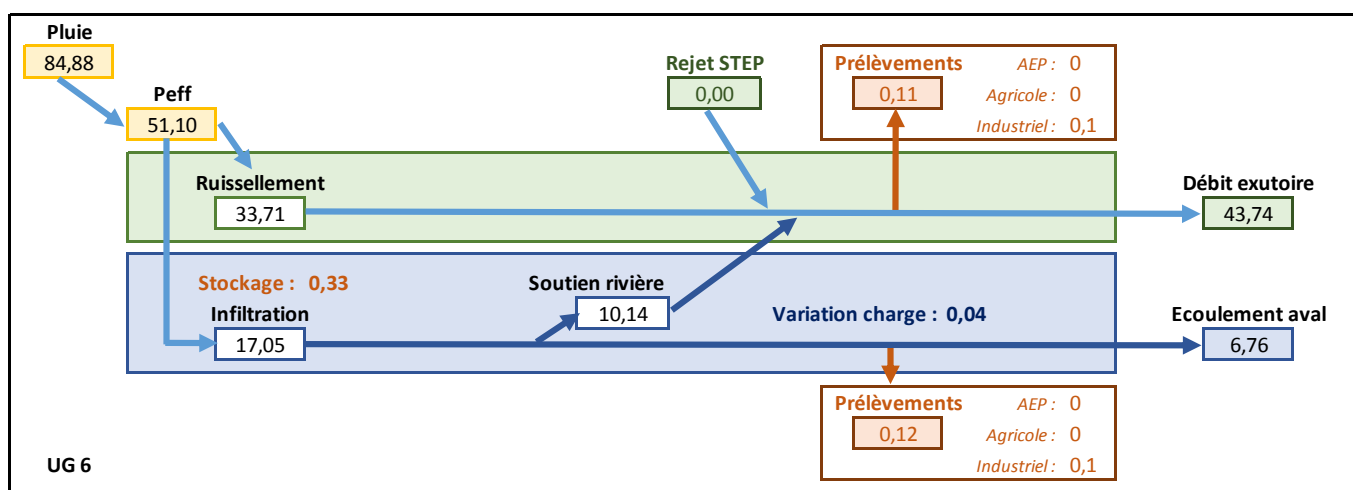
Bilan mensuel



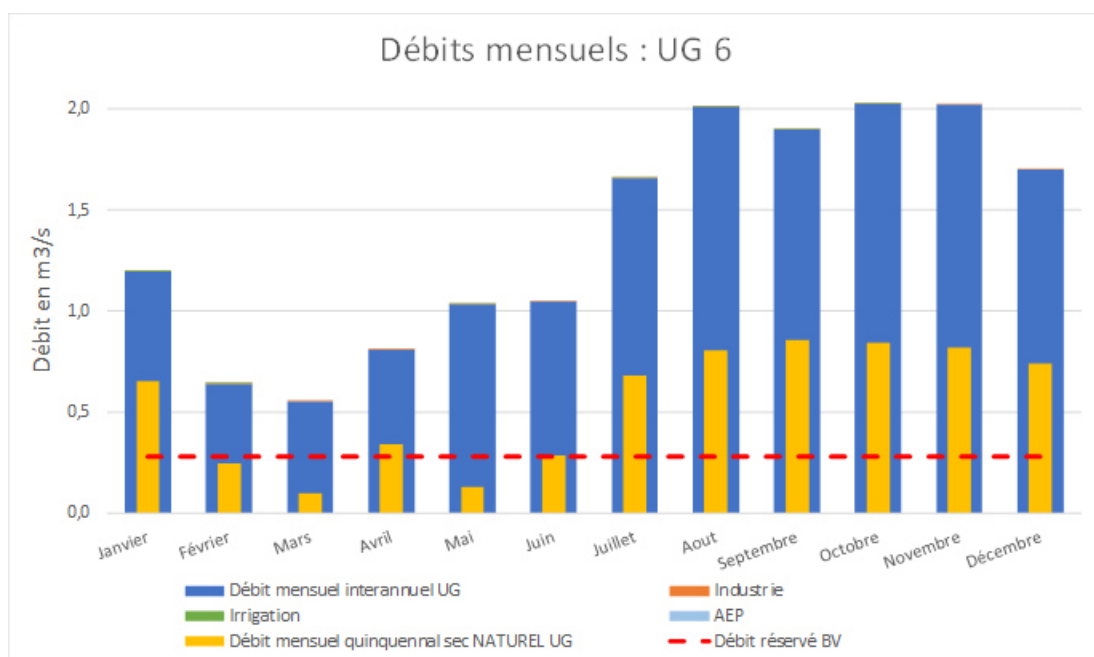
UG 6



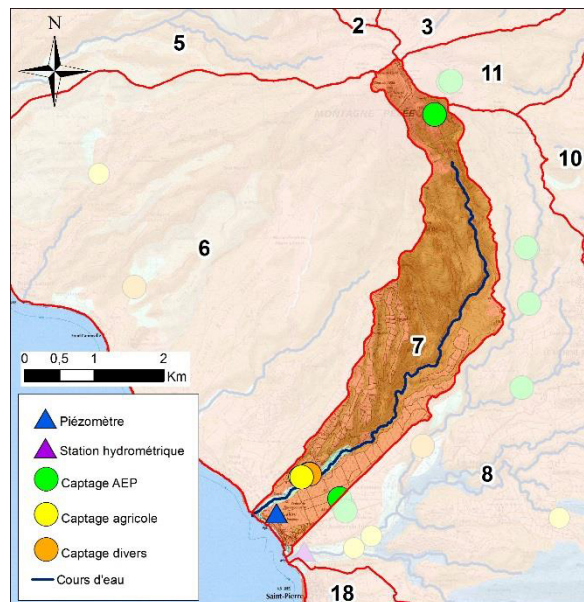
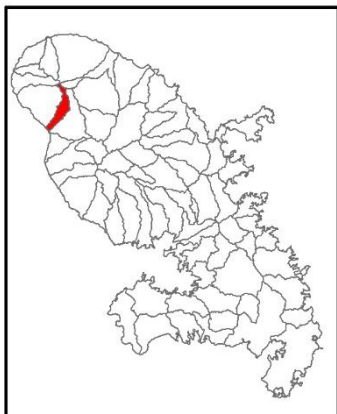
Bilan annuel



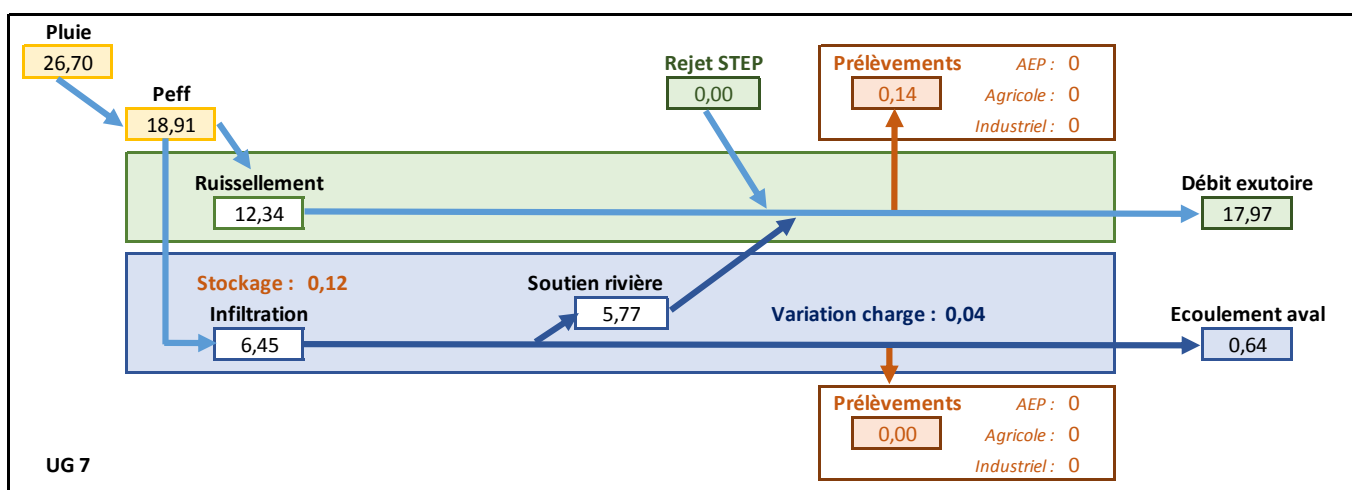
Bilan mensuel



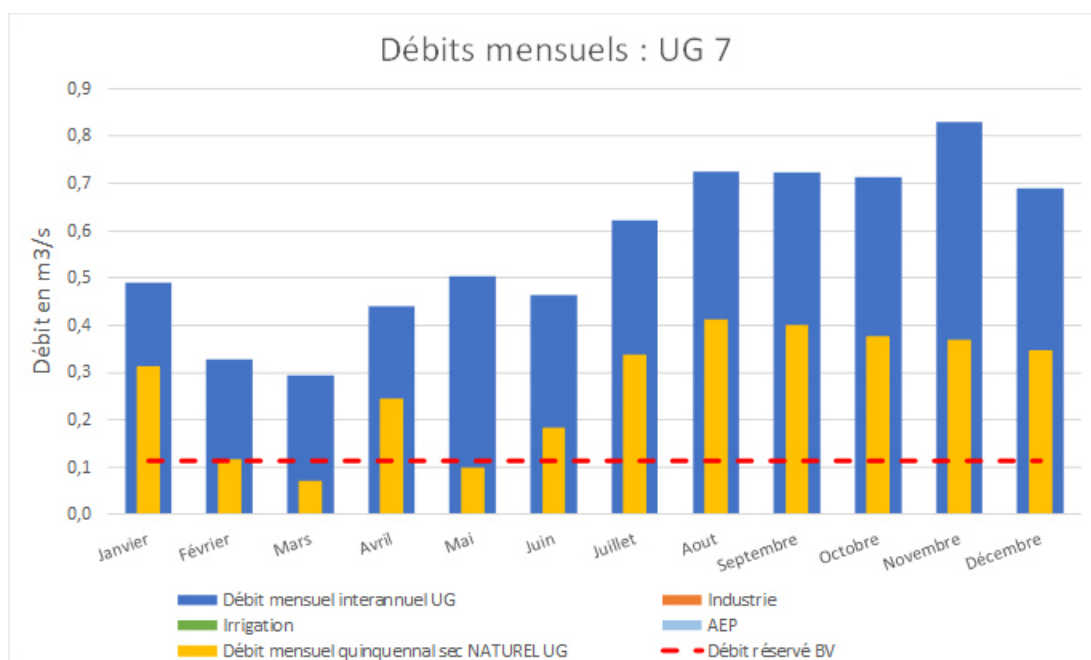
UG 7



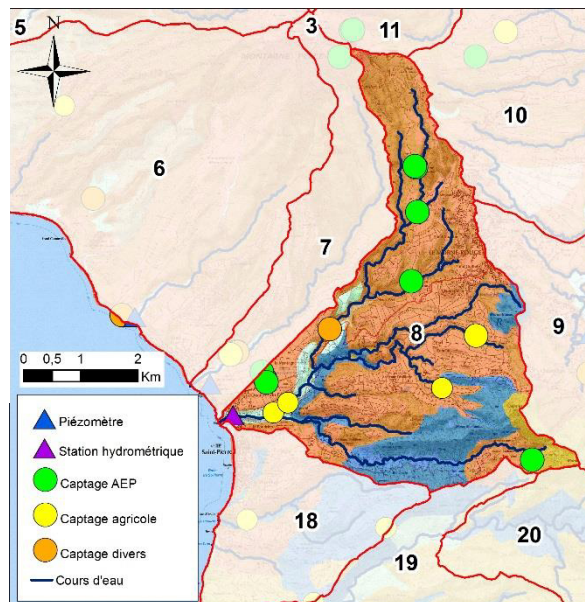
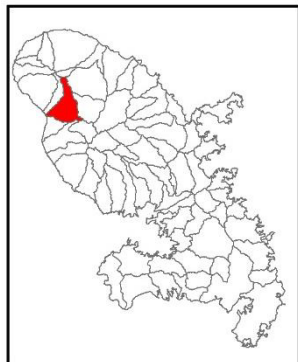
Bilan annuel



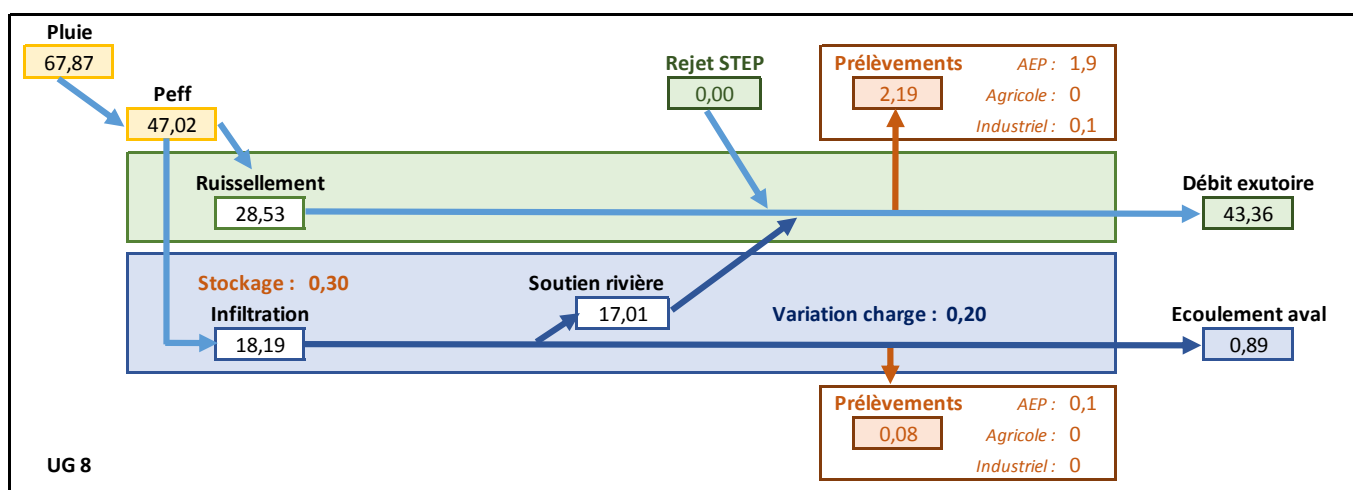
Bilan mensuel



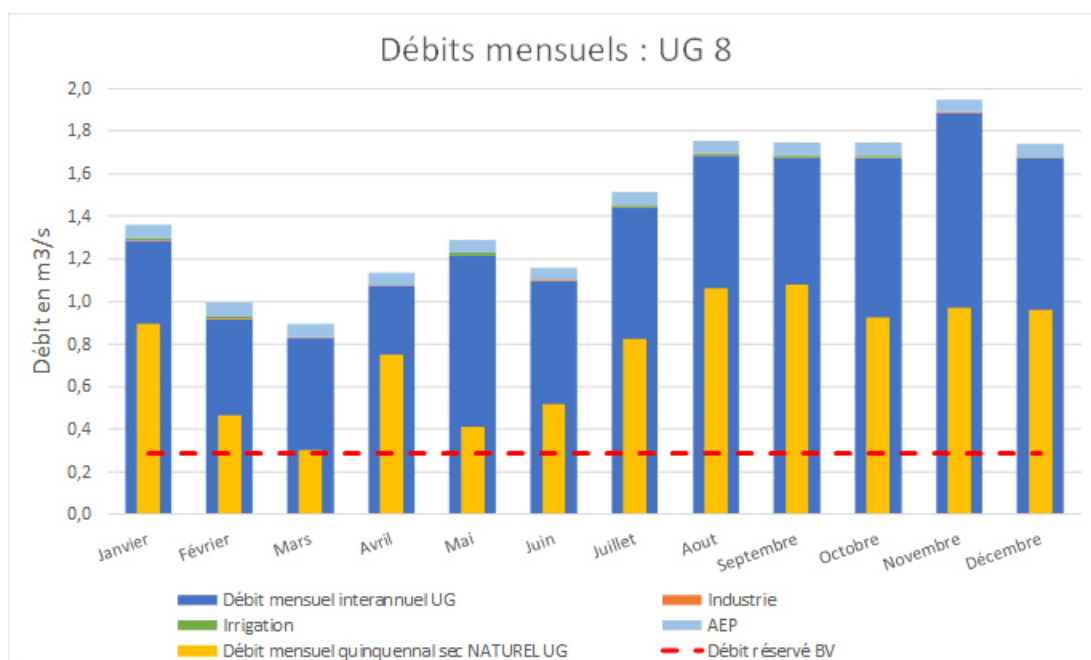
UG 8



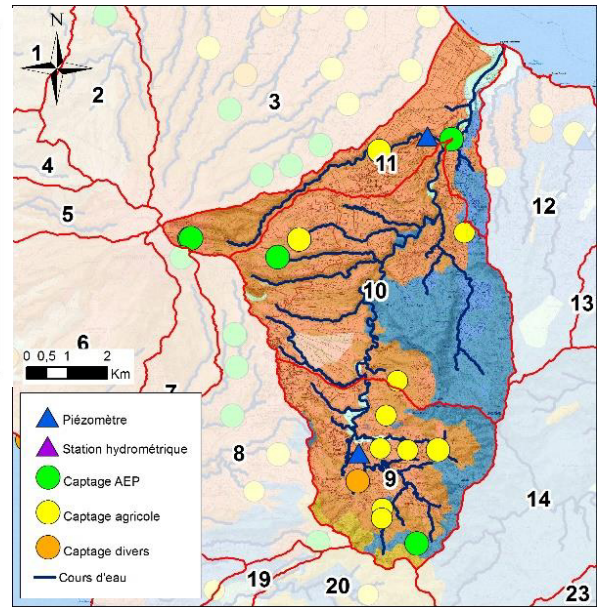
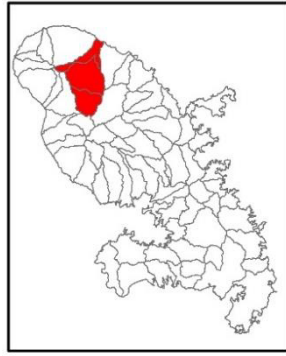
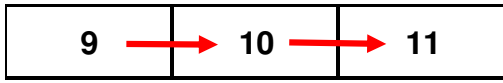
Bilan annuel



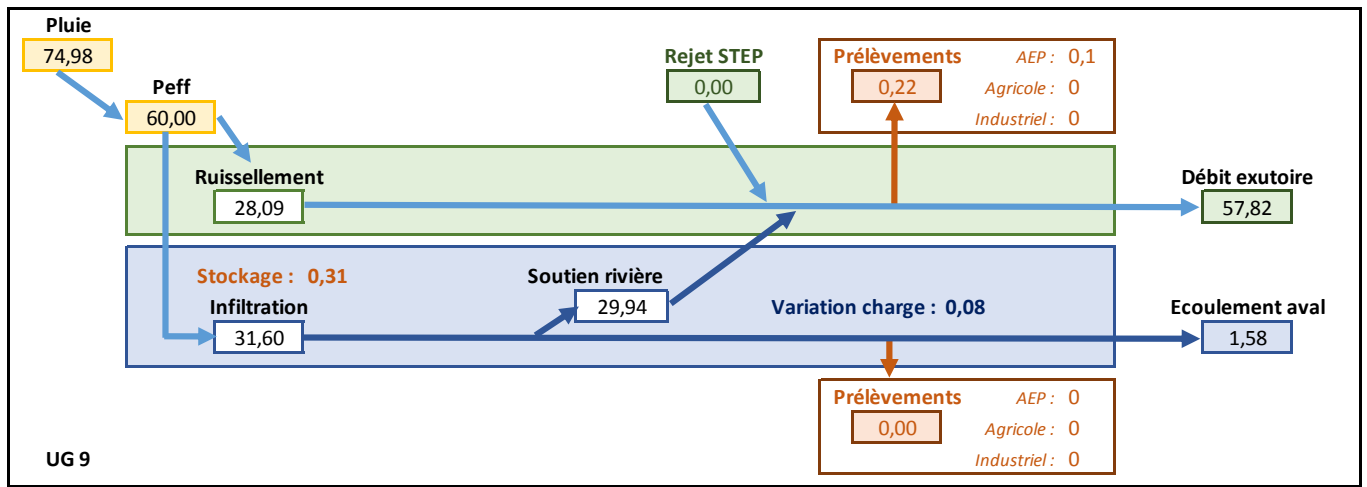
Bilan mensuel



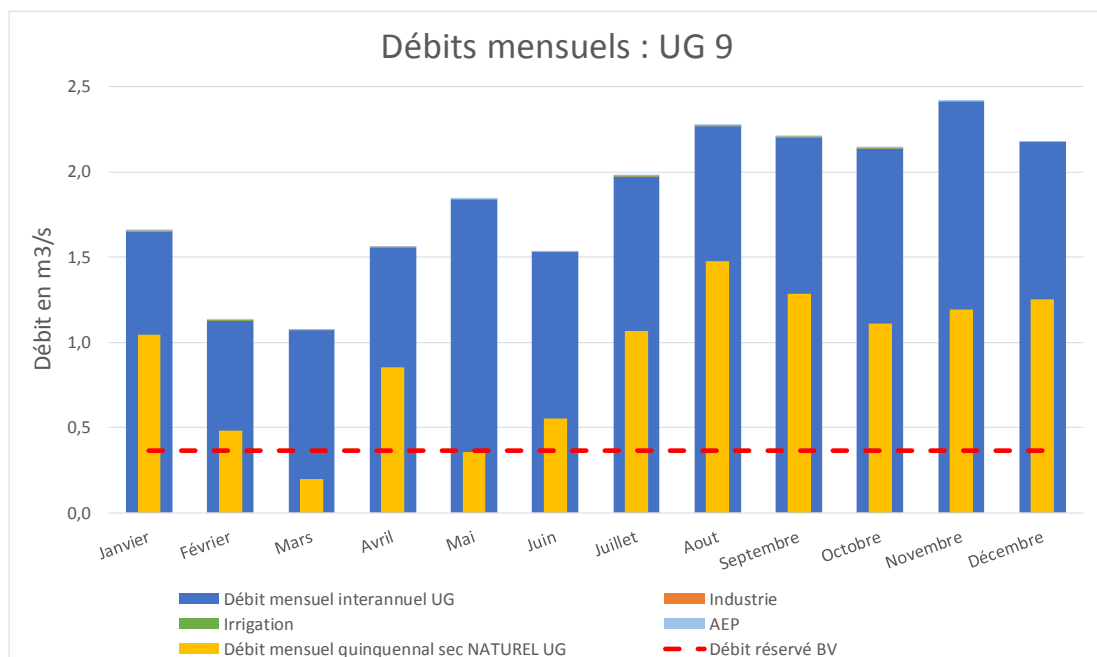
UG 9, 10 et 11



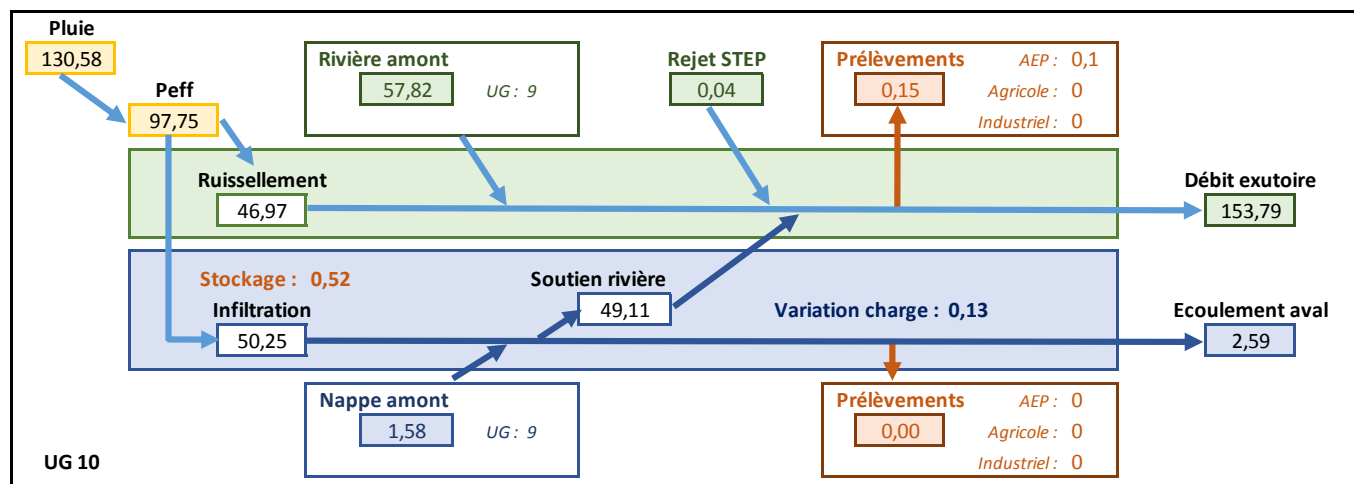
Bilan annuel UG 9



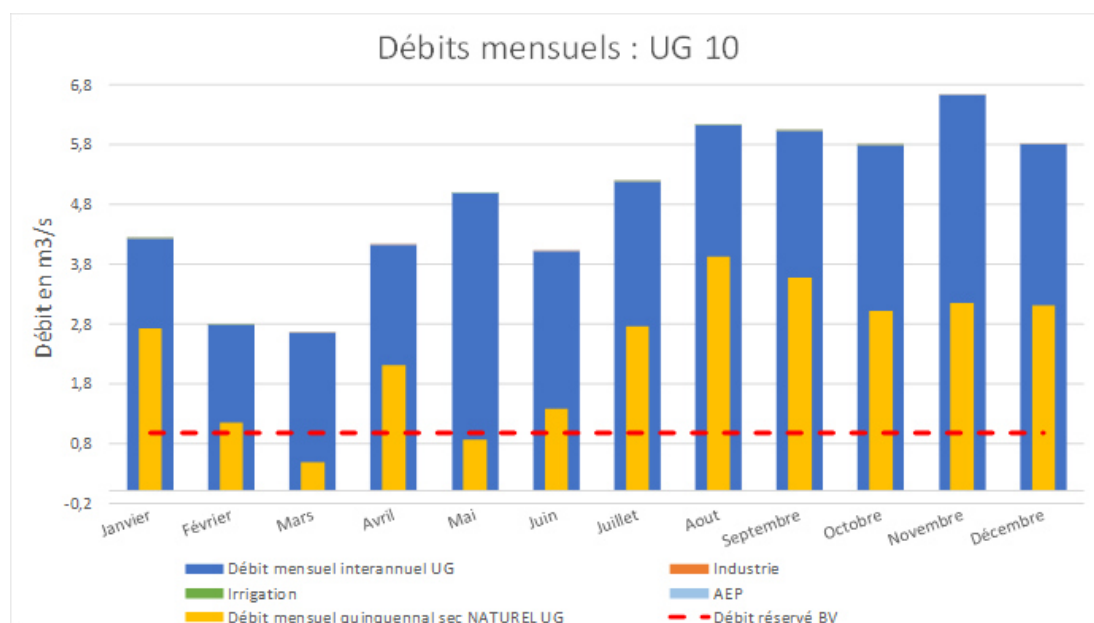
Bilan mensuel UG 9



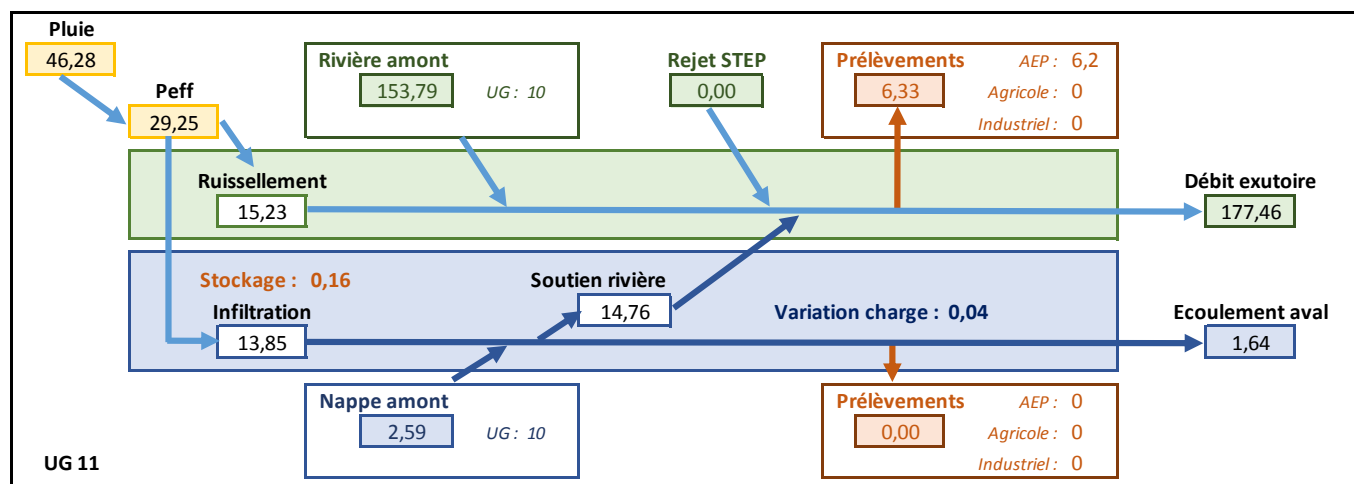
Bilan annuel UG 10



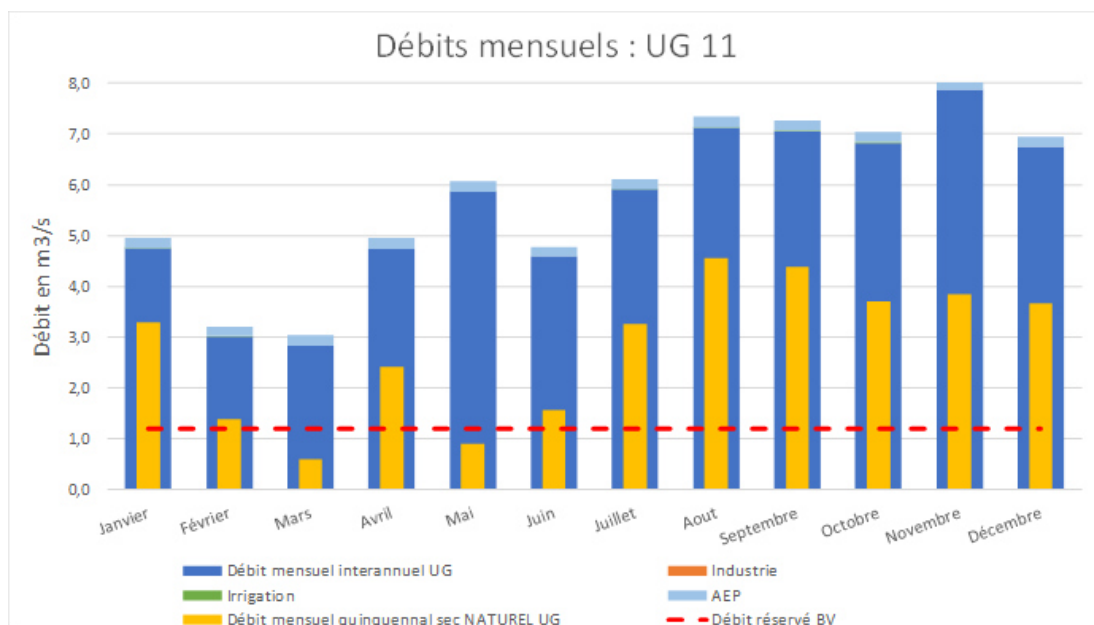
Bilan mensuel UG 10



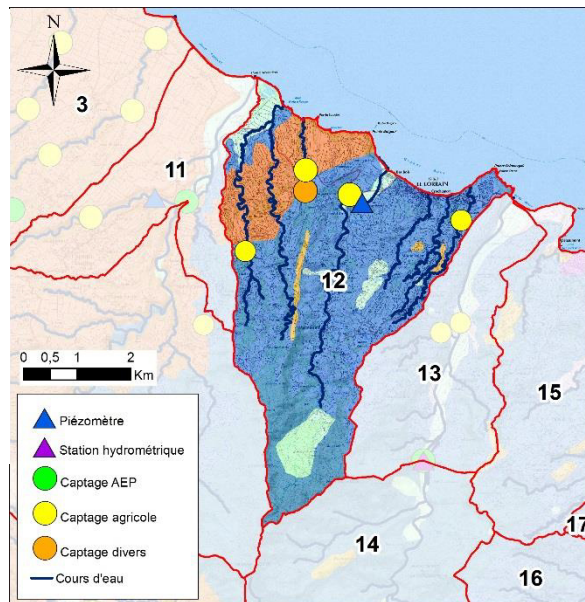
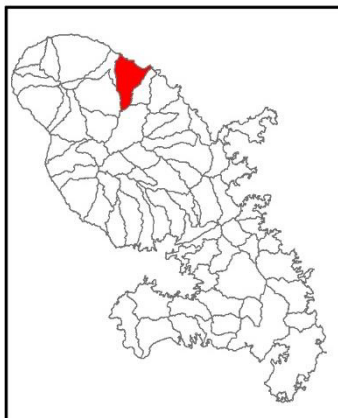
Bilan annuel UG 11



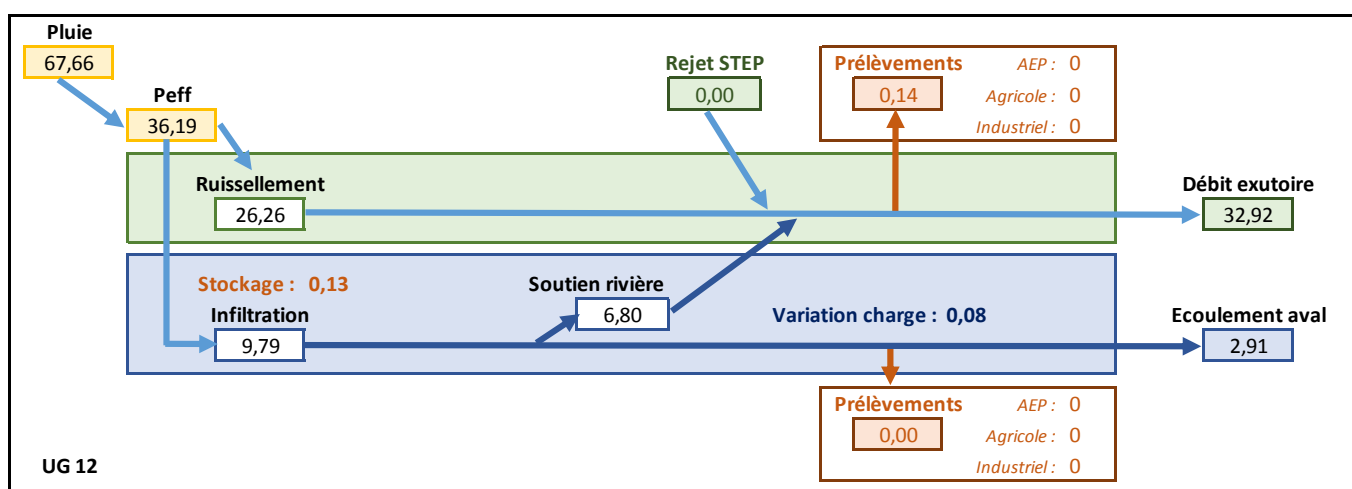
Bilan mensuel UG 11



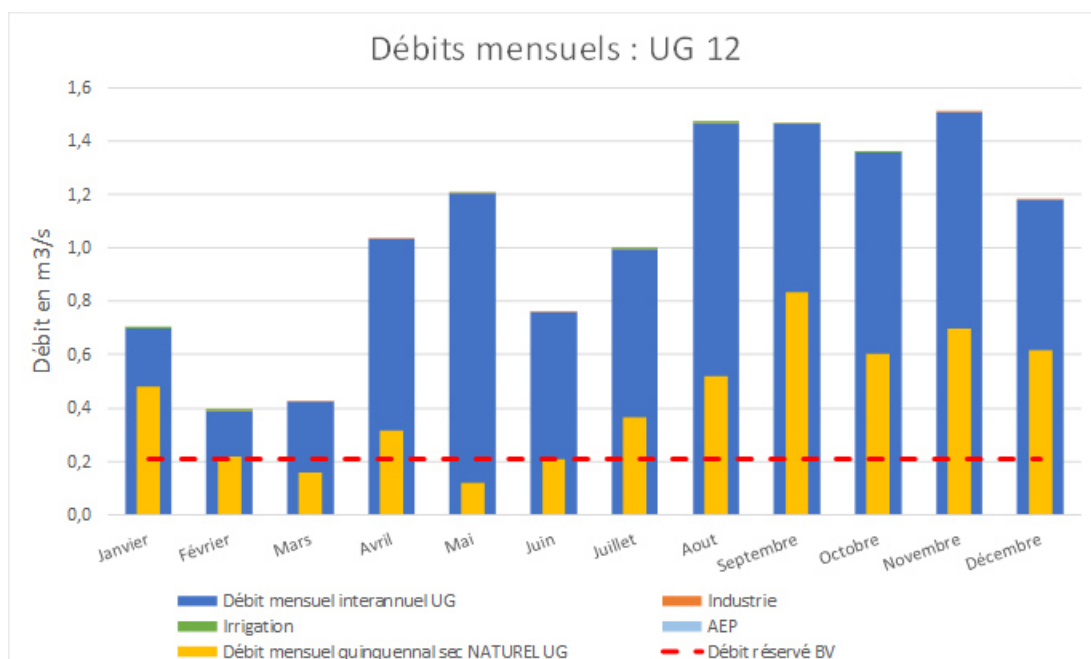
UG 12



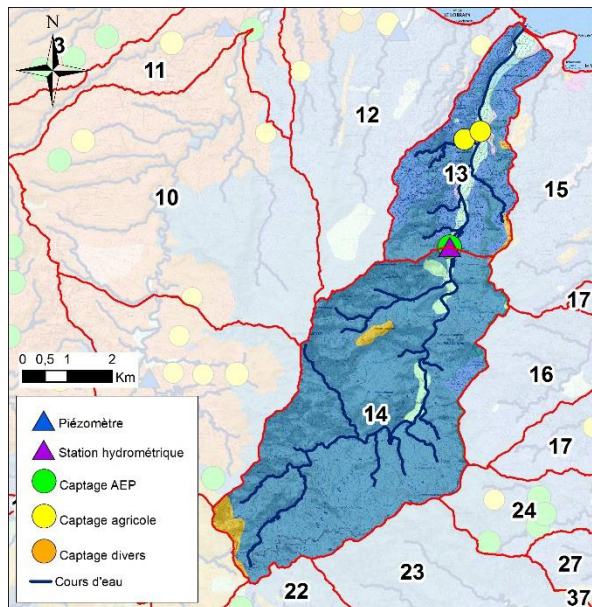
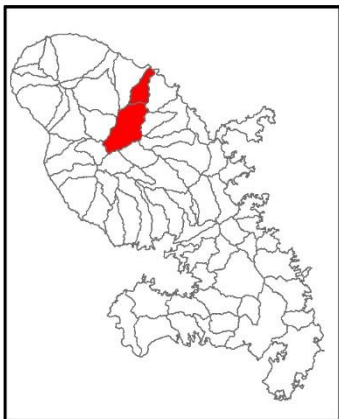
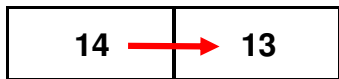
Bilan annuel



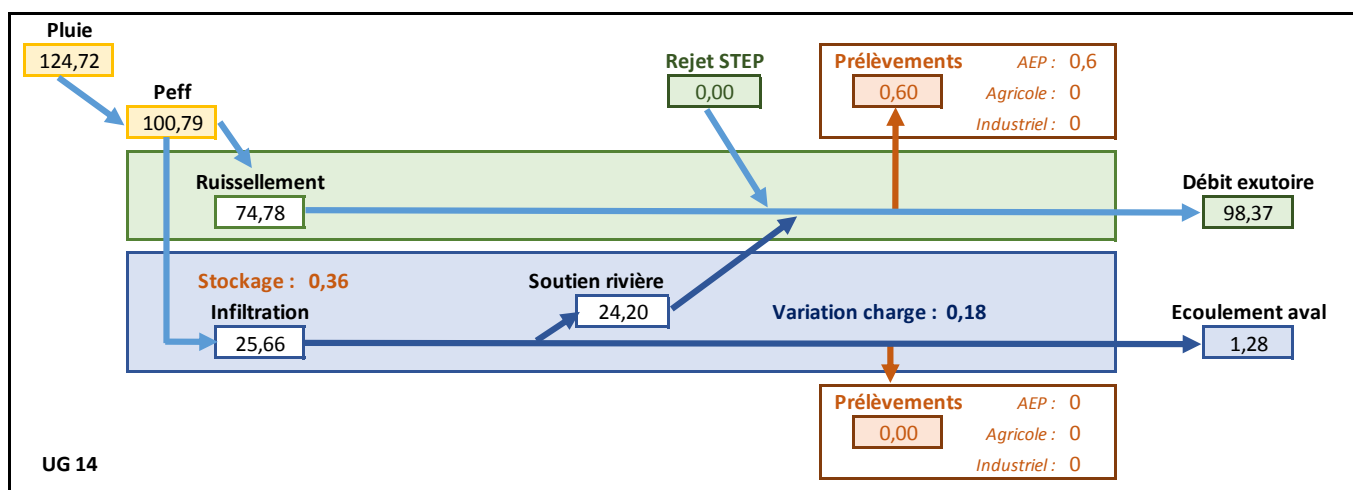
Bilan mensuel



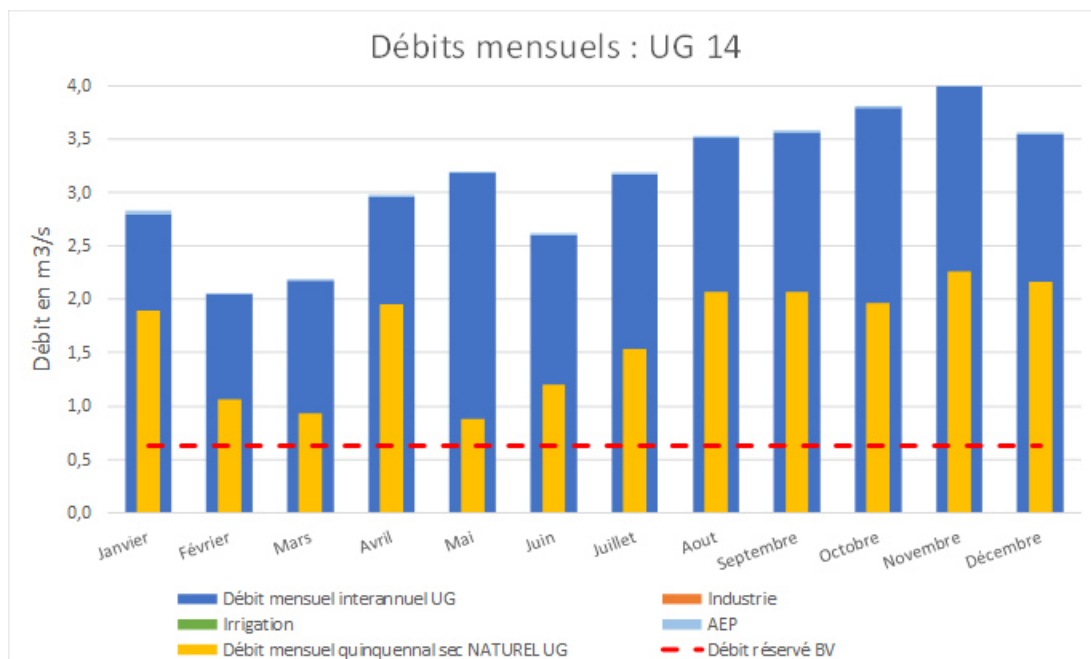
UG 14 et 13



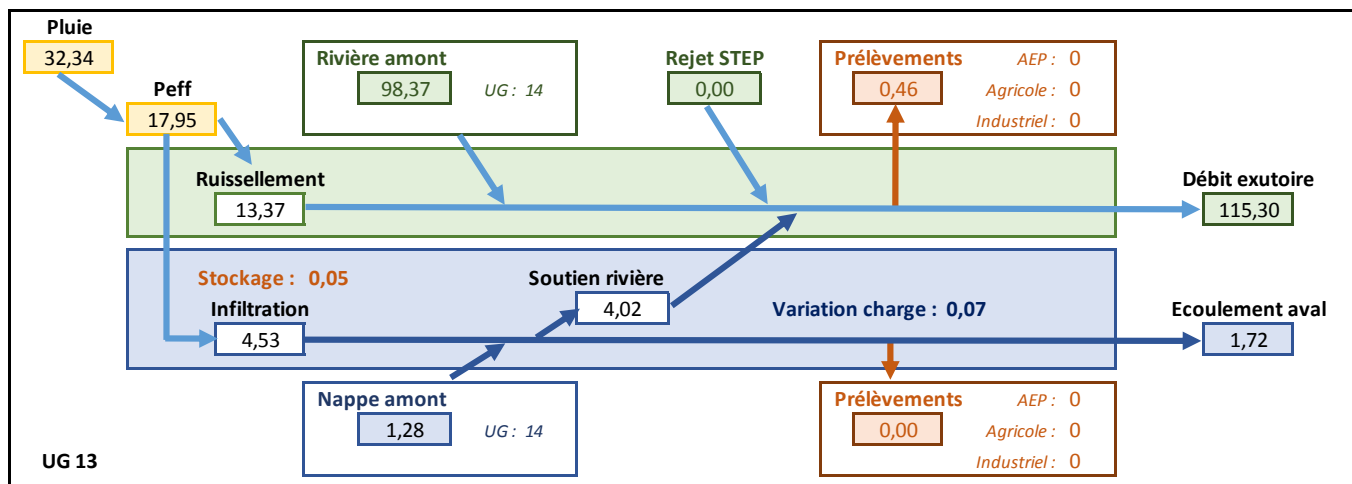
Bilan annuel UG 14



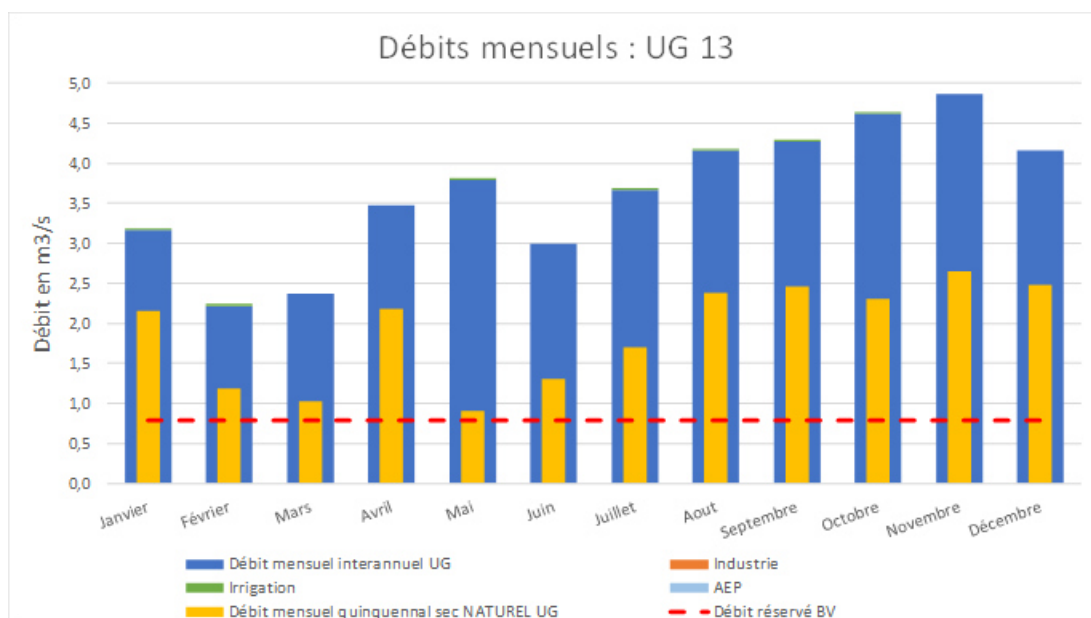
Bilan mensuel UG 14



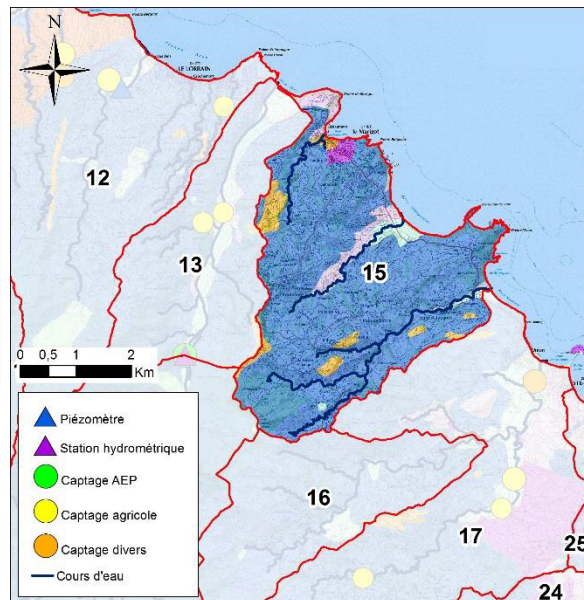
Bilan annuel UG 13



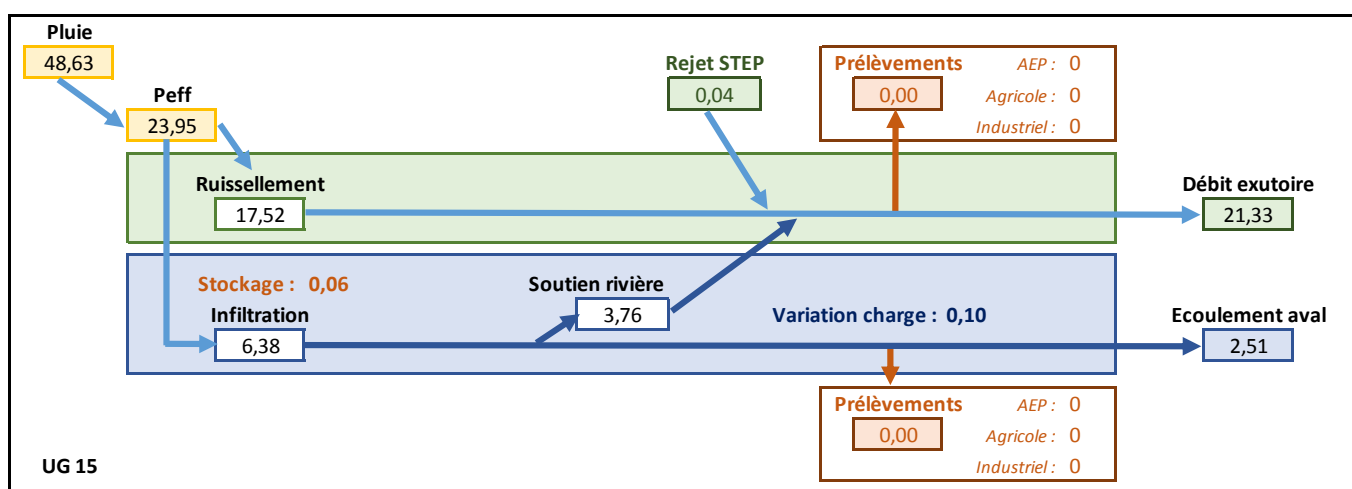
Bilan mensuel UG 13



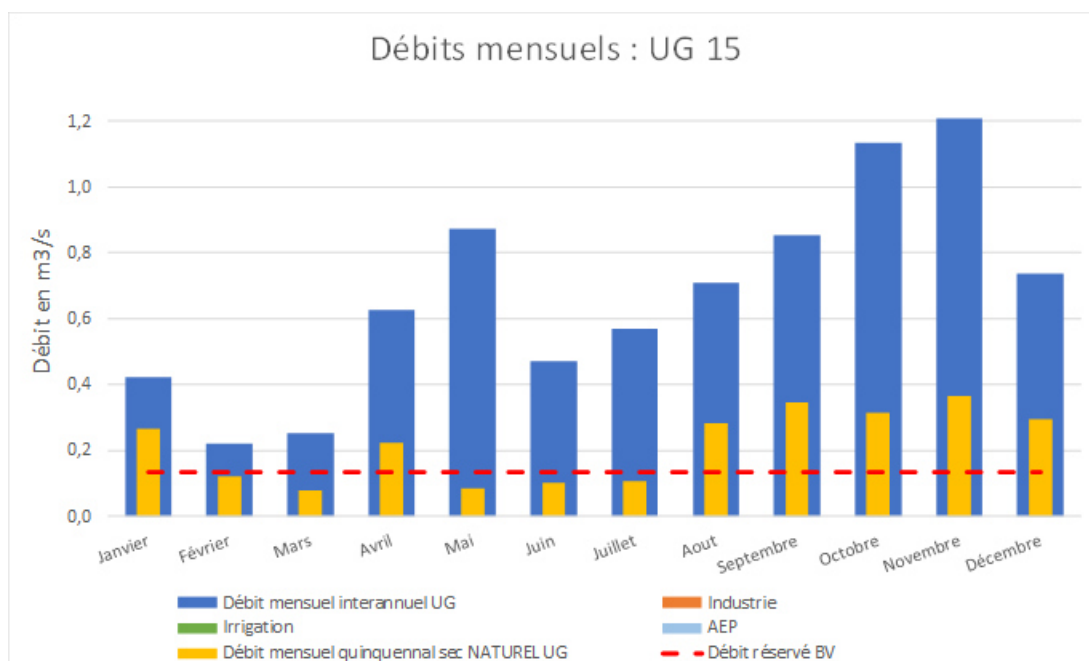
UG 15



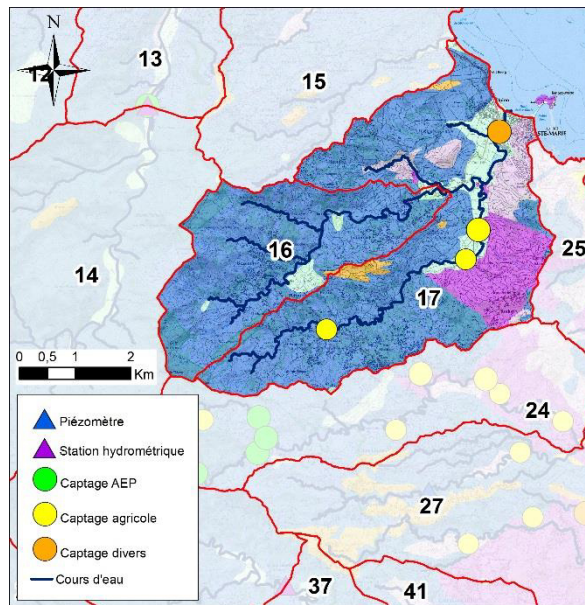
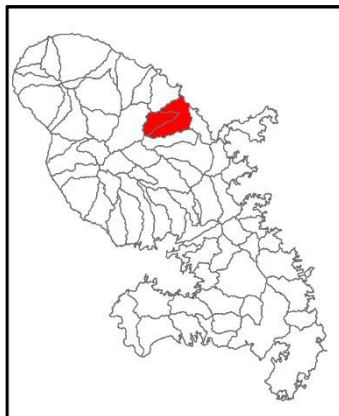
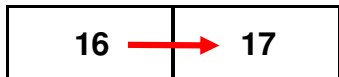
Bilan annuel



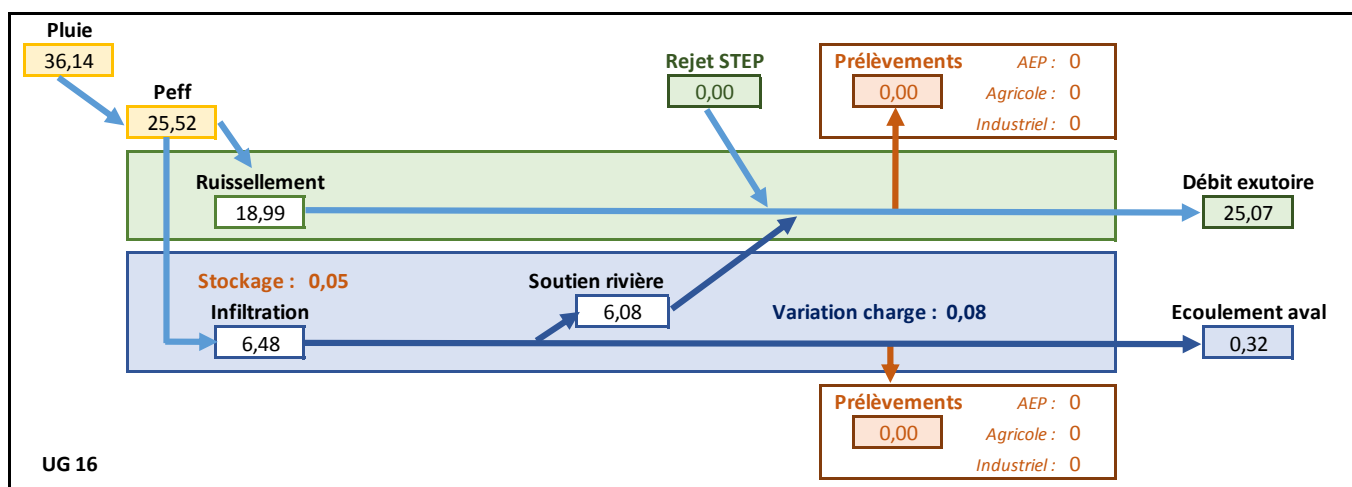
Bilan mensuel



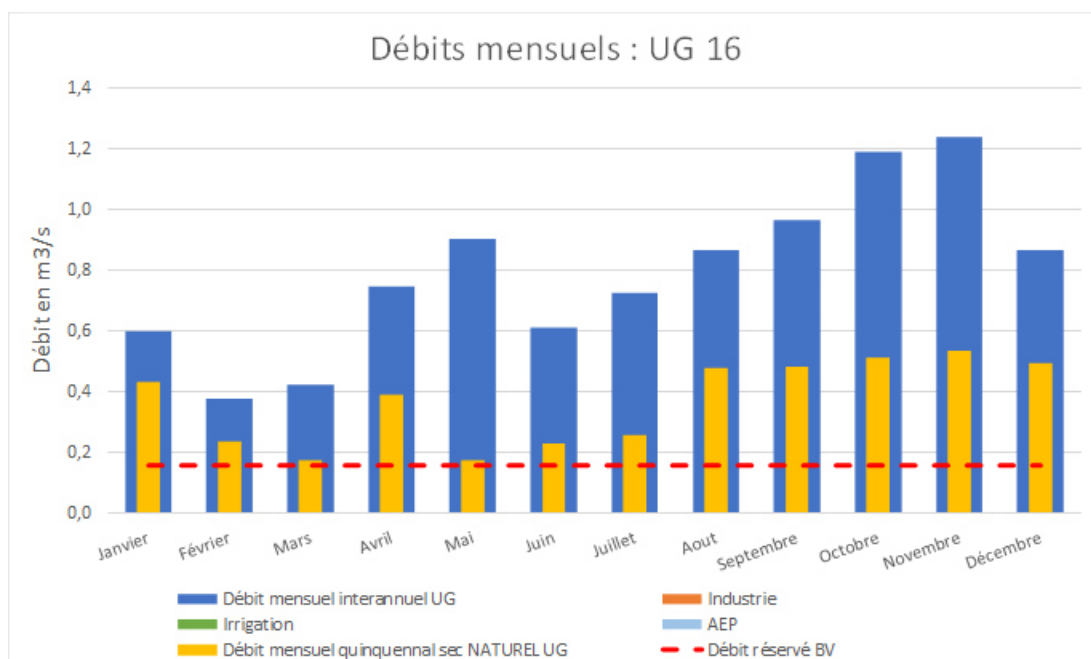
UG 16 et 17



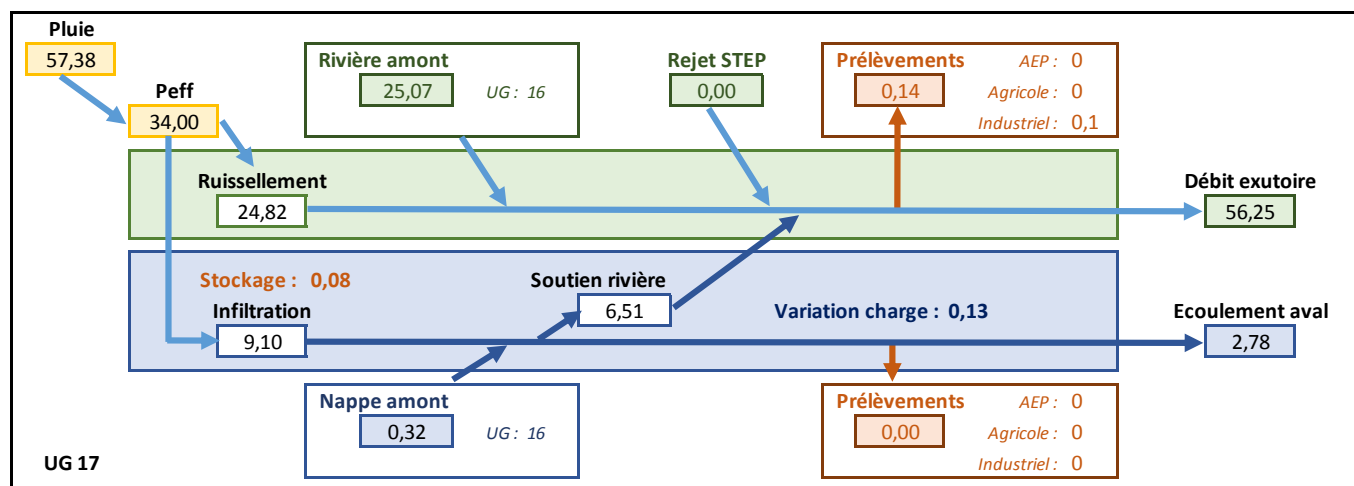
Bilan annuel UG 16



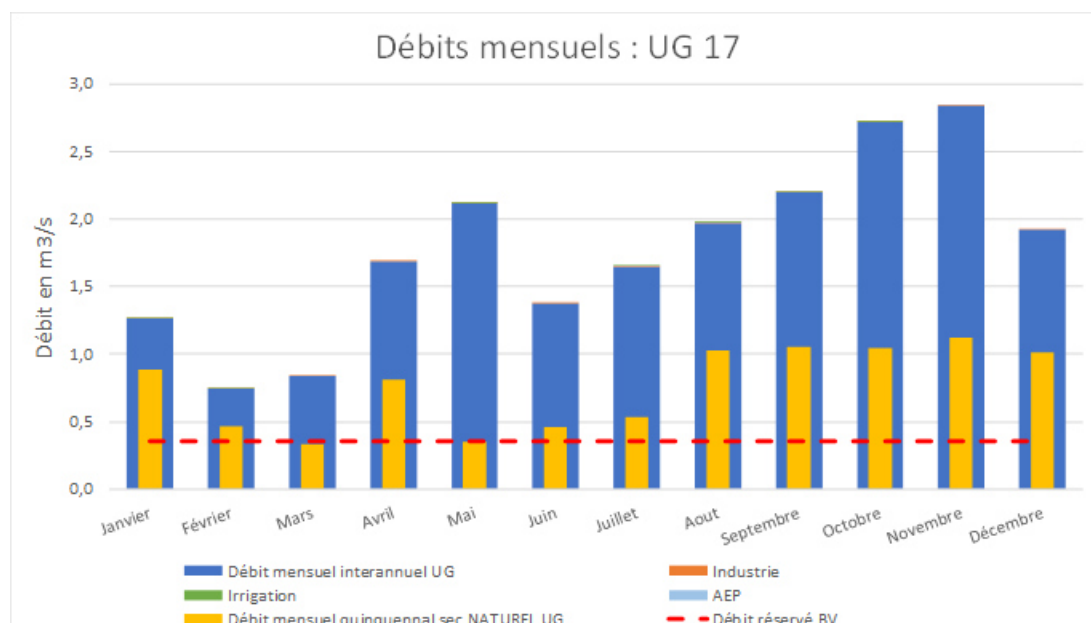
Bilan mensuel UG 16



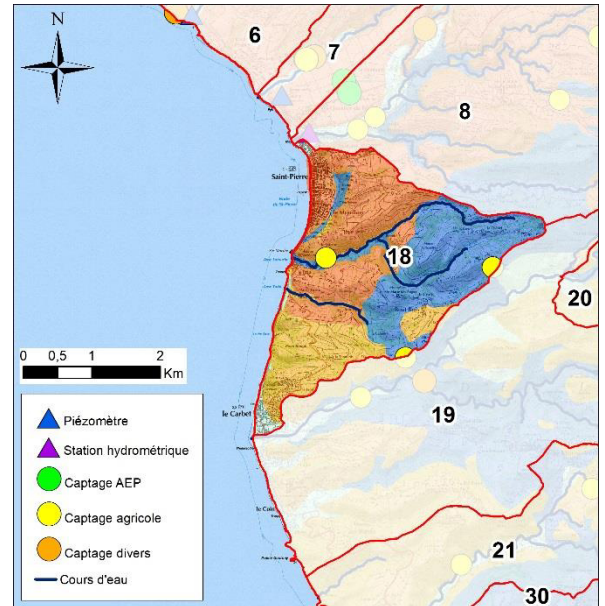
Bilan annuel UG 17



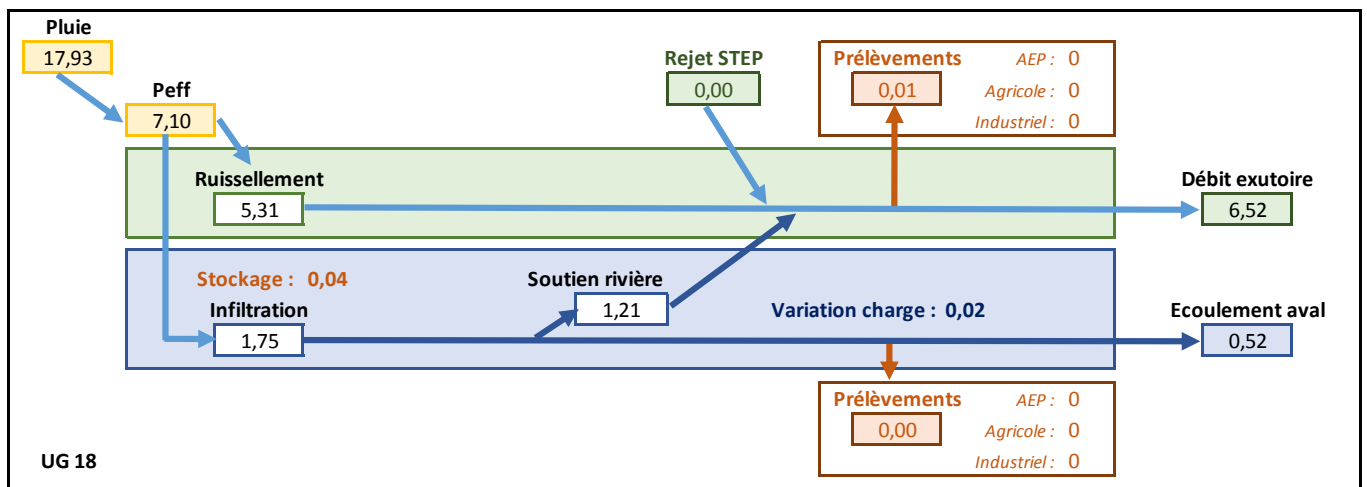
Bilan mensuel UG 17



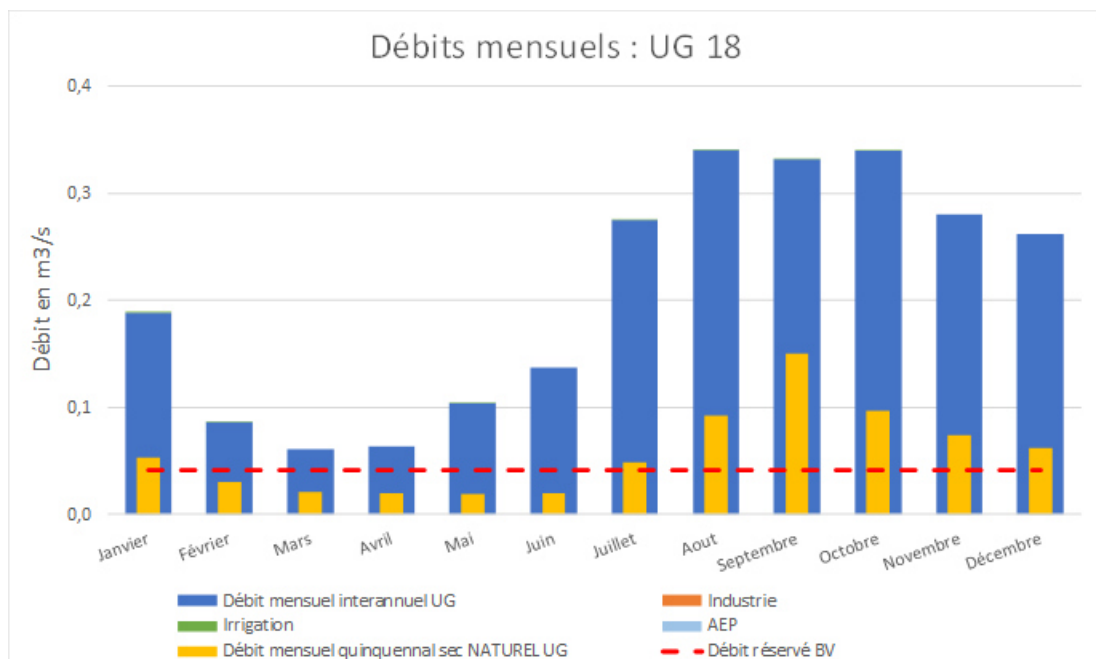
UG 18



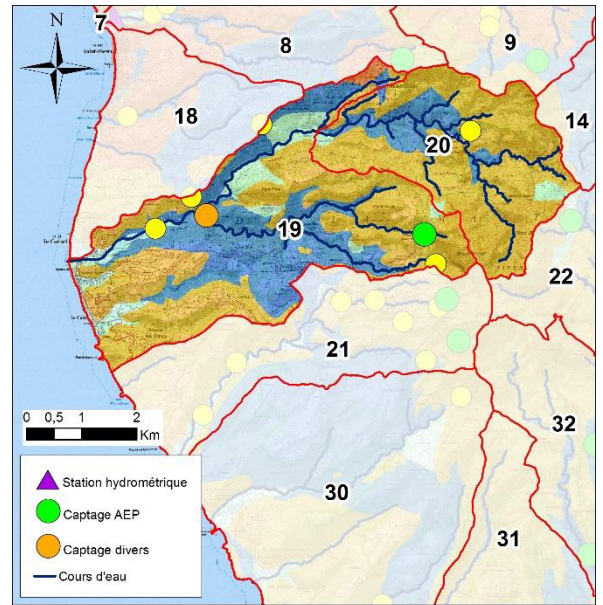
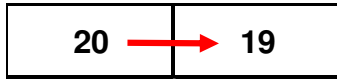
Bilan annuel



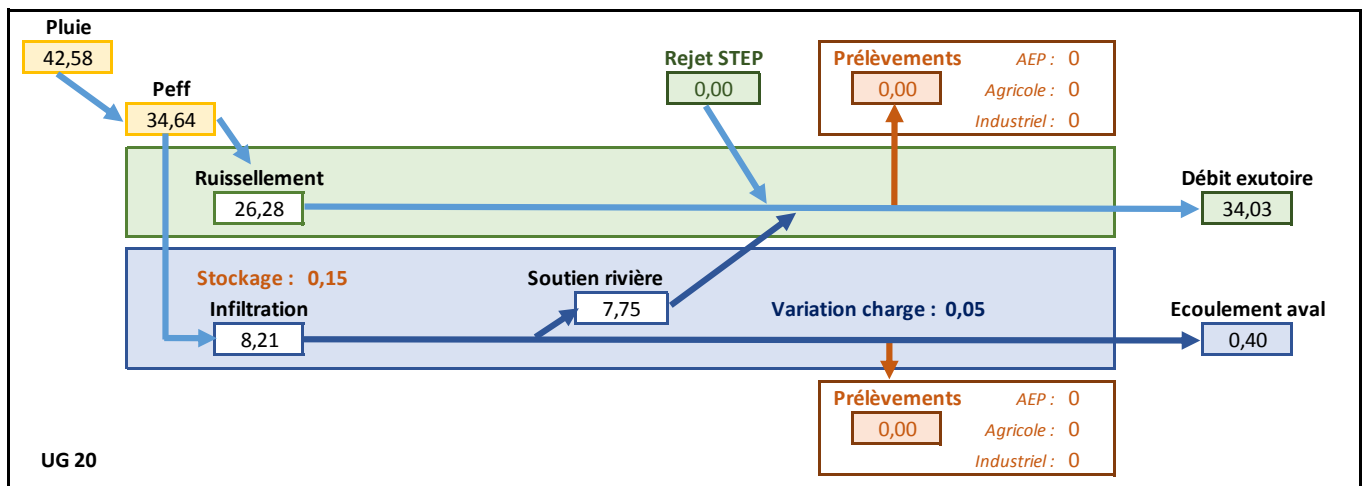
Bilan mensuel



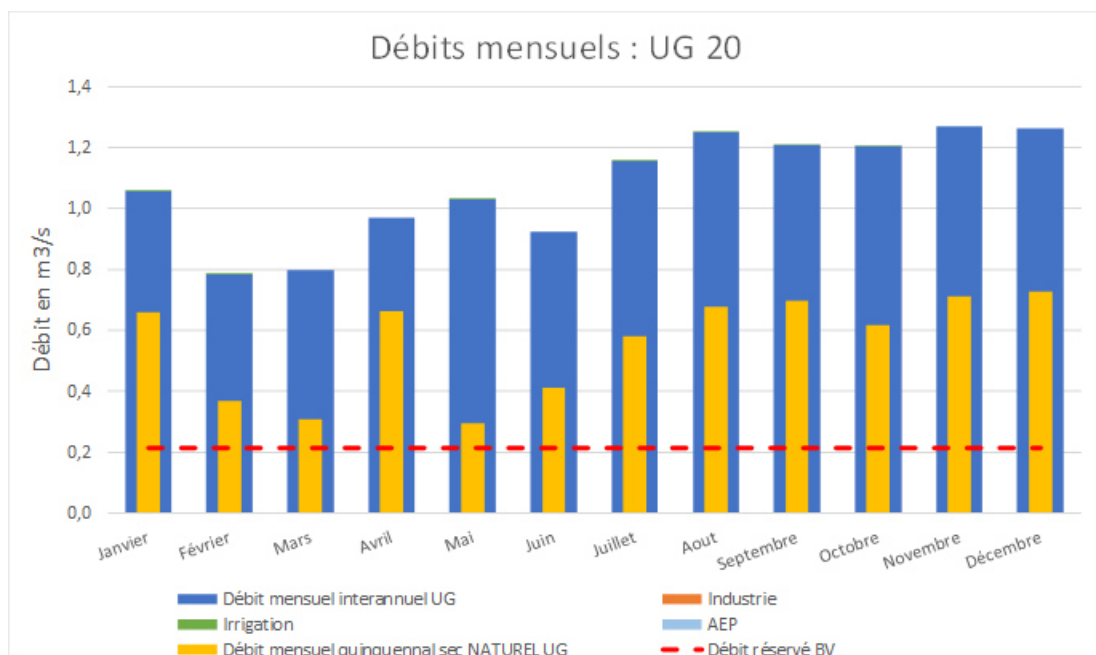
UG 20 et 19



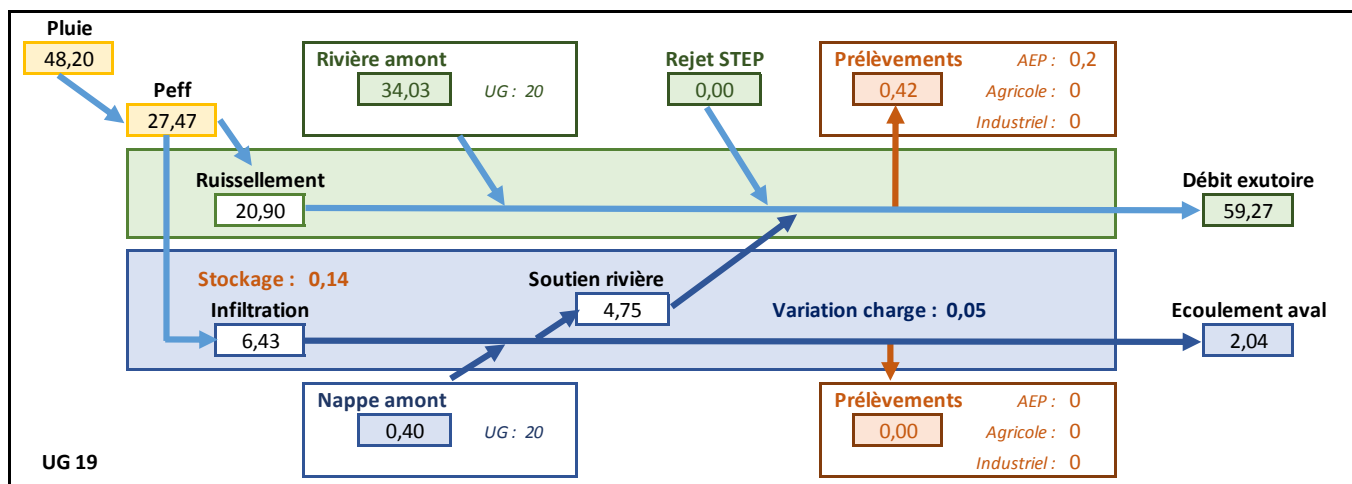
Bilan annuel UG 20



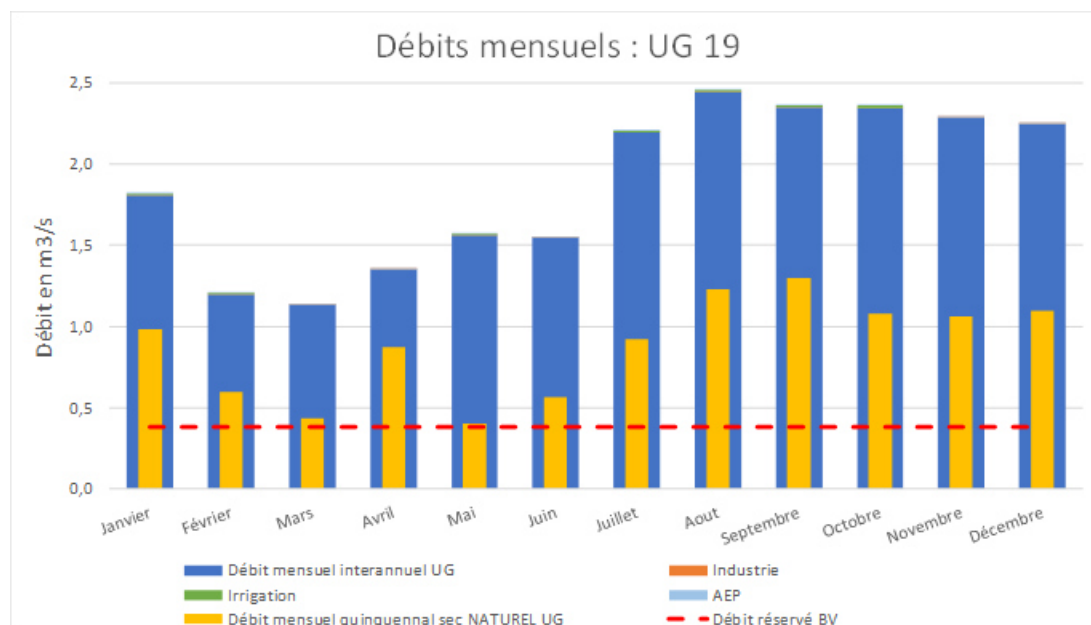
Bilan mensuel 20



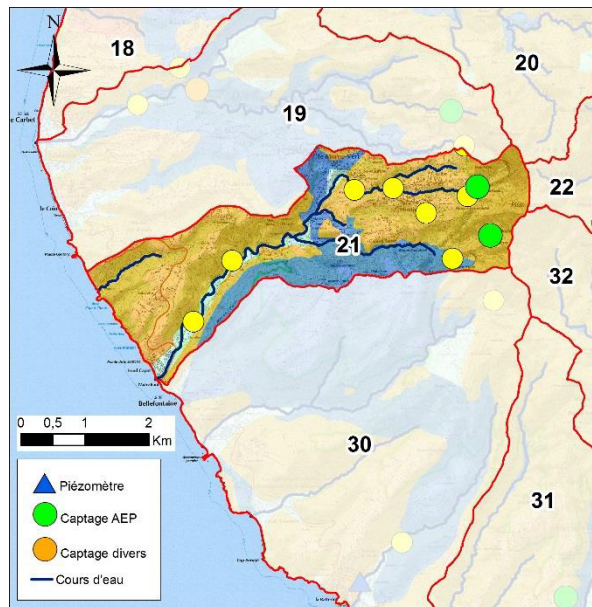
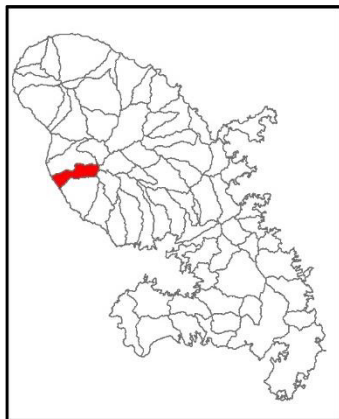
Bilan annuel UG 19



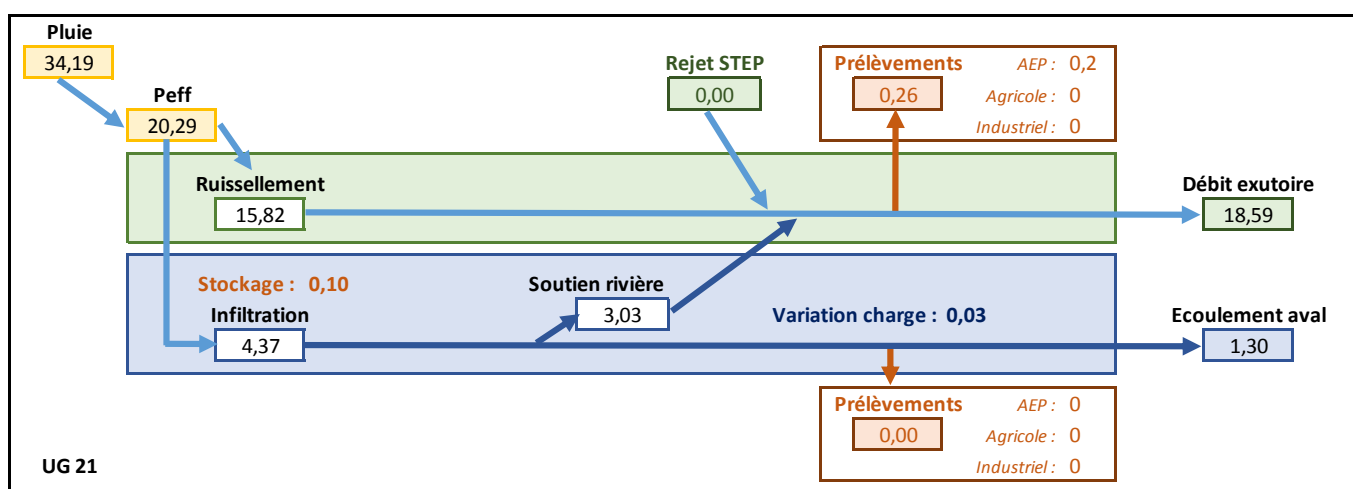
Bilan mensuel 19



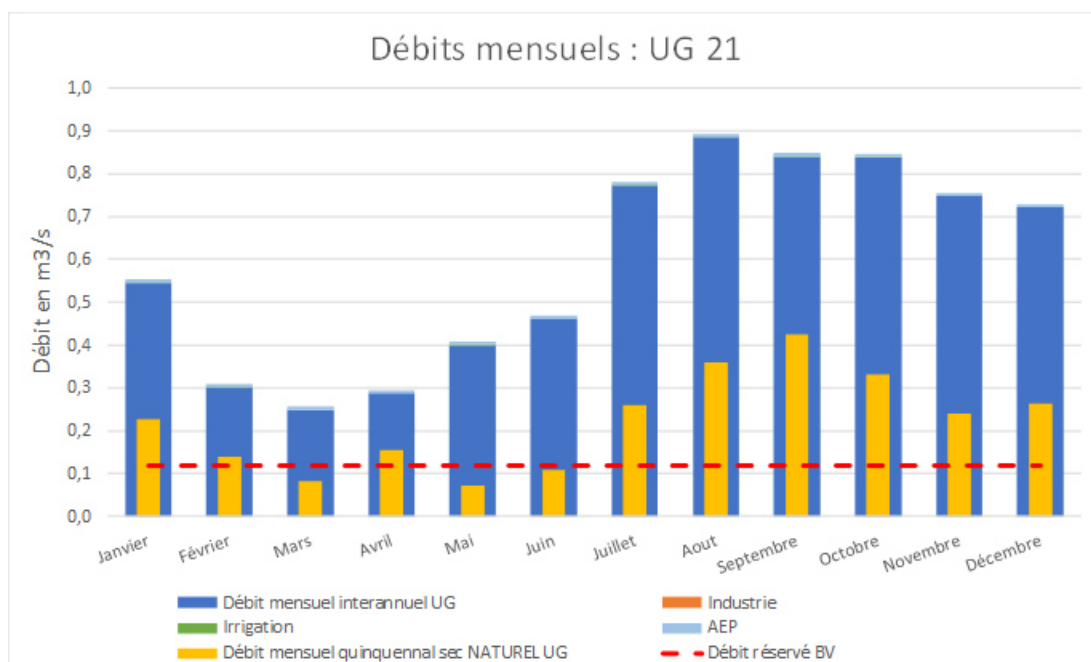
UG 21



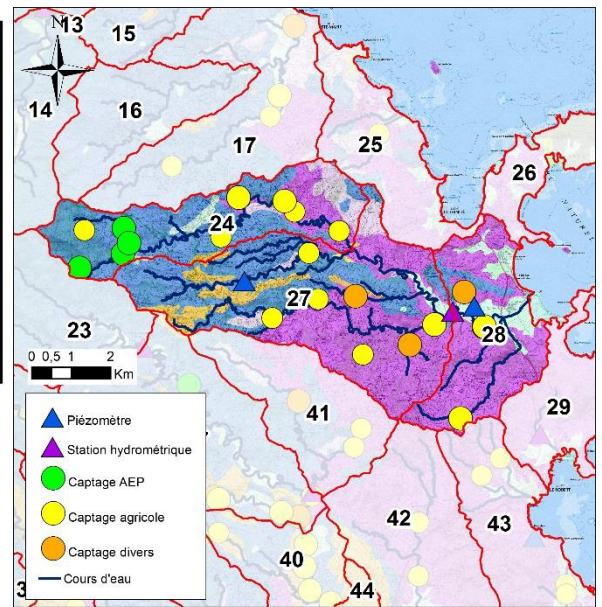
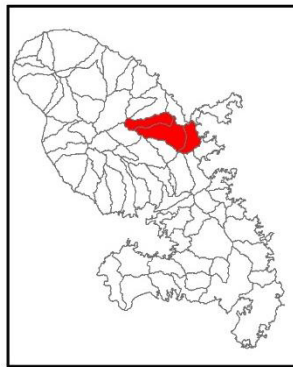
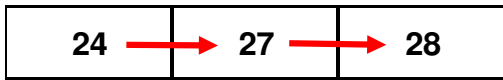
Bilan annuel



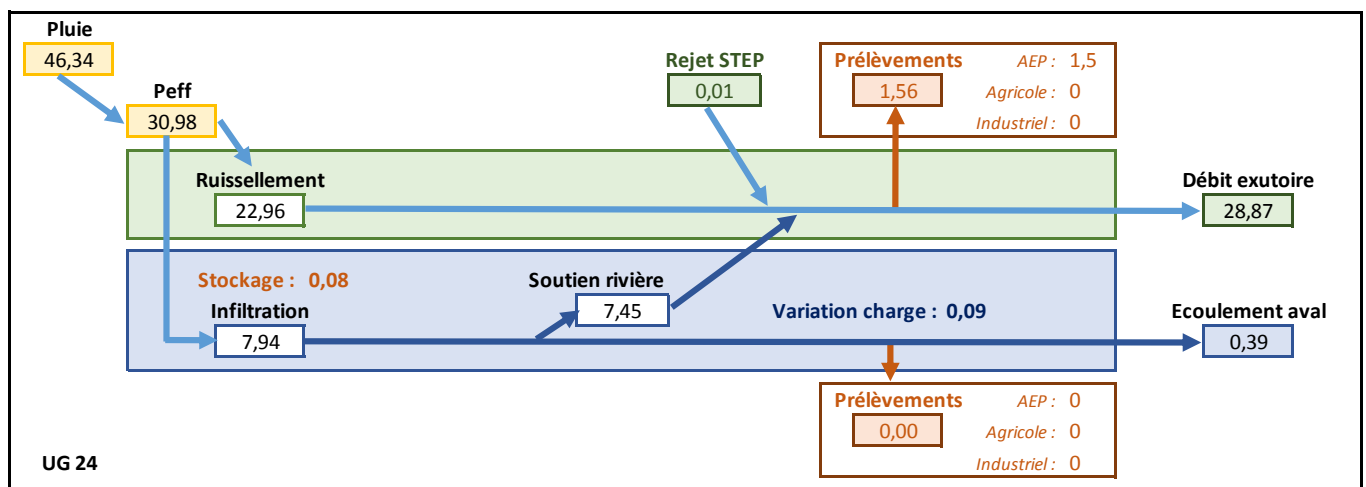
Bilan mensuel



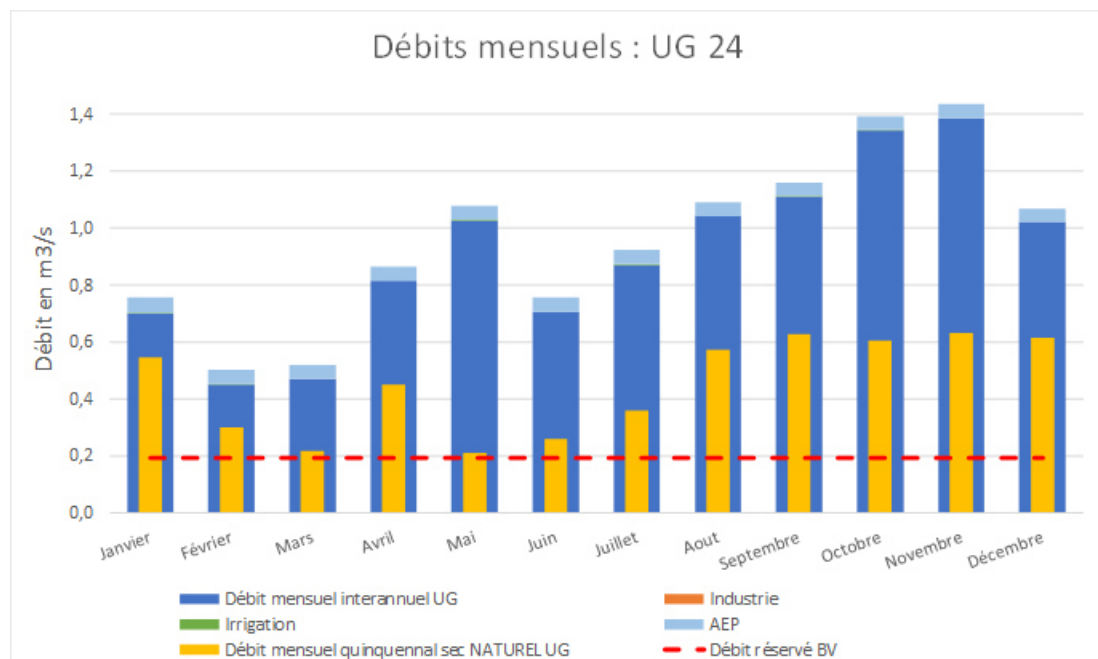
UG 24, 27 et 28



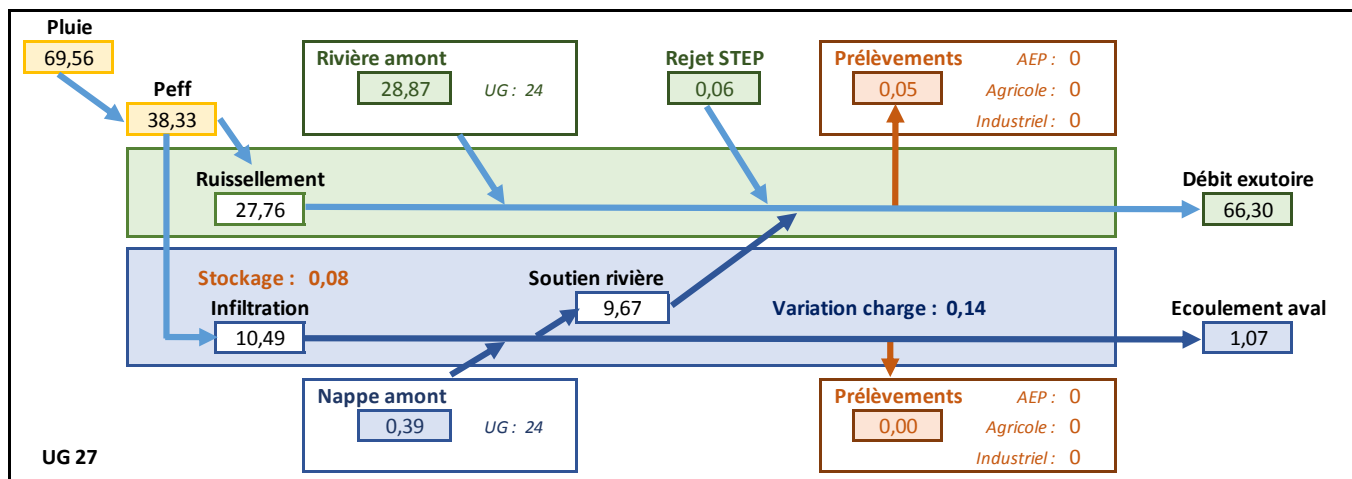
Bilan annuel UG 24



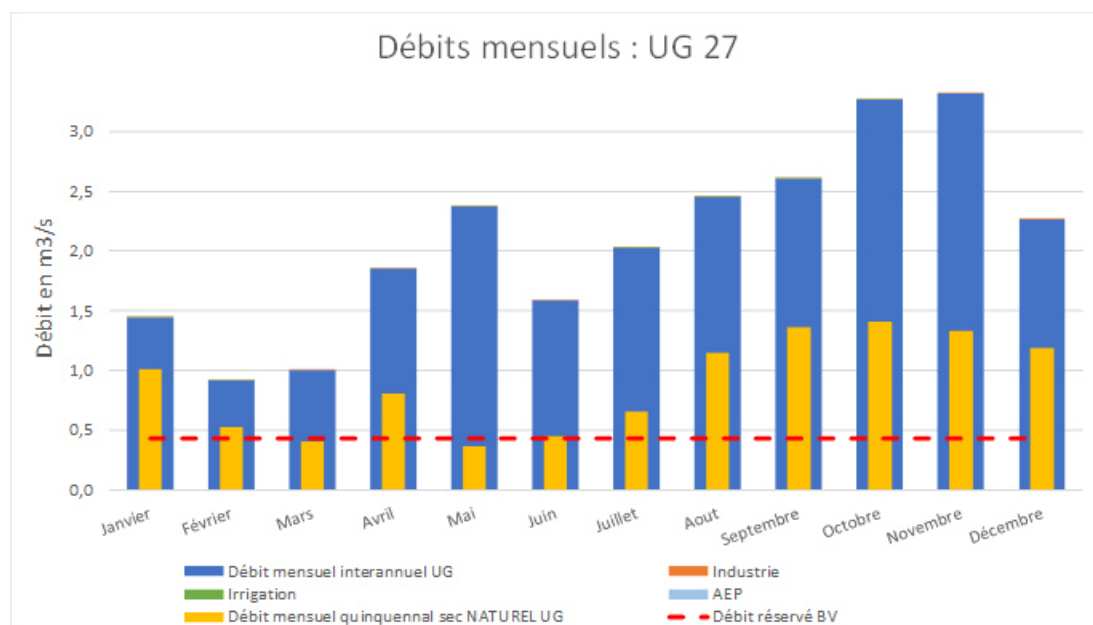
Bilan mensuel UG 24



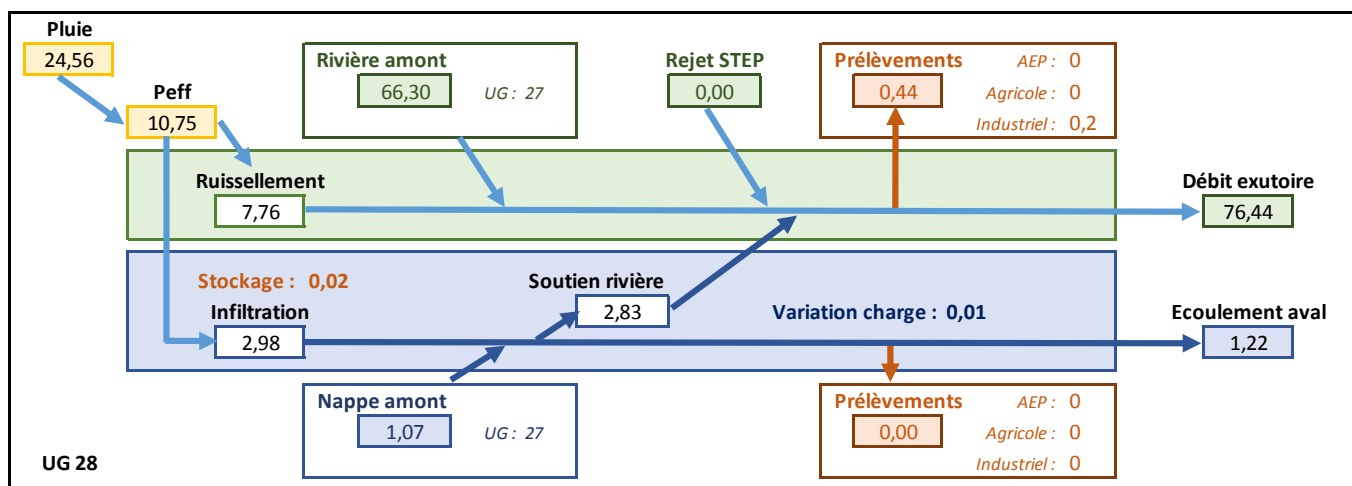
Bilan annuel UG 27



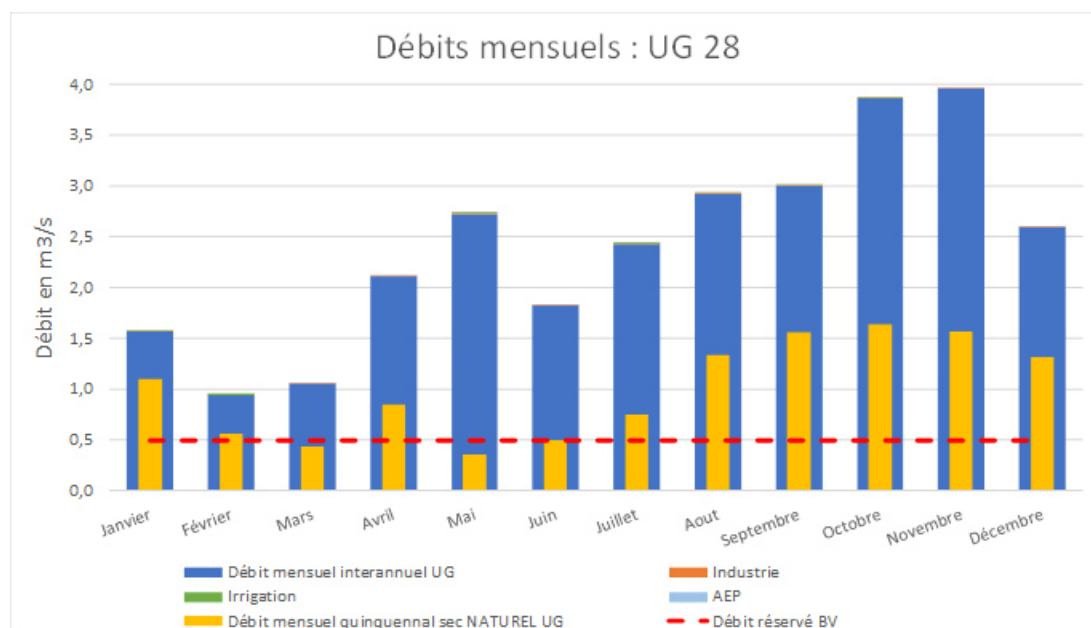
Bilan mensuel UG 27



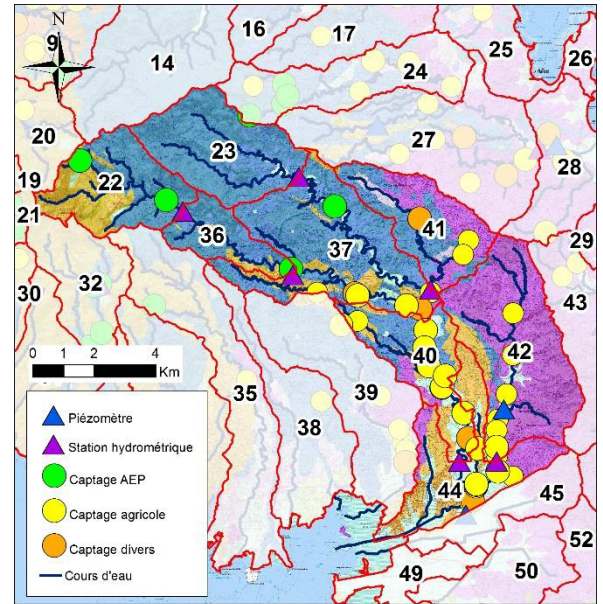
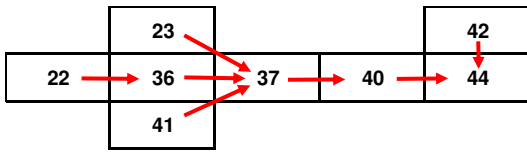
Bilan annuel UG 28



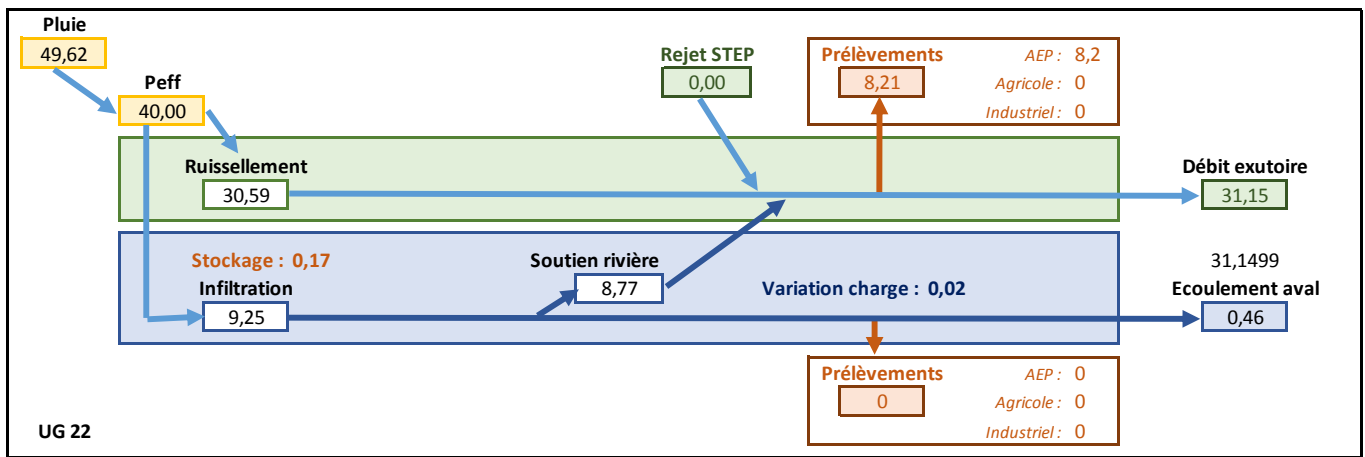
Bilan mensuel UG 28



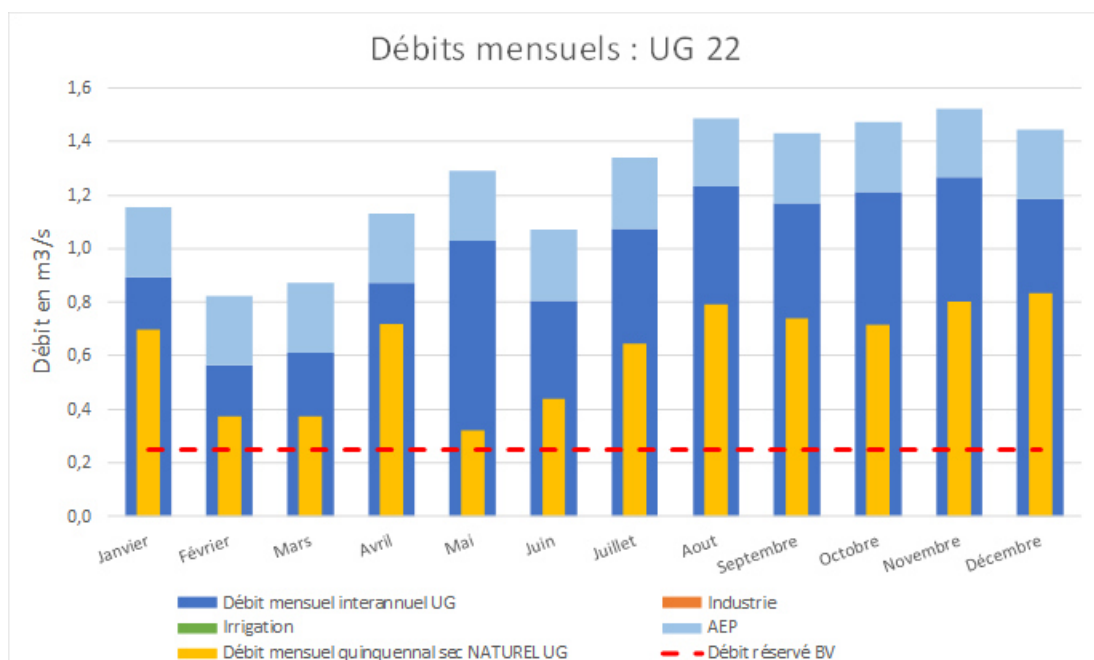
UG 22, 23, 36, 41, 37, 40, 42 et 44



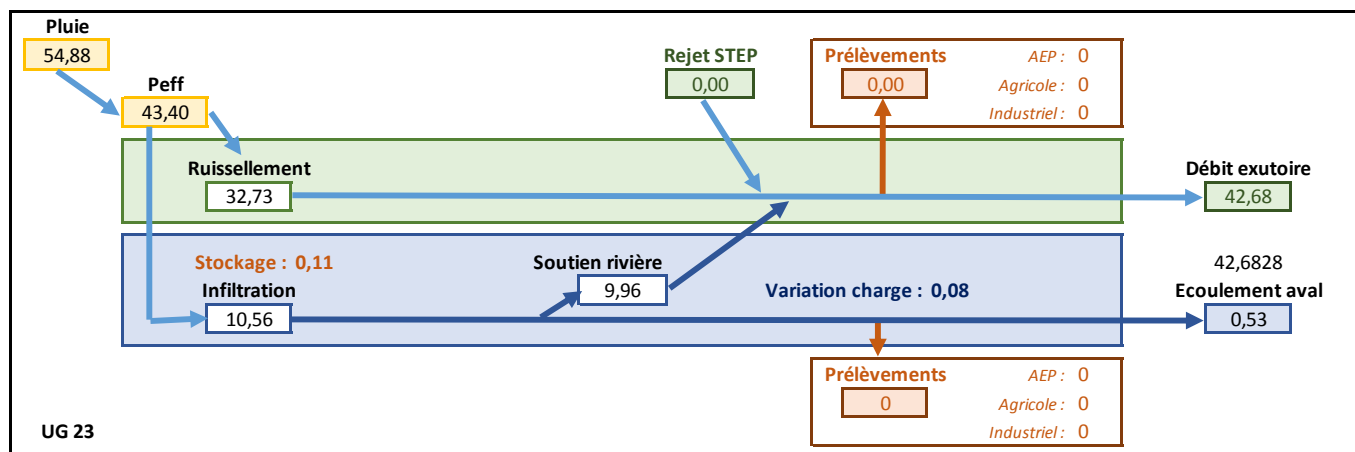
Bilan annuel UG 22



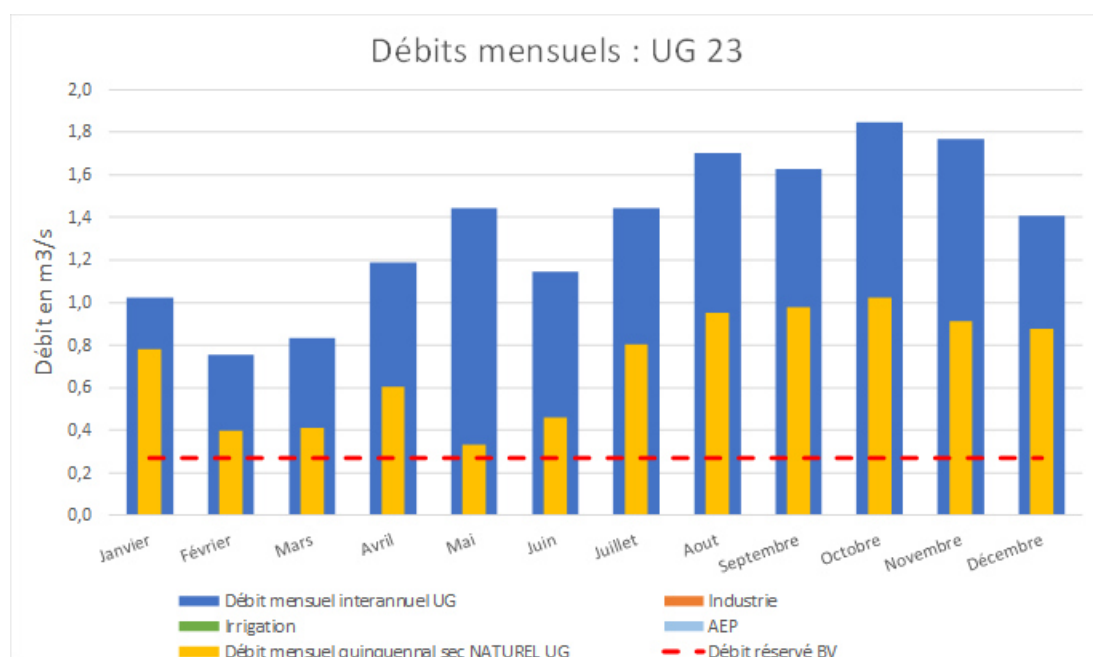
Bilan mensuel UG 22



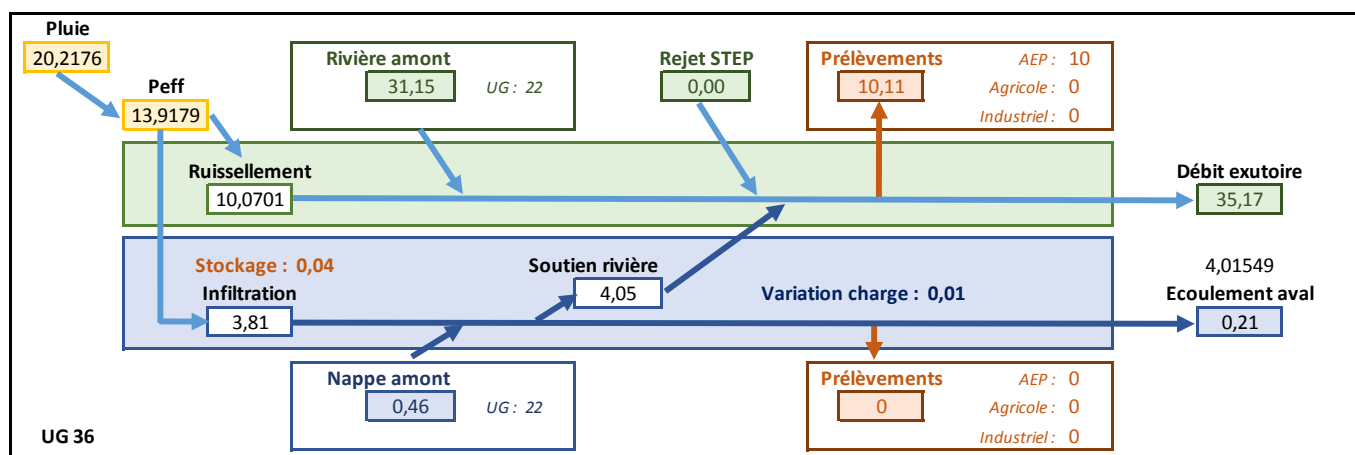
Bilan annuel UG 23



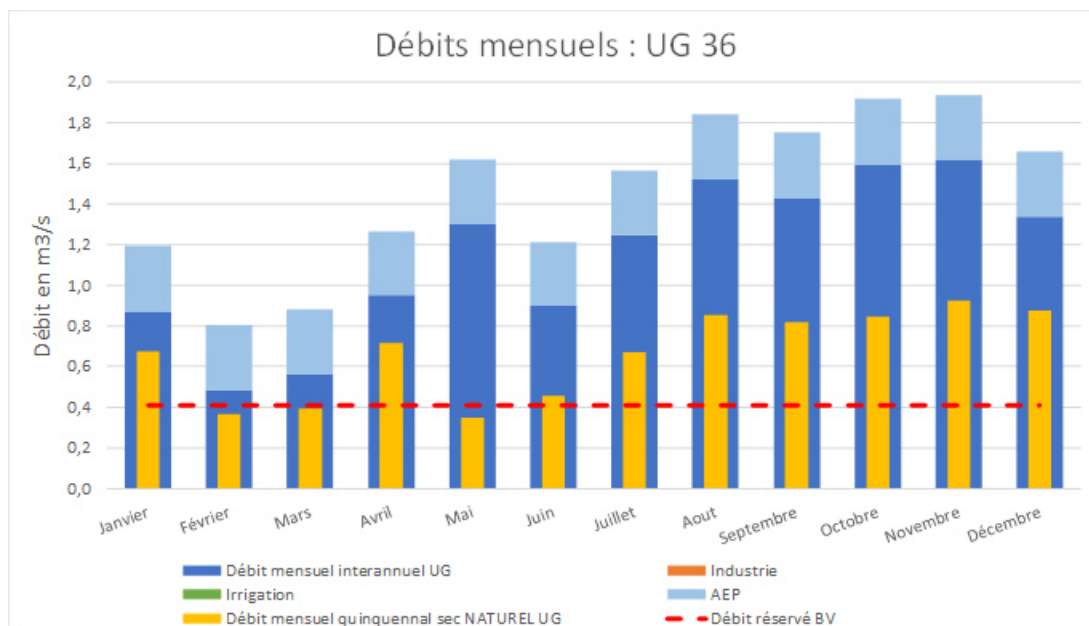
Bilan mensuel UG 23



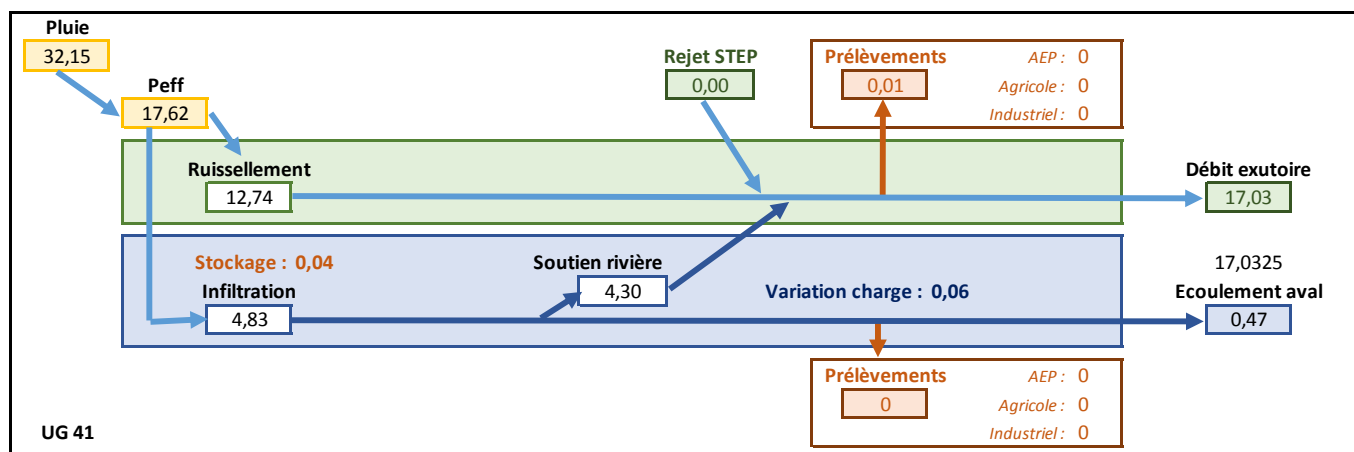
Bilan annuel UG 36



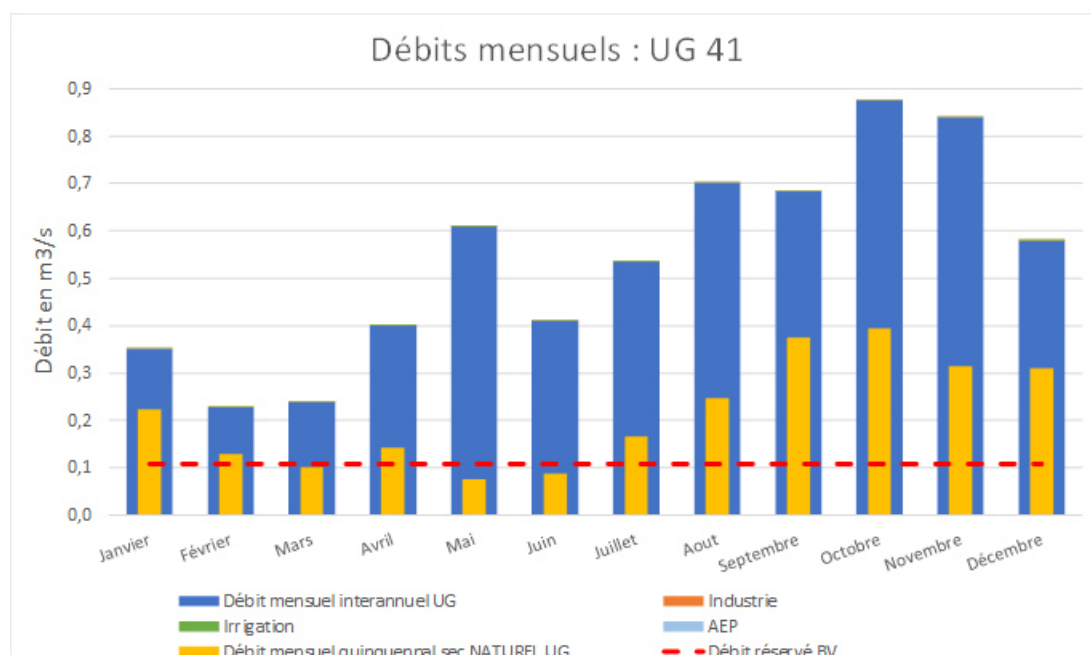
Bilan mensuel UG 36



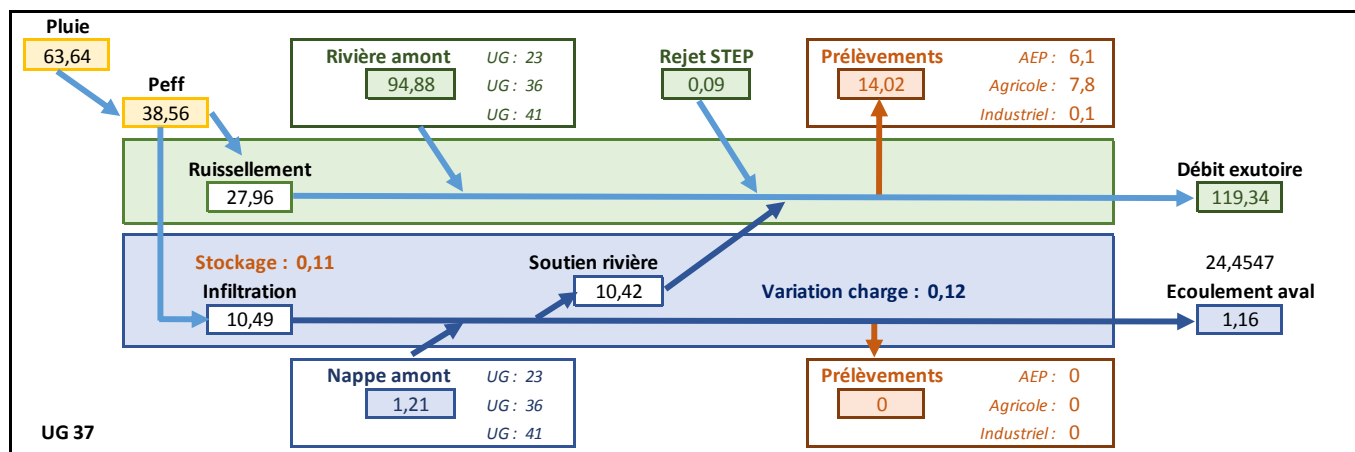
Bilan annuel UG 41



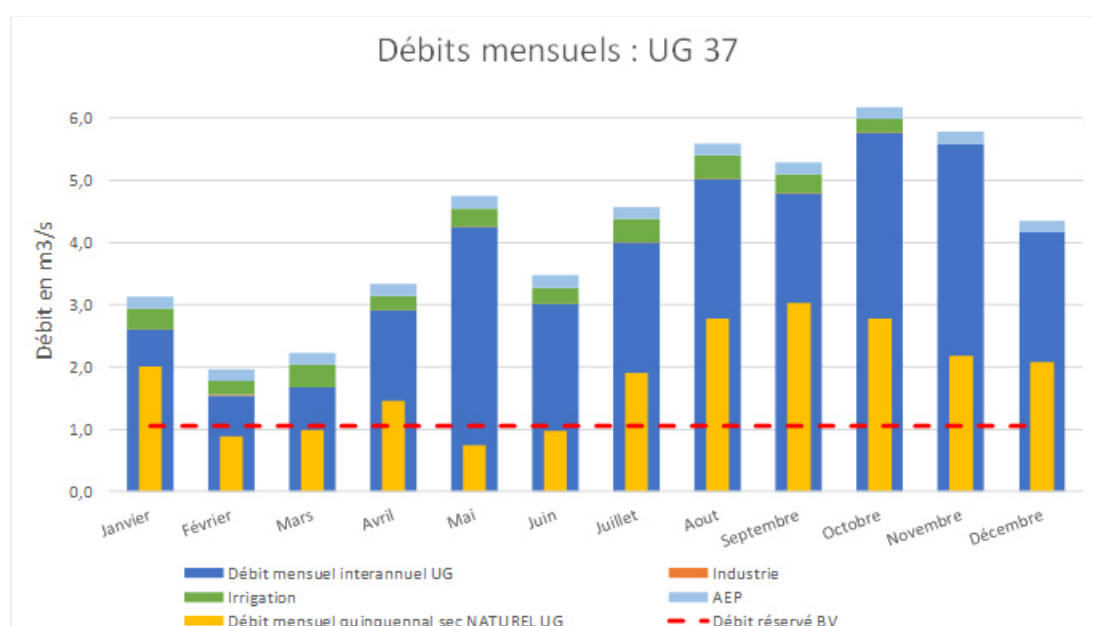
Bilan mensuel UG 41



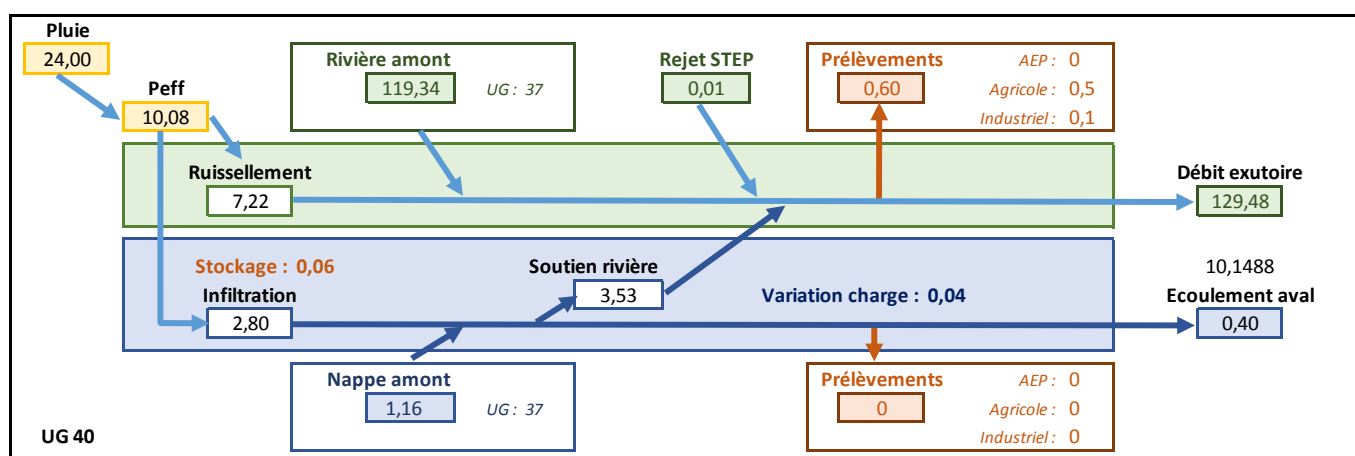
Bilan annuel UG 37



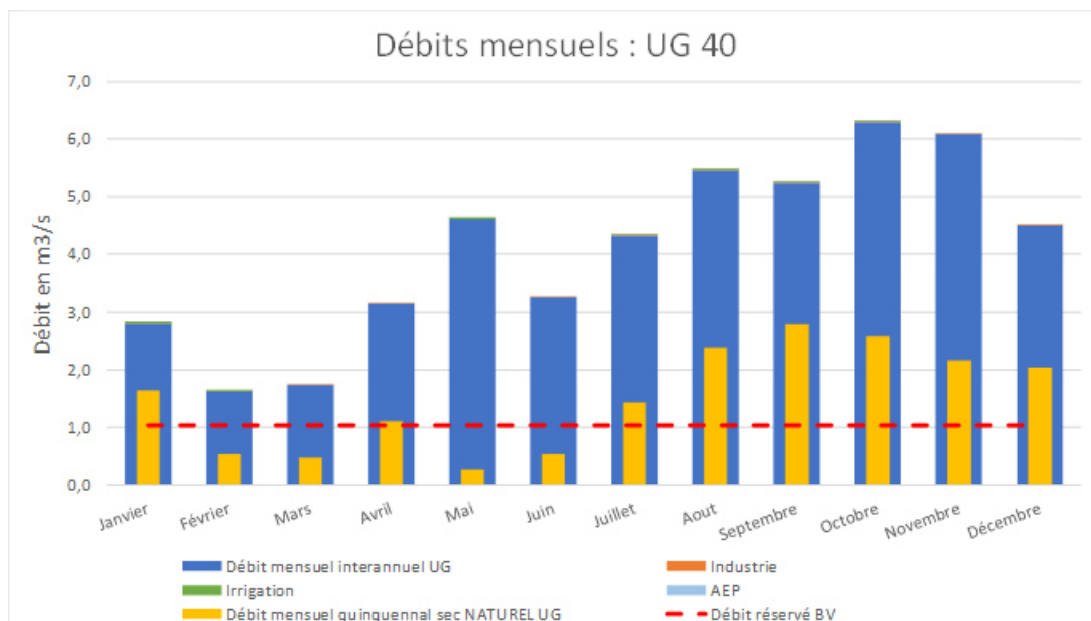
Bilan mensuel UG 37



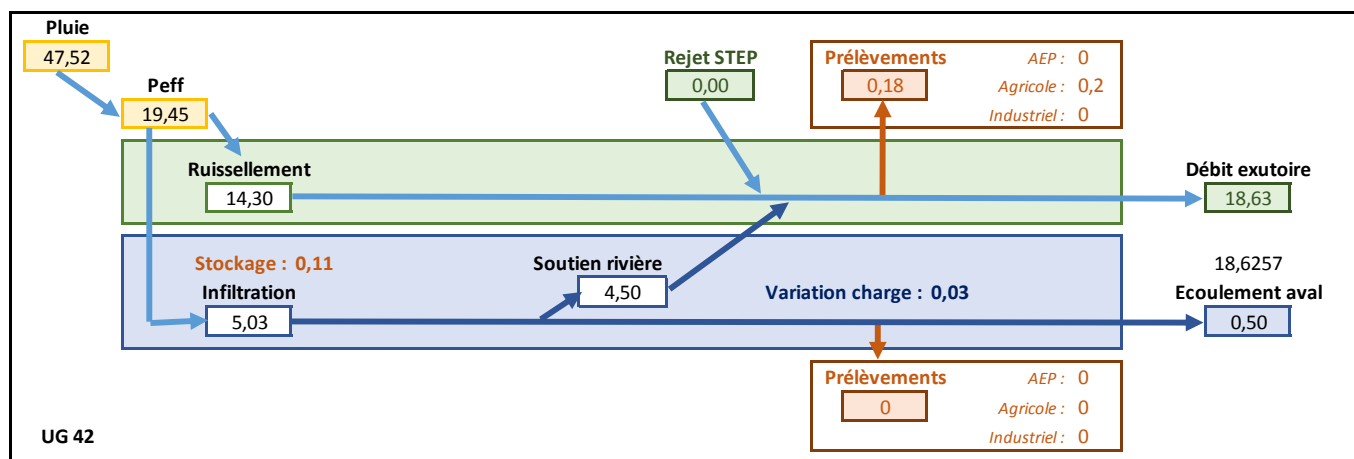
Bilan annuel UG 40



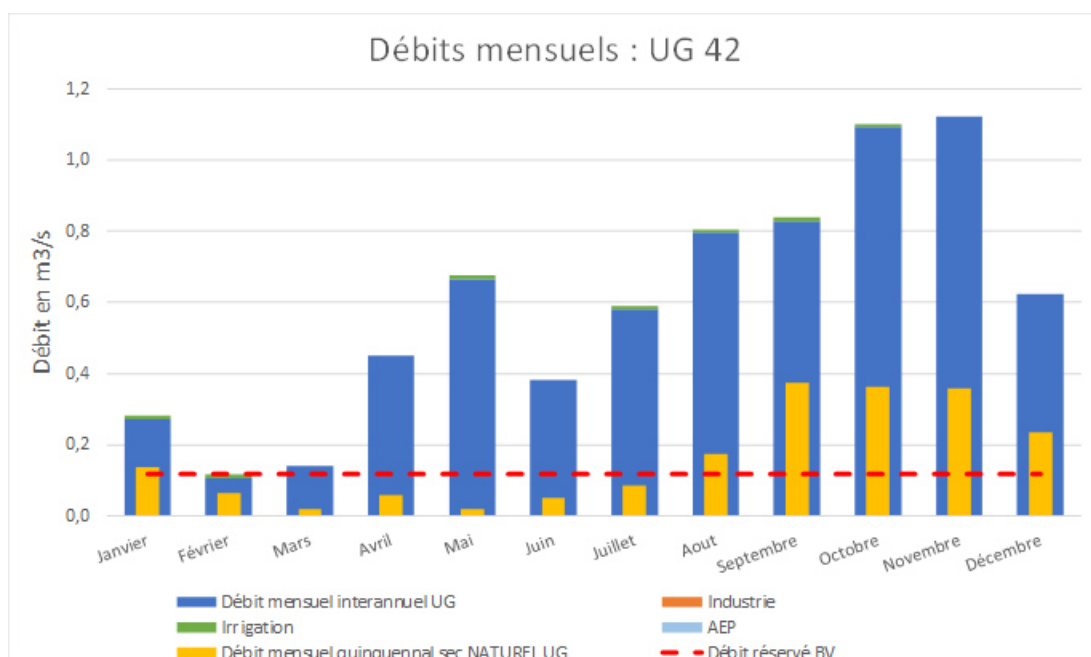
Bilan mensuel UG 40



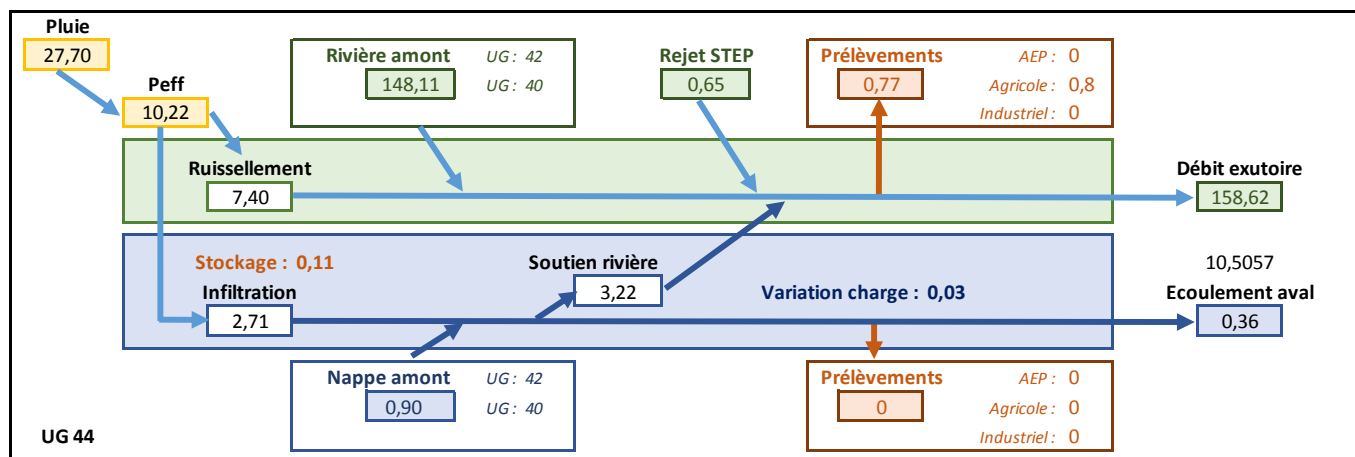
Bilan annuel UG 42



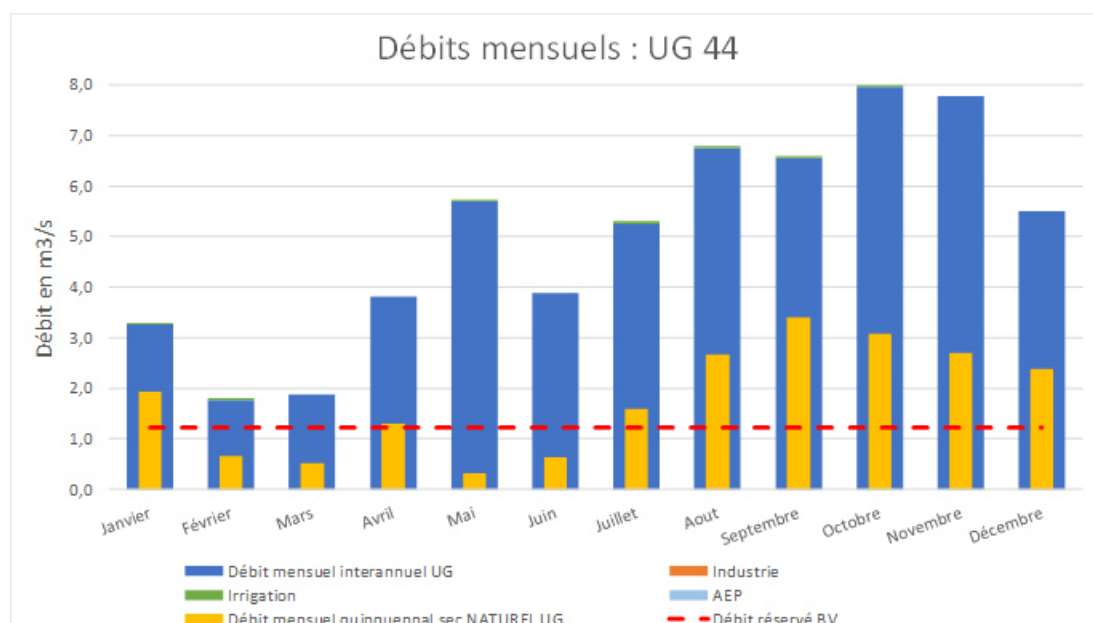
Bilan mensuel UG 42



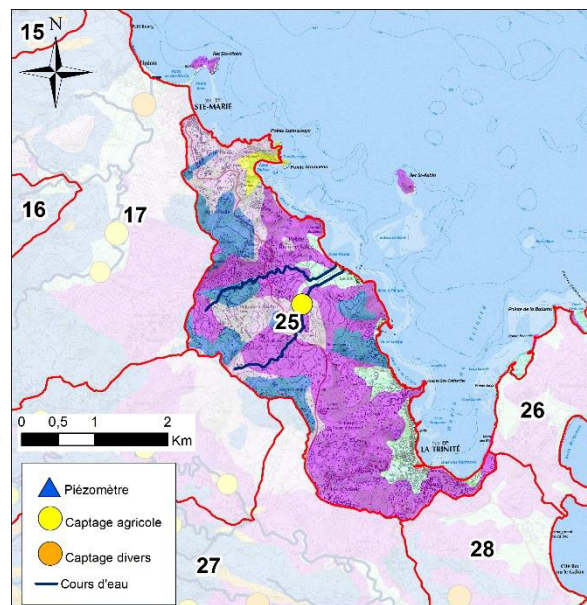
Bilan annuel UG 44



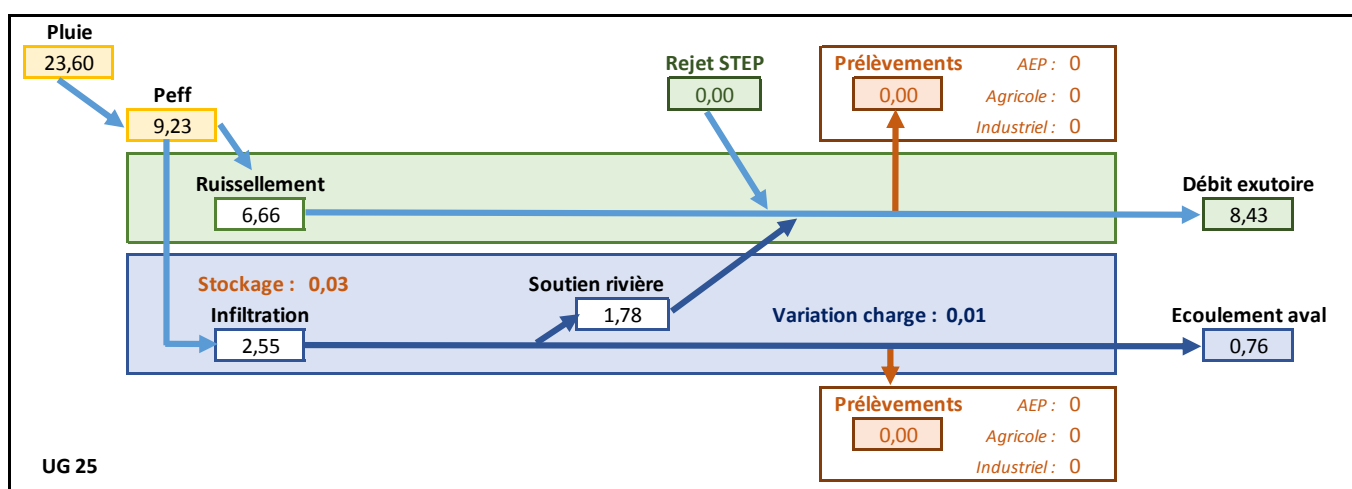
Bilan mensuel UG 44



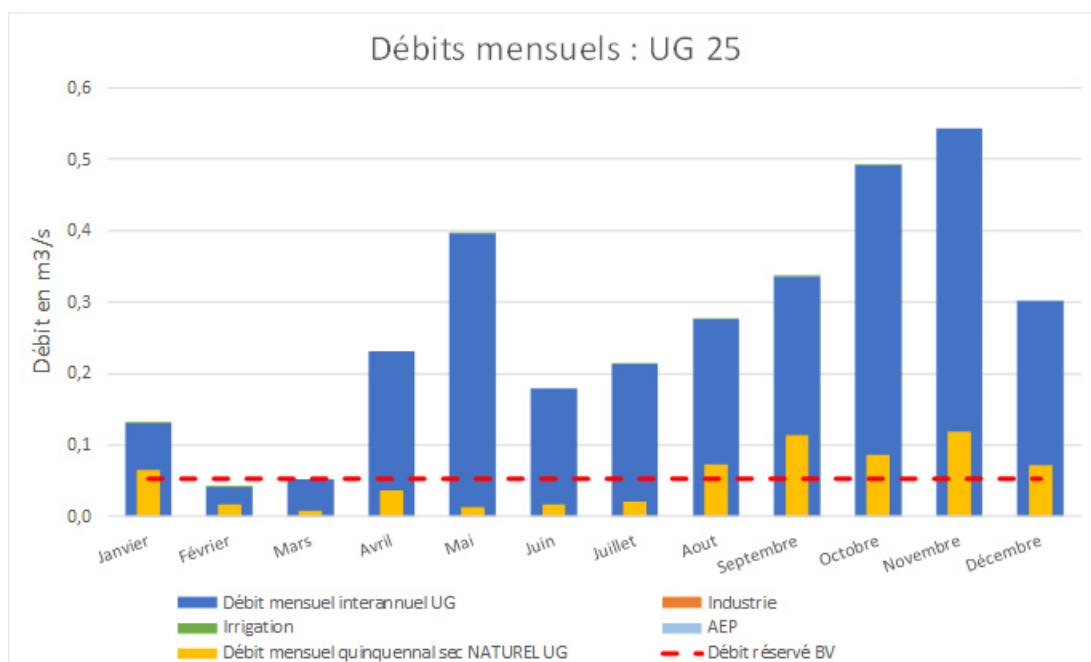
UG 25



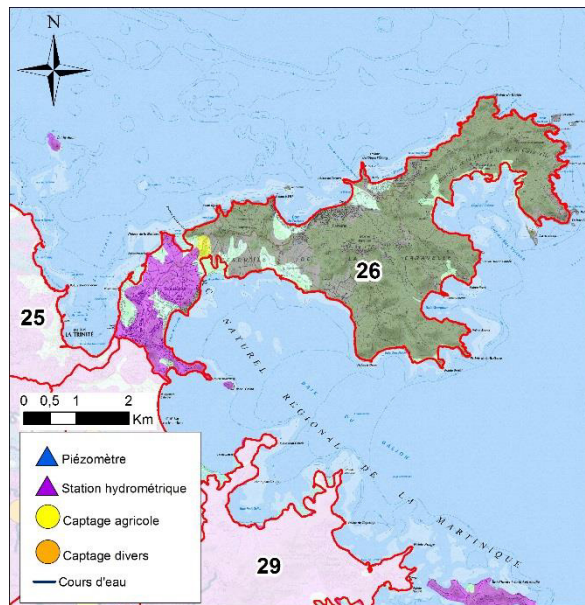
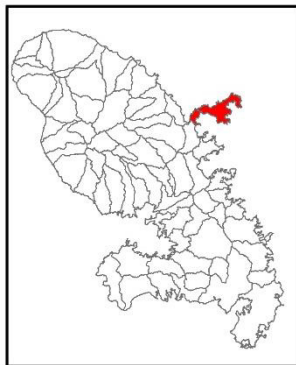
Bilan annuel



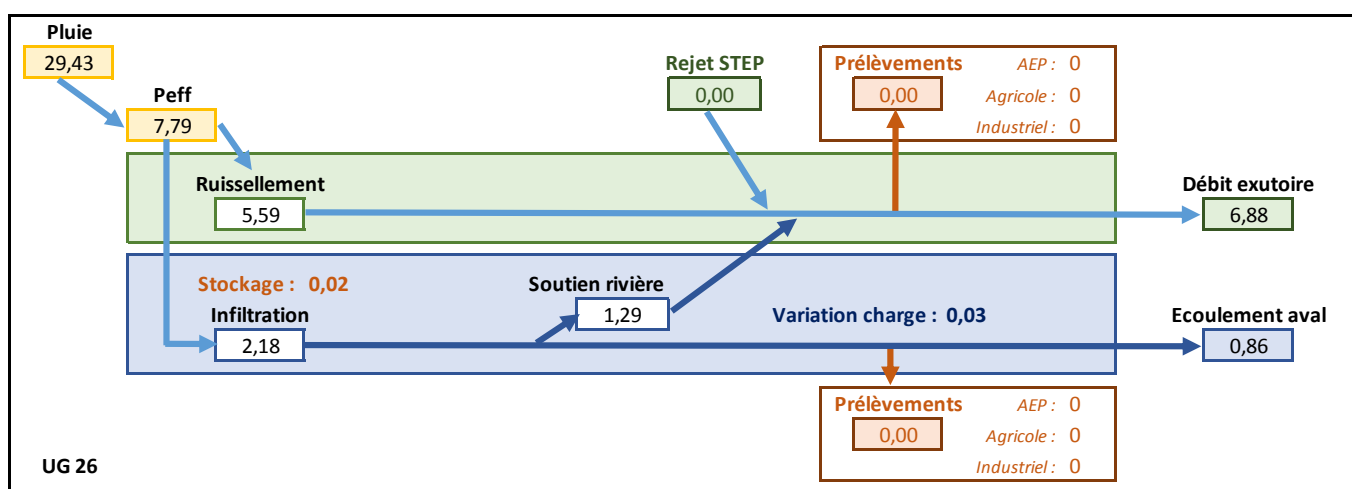
Bilan mensuel



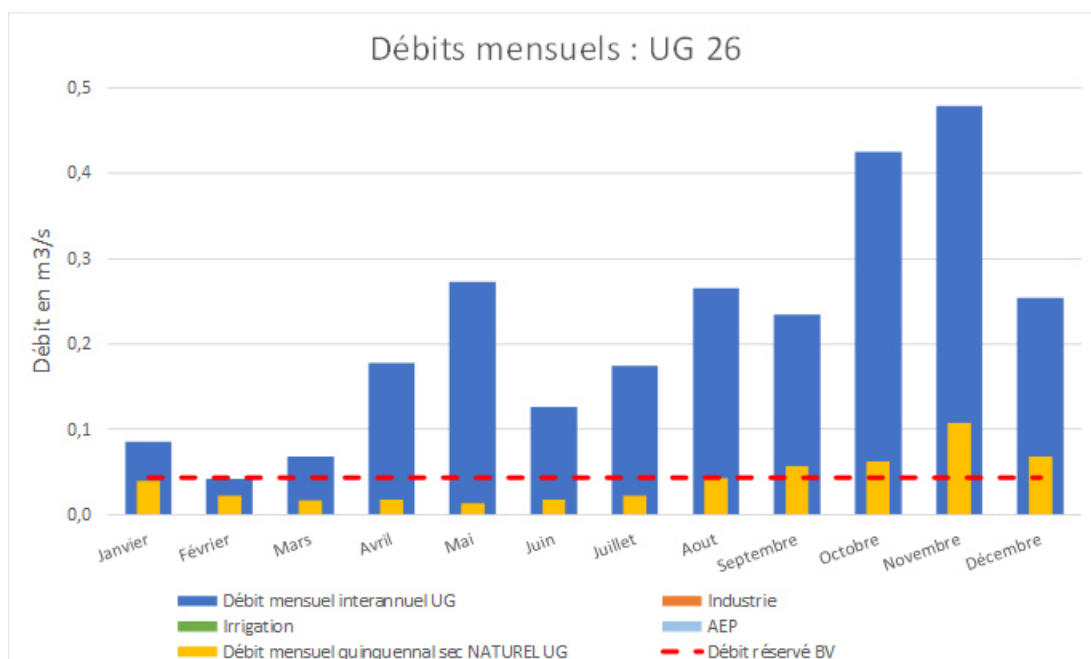
UG 26



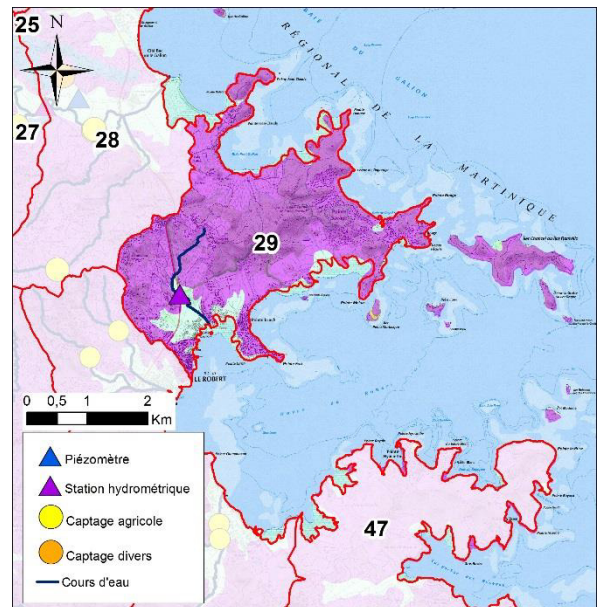
Bilan annuel



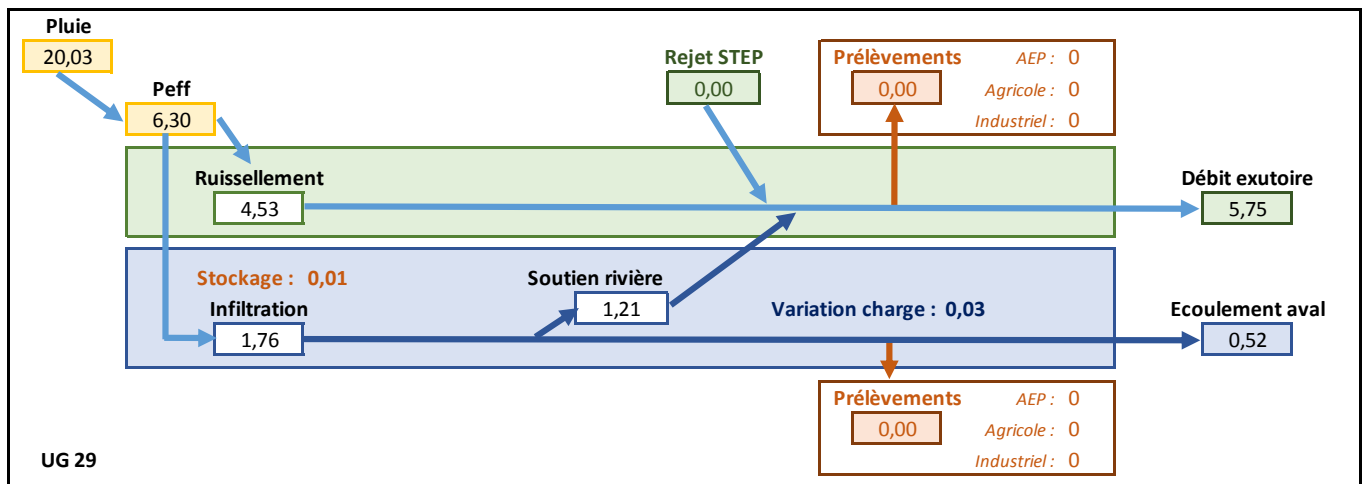
Bilan mensuel



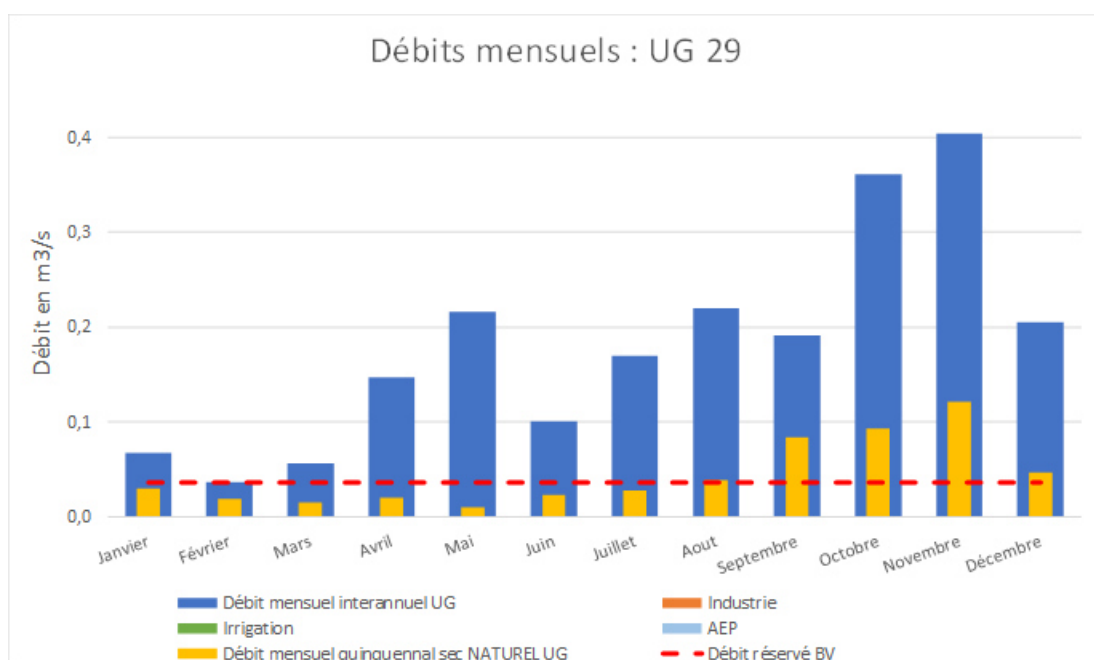
UG 29



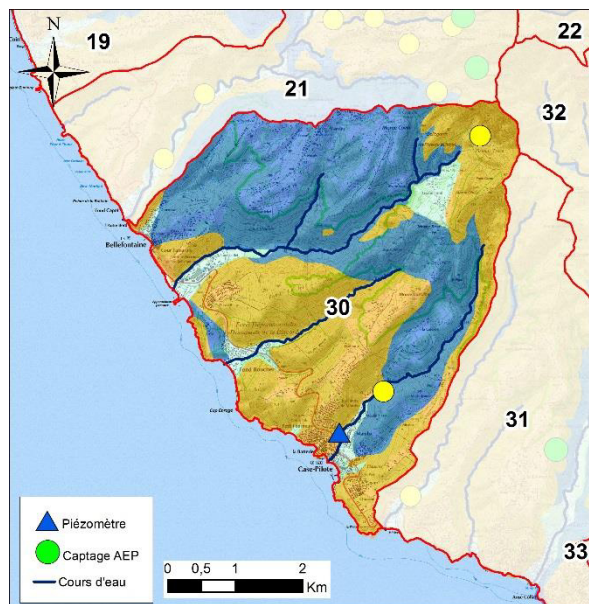
Bilan annuel



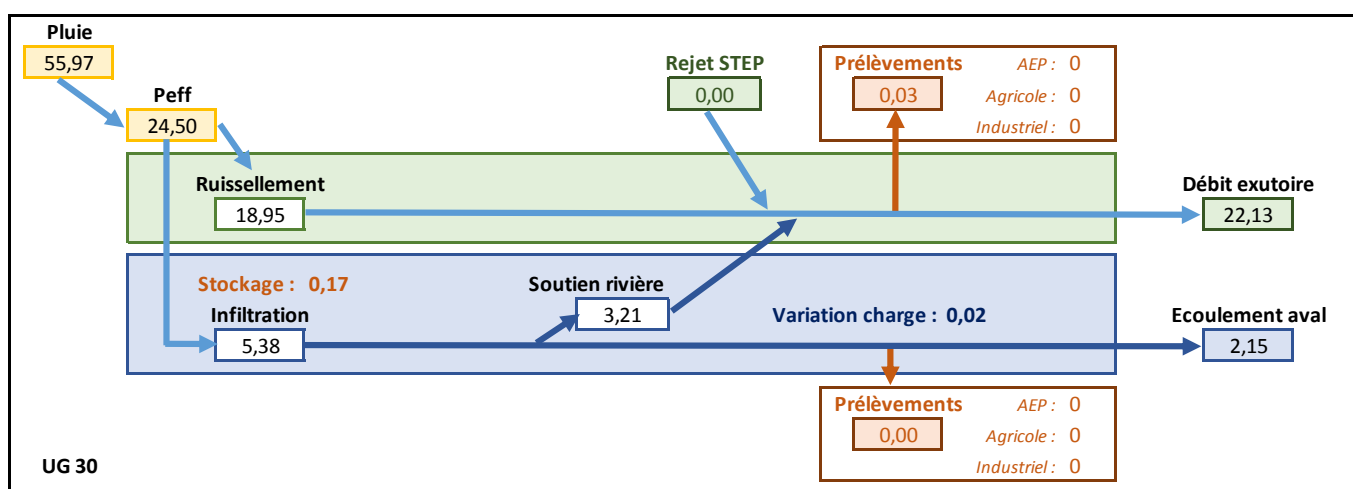
Bilan mensuel



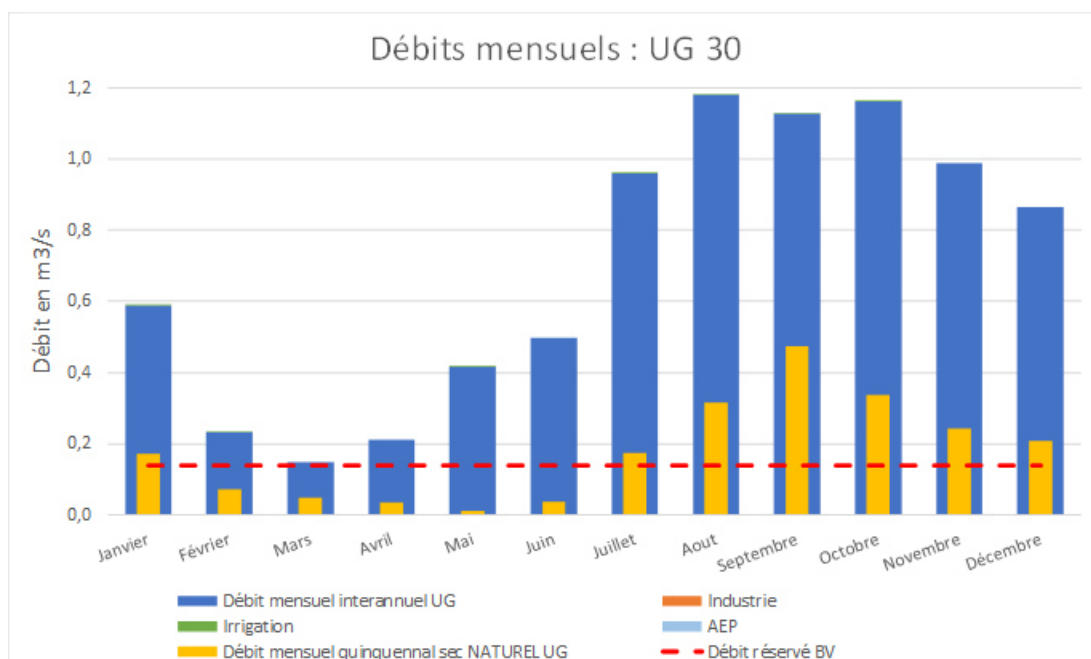
UG 30



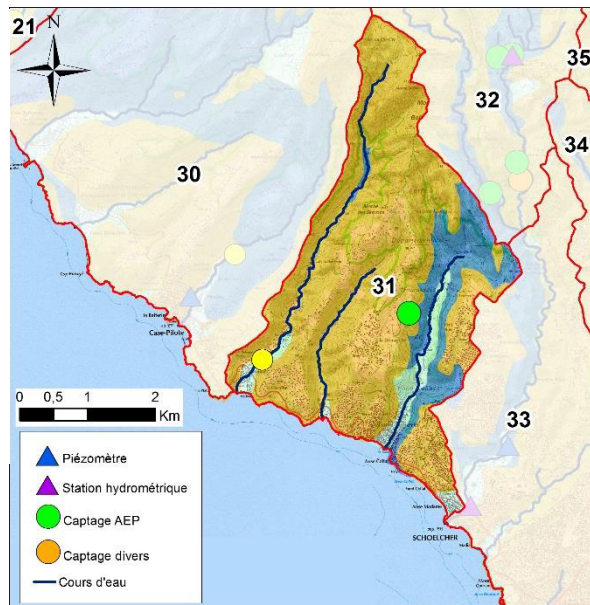
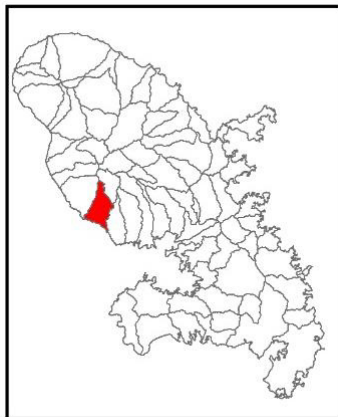
Bilan annuel



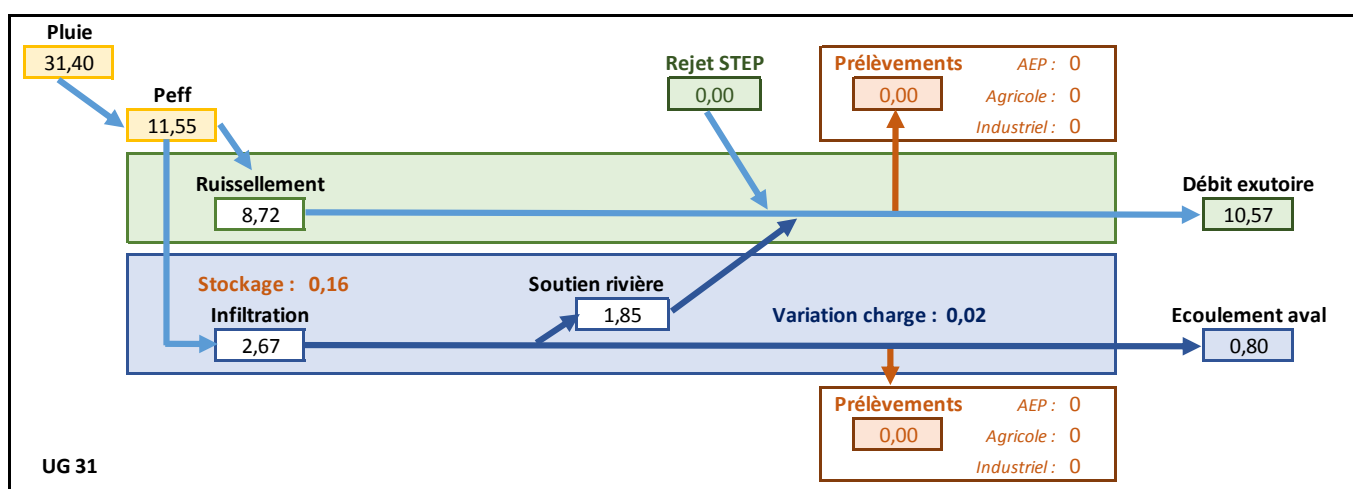
Bilan mensuel



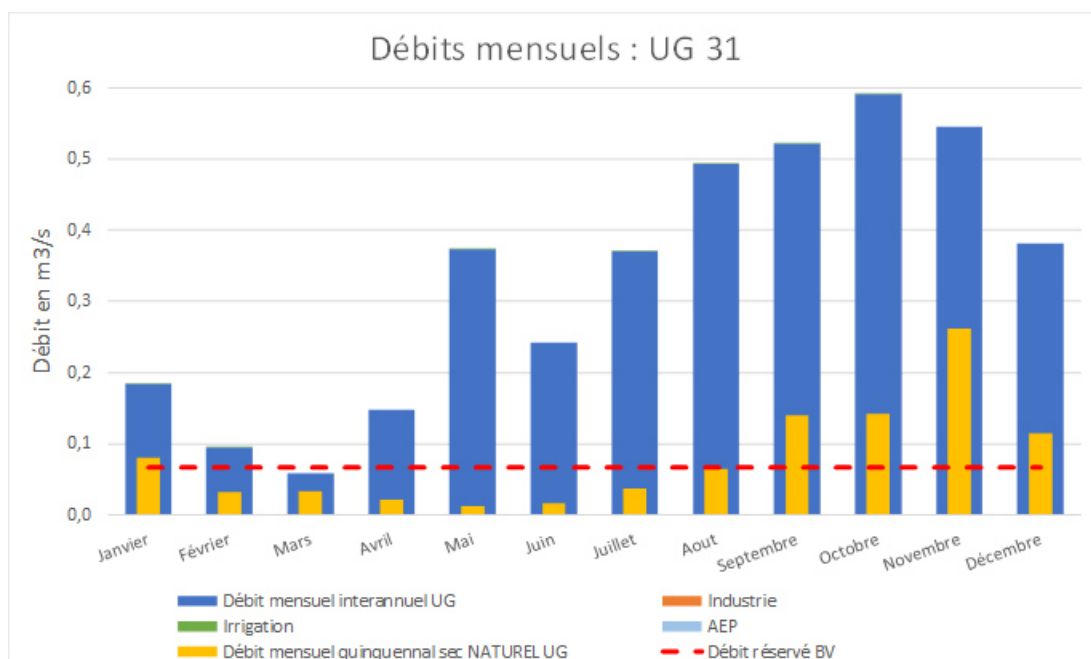
UG 31



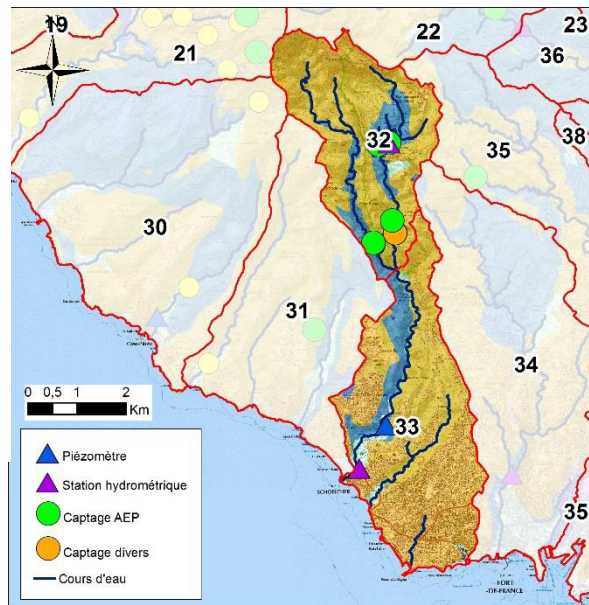
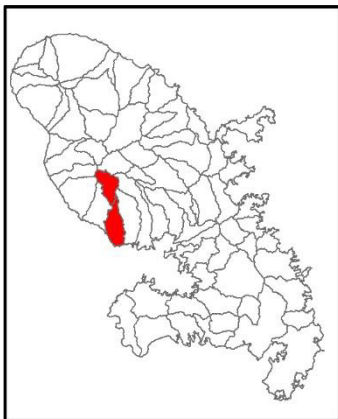
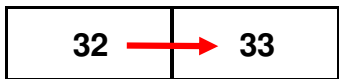
Bilan annuel



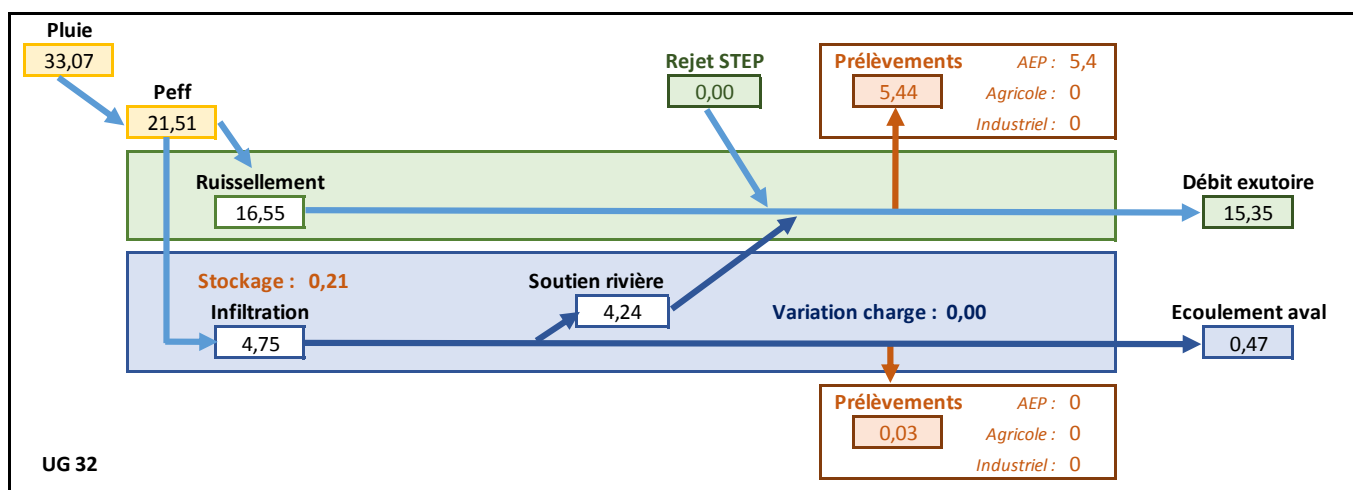
Bilan mensuel



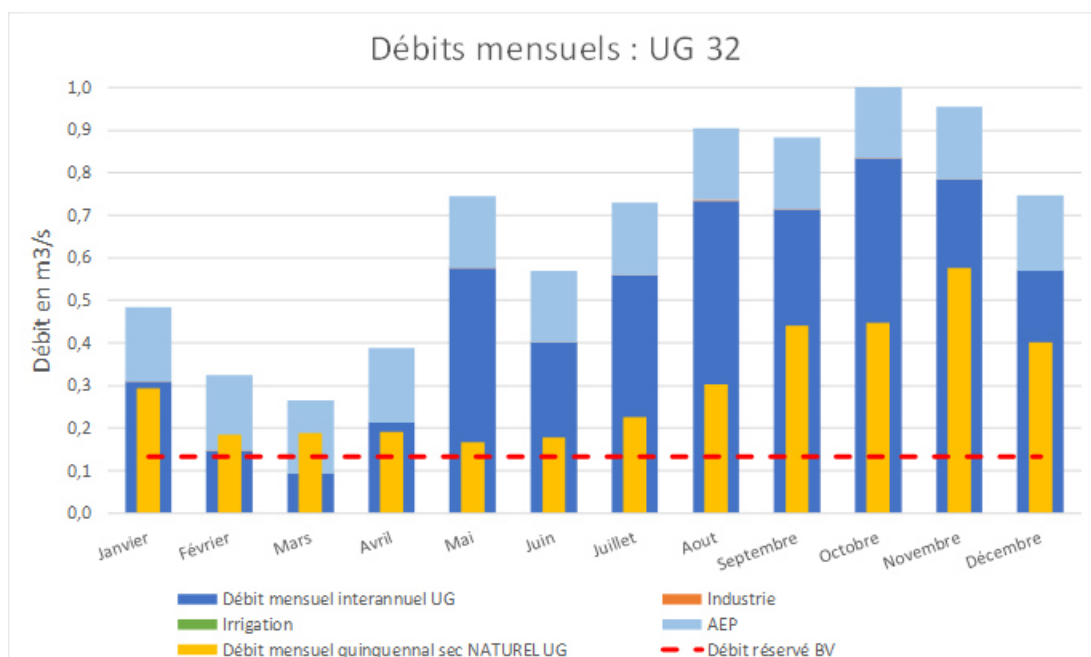
UG 32 et 33



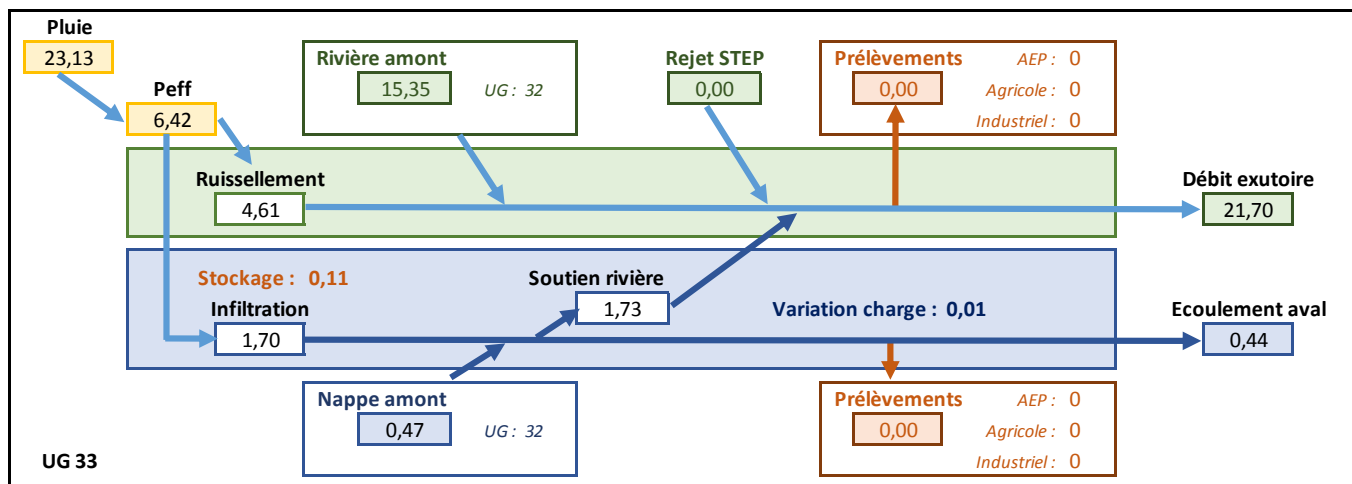
Bilan annuel UG 32



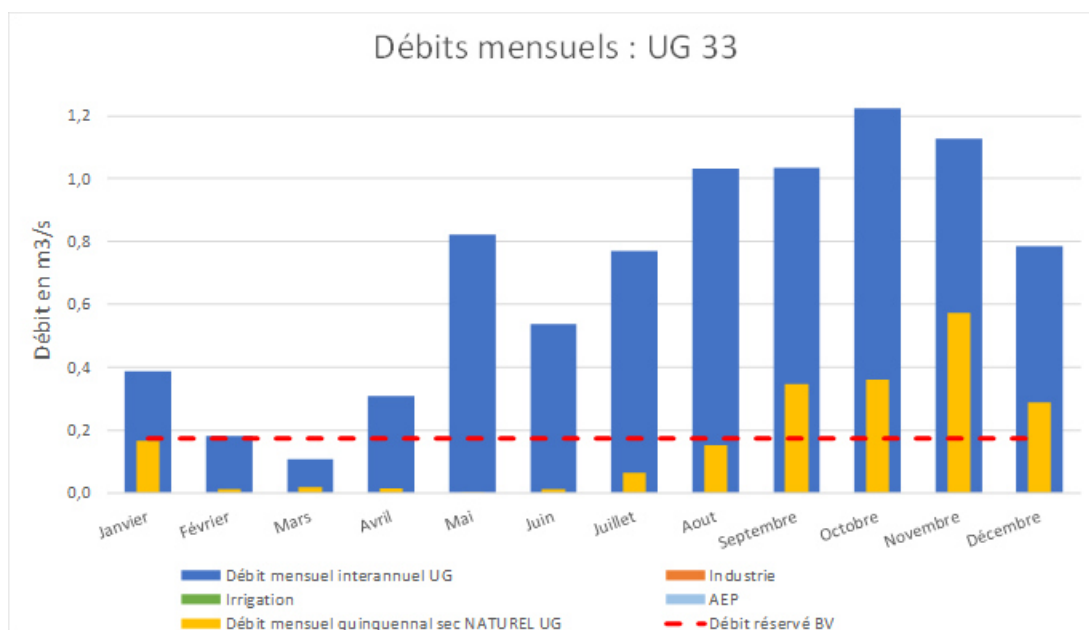
Bilan mensuel UG 32



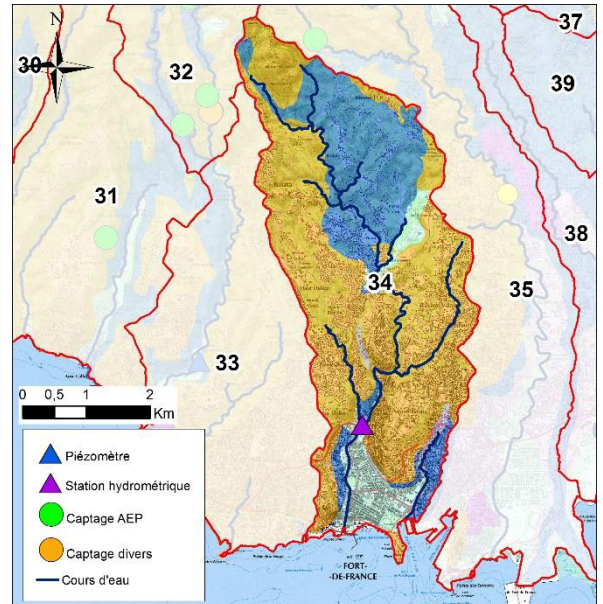
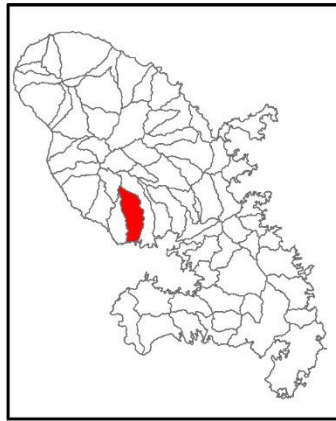
Bilan annuel UG 33



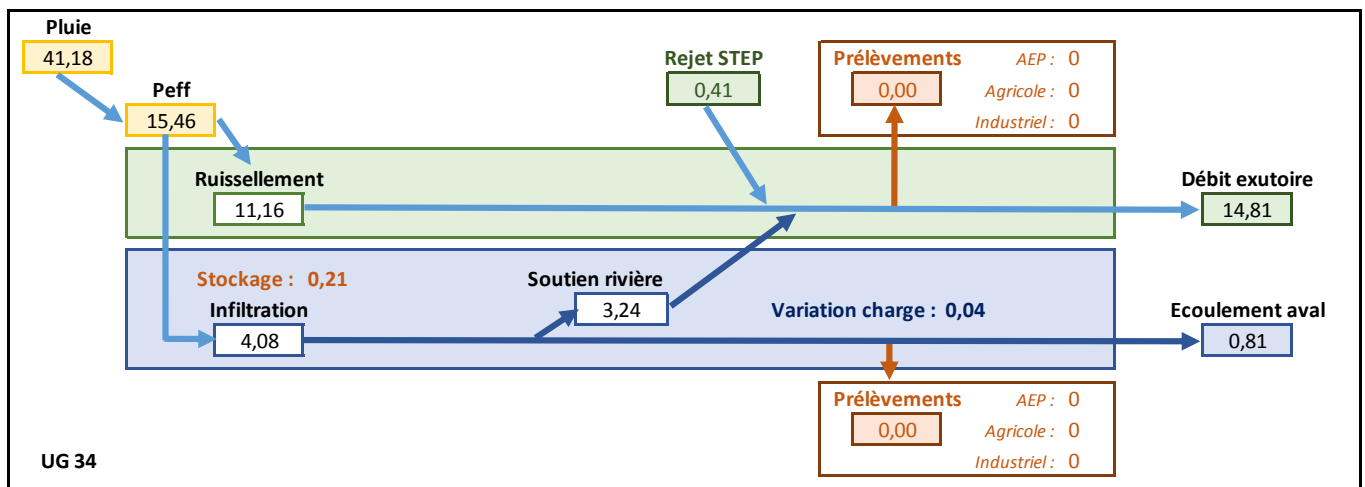
Bilan mensuel UG 33



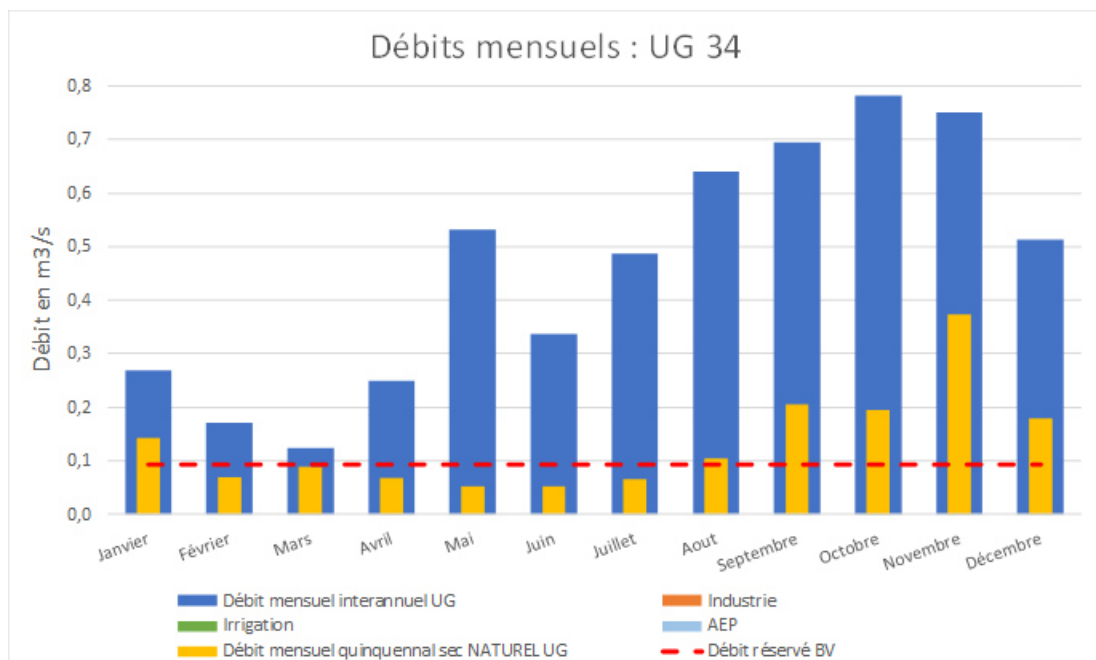
UG 34



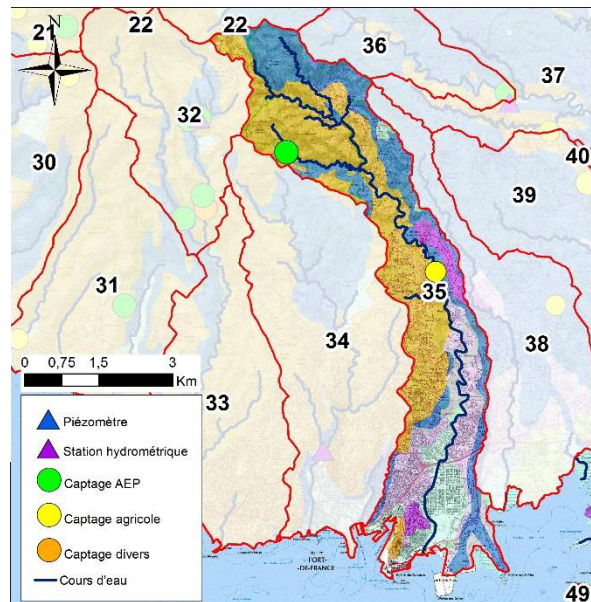
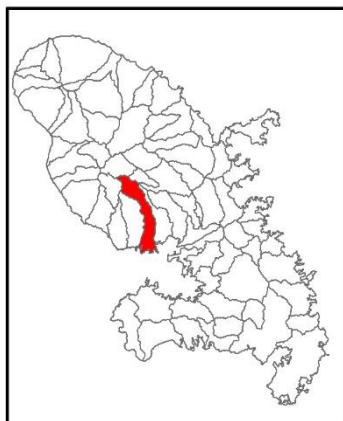
Bilan annuel



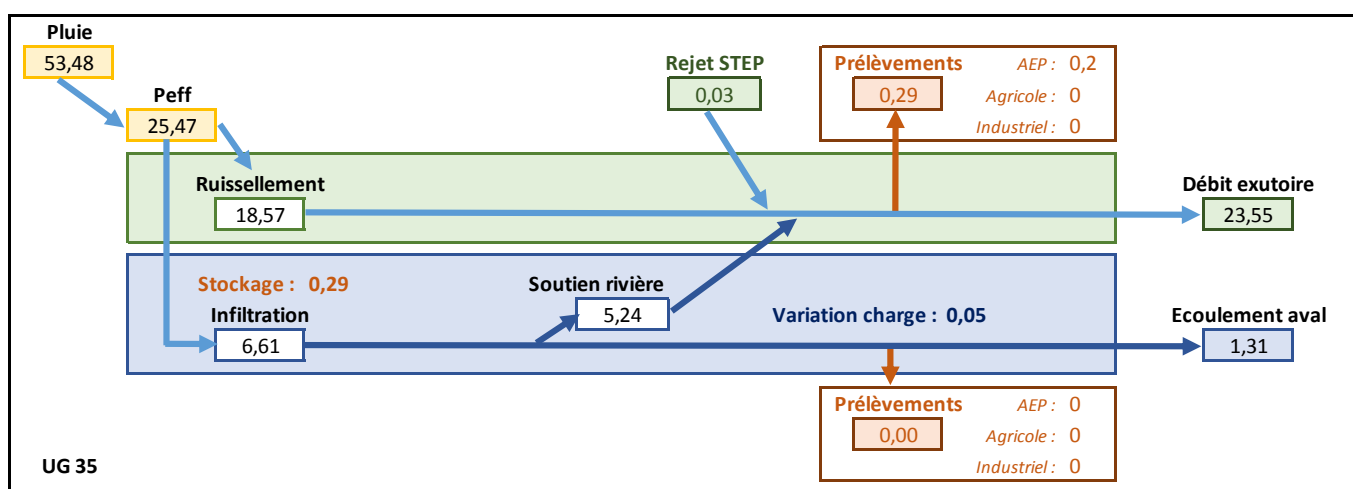
Bilan mensuel



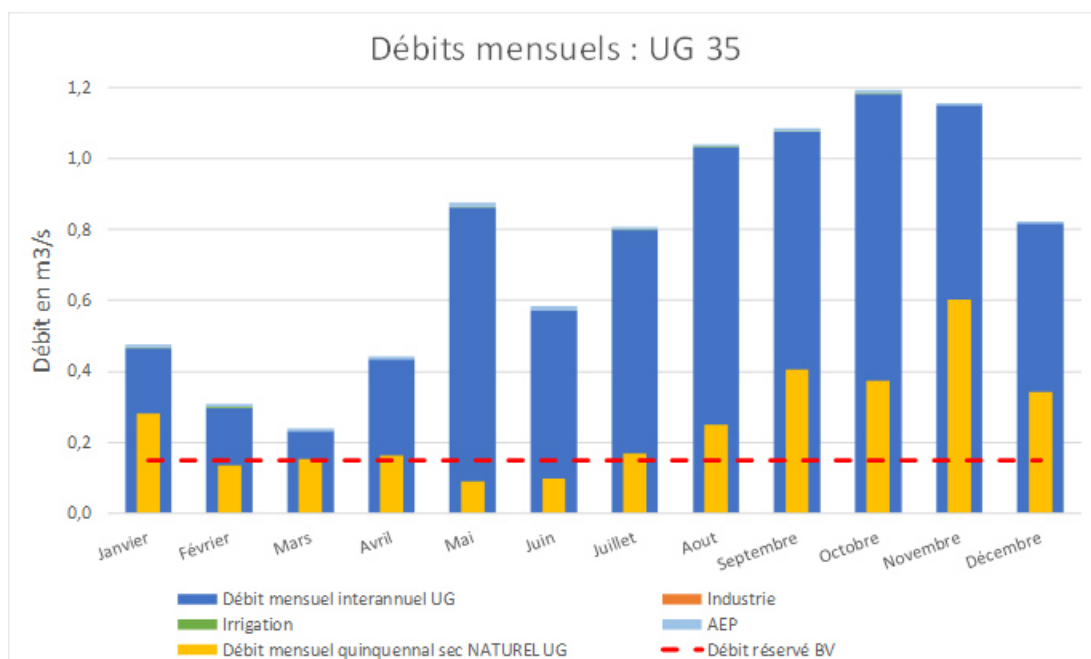
UG 35



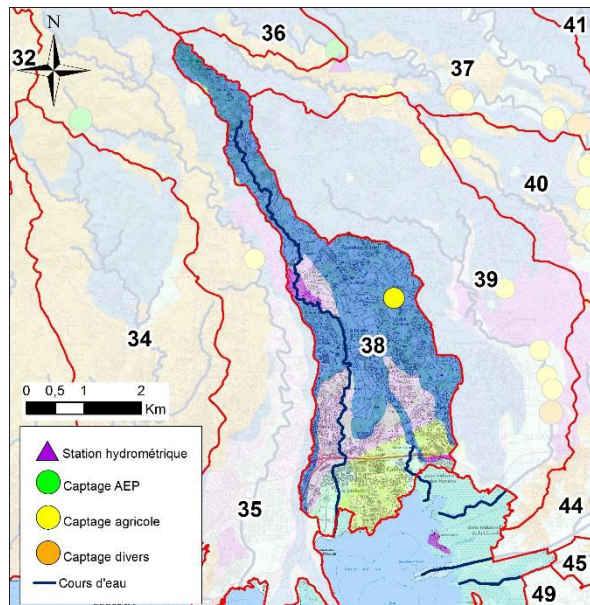
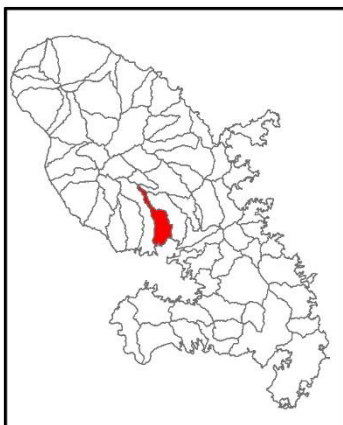
Bilan annuel



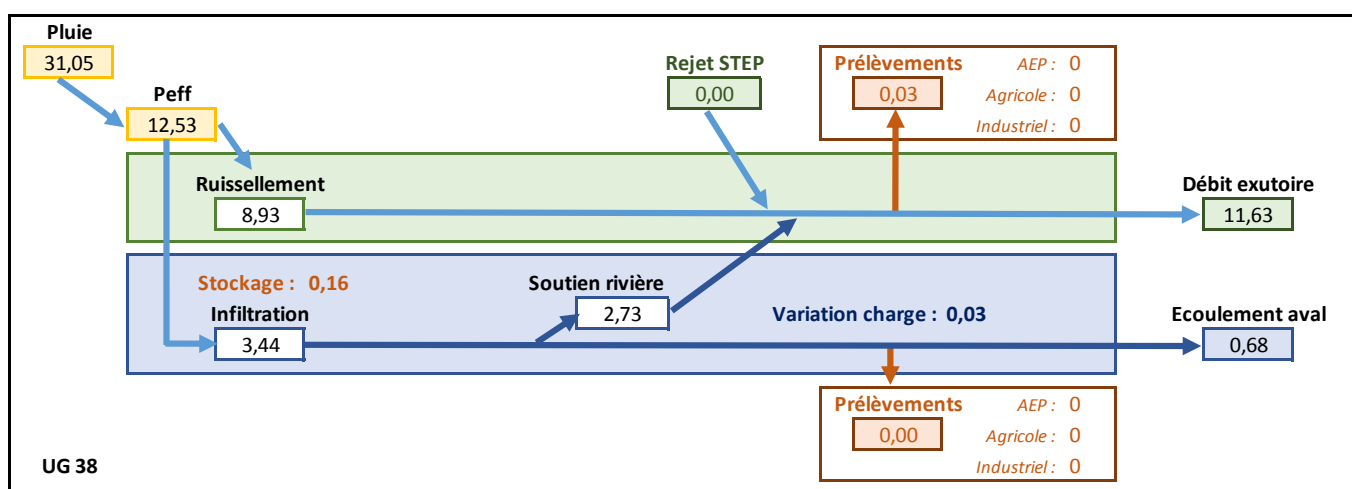
Bilan mensuel



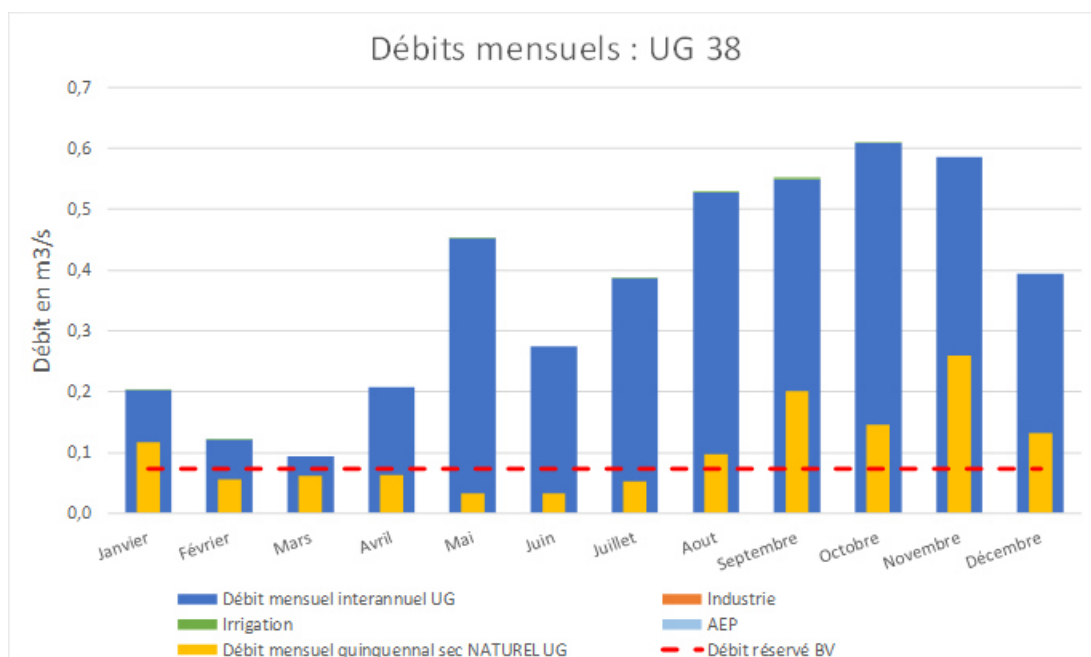
UG 38



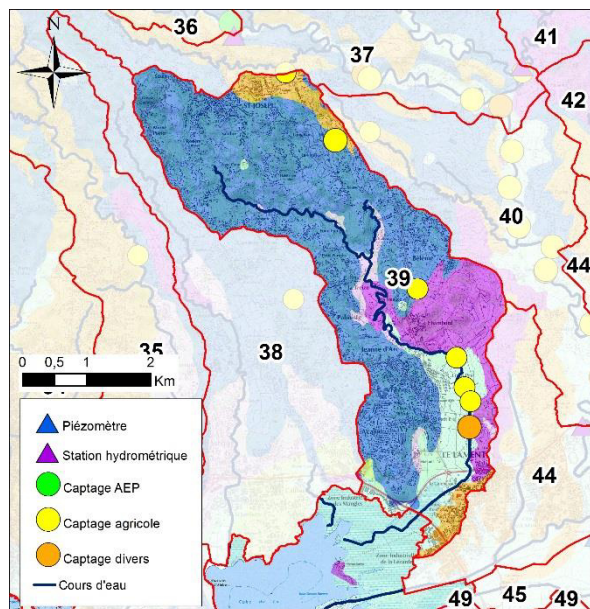
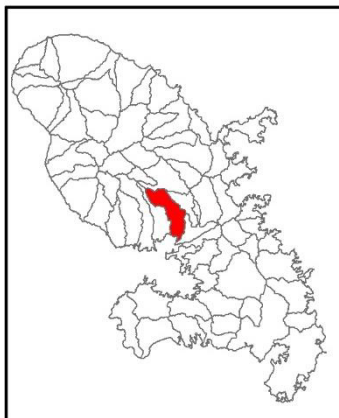
Bilan annuel



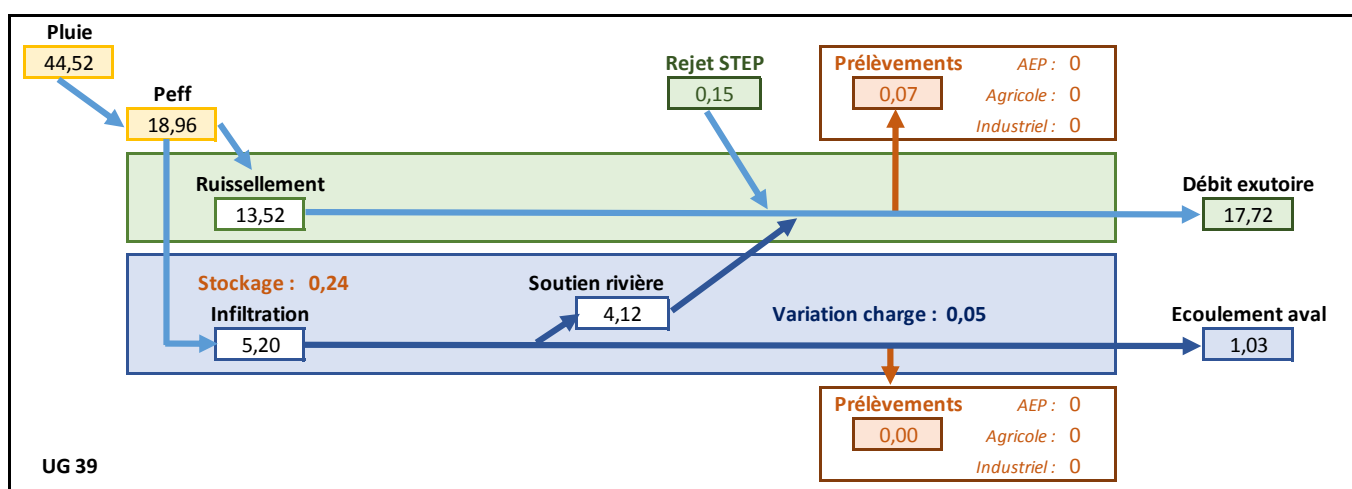
Bilan mensuel



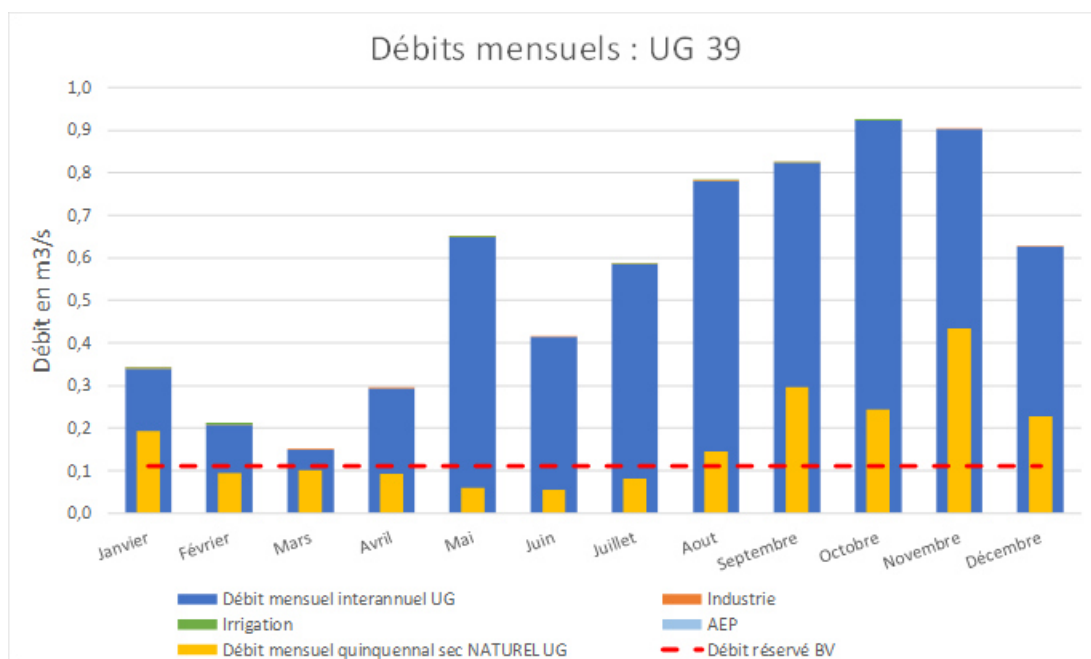
UG 39



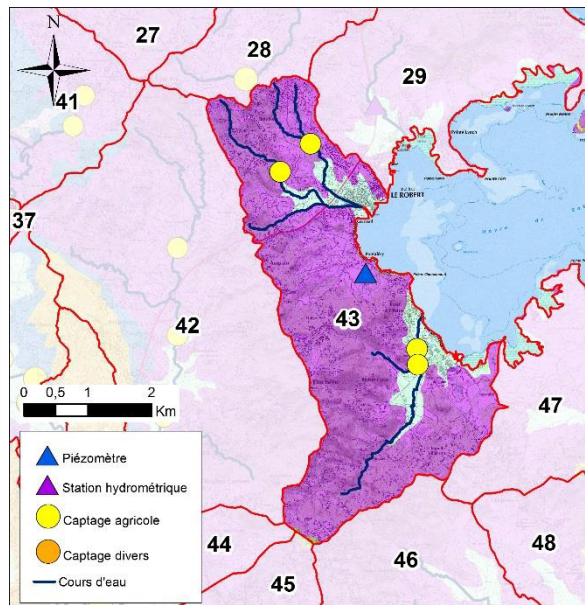
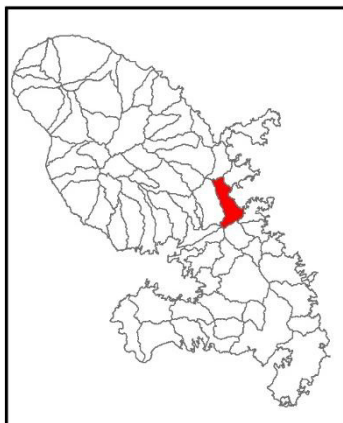
Bilan annuel



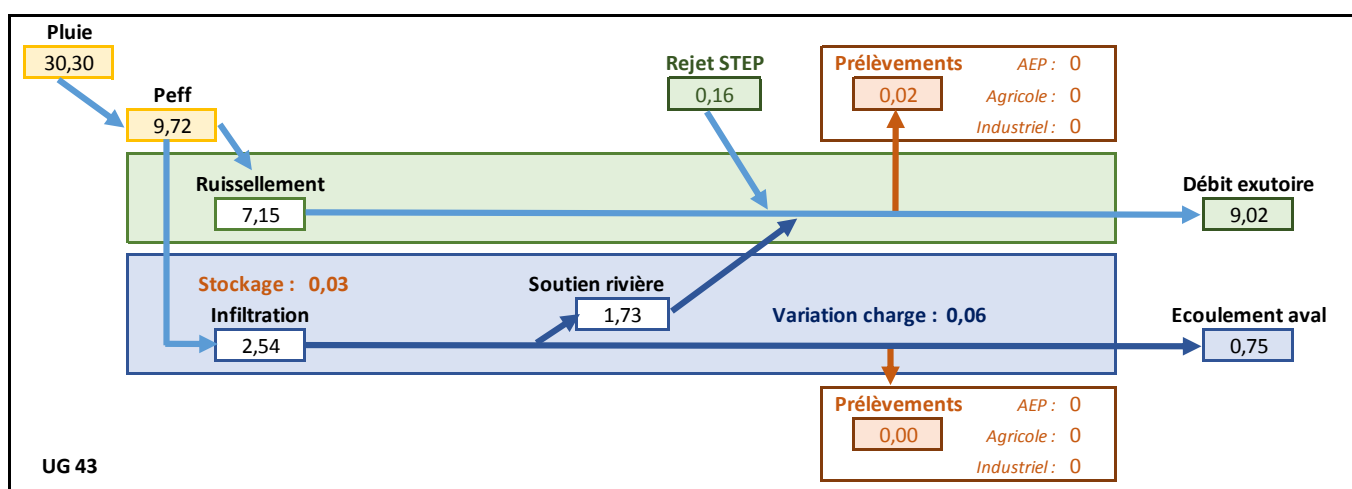
Bilan mensuel



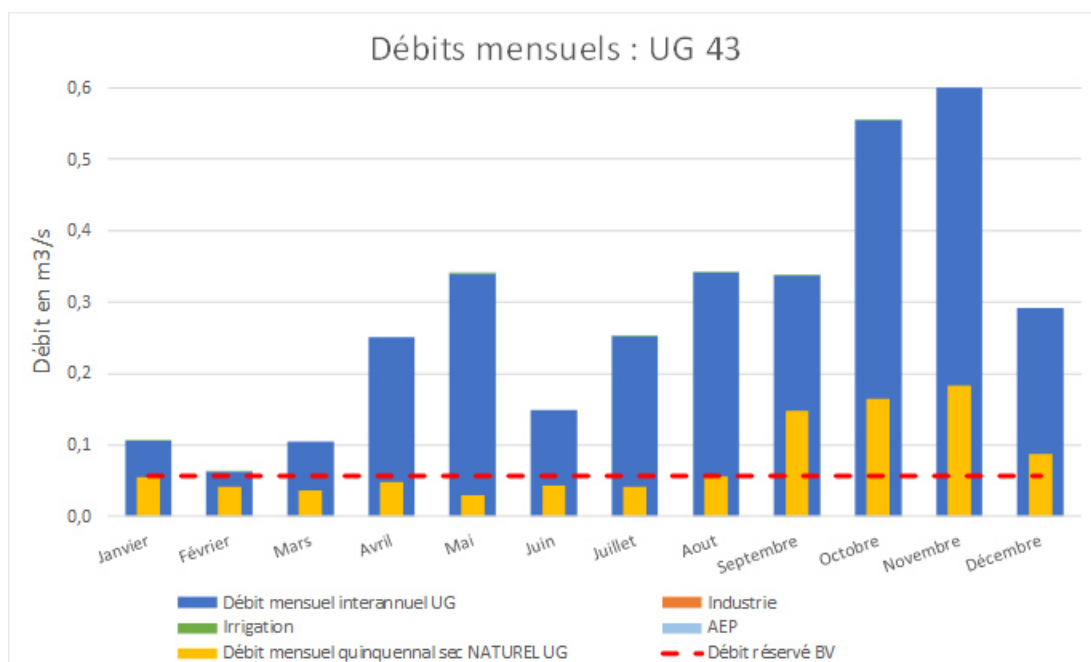
UG 43



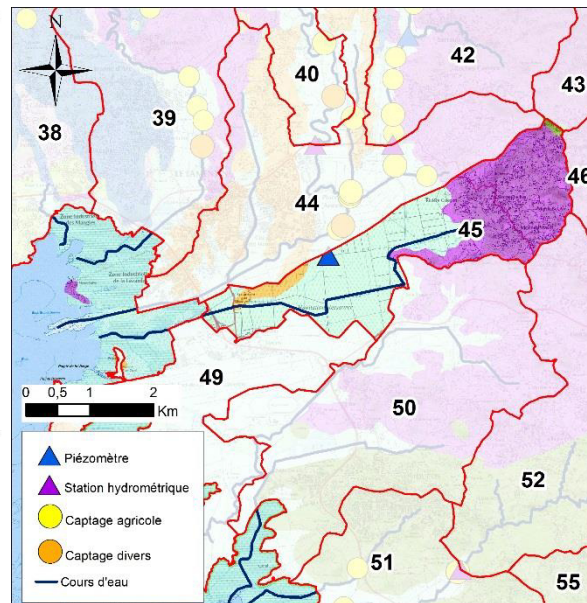
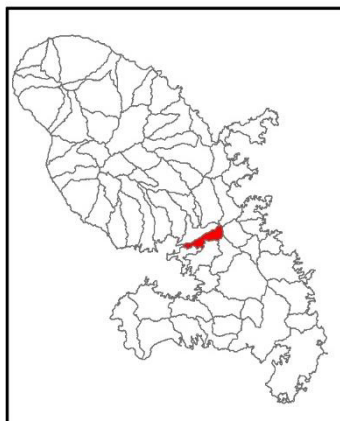
Bilan annuel



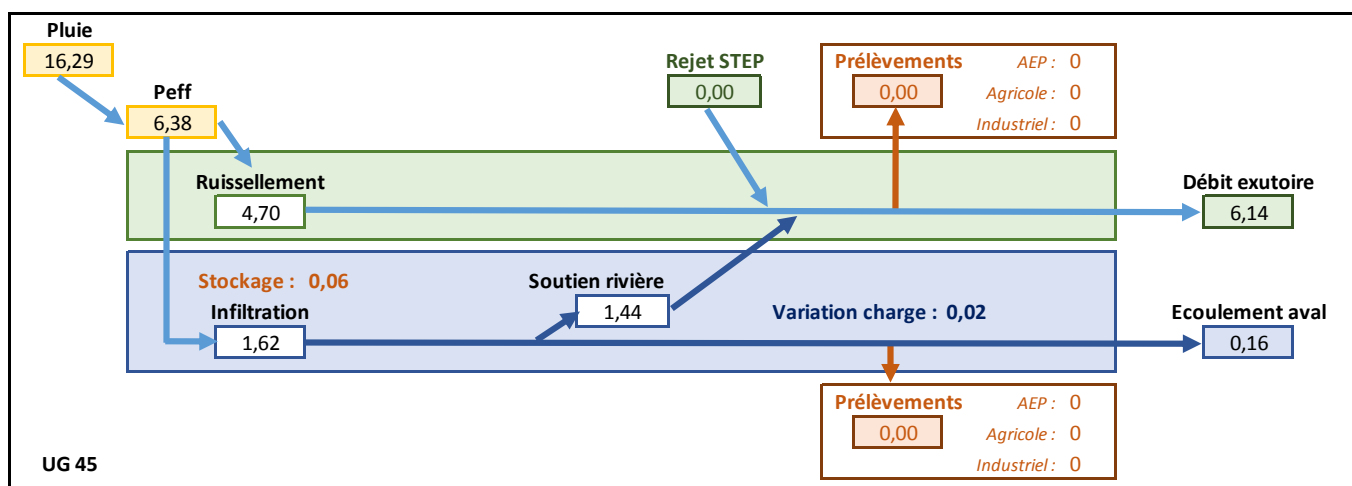
Bilan mensuel



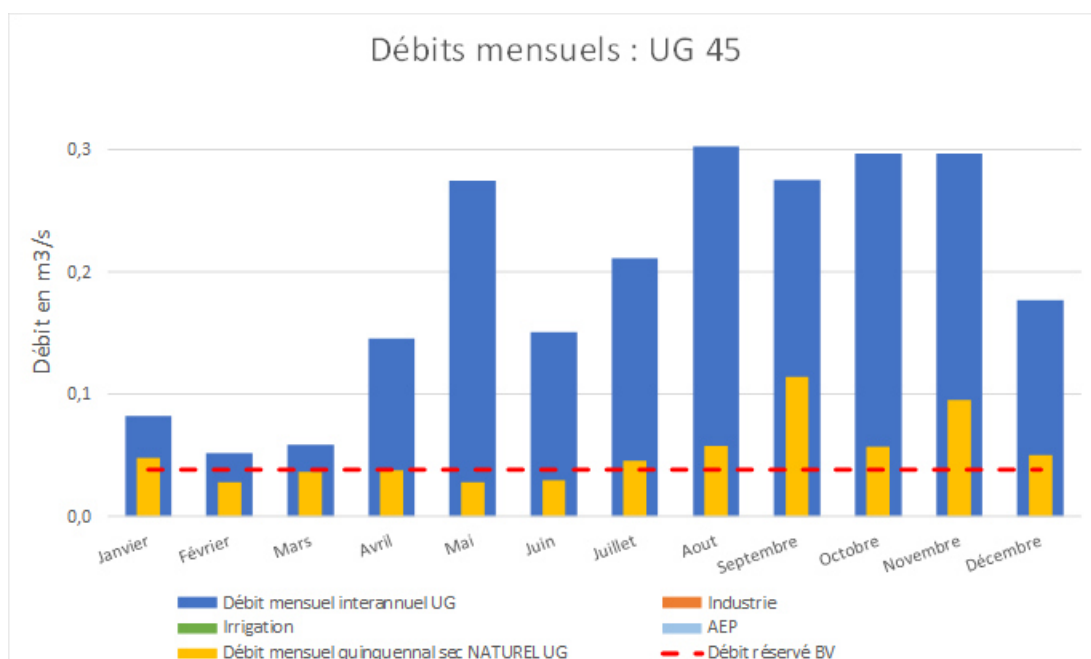
UG 45



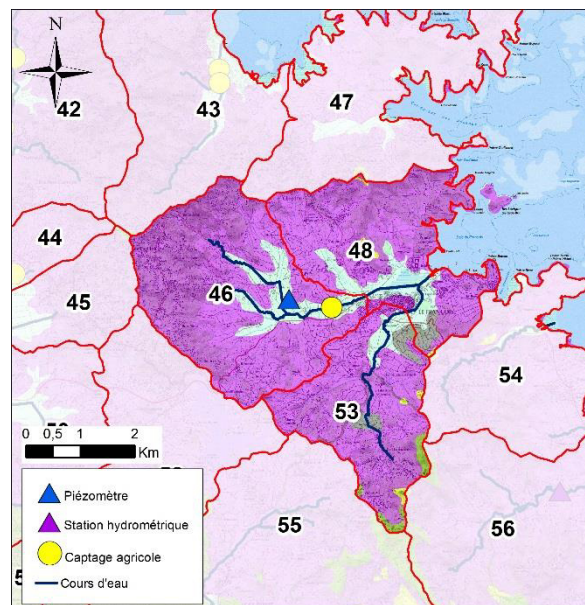
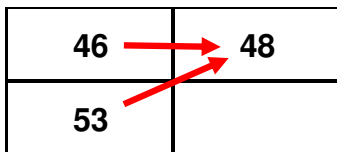
Bilan annuel



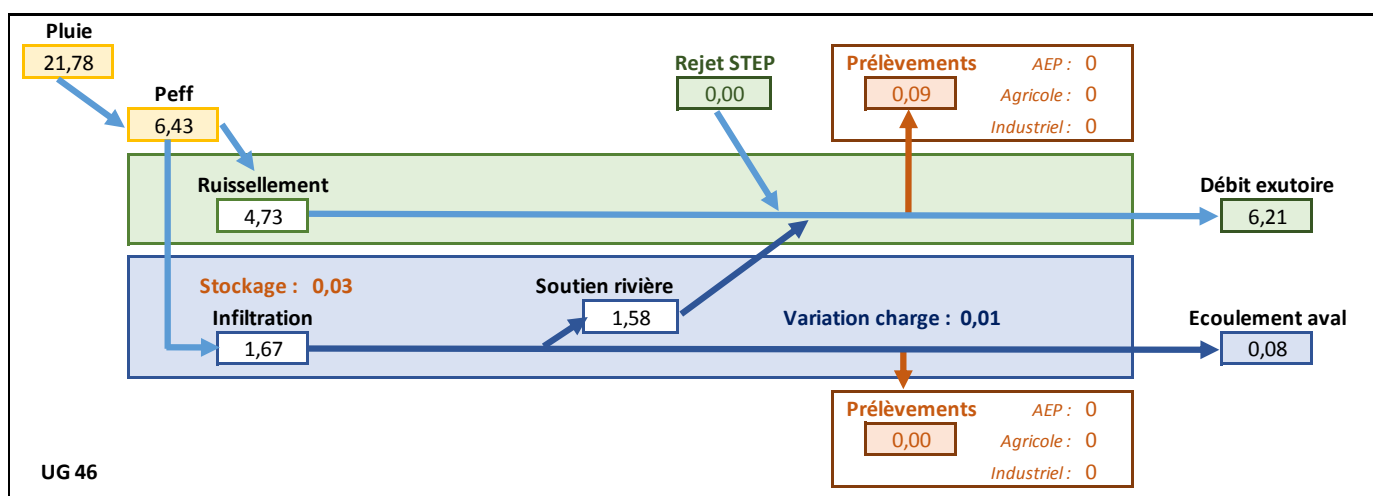
Bilan mensuel



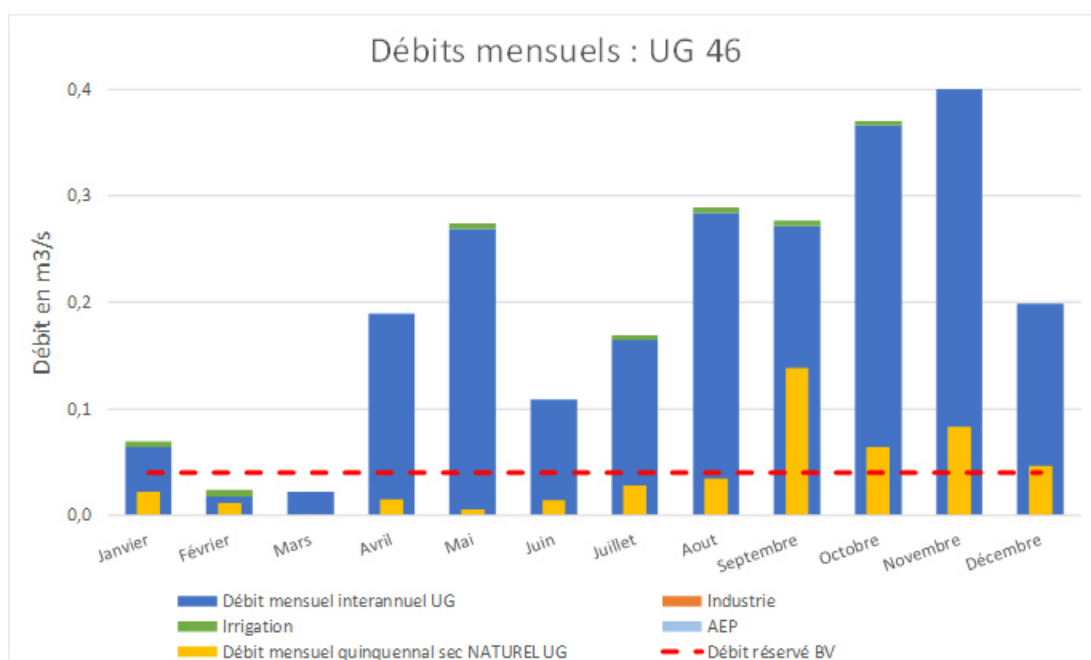
UG 46, 53 et 48



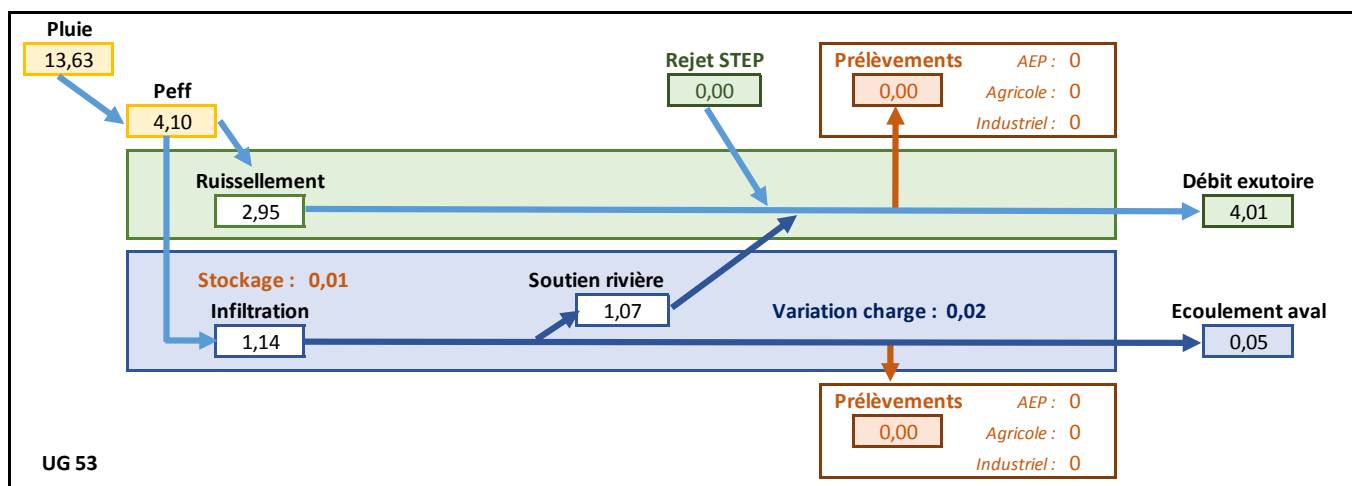
Bilan annuel UG 46



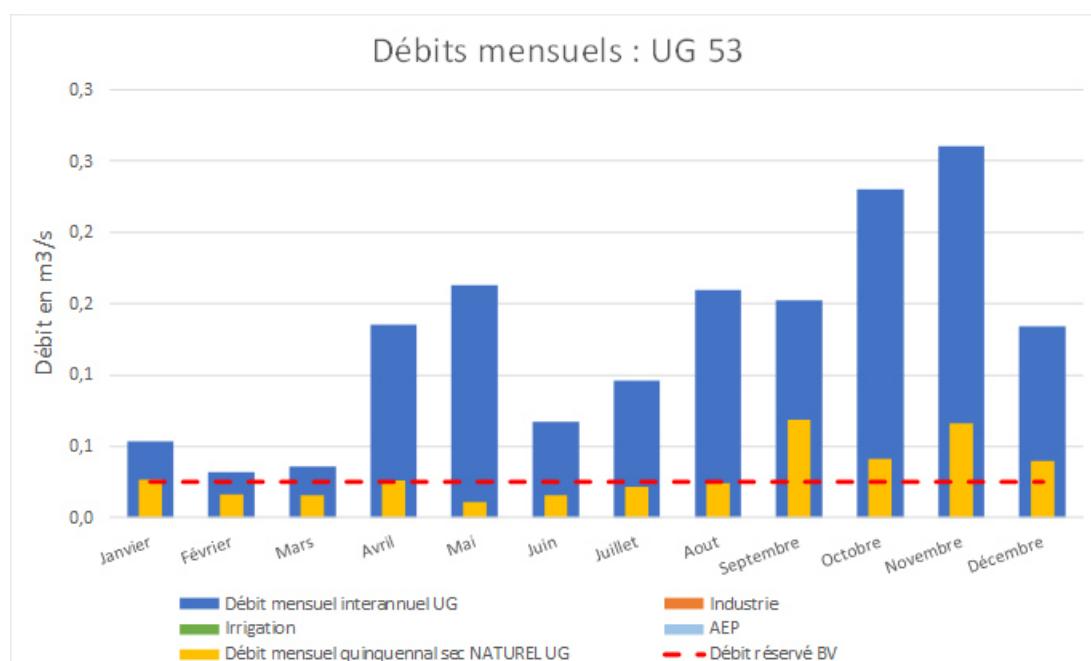
Bilan mensuel UG 46



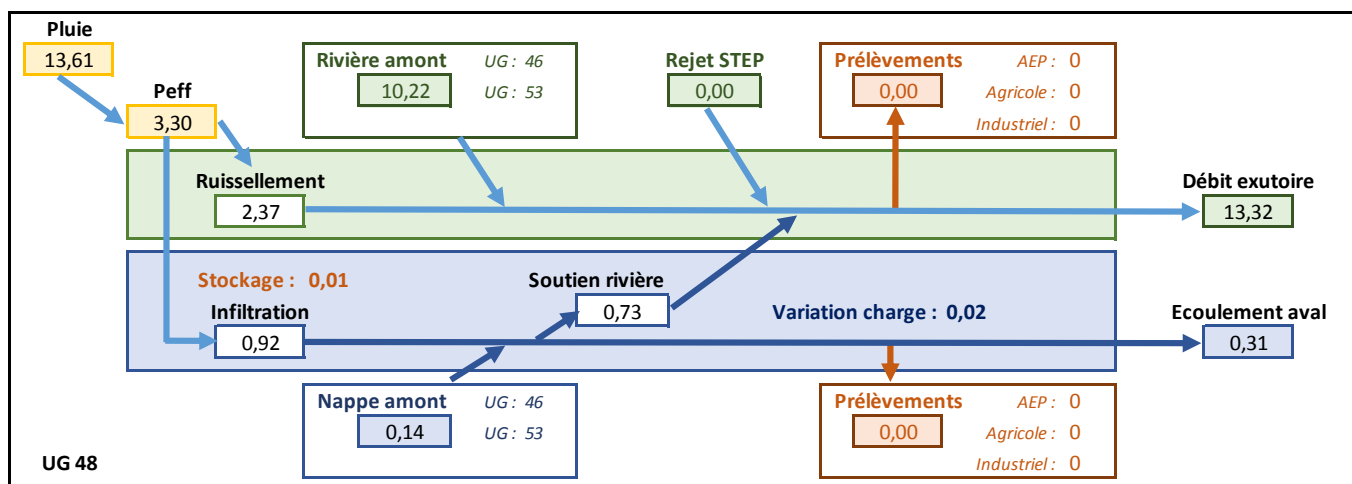
Bilan annuel UG 53



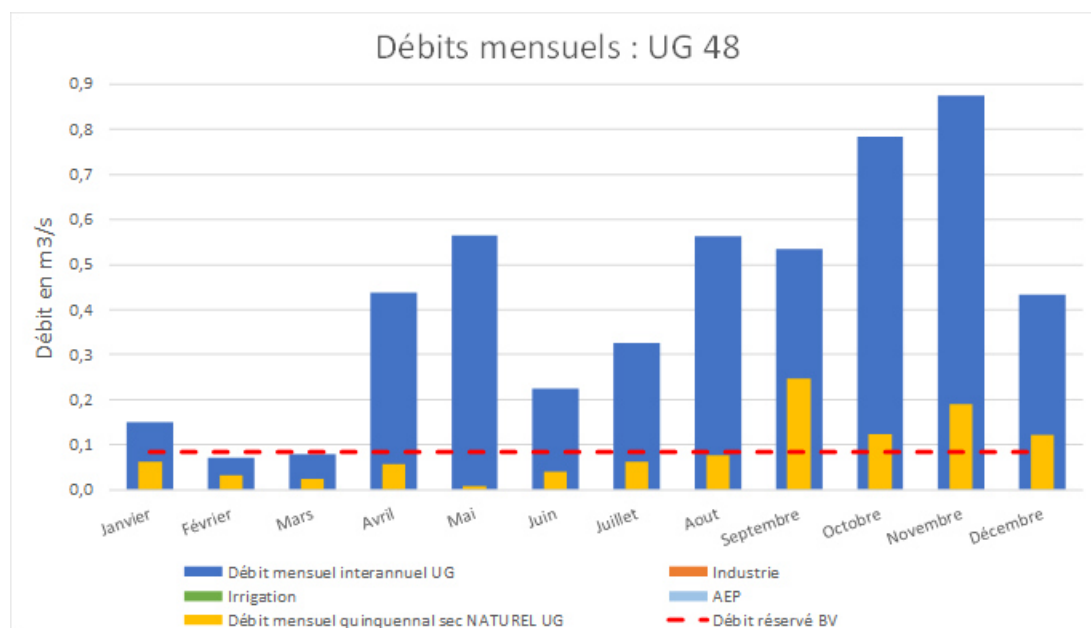
Bilan mensuel UG 53



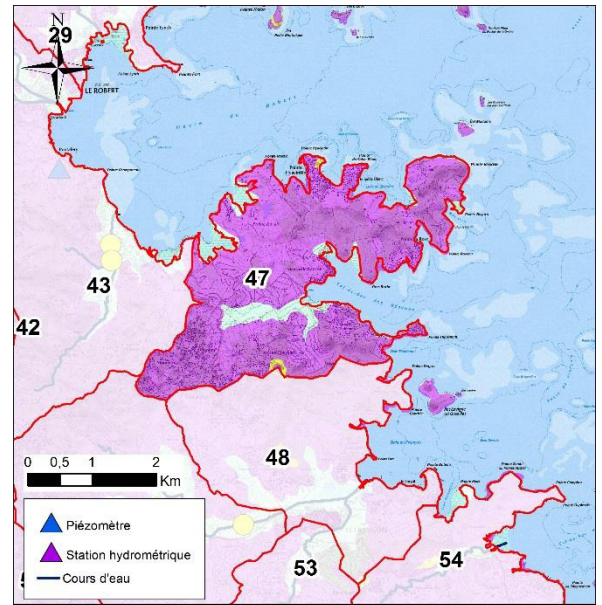
Bilan annuel UG 48



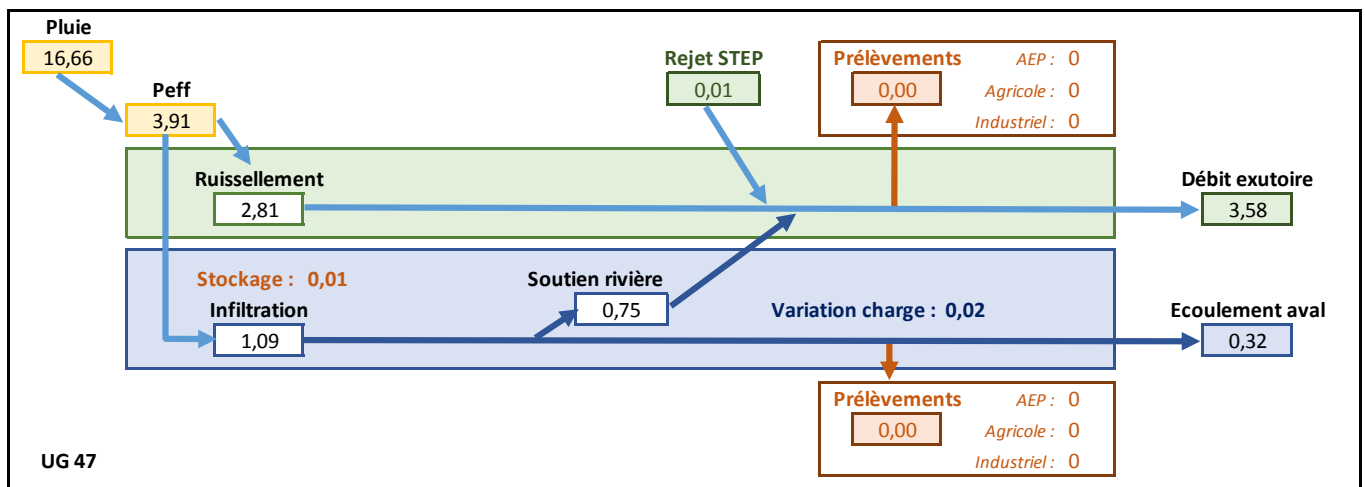
Bilan mensuel UG 48



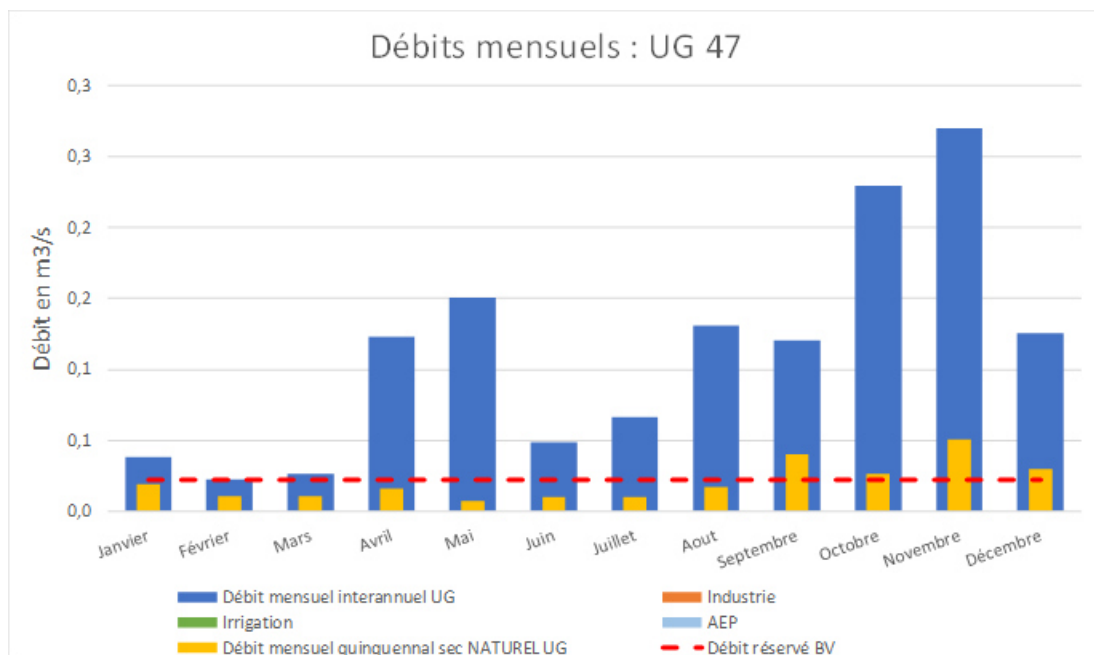
UG 47



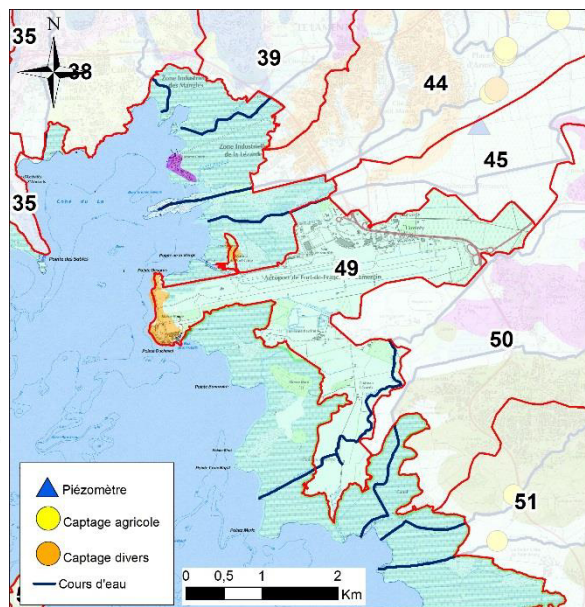
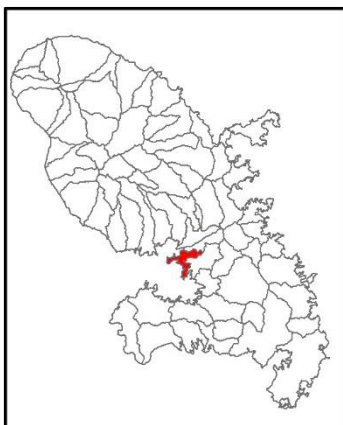
Bilan annuel



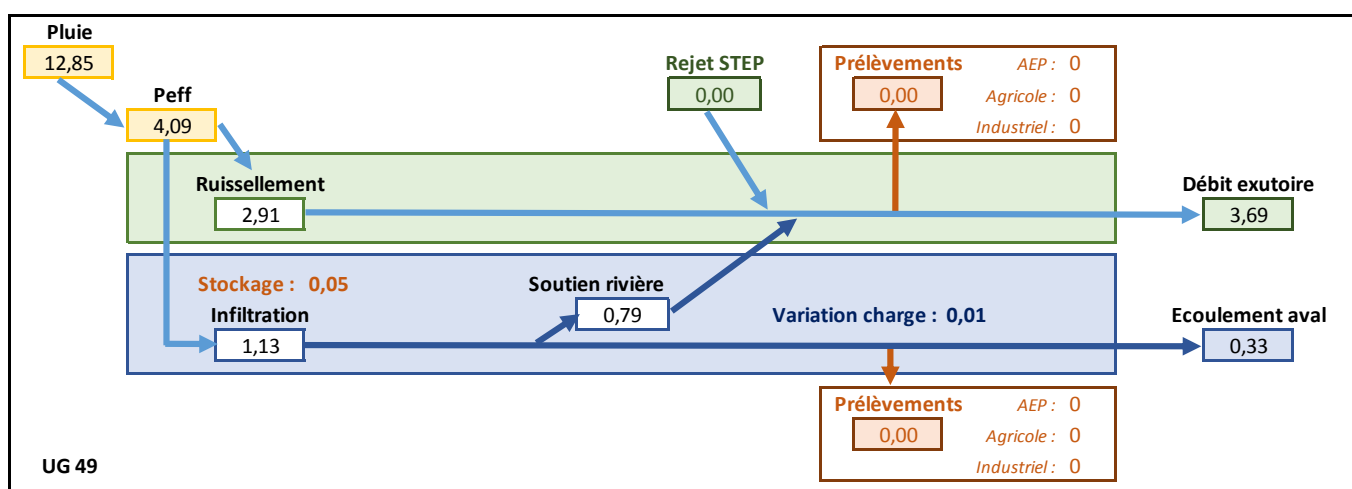
Bilan mensuel



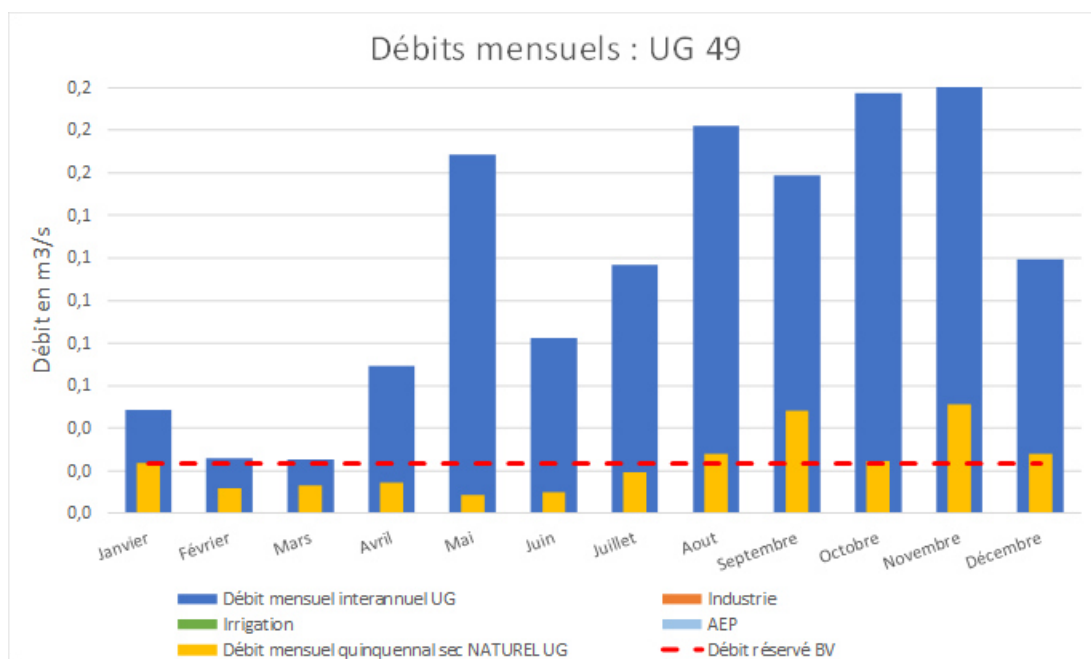
UG 49



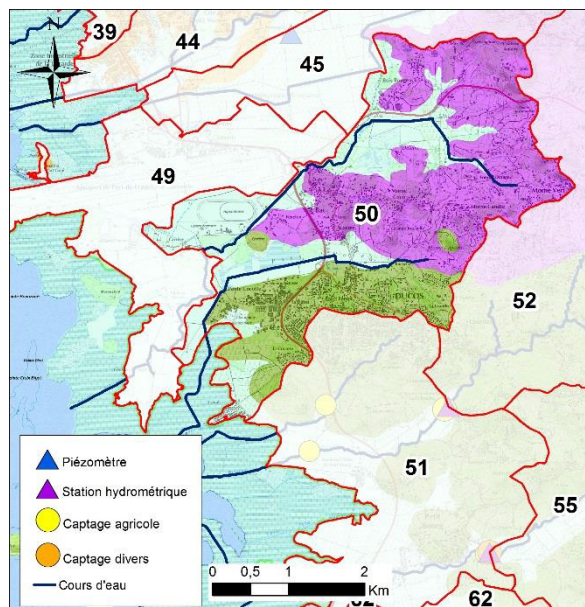
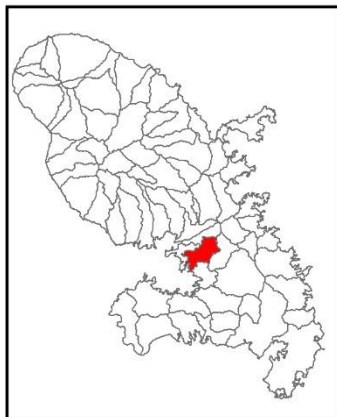
Bilan annuel



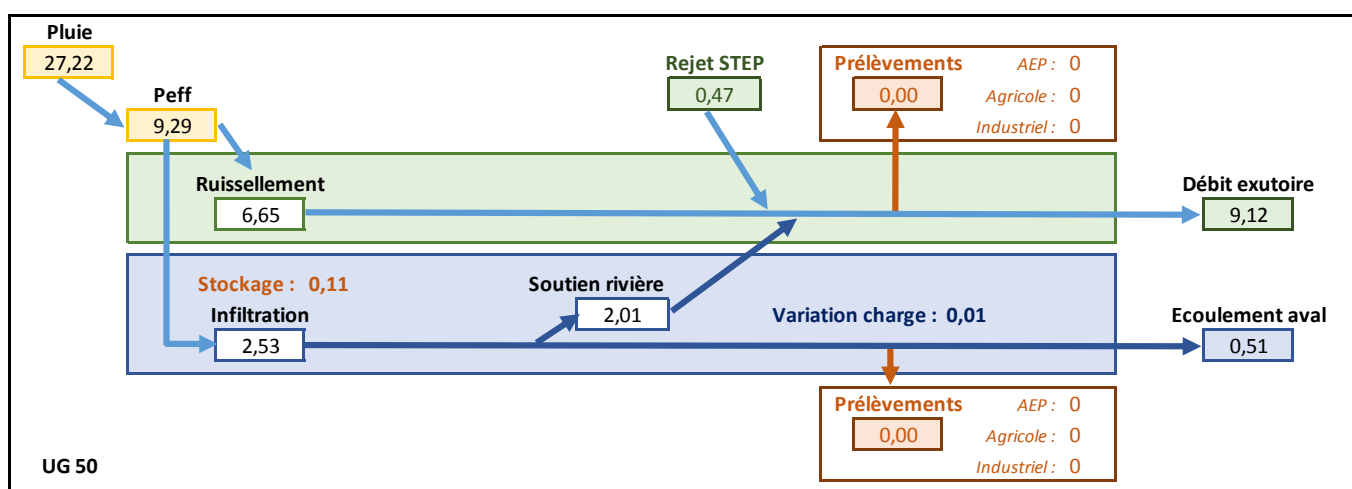
Bilan mensuel



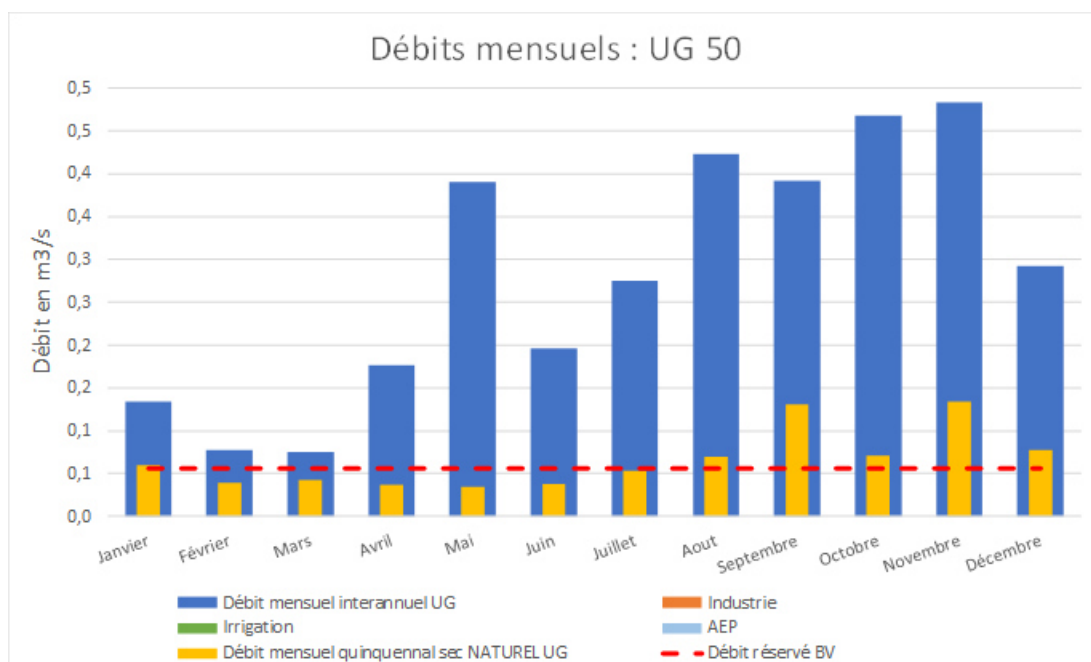
UG 50



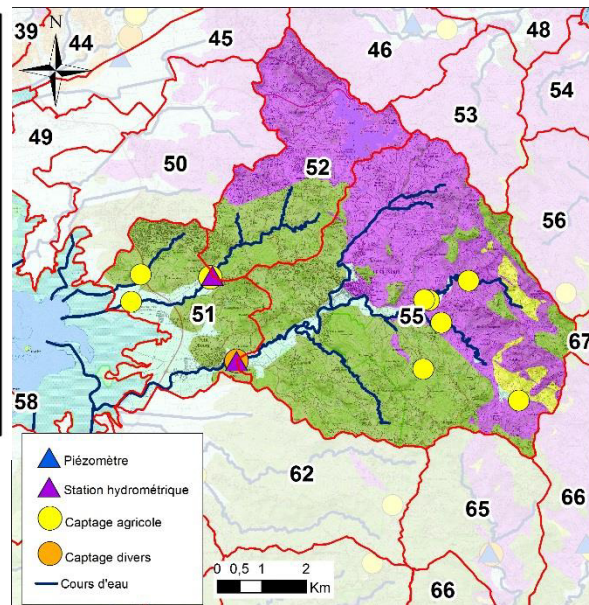
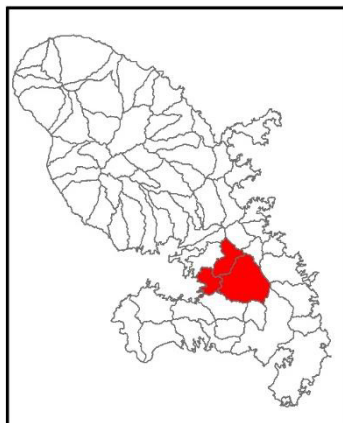
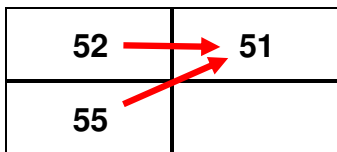
Bilan annuel



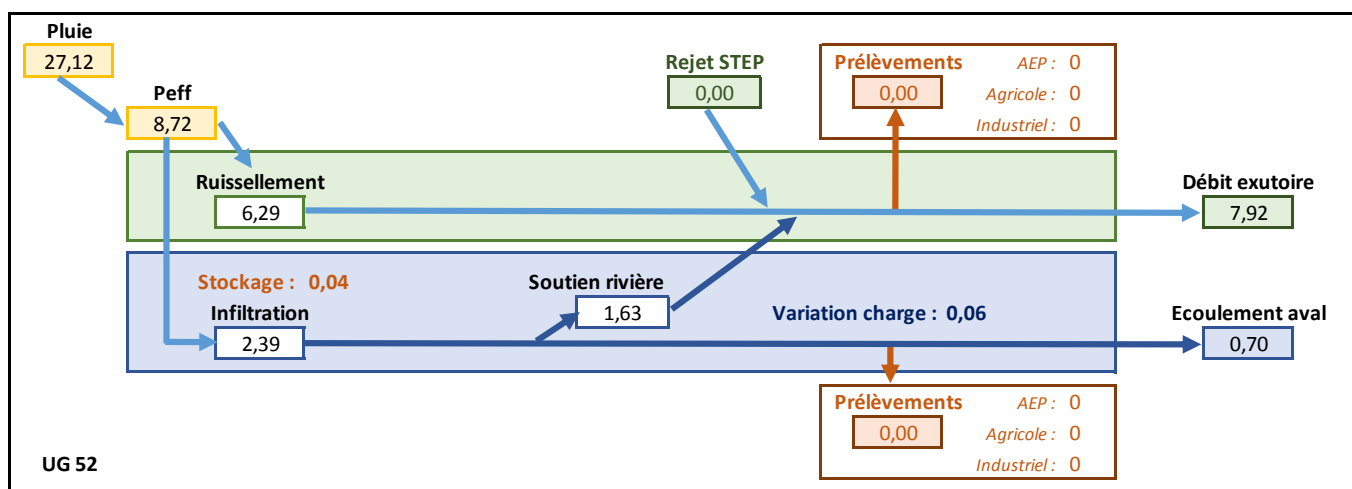
Bilan mensuel



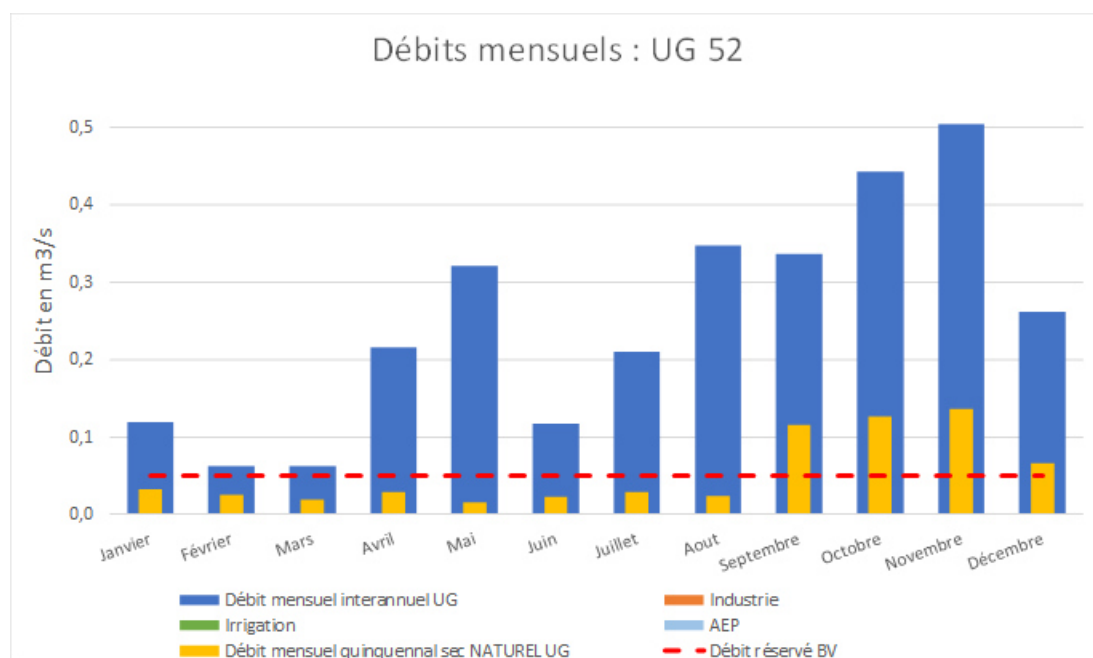
UG 52, 55 et 51



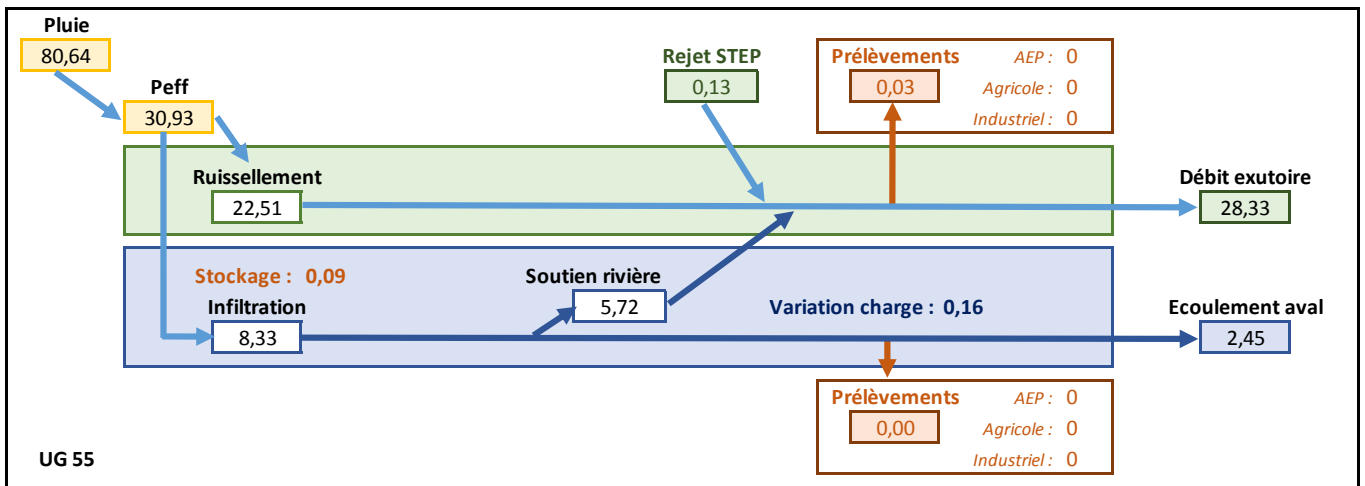
Bilan annuel UG 52



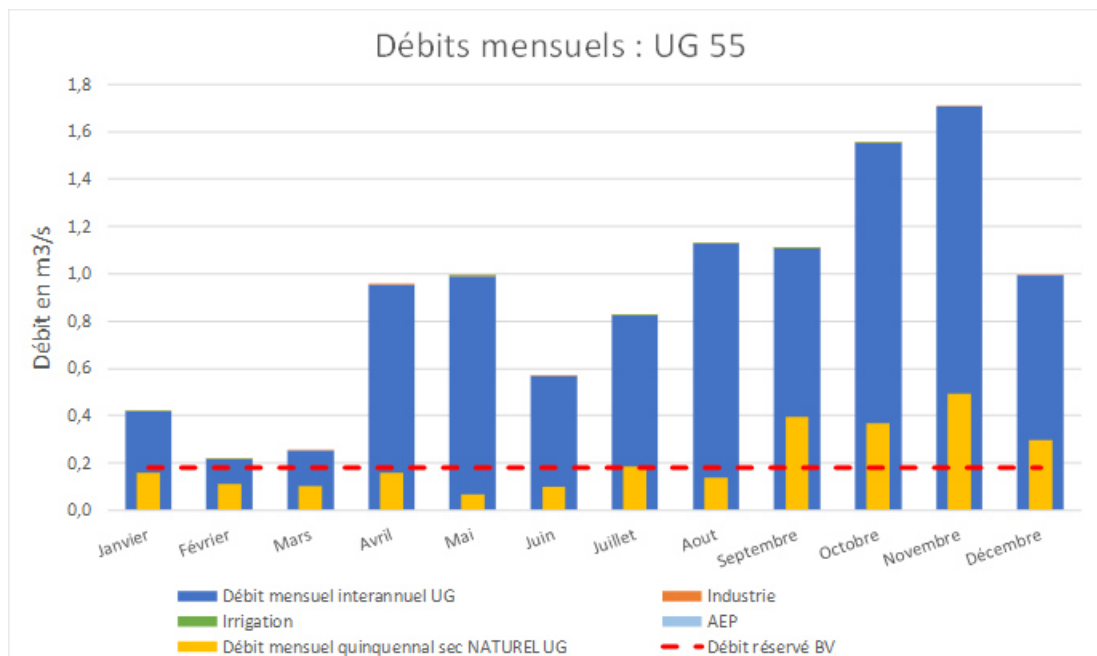
Bilan mensuel UG 52



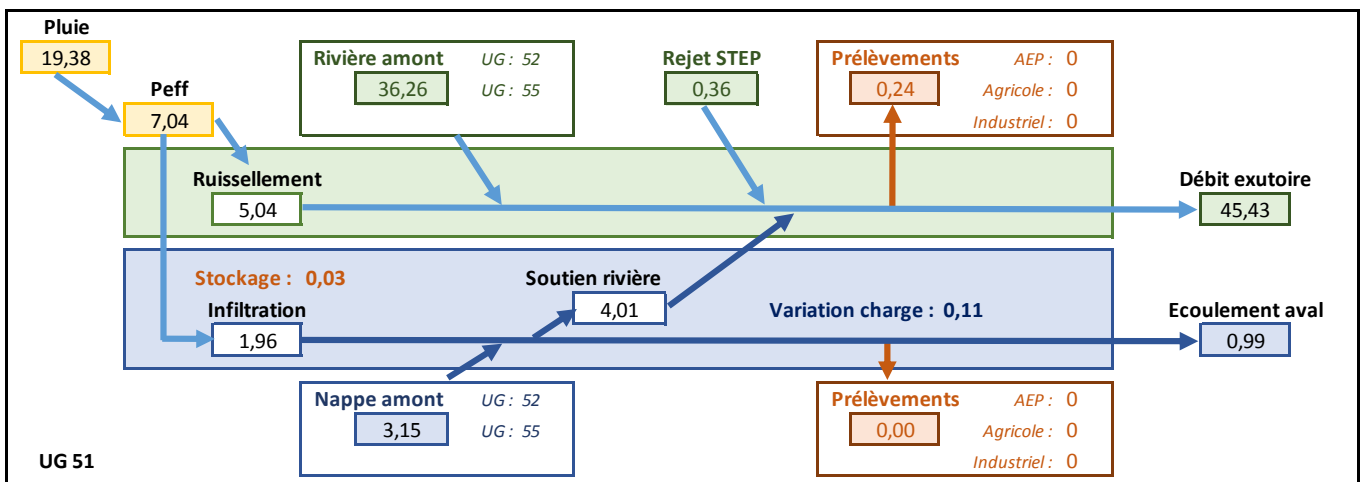
Bilan annuel UG 55



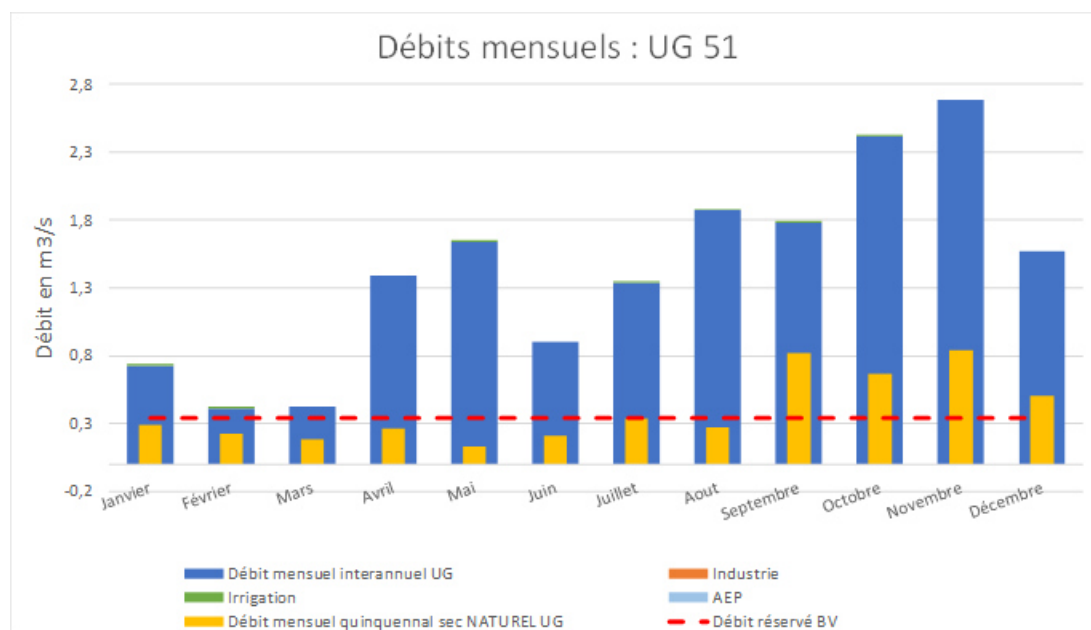
Bilan mensuel UG 55



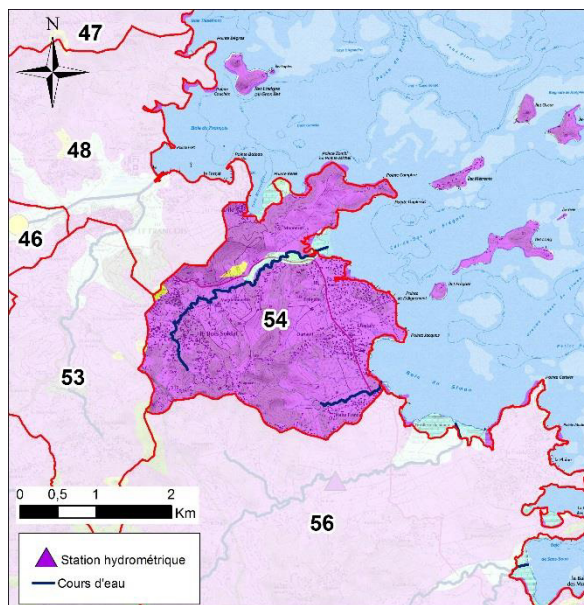
Bilan annuel UG 51



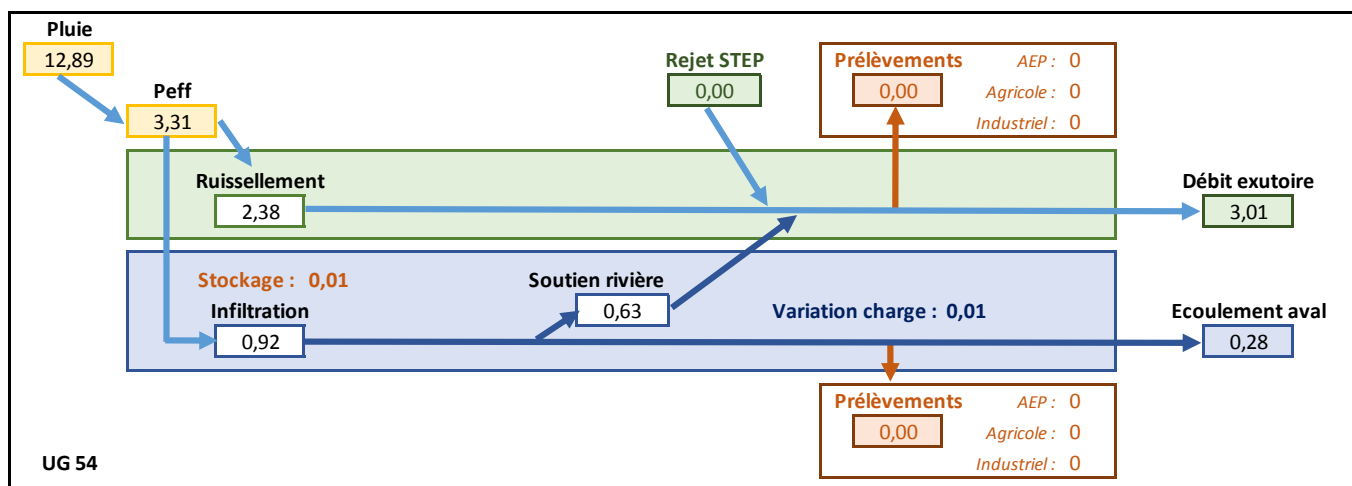
Bilan mensuel UG 51



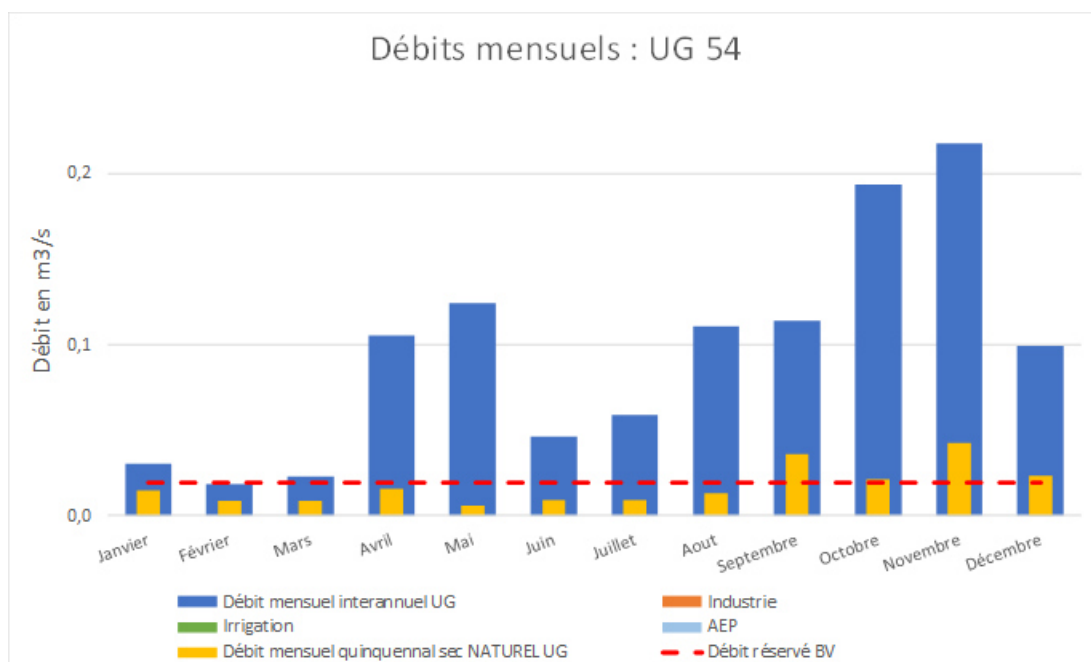
UG 54



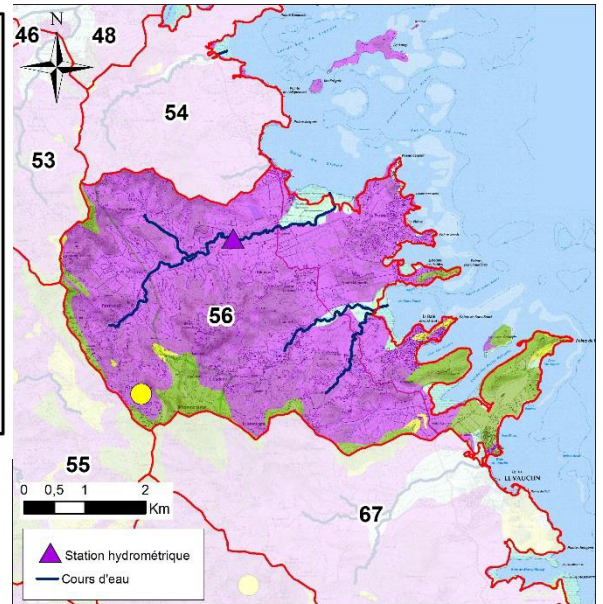
Bilan annuel



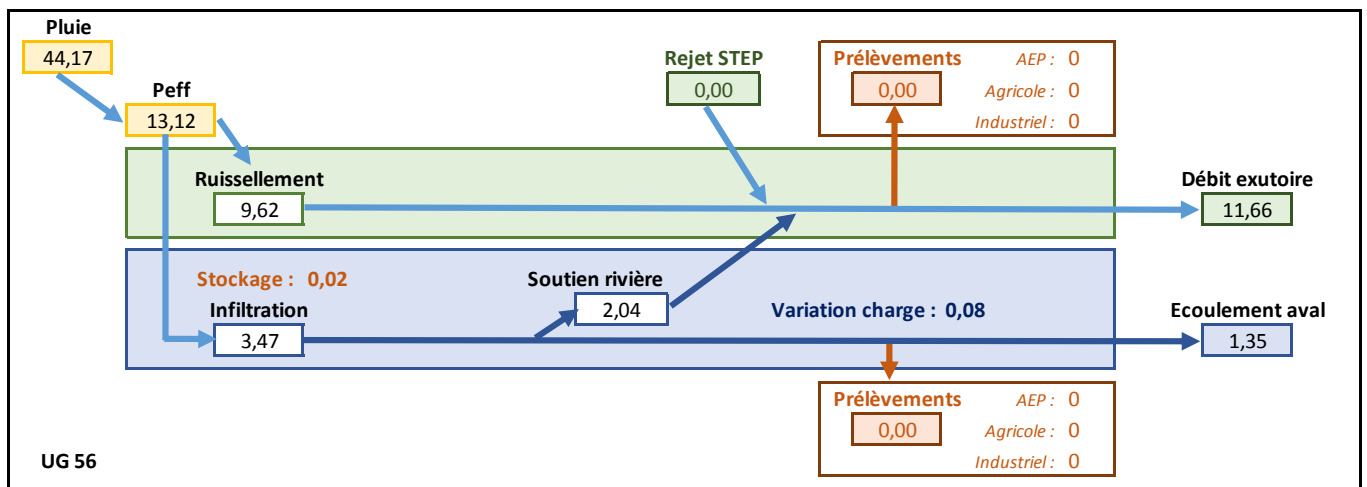
Bilan mensuel



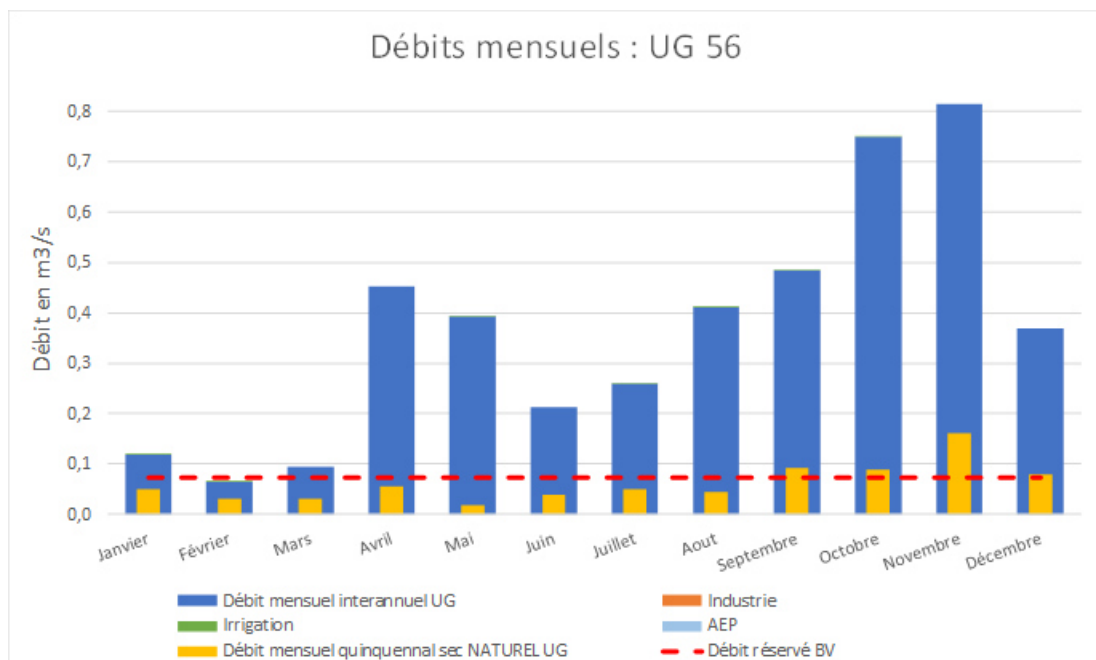
UG 56



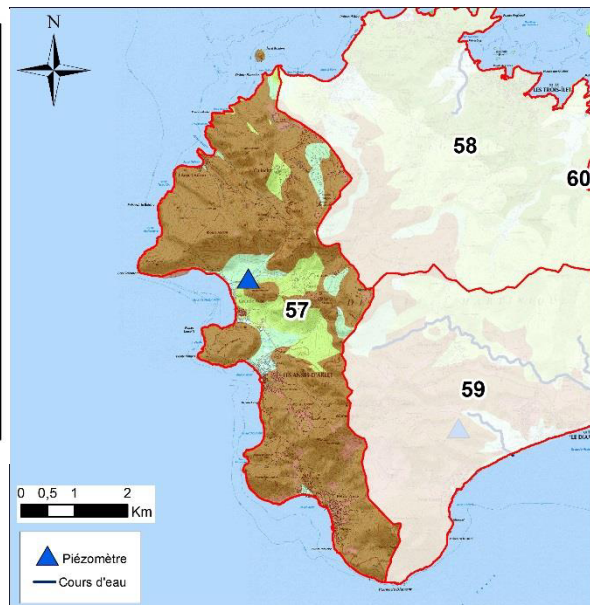
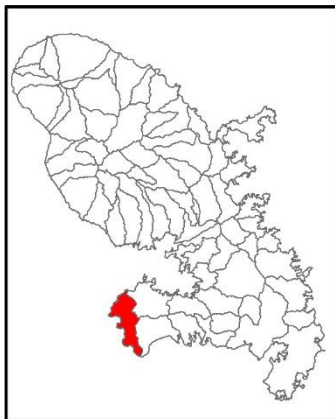
Bilan annuel



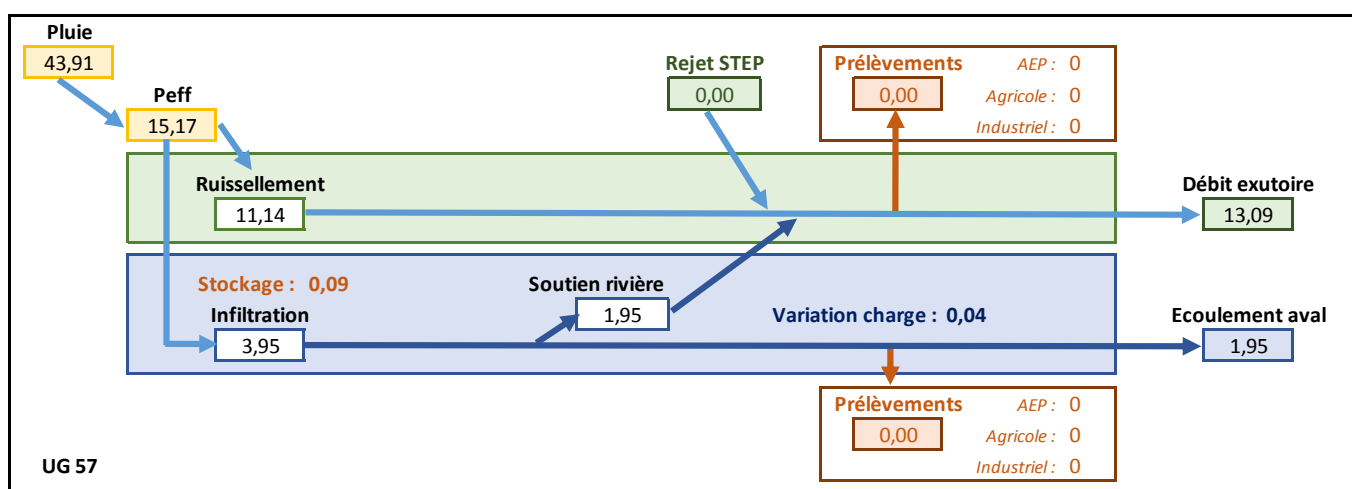
Bilan mensuel



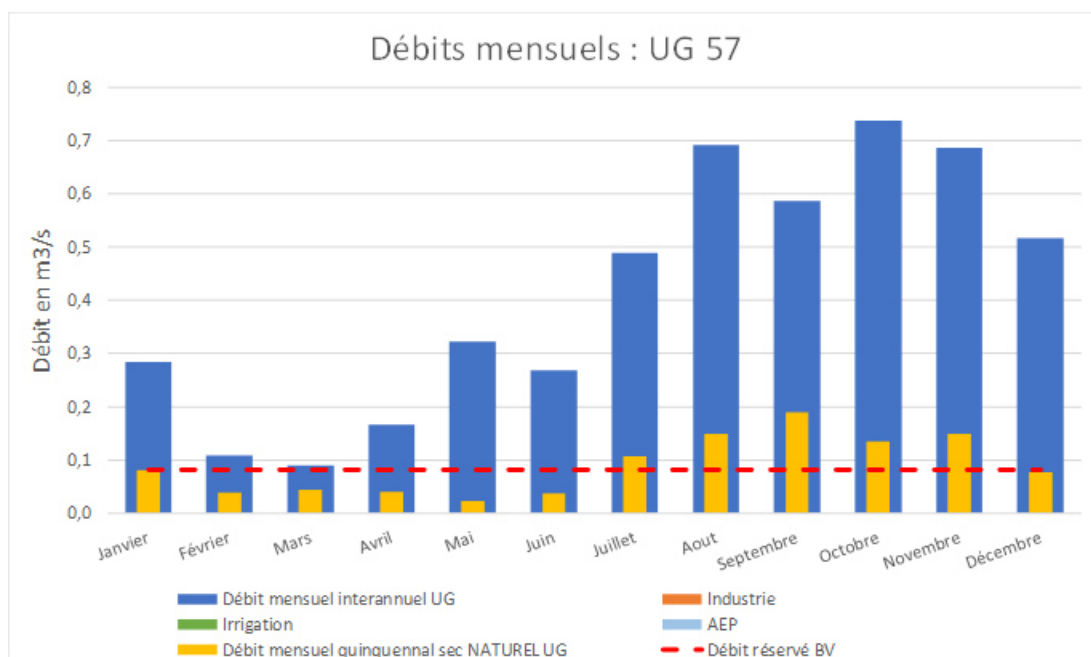
UG 57



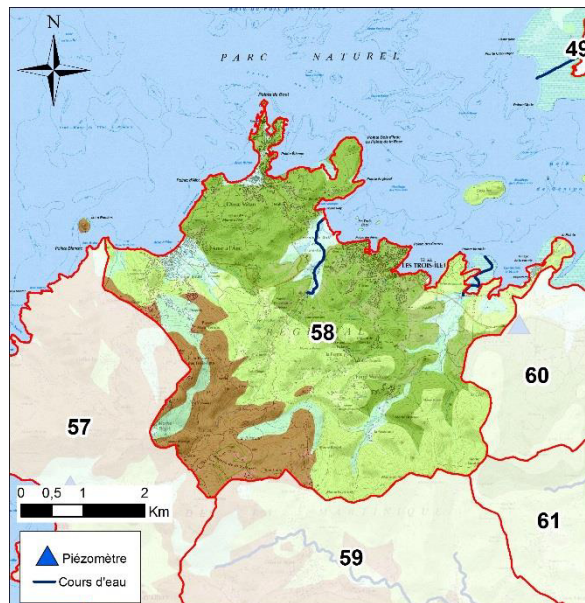
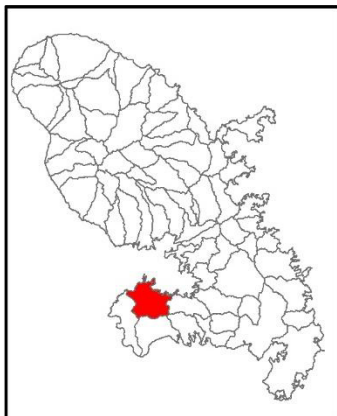
Bilan annuel



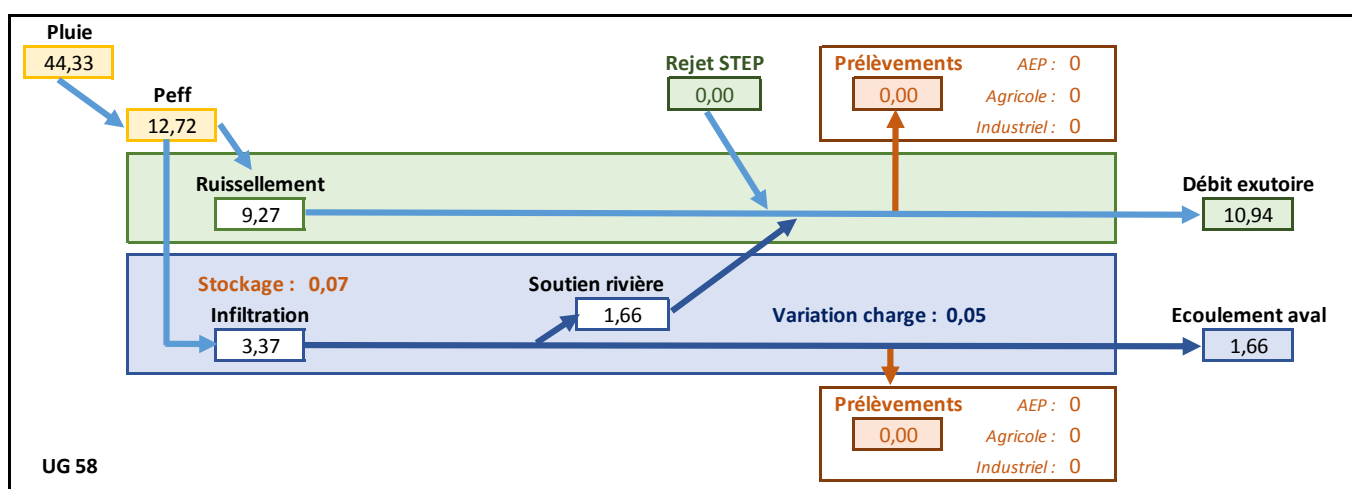
Bilan mensuel



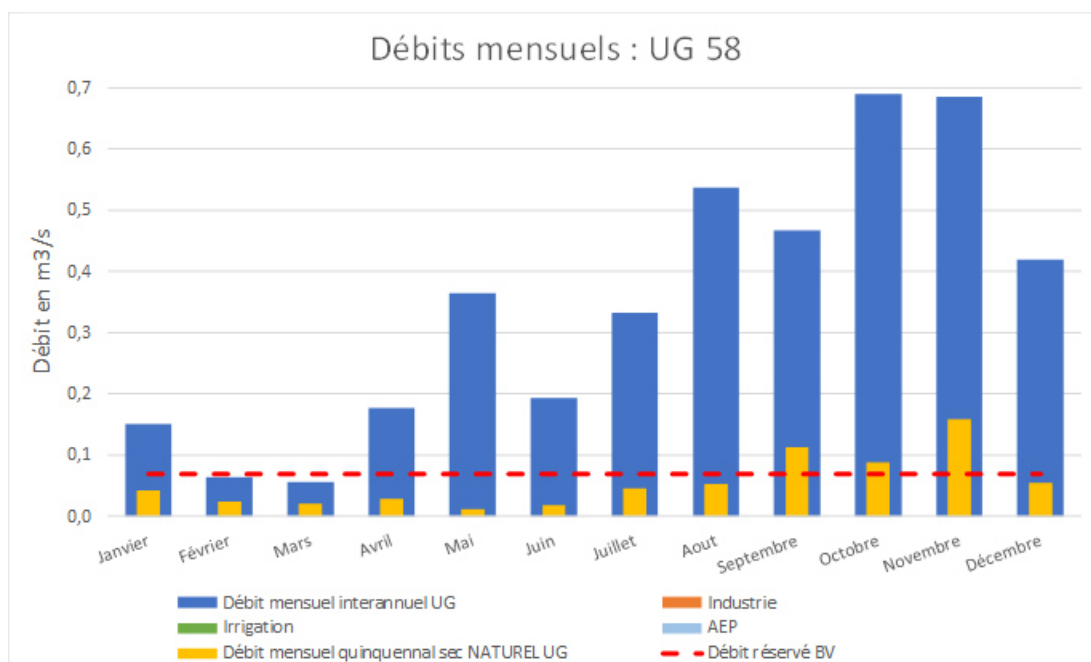
UG 58



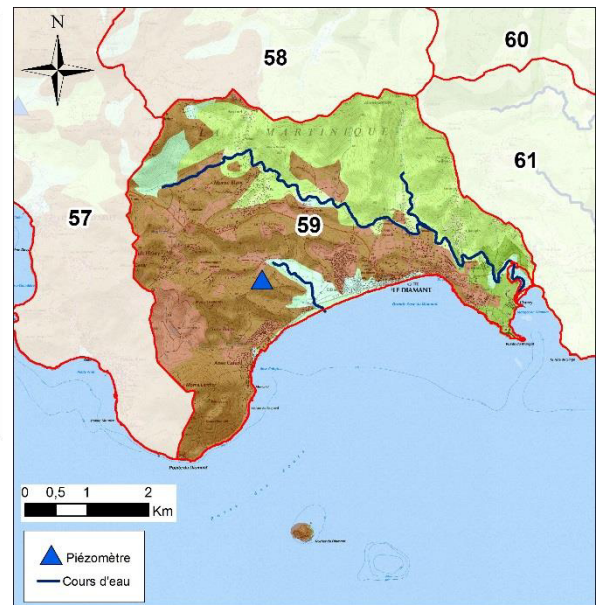
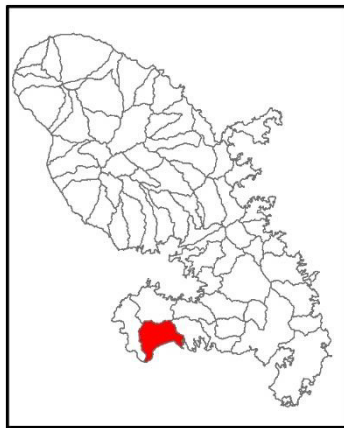
Bilan annuel



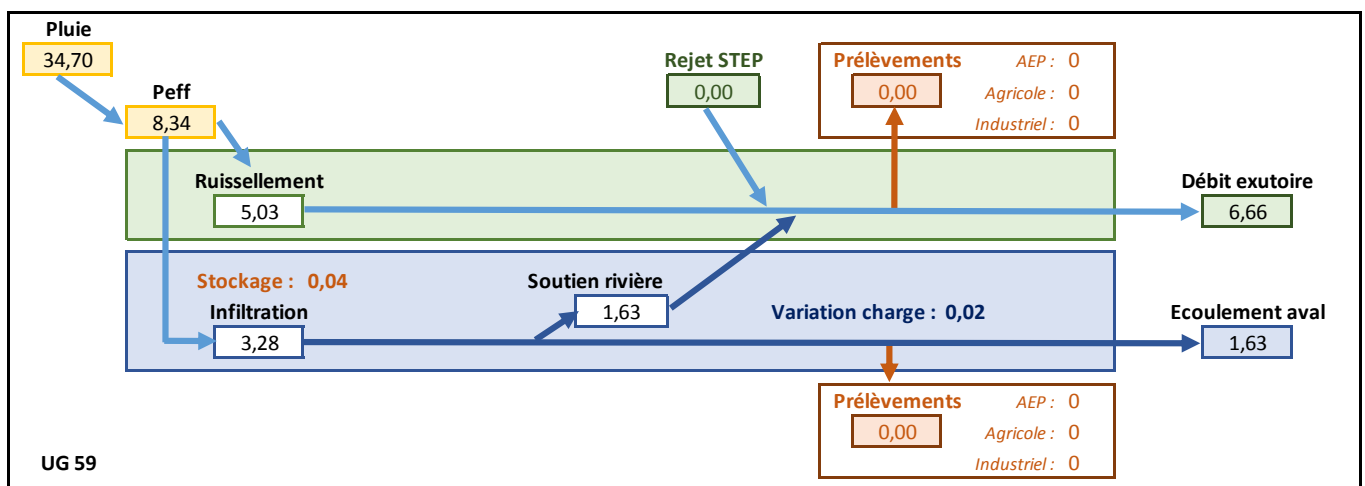
Bilan mensuel



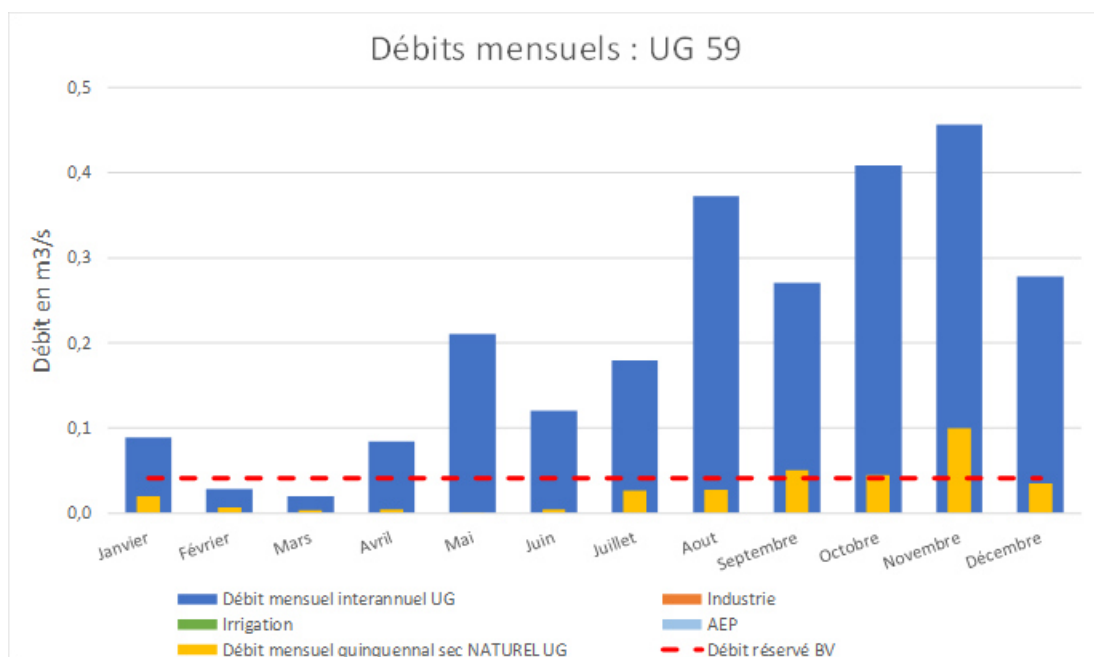
UG 59



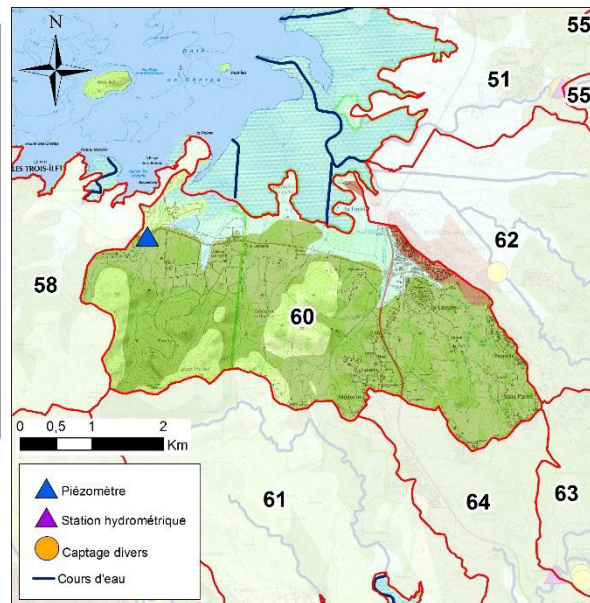
Bilan annuel



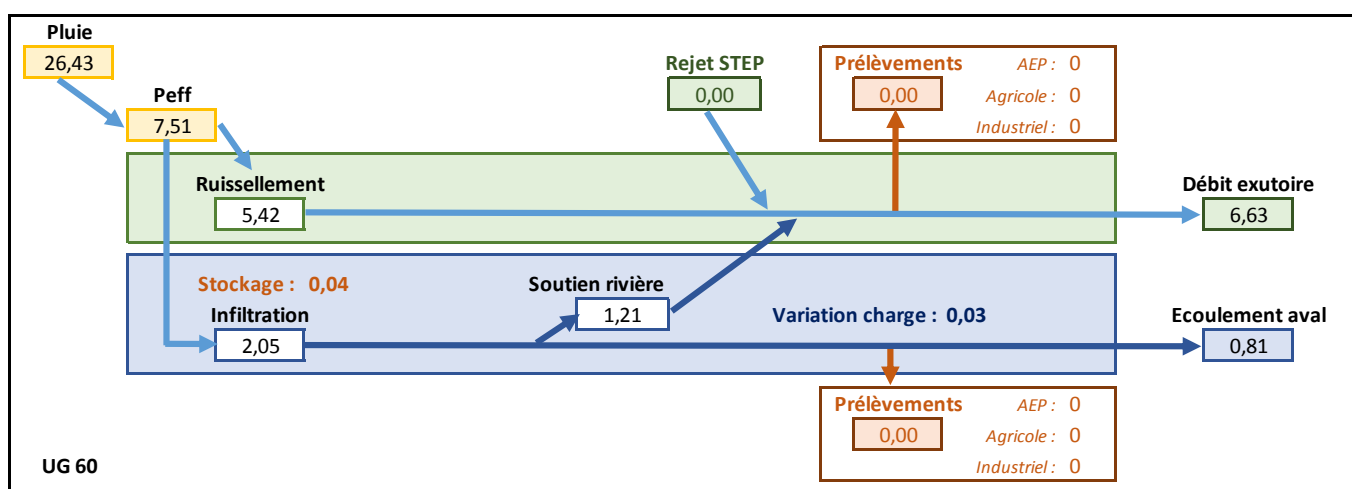
Bilan mensuel



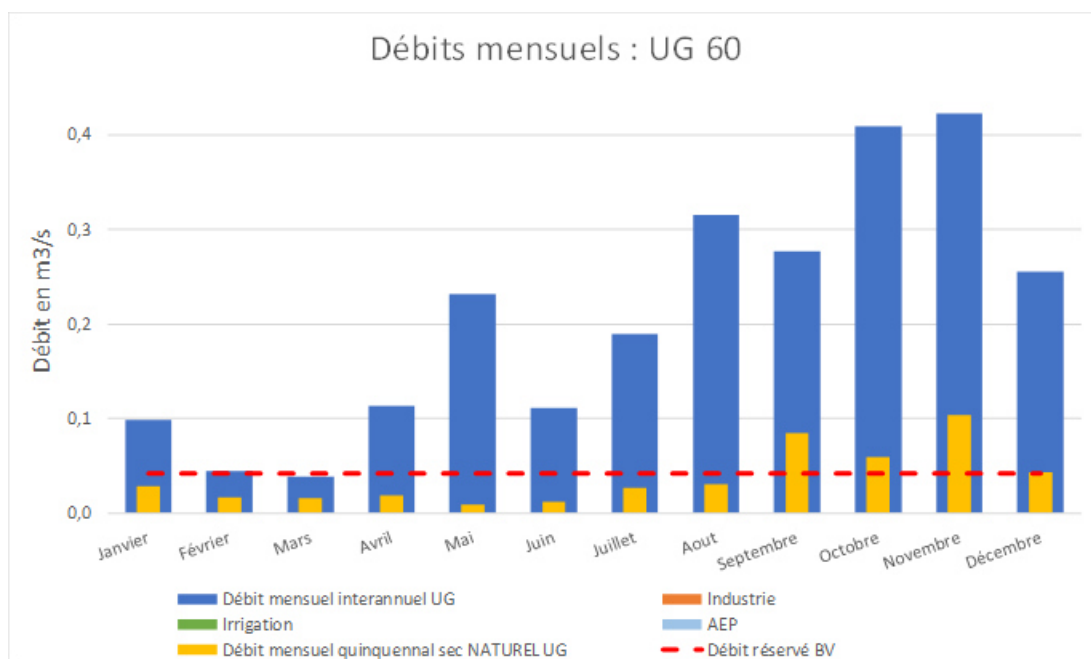
UG 60



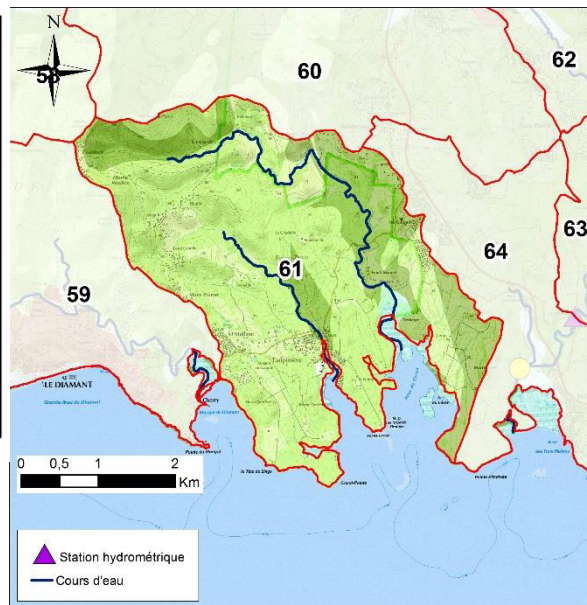
Bilan annuel



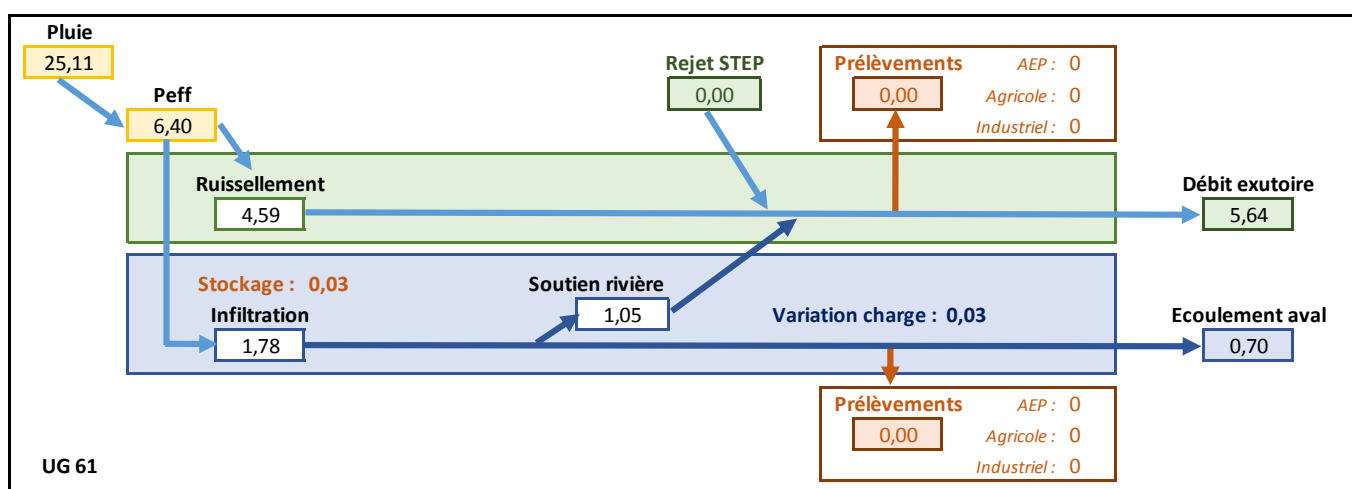
Bilan mensuel



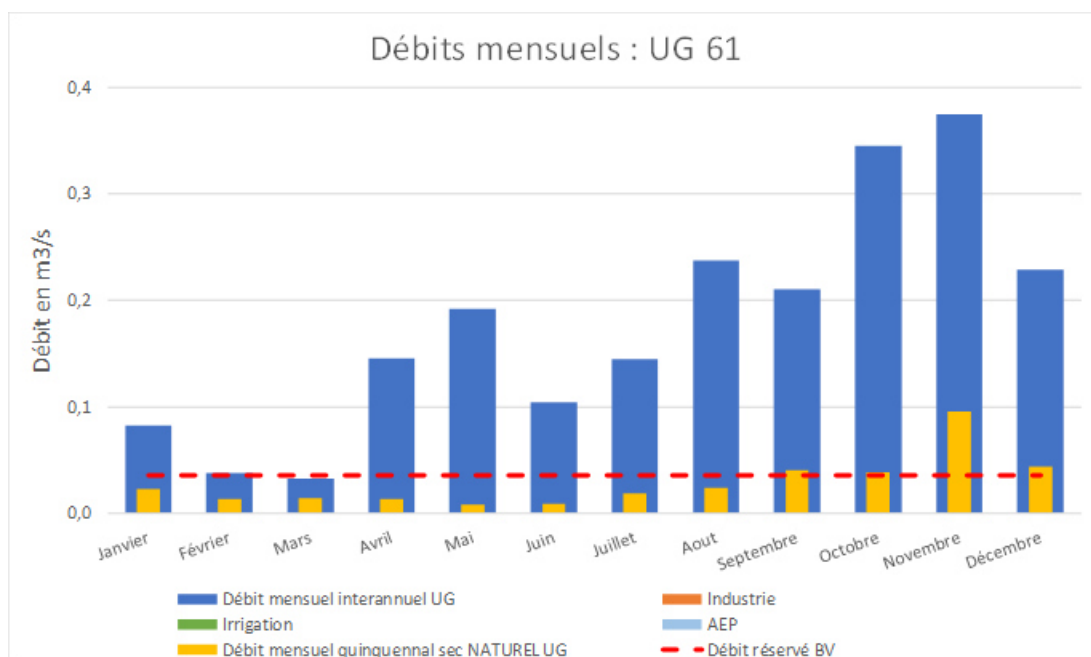
UG 61



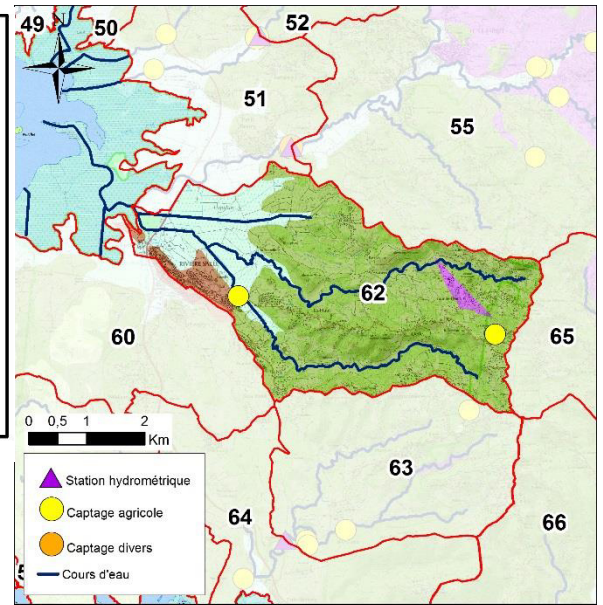
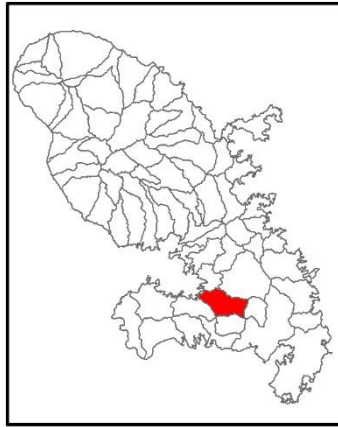
Bilan annuel



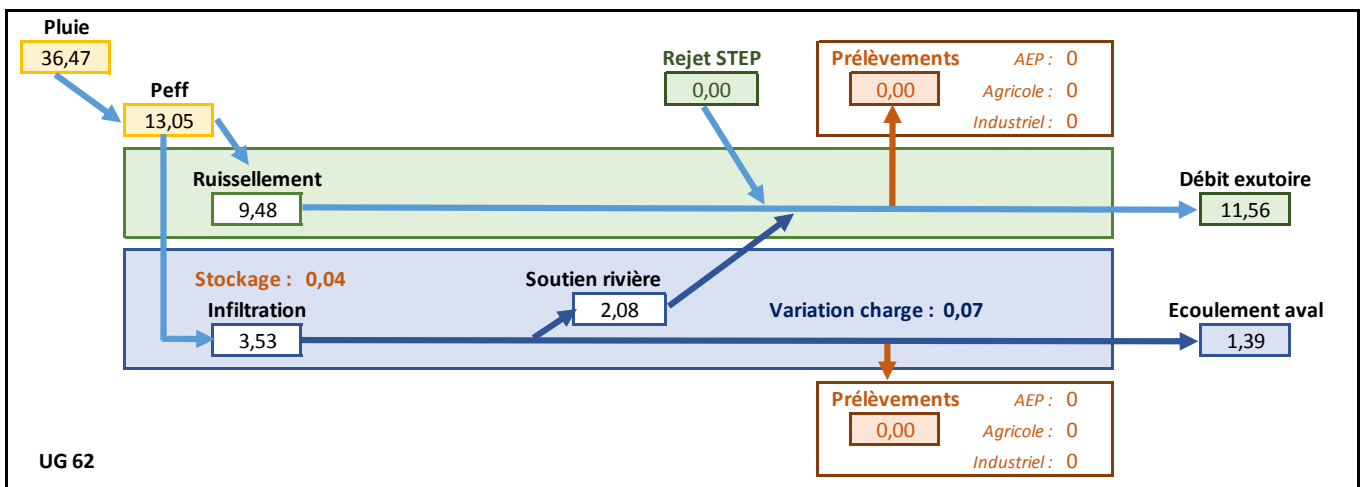
Bilan mensuel



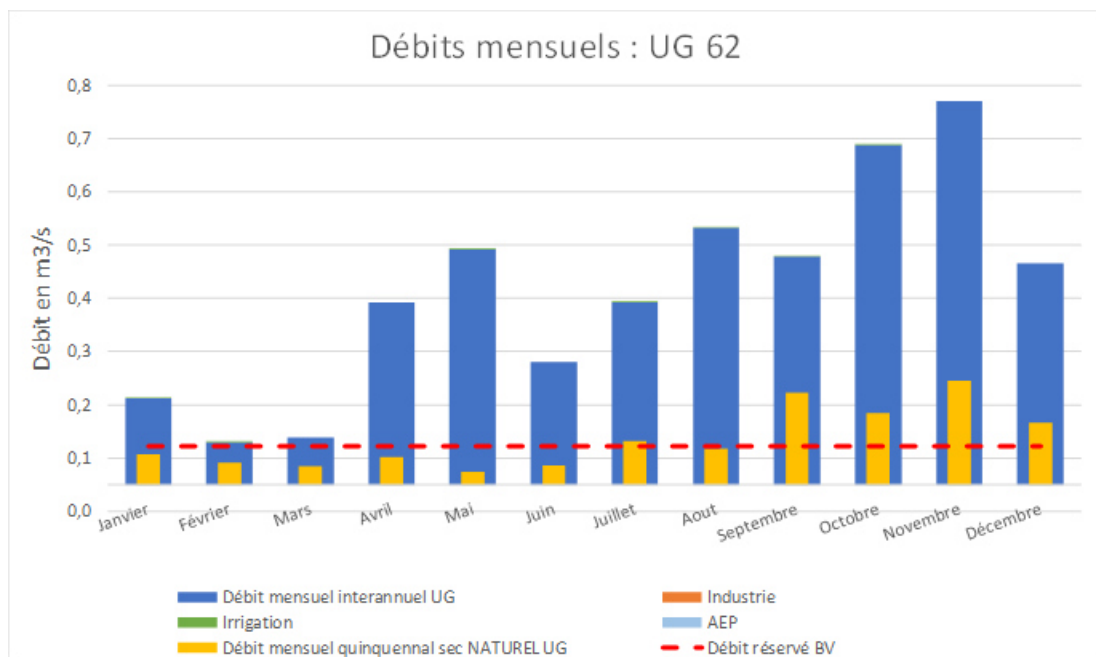
UG 62



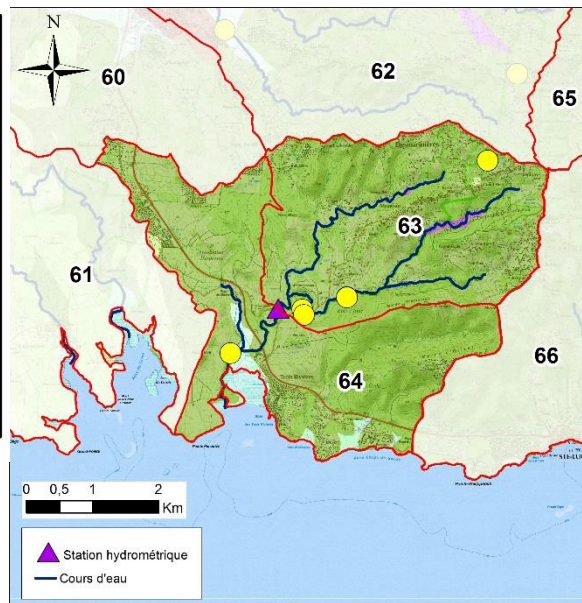
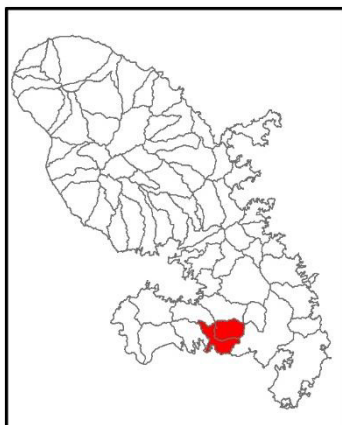
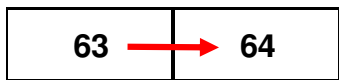
Bilan annuel



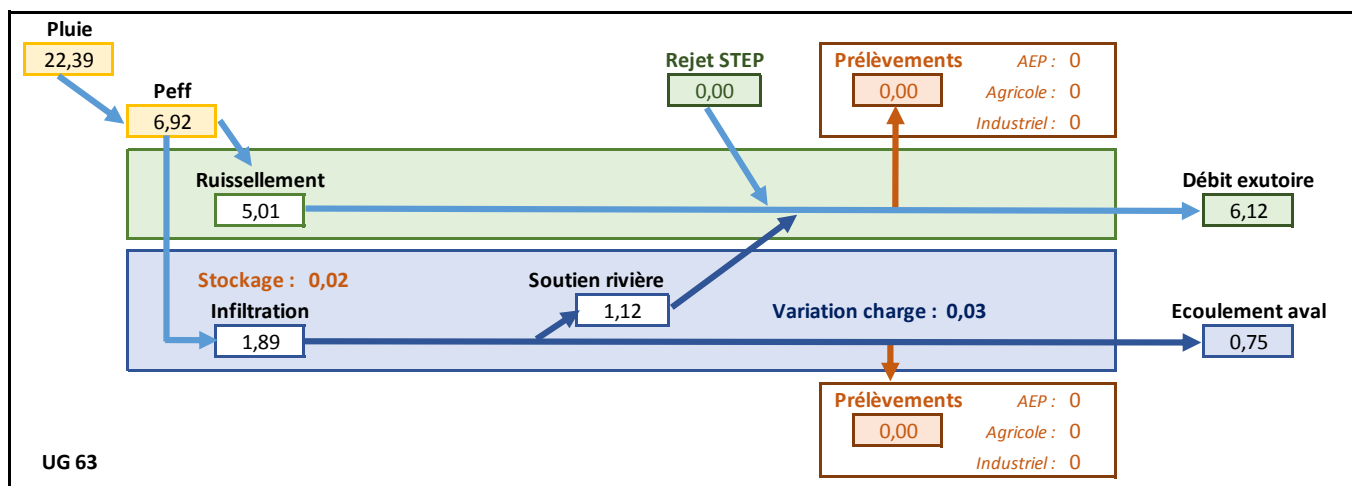
Bilan mensuel



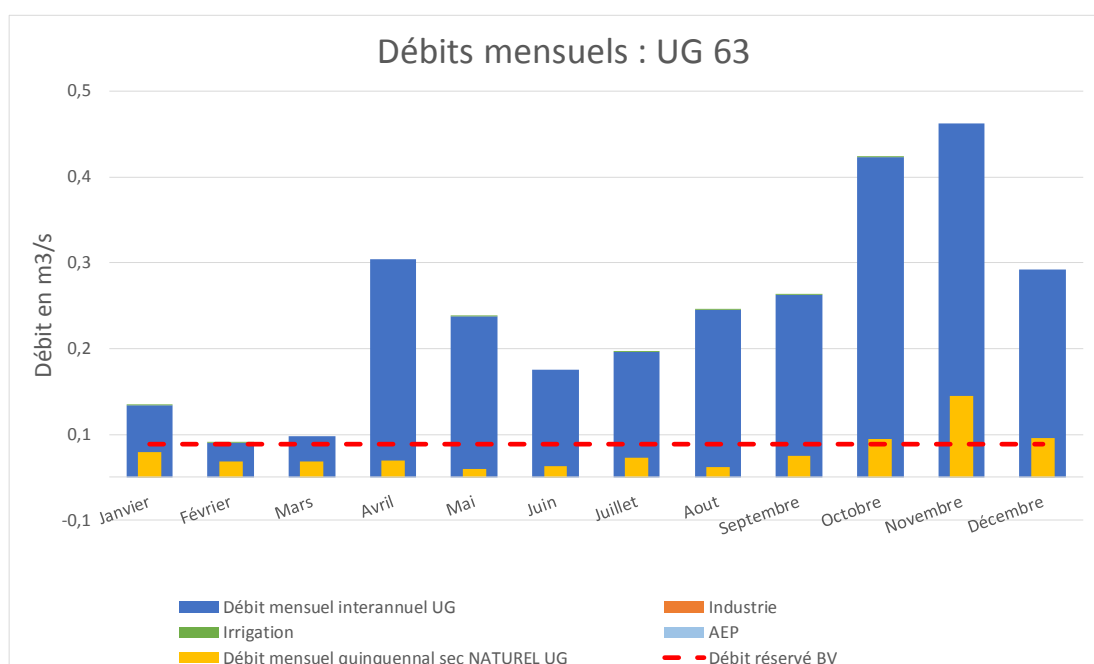
UG 63 et 64



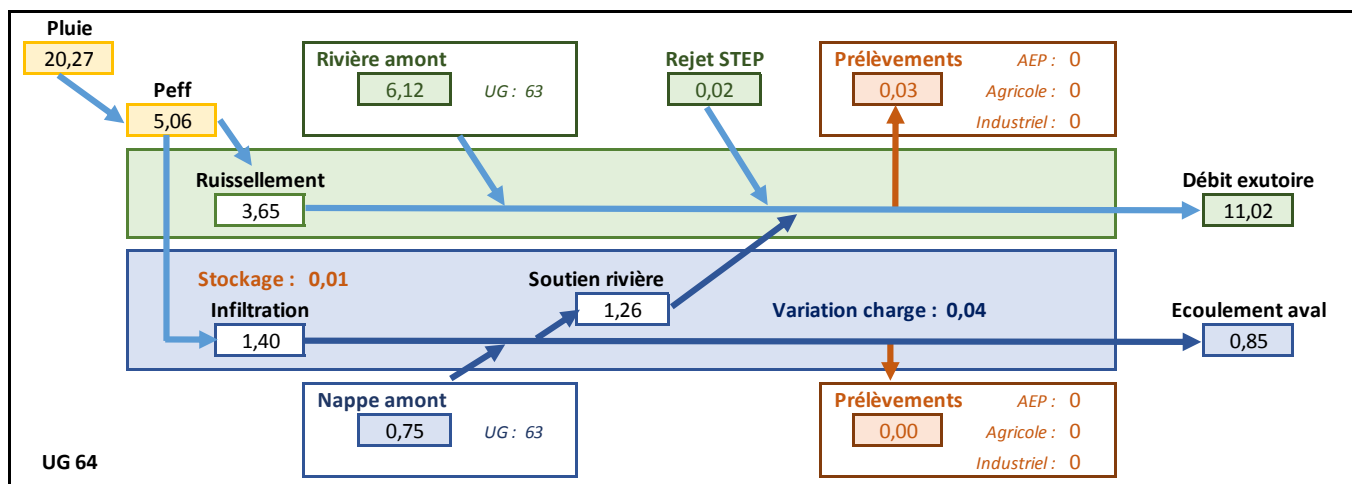
Bilan annuel UG 63



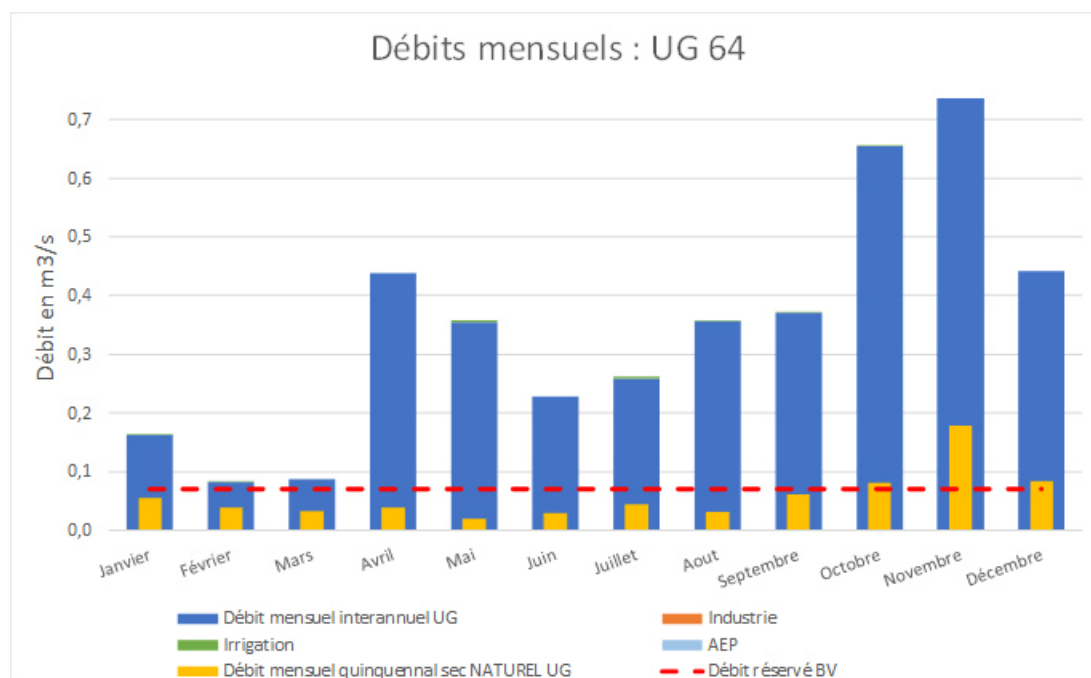
Bilan mensuel UG 63



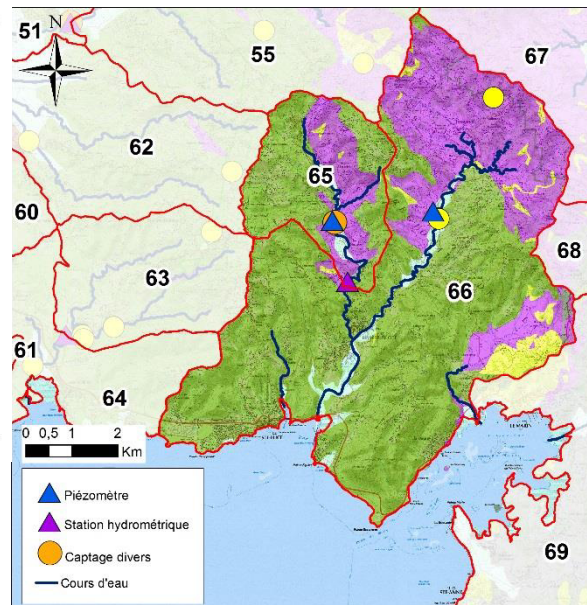
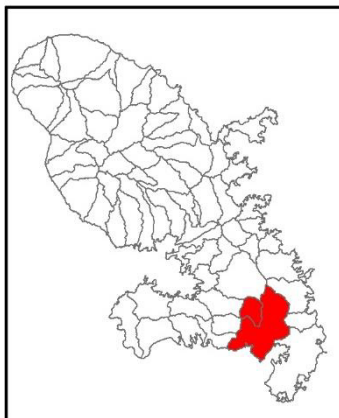
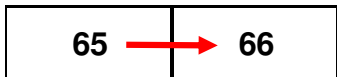
Bilan annuel UG 64



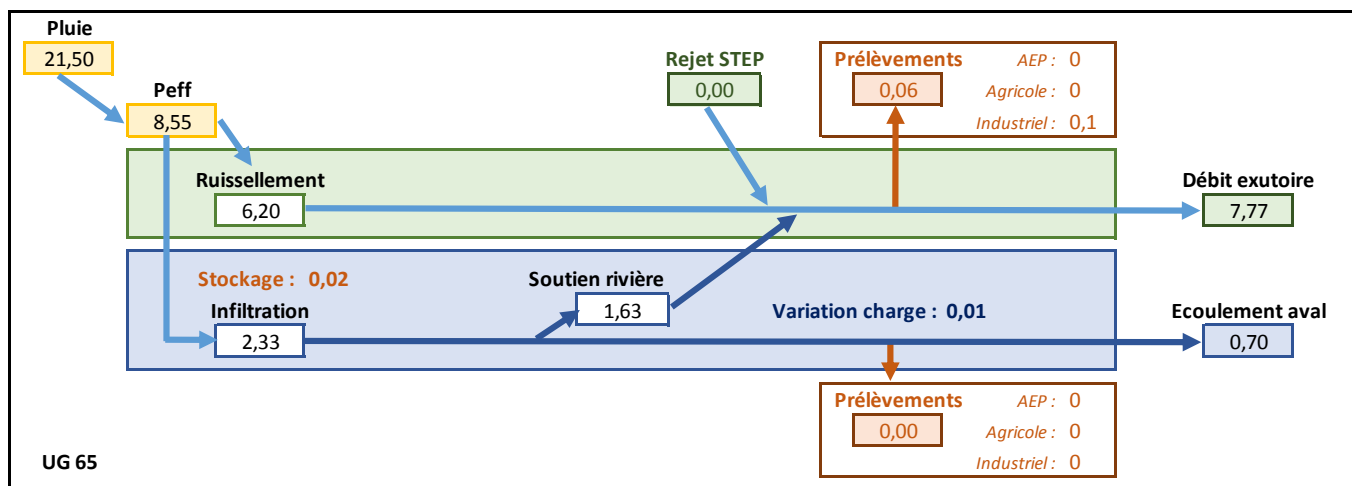
Bilan mensuel UG 64



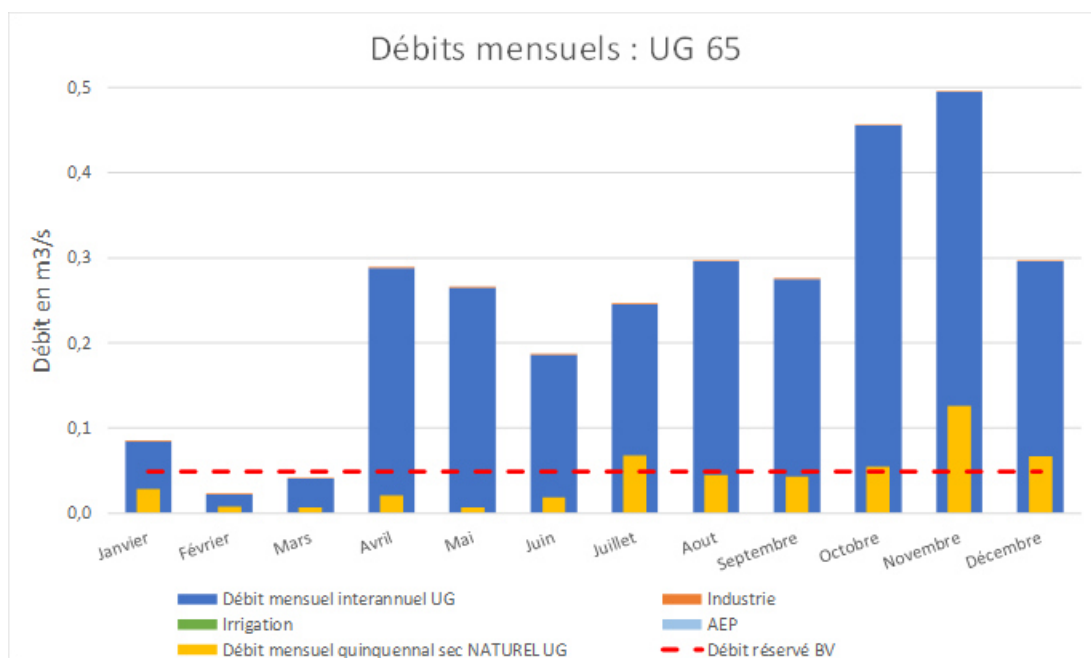
UG 65 et 66



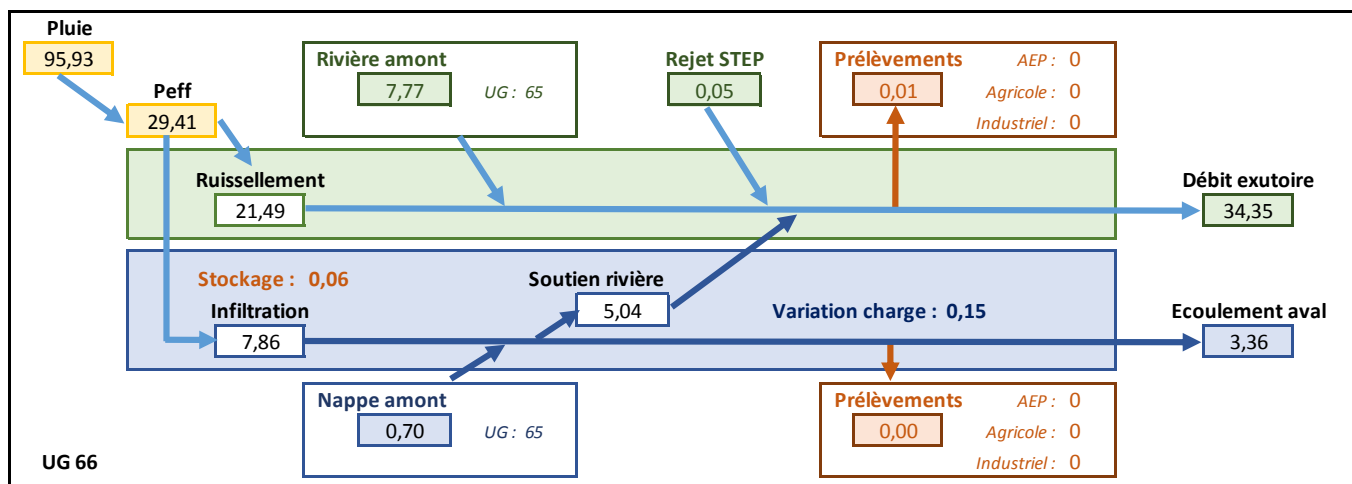
Bilan mensuel UG 65



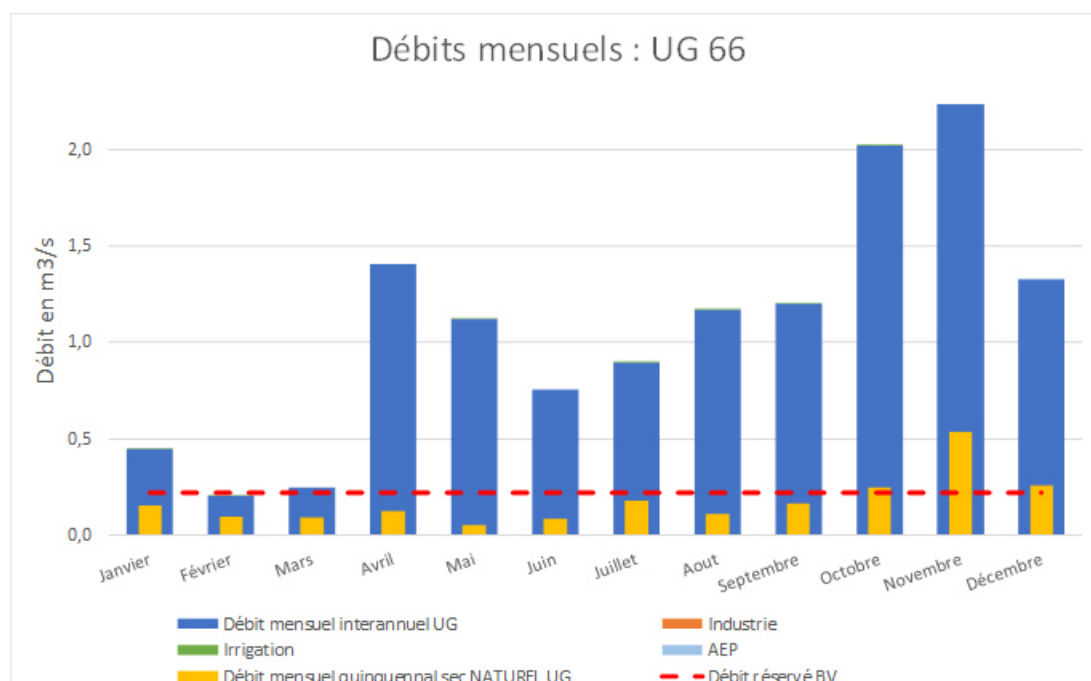
Bilan annuel UG 65



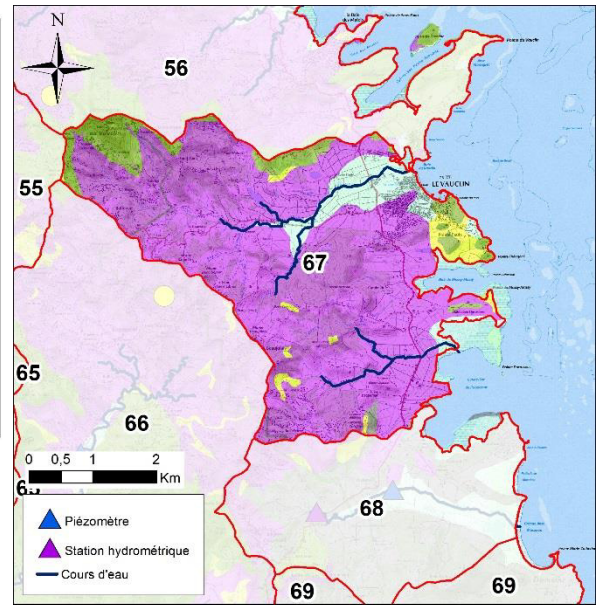
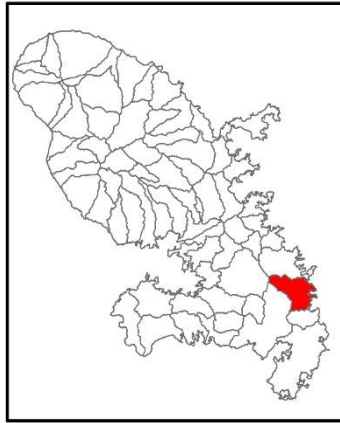
Bilan mensuel UG 66



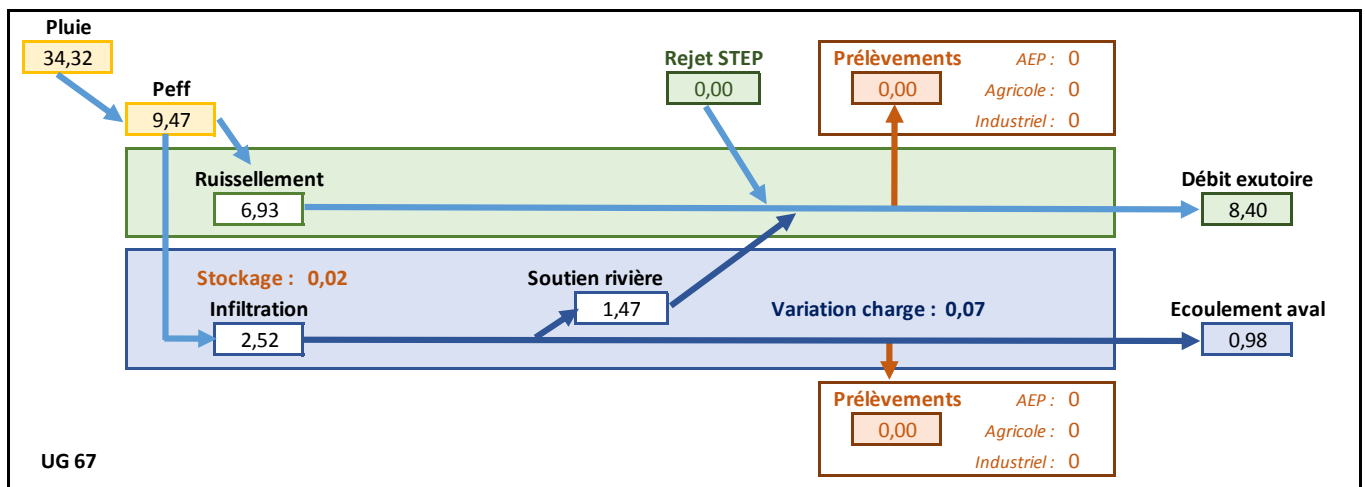
Bilan annuel UG 66



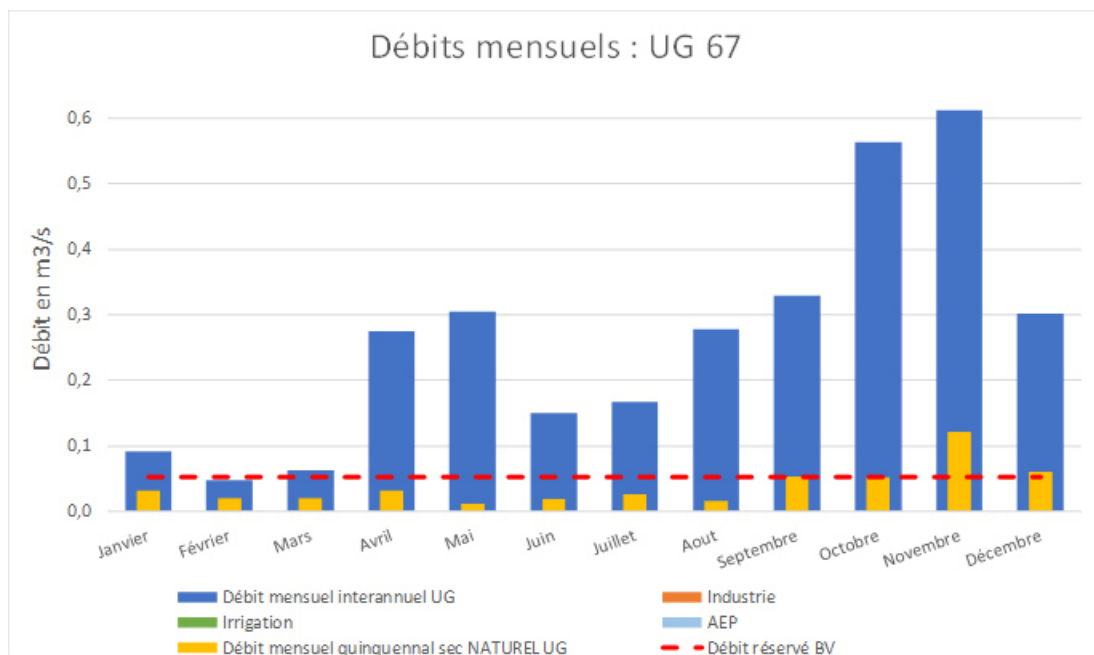
UG 67



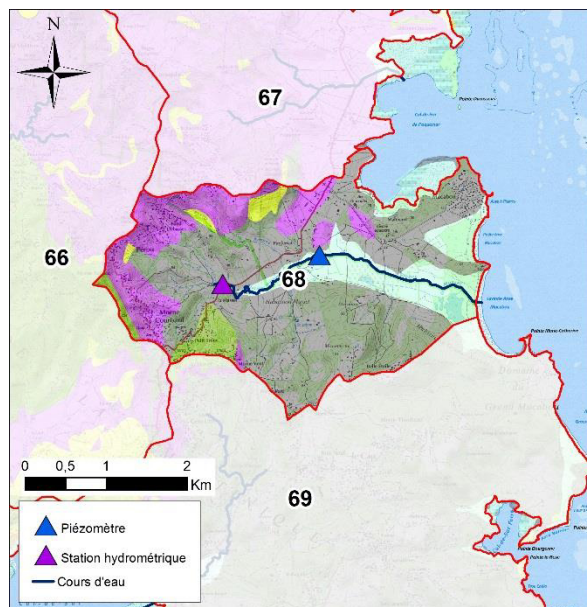
Bilan mensuel



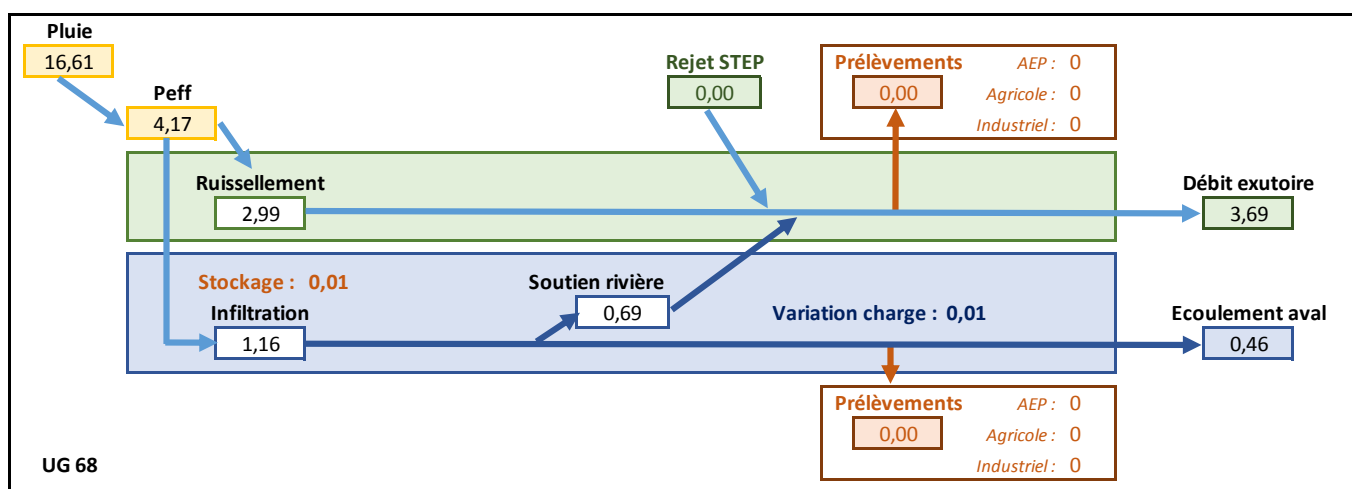
Bilan annuel



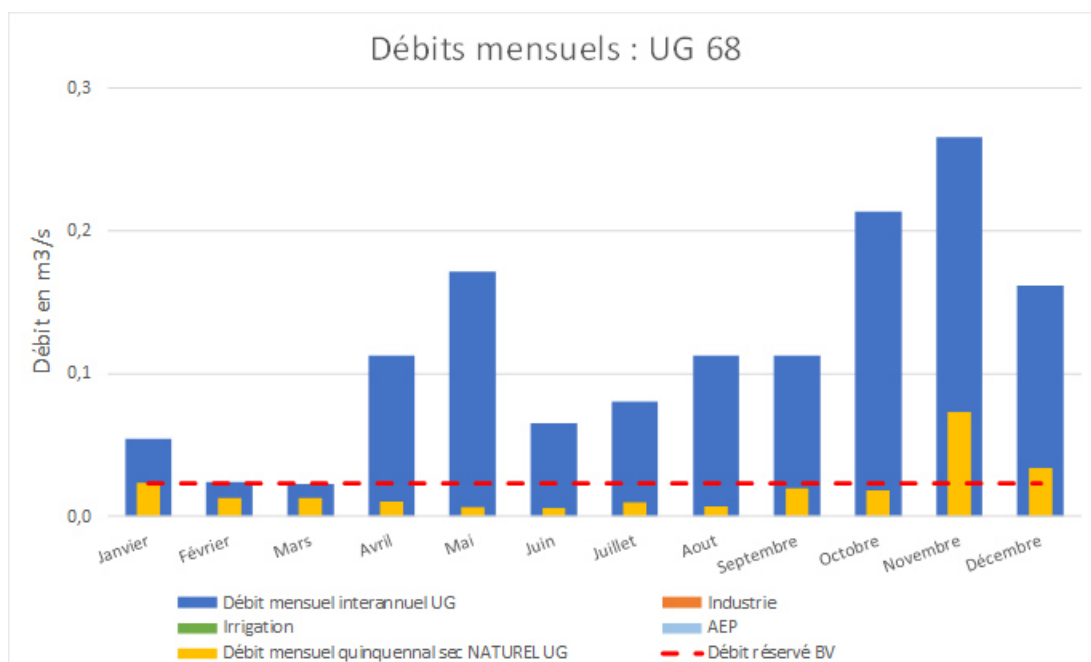
UG 68



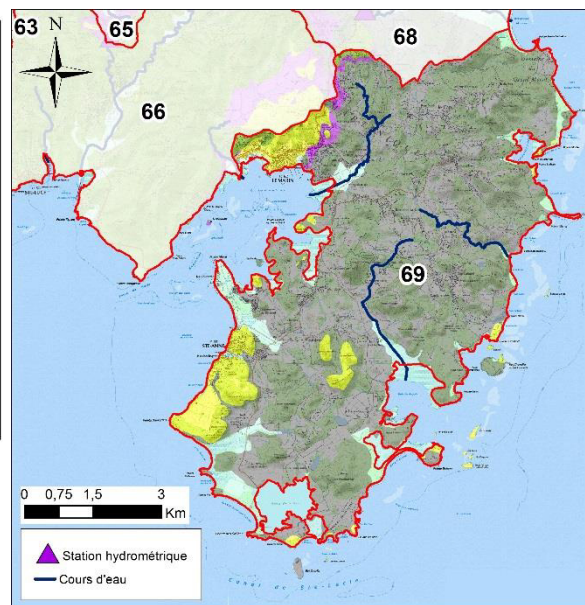
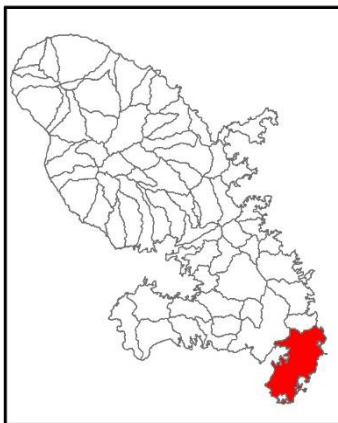
Bilan mensuel



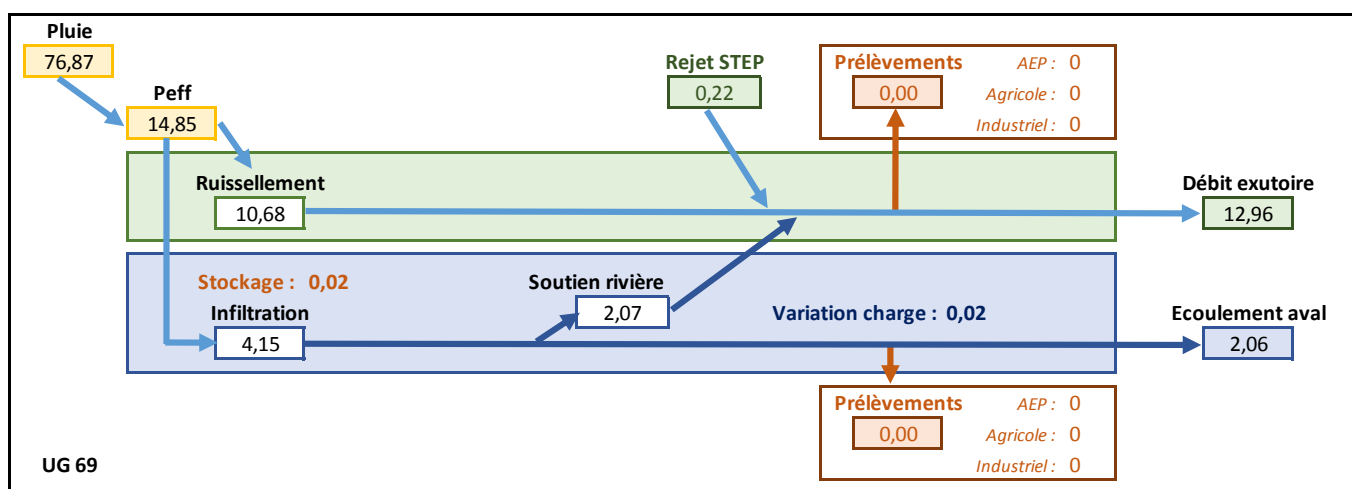
Bilan annuel



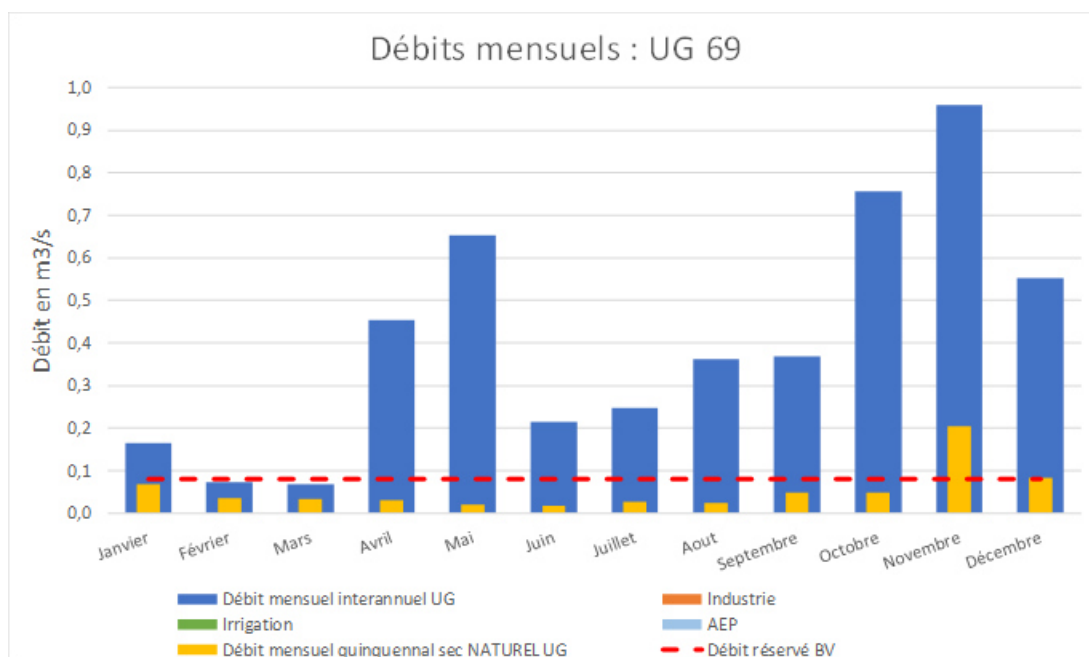
UG 69



Bilan mensuel



Bilan annuel





Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale « Martinique »
4, lotissement Miramar
Pointe des Nègres
97200 – Fort-de-France - Martinique
Tél. : 05 96 71 17 70