



Etude de détermination des volumes prélevables Bassin versant du Doux

Rapport de phase 3 :
Impact des prélèvements et
quantification des ressources existantes
RSO-0165
Version 3

Janvier 2011

SOMMAIRE

1	CONTEXTE, OBJECTIF ET CONTENU DU RAPPORT	7
1.1	CONTEXTE.....	7
1.2	OBJECTIF ET PHASAGE GENERAL DE L'ETUDE	7
1.3	OBJECTIF DE LA PHASE 3 ET CONTENU DU RAPPORT.....	8
1.3.1	<i>Objectif de la phase 3</i>	8
1.3.2	<i>Contenu du rapport</i>	8
2	MODELISATION HYDROLOGIQUE DU DOUX.....	9
2.1	INTRODUCTION	9
2.2	PRESENTATION SOMMAIRE DES ELEMENTS STRUCTURELS DU MODELE HYDROLOGIQUE GESRES _{ISL}	10
2.3	DONNEES CLIMATIQUES.....	11
2.3.1	<i>Pluviométrie</i>	11
2.3.2	<i>L'évapotranspiration potentielle (ETP)</i>	15
2.4	PRELEVEMENTS ET REJETS	15
2.4.1	<i>Adduction d'Eau Potable (AEP)</i>	16
	Prélèvements pour AEP.....	16
	Rejets pour AEP.....	16
2.4.2	<i>Usages domestiques</i>	18
	Prélèvements pour usage domestique.....	18
	Rejets pour usage domestique.....	18
2.4.3	<i>Industrie</i>	20
2.4.4	<i>Prélèvements pour l'irrigation</i>	20
	Caractérisation de l'occupation des sols.....	20
	Bilan hydrique.....	22
	Rejets issus de l'irrigation.....	27
2.5	PRISE EN COMPTE DES RETENUES COLLINAIRES ET BARRAGES EN RIVIERE DANS LE MODELE HYDROLOGIQUE	30
2.5.1	<i>Méthodologie</i>	30
2.5.2	<i>Bassins versants captés</i>	32
2.5.3	<i>Débit réservé total des barrages en rivière et des retenues collinaires sur cours d'eau permanent</i> <i>33</i>	33
2.5.4	<i>Volume total stocké dans les retenues des barrages en rivière et dans les retenues collinaires..</i> <i>34</i>	34
2.6	CALAGE DU MODELE HYDROLOGIQUE (EN ETAT INFLUENCE)	35
2.6.1	<i>Initialisation du modèle hydrologique</i>	35
2.6.2	<i>Valeurs observées</i>	35
2.6.3	<i>Calage à partir des débits mesurés aux différentes stations hydrométriques présentes sur le</i> <i>bassin versant</i>	35
	Calage des paramètres GR4j sur l'année entière.....	36
	Calage des paramètres GR4j sur la période d'été.....	37
3	RESULTATS.....	40
3.1	MODULE INTERANNUEL ET DEBIT MEDIAN	40
3.1.1	<i>Hydrologie influencée</i>	40
	Résultats.....	40
	Comparaison aux données existantes.....	41
3.1.2	<i>Hydrologie non influencée</i>	42
	Résultats.....	42
	Comparaison aux données existantes.....	43
3.1.3	<i>Influence des usages de l'eau sur l'hydrologie moyenne</i>	43
3.2	DEBITS CARACTERISTIQUES D'ETIAGE.....	44
3.2.1	<i>Hydrologie influencée</i>	44
	Résultats.....	44
	Comparaison aux données existantes.....	45
3.2.2	<i>Hydrologie non influencée</i>	46
	Résultats.....	46
	Comparaison aux données existantes.....	47

3.2.3 Comparaison de l'hydrologie influencée et de l'hydrologie naturelle à l'étiage.....	47
Les bassins versants.....	57
Les biefs.....	57
Les nœuds.....	58
Les réservoirs.....	58
Les flux et équations.....	58
Pluviométrie.....	59
Evapotranspiration potentielle.....	59
Calage sur l'année entière.....	62
Calage sur la période d'étiage.....	62
Hydrologie influencée.....	65
Hydrologie non influencée.....	71
Hydrologie influencée.....	79
Hydrologie non influencée.....	80

FIGURES

FIGURE 1 : BASSIN VERSANT DU DOUX DECOUPE EN GRANDS SOUS BASSINS VERSANTS.....	9
FIGURE 2 : LOCALISATION DES STATIONS PLUVIOMETRIQUES CARACTERISANT LES PRECIPITATIONS AU NIVEAU DU BASSIN DU DOUX.....	12
FIGURE 3 : DECOUPAGE DES SOUS-ENSEMBLES AVEC L'ALGORITHME DE THIESSEN.....	13
FIGURE 4 : EVOLUTION INTERANNUELLE DES CUMULS ANNUELS DE PRECIPITATIONS AU NIVEAU DE CHAQUE SOUS ENSEMBLE COMPOSANT LE MODELE HYDROLOGIQUE.....	14
FIGURE 5 : EVOLUTION INTERANNUELLE DES CUMULS DE PRECIPITATIONS SUR LA PERIODE ESTIVALE (JUN-AOUT) AU NIVEAU DE CHAQUE SOUS ENSEMBLE COMPOSANT LE MODELE HYDROLOGIQUE.....	14
FIGURE 6 : ETP MOYENNE MENSUELLE INTERANNUELLE SUR LA CHRONIQUE D'ETUDE.....	15
FIGURE 7 : REPARTITION MENSUELLE DES VOLUMES AEP PRELEVES ET REJETES SUR LA PERIODE 1997 – 2007.....	17
FIGURE 8 : REPARTITION MENSUELLE DES PRELEVEMENTS ET REJETS POUR USAGES DOMESTIQUES SUR LA PERIODE 1997-2007.....	19
FIGURE 9 : SCHEMA EXPLICATIF DU CYCLE DE L'EAU, A L'ECHELLE DES PLANTES.....	23
FIGURE 10 : ETAPES DE CALCUL DU BILAN HYDRIQUE.....	26
FIGURE 11 : REPARTITION JOURNALIERE DES PRELEVEMENTS EN RIVIERE POUR L'IRRIGATION SUR LA MOYENNE VALLEE – PERIODE ESTIVALE 2001(ANNEE MOYENNE).....	27
FIGURE 12 : SCHEMA DE PRINCIPE DE MODELISATION DES GRANDS SOUS ENSEMBLES (AVEC QR : DEBIT RESERVE ET QE : DEBIT ENTRANT).....	31
FIGURE 13 : AJUSTEMENTS A UNE LOI LOG-NORMALE DES VCN10 OBTENUS A PARTIR DES DEBITS CALCULES PAR LE MODELE HYDROLOGIQUE (FIGURE DU HAUT) ET A PARTIR DES DEBITS MESURES A LA STATION DE COLOMBIER-LE-VIEUX (FIGURE DU BAS).....	38
FIGURE 14 : LOCALISATION DES STATIONS DE MESURE DU DEBIT MINIMUM BIOLOGIQUE (STATIONS ESTIMHAB) SUR LE BASSIN DU DOUX.....	41
FIGURE 15 : COMPARAISON DES MODULES EN HYDROLOGIE INFLUENCEE ET NATURELLE (NON INFLUENCEE). LES BARRES REPRESENTENT L'INTERVALLE DE CONFIANCE A 90%.....	44
FIGURE 16 : COMPARAISON DE L'HYDROLOGIE NATURELLE ET DE L'HYDROLOGIE INFLUENCEE A L'ETIAGE – QMNA5 ET INTERVALLE DE CONFIANCE A 90%.....	47
FIGURE 17 : SYNOPTIQUE DE L'ARCHITECTURE DU MODELE GESRES/ECRET.....	53

TABLEAUX

TABLEAU 1 : STATIONS PLUVIOMETRIQUES.....	11
TABLEAU 2 : REPARTITION DE LA PLUVIOMETRIE SUR CHAQUE SOUS ENSEMBLE COMPOSANT LE MODELE HYDROLOGIQUE.....	13
TABLEAU 3 : SAISONNALITE DES PRELEVEMENTS AEP.....	16
TABLEAU 4 : TAUX DE REJET AEP DANS LES DIFFERENTS SOUS-ENSEMBLES.....	16
TABLEAU 5 : SURFACES AGRICOLES IRRIGUEES DES DIFFERENTS ENSEMBLES DU DOUX POUR L'ANNEE 2000 [2]20	
TABLEAU 6: REPARTITION DE LA SURFACE AGRICOLE DU BASSIN VERSANT DU DOUX (SOURCE : [4]).....	21
TABLEAU 7 : REGROUPEMENT DES TYPES DE CULTURES IRRIGUEES.....	21
TABLEAU 8 : VALEURS UTILISEES DE LA RFU, ET RU.....	23

TABLEAU 9 : EVOLUTION DES COEFFICIENTS CULTURAUX DES CULTURES DU DOUX.....	24
TABLEAU 10 : PARAMETRES DE CALCUL DU BILAN HYDRIQUE	25
TABLEAU 11 : VOLUMES DECADAIRES D'IRRIGATION (EN MILLIERS DE M ³) EN PERIODE NORMALE, SECHERESSE ET PENURIE SEVERE SUR LES SOUS ENSEMBLES DU BASSIN DU DOUX (PRELEVEMENTS DIRECTS EN RIVIERE)	28
TABLEAU 12 : VOLUMES DECADAIRES D'IRRIGATION (EN MILLIERS DE M ³) EN PERIODE NORMALE SUR LES SOUS ENSEMBLES DU BASSIN DU DOUX.....	29
TABLEAU 13 : NOMBRE DE RETENUES COLLINAIRES ET BARRAGES EN RIVIERE SUR LES SOUS ENSEMBLES DU DOUX EN 1991 ET EN 2008.....	30
TABLEAU 14 : SURFACES DES DIFFERENTS BASSINS MODELISES AVEC GESRES _{ISL}	32
TABLEAU 15 : SOMME DES DEBITS RESERVES DANS LES RETENUES COLLINAIRES SUR COURS D'EAU PERMANENT ET BARRAGES EN RIVIERE	33
TABLEAU 16 : SOMME DES VOLUMES STOCKES DANS LES RETENUES COLLINAIRES ET BARRAGES EN RIVIERE	34
TABLEAU 17 : STATIONS HYDROMETRIQUES SUR LE BASSIN DU DOUX EN SERVICE SUR LA PERIODE 1997-2007 (SOURCE BANQUE HYDRO)	35
TABLEAU 18 : EXEMPLES DE VALEURS DE CALAGE POUR LE MODELE GR4J (SOURCE [3])	36
TABLEAU 19 : MODULE ET DEBIT MEDIAN OBTENUS A PARTIR DES VALEURS MEASUREES A LA STATION HYDROMETRIQUE DE COLOMBIER-LE-VIEUX (1999-2007) ET A PARTIR DES RESULTATS DU MODELE HYDROLOGIQUE.....	37
TABLEAU 20 : DEBITS CARACTERISTIQUES D'ETIAGE ET INTERVALLES DE CONFIANCE A 90 % OBTENUS A PARTIR DES VALEURS MEASUREES A LA STATION HYDROMETRIQUE DE COLOMBIER-LE-VIEUX (1998-2007) ET A PARTIR DES RESULTATS DU MODELE HYDROLOGIQUE	38
TABLEAU 21 : MODULE INTERANNUEL ET DEBIT MEDIAN A L'EXUTOIRE DES GRANDS SOUS BASSINS VERSANTS DU DOUX EN ETAT INFLUENCE ET INTERVALLE DE CONFIANCE A 90 %	40
TABLEAU 22 : MODULE INTERANNUEL EN DIFFERENTS POINTS DU BASSIN DU DOUX EN ETAT NON INFLUENCE D'APRES L'ETUDE « SCHEMA DEPARTEMENTAL D'HYDRAULIQUE AGRICOLE DE 1992 » [8].....	42
TABLEAU 23 : MODULE INTERANNUEL ET DEBIT MEDIAN A L'EXUTOIRE DES GRANDS SOUS BASSINS VERSANTS DU DOUX EN ETAT NON INFLUENCE ET INTERVALLE DE CONFIANCE A 90 %	43
TABLEAU 24 : MODULE INTERANNUEL EN DIFFERENTS POINTS DU BASSIN DU DOUX EN ETAT NON INFLUENCE CALCULE SUR LA PERIODE 1953–1963 (SOURCE : [7]).....	43
TABLEAU 25 : DEBITS CARACTERISTIQUES D'ETIAGE A L'EXUTOIRE DES GRANDS SOUS BASSINS VERSANTS DU DOUX EN ETAT INFLUENCE ET INTERVALLE DE CONFIANCE A 90%	45
TABLEAU 26 : JAUGEAGES REALISES PAR ISL LE 28 AOUT 2009 SUR LE BASSIN DU DOUX.....	45
TABLEAU 27 : DEBITS CARACTERISTIQUES D'ETIAGE A L'EXUTOIRE DES GRANDS SOUS BASSINS VERSANTS DU DOUX EN ETAT NON INFLUENCE ET INTERVALLE DE CONFIANCE A 90 %	46
TABLEAU 28 : VCN10 EN DIFFERENTS POINTS DU BASSIN DU DOUX EN ETAT NON INFLUENCE CALCULE SUR LA PERIODE 1953–1963 (SOURCE : [7]).....	47

ANNEXES

- ANNEXE 1 : REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES
- ANNEXE 2 : PRESENTATION DU LOGICIEL GESRES_{ISL}
- ANNEXE 3 : PARAMETRAGE DES ELEMENTS STRUCTURELS DU MODELE HYDROLOGIQUE GESRES_{ISL}
- ANNEXE 4 : PARAMETRES DE CALAGE DU MODELE HYDROLOGIQUE
- ANNEXE 5 : VCN10, QMNA ET AJUSTEMENTS STATISTIQUES
- ANNEXE 6 : DEBITS CARACTERISTIQUES AUX POINTS ESTIMHAB
- ANNEXE 7 : DEBITS D'ETIAGE ISSUS DU ROCA

ABREVIATIONS ET ACRONYMES

DOE	Débit Objectif d'Etiage
ETP	Evapotranspiration Potentielle
ETM	Evapotranspiration Maximale
ETR	Evapotranspiration Réelle
t_r	Taux de rejet
RU	Réserve Utile
RFU	Réserve Facilement Utilisable
RS	Réserve de Survie
AEP	Adduction d'Eau Potable
Kc	Coefficient cultural
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
NGF	Nivellement Général de la France
RC	Retenue Collinaire
ROCA	Réseau d'Observation de Crise des Assecs

1 CONTEXTE, OBJECTIF ET CONTENU DU RAPPORT

1.1 Contexte

Ces dix dernières années ont fréquemment été appliquées en France des mesures de restriction de prélèvements d'eau en période estivale initialement prévues à titre exceptionnel (arrêtés sécheresse).

Afin de remédier à cette problématique, les politiques nationales et européennes promeuvent la gestion intégrée de la ressource en eau à l'échelle des bassins versants avec un objectif de mise en adéquation des besoins en eau avec les ressources. Le décret 2007-1381 du 24 septembre 2007 et la circulaire du 30 juin 2008 visent à « favoriser une gestion collective des ressources en eau sur un périmètre hydrologique et/ou hydrogéologique cohérent », qui est, dans le cadre de la présente étude le bassin versant du Doux classé en Zone de Répartition des Eaux (ZRE), avec notamment :

- la détermination des débits d'objectifs d'étiage (DOE) et des volumes prélevables maximum permettant de respecter le milieu aquatique tout en satisfaisant les besoins huit années sur dix en moyenne,
- la mise en place, sur les bassins versants où le déficit en ressource est particulièrement lié aux besoins pour l'agriculture, d'organismes uniques délivrant et répartissant les autorisations de prélèvement sur le périmètre concerné,
- la mise en adéquation des autorisations et des prélèvements avec les capacités du milieu au plus tard fin 2014 (volumes prélevables).

1.2 Objectif et phasage général de l'étude

L'objectif de l'étude est la détermination des volumes prélevables sur le bassin versant du Doux (surface de 630 km², 37 communes) à son exutoire mais également aux principaux points nodaux du bassin, calculés sur l'année mais aussi sur la période d'étiage.

L'étude comporte les phases suivantes :

- Phase 1 : caractérisation du bassin et recueil de données,
- Phase 2 : bilan des prélèvements et analyse de l'évolution,
- Phase 3 : quantification des ressources existantes,
- Phase 4 : détermination des débits biologiques,
- Phase 5 : détermination des volumes prélevables et des DOE,
- Phase 6 : proposition de répartition des volumes.

1.3 Objectif de la phase 3 et contenu du rapport

Le présent rapport concerne la phase 3 relative à la quantification des ressources existantes.

1.3.1 Objectif de la phase 3

L'objectif de la phase 5 de l'étude de détermination des volumes prélevables nécessite la détermination des chroniques de débits non influencés (phase 3) et des débits minimum biologiques (phase 4). En effet le volume prélevable sur une période est la somme des différences entre les débits journaliers non influencés (naturel) et les débits minimum biologiques.

L'objectif de la phase 3 est donc la reconstitution, en différents points de contrôle du bassin versant, de l'hydrologie naturelle (non influencée) sous forme de débits journaliers et de ses principales caractéristiques (module interannuel, médiane, débits d'étiage).

Les valeurs de débits d'étiage naturel serviront également en phase 4 dans le choix des débits minimum biologiques.

1.3.2 Contenu du rapport

Le présent rapport concerne la phase 3 relative à la quantification des ressources existantes.

Le rapport comprend les parties suivantes :

- Description de la modélisation hydrologique (chapitre 2)
 - Présentation des éléments structurels du modèle hydrologique
 - Données climatiques
 - Prélèvements et rejets
 - Prise en compte des retenues collinaires et barrages en rivière
 - Calage du modèle hydrologique
- Résultats (chapitre 3) : module, débit médian et débits d'étiage pour :
 - Hydrologie influencée
 - Hydrologie naturelle (non influencée).

2 MODELISATION HYDROLOGIQUE DU DOUX

2.1 Introduction

L'objectif de la modélisation hydrologique consiste en la reconstitution de l'hydrologie influencée et naturelle au pas de temps journalier aux différents points stratégiques du bassin versant du Doux, à savoir à l'aval des grands sous ensembles ou grands sous bassins versants (Haute Vallée, Moyenne Vallée, Basse Vallée, Daronne et Duzon).

Ces grands sous bassins versants correspondent à des secteurs homogènes pour l'hydrologie, la typologie des prélèvements. Les prélèvements annuels ont été reconstitués en phase 2 à l'échelle de ses grands sous bassins versants, qui semble être adaptée à la gestion quantitative de la ressource.

La modélisation est réalisée sur la période 1997-2007, qui correspond à la période pour laquelle les prélèvements pour l'irrigation ont pu être reconstitués en phase 2 (connaissance dans la base de redevance à la fois des volumes et des surfaces irriguées).

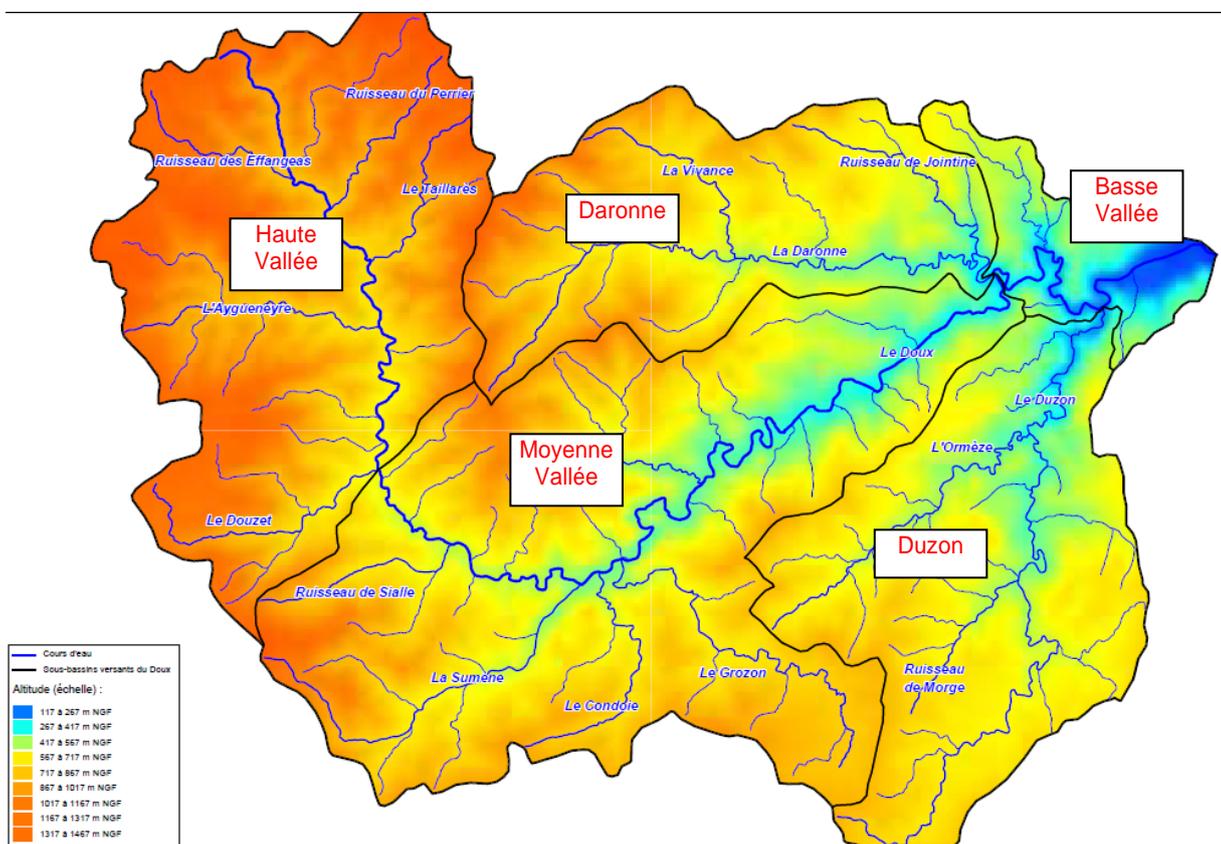


Figure 1 : Bassin versant du Doux découpé en grands sous bassins versants

L'hydrologie naturelle est reconstituée en prenant en compte dans le modèle l'influence des différents barrages et retenues d'une part et d'autre part des prélèvements et rejets déterminés lors de la phase 2 [2]¹ de la présente étude.

¹ Les numéros entre crochets [X] renvoient à la bibliographie en annexe 1

Par la suite, des ajustements statistiques sur cette chronique ainsi reconstituée permettront de déterminer les débits caractéristiques d'étiage aux différents points stratégiques.

Le logiciel utilisé pour la modélisation hydrologique est le logiciel GESRES_{ISL}, développé par ISL et dont une présentation est donnée en annexe 2.

2.2 Présentation sommaire des éléments structurels du modèle hydrologique GESRES_{ISL}

Le modèle hydrologique est construit à l'aide du logiciel GESRES_{ISL} dont une présentation est donnée en annexe 2.

Le logiciel GESRES_{ISL} propose 6 types d'**éléments structurels** (ou « Objets ») avec, pour certains, plusieurs choix d'éléments selon les modèles théoriques retenus :

- *Nœud* : élément de base du maillage hydrographique ; ils réalisent le lien entre tous les autres éléments : ils reçoivent les apports directs des bassins versants, permettent la jonction entre les biefs et le rattachement des flux au reste du réseau et peuvent être associés à un site de stockage des eaux.
- *Bassin Versant* : Le bassin versant réagit aux données climatiques à savoir la pluie et l'évapotranspiration potentielle (ETP); le modèle employé pour réaliser la transformation pluie-débit est le modèle de simulation empirique GR4J (Génie Rural à 4 paramètres) développé par le Cemagref ;
- *Bief* : propage les hydrogrammes entre deux nœuds; le modèle de propagation retenu est le modèle de Muskingum-Cunge à 8 points. Les biefs sont également soumis aux pertes liées à l'évapotranspiration potentielle ;
- *Réservoir* : élément de contrôle des débits (relation hauteur/surface) ; un réservoir est nécessaire à la définition de flux représentant les prélèvements et échanges de volume entre le système modélisé et l'extérieur ou internes au système. Certains réservoirs sont donc fictifs et servent uniquement à prendre en compte les rejets et prélèvements dans les cours d'eau. Dans le cas de retenues réelles (retenues collinaires, barrages en rivière), l'évapotranspiration est également prise en compte dans les pertes ;
- *Equations* : donne une loi de transfert de débits entre 2 nœuds sous forme d'une équation ;
- *Flux* : élément de contrôle des débits (règle de gestion des débits entrants et sortants). Dans le cas présent, les flux concernent les prélèvements et rejets des différents usages à savoir les usages domestiques, industriels, d'adduction en eau potable et d'assainissement, irrigation.

Certains de ces objets sont reliés entre eux : les bassins versants, réservoirs et hydrogrammes sont reliés à un nœud. Un bief ou une équation est relié à deux nœuds, un amont et un aval. Un flux est relié à un ou deux nœuds, l'un des nœuds étant obligatoirement un réservoir actif.

Les paramètres à saisir pour chacun des éléments structurels sont donnés en annexe 3.

Les **éléments non-structurels** sont de deux ordres : les éléments caractéristiques des conditions climatiques et les éléments représentatifs des observations.

Les éléments associés à la première catégorie (données climatiques) sont les *pluies* et l'*ETP*.

Les éléments associés à la seconde catégorie sont les *valeurs observées (débits mesurés à une station hydrométrique)*.

2.3 Données climatiques

2.3.1 Pluviométrie

Les précipitations sont l'une des entrées des systèmes hydrologiques que constituent les bassins versants. Or, ce paramètre varie spatialement et temporellement. Ainsi, pour évaluer la pluviométrie au niveau de chaque sous-ensemble, les précipitations doivent être connues en différents points du bassin et la zone d'influence de chaque pluviomètre recherchée.

La pluviométrie sur le bassin du Doux peut être caractérisée au moyen des stations de mesures pluviométriques suivantes :

Nom de la station	Numéro de la station	Chronique de pluviométrie disponible
Colombier le Jeune	07068001	1987-2007
Colombier le Vieux	07069001	1999-2007
Lalouvesc	07128001	1987-2007
Lamastre	07129001	1987-2007
Roche-paule	07192001	1995-2007
Saint Agrève	07204005	1987-2007
Saint Victor	07301002	1989-2007
Tournon	07324003	1989-2007
Vernoux-en-Vivarais	07338001	1987-2007
Saint Georges-les-Bains	07240001	1987-2007

Tableau 1 : Stations pluviométriques

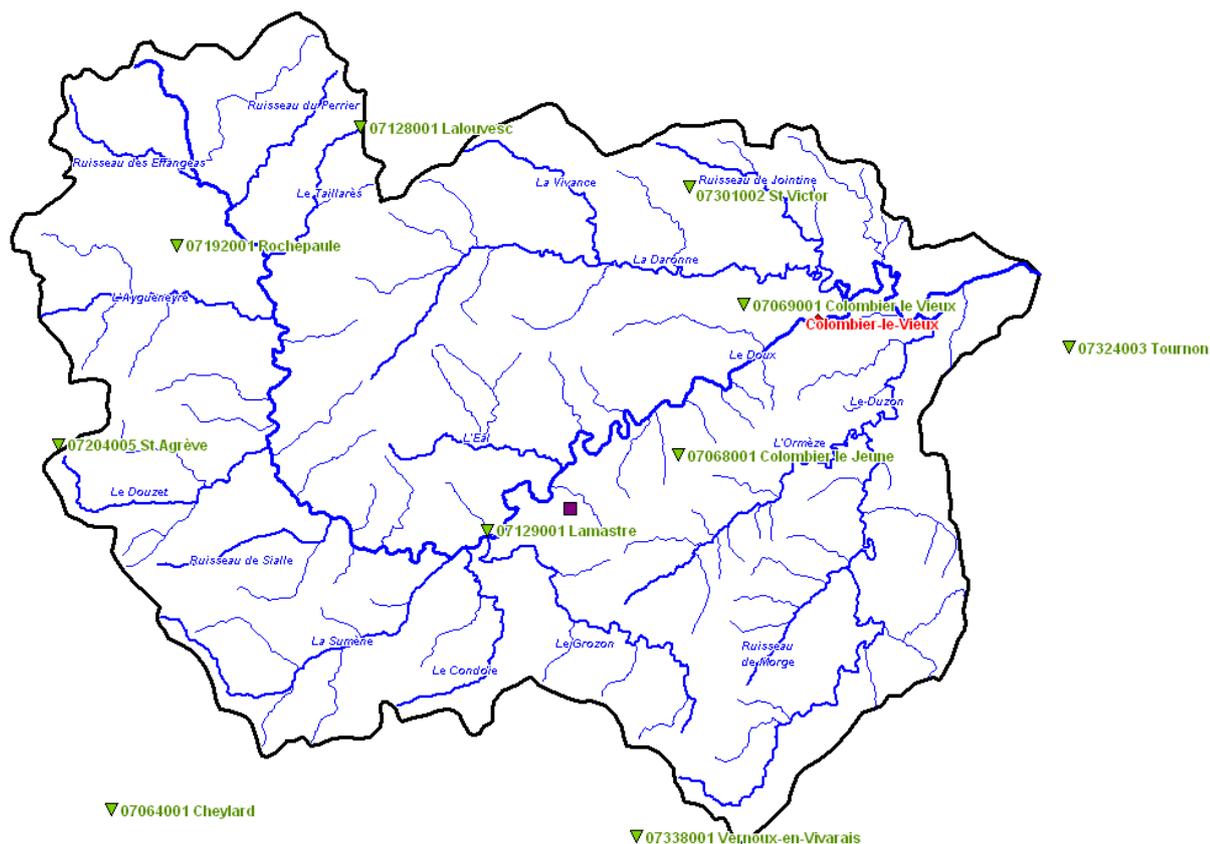


Figure 2 : Localisation des stations pluviométriques caractérisant les précipitations au niveau du bassin du Doux

Les pluviomètres étant distribués irrégulièrement, la méthode des polygones de Thiessen peut être utilisée pour déterminer les chroniques de pluie sur chaque sous-ensemble du bassin versant. Cette méthode consiste à déterminer la zone d'influence de chaque pluviomètre en traçant les polygones formés par les médiatrices des droites joignant les stations pluviométriques adjacentes puis à estimer la pluviométrie sur le bassin par pondération des surfaces interceptées par chaque zone d'influence d'un pluviomètre :

$$P_{\text{sous-bassin}} = \sum \frac{P_i \times A_i}{A}$$

Avec :

- P_i les volumes précipités au niveau de la station i ,
- A_i l'aire interceptée par la zone d'influence du pluviomètre i ,
- A l'aire totale du sous-bassin.

L'utilisation de l'algorithme de Thiessen décrit précédemment permet d'aboutir au découpage donné sur la Figure 3.

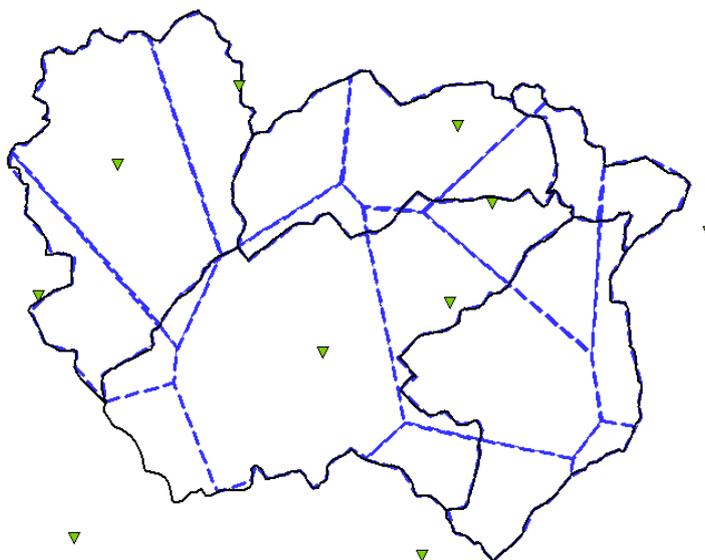


Figure 3 : Découpage des sous-ensembles avec l'algorithme de Thiessen

La pluviométrie se répartit alors de la façon suivante sur le bassin du Doux :

Station pluviométrique	Grands ensembles				
	Haute vallée du Doux	Moyenne vallée du Doux	Basse vallée du Doux	Bassin de la Daronne	Bassin du Duzon
Colombier le Jeune		17%			48%
Colombier le Vieux		10%	46%	16%	16%
Lalouvesc	21%			30%	
Lamastre		56%		8%	
Rochepeule	58%	3%			
Saint Agrève	21%	5%		2%	
Saint Victor		1%	7%	44%	
Tournon			47%		14%
Vernoux-en-Vivaraïs		8%			18%
Saint Georges-les-Bains					4%

Tableau 2 : Répartition de la pluviométrie sur chaque sous-ensemble composant le modèle hydrologique

La pluviométrie au niveau de chaque sous-ensemble peut ensuite être calculée.

La variation annuelle des précipitations au niveau de chaque grand ensemble est présentée sur le graphe ci-après. Les tendances pluviométriques évoluent de façon similaire sur l'ensemble des sous-bassins. La pluviométrie en moyenne vallée du Doux et sur le Duzon est très similaire ; c'est sur ces deux ensembles, ainsi que sur la haute vallée, que généralement les précipitations sont les plus abondantes. La variabilité interannuelle des précipitations est importante sur chacun des grands ensembles.

Les années où la pluviométrie est la plus abondante sont les années 2000 et 2002. Le cumul pluviométrique est de l'ordre de 1 150 à 1 200 mm.

Les années où la pluviométrie est inférieure à la moyenne interannuelle (915 mm) sont les années 1997, 1998, 2003 et 2005. Le cumul pluviométrique est de l'ordre de 700-800 mm pour ces années là.

Les Figure 4 et Figure 5 présentent respectivement l'évolution interannuelle des cumuls annuels des cumuls sur la période estivale (juin – août) des précipitations sur chaque grand sous ensemble du Doux.

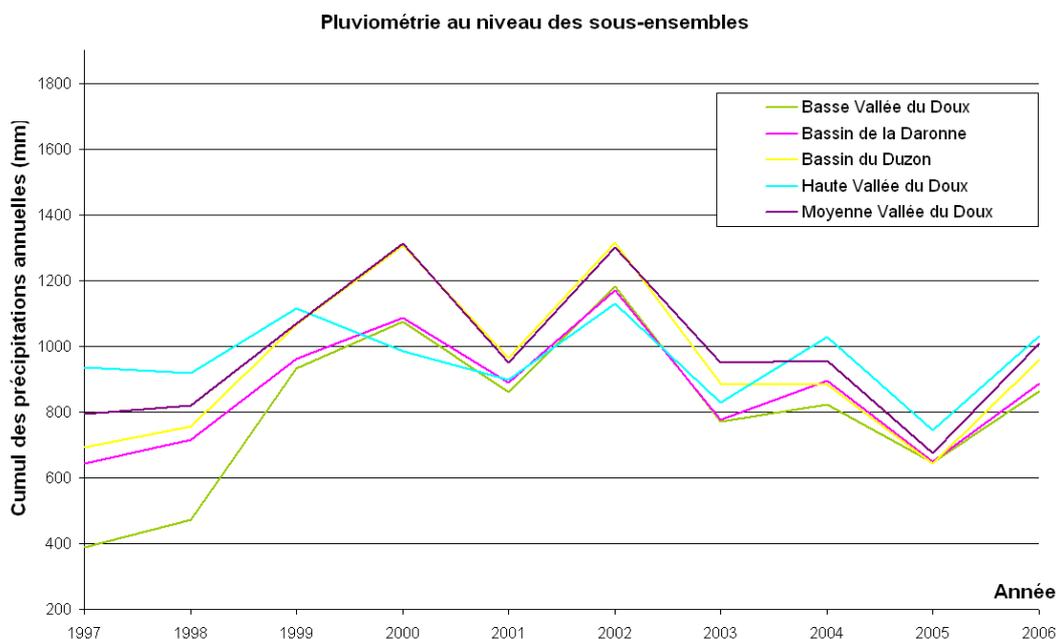


Figure 4 : Evolution interannuelle des cumuls annuels de précipitations au niveau de chaque sous ensemble composant le modèle hydrologique

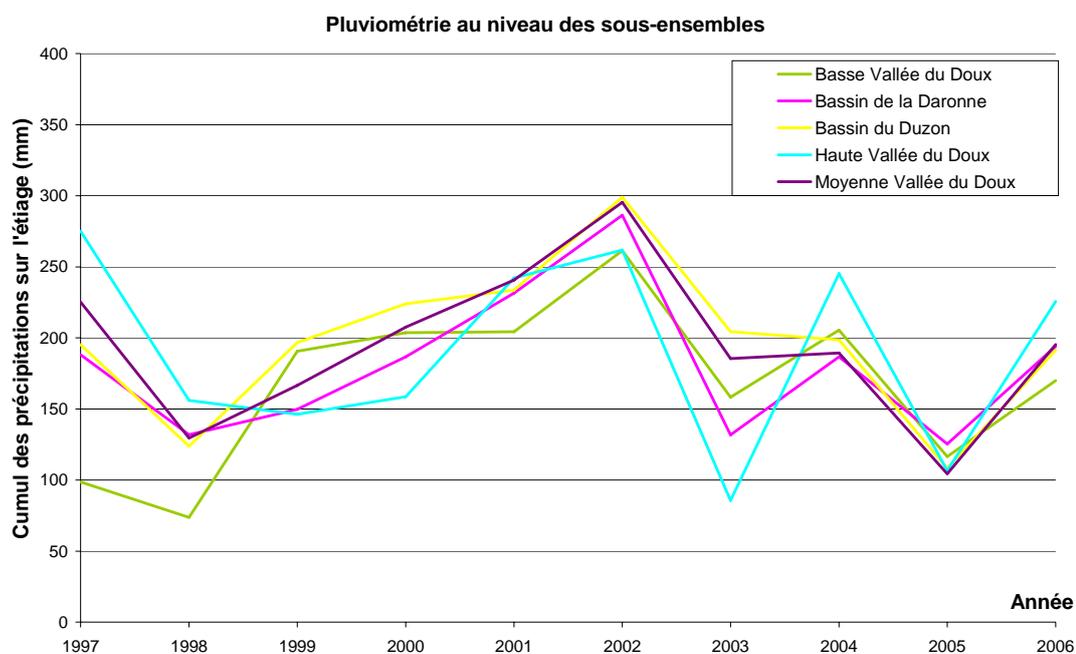


Figure 5 : Evolution interannuelle des cumuls de précipitations sur la période estivale (juin-août) au niveau de chaque sous ensemble composant le modèle hydrologique

En période estivale (juin-août) le cumul de précipitations tourne autour de 150 à 200 mm, soit environ 15 à 20 % du cumul annuel.

2.3.2 L'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle est l'autre donnée climatique nécessaire à l'établissement du modèle hydrologique. Elle concerne les bassins versants, les biefs de propagation des hydrogrammes et les retenues collinaires ou barrages en rivière.

Nous disposons des données fournies par Météo France, calculées à partir d'un point de grille centré sur le bassin versant du Doux

La Figure 6 représente la moyenne mensuelle interannuelle de l'ETP sur la période d'étude 1997 – 2007. L'ETP est maximale pendant la période estivale.

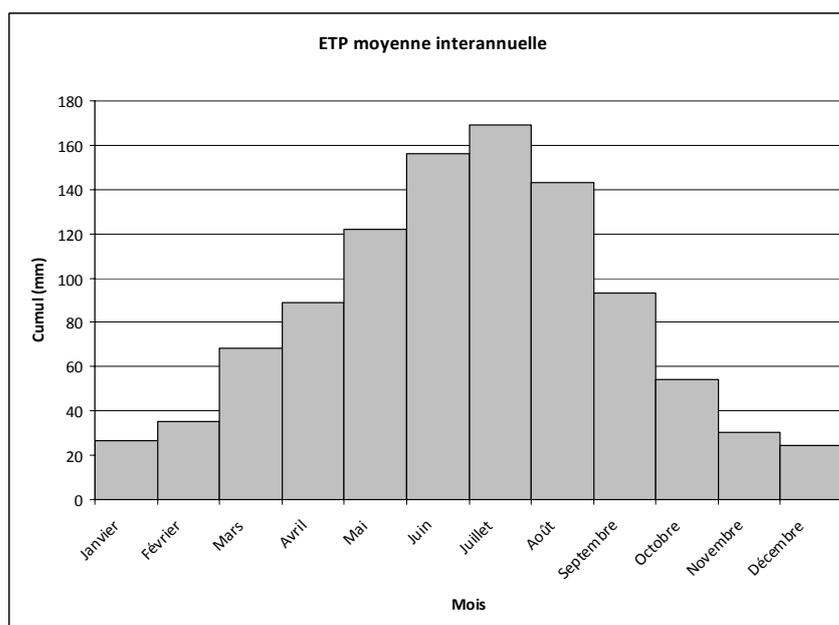


Figure 6 : ETP moyenne mensuelle interannuelle sur la chronique d'étude

2.4 Prélèvements et rejets

Lors de la deuxième phase de la présente étude [2], les prélèvements et rejets sur l'ensemble du bassin versant du Doux ont été analysés et estimés suivant leurs usages, et leurs ressources.

On distingue des prélèvements de quatre natures différentes :

- la distribution publique (AEP),
- l'usage domestique,
- l'industrie,
- l'irrigation agricole, que nous avons reconstituée sur la période d'étude grâce à un bilan hydrique.

Pour l'établissement du modèle hydrologique du bassin versant, seuls les prélèvements influençant l'hydrologie de surface sont à prendre en compte. Ainsi, les données à utiliser sont celles provenant :

- des pompages en rivière,
- des sources,
- des puits.

De plus, les rejets en rivière sont aussi comptabilisés.

Concernant les retenues collinaires, les barrages et les prélèvements associés, la prise en compte de leur impact hydrologique est décrite à la section 2.5.

2.4.1 Adduction d'Eau Potable (AEP)

Prélèvements pour AEP

Sur la période d'étude 1997 – 2007, le bureau d'études Calligée a étudié les volumes de prélèvements annuels pour l'adduction d'eau potable afin de les répartir par pas de temps mensuel suivant la saisonnalité des prélèvements. Celle-ci a pu être établie à partir des fonctions de production des puits et sources.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Moyenne	8,1%	7,2%	8,1%	8,5%	8,6%	9,0%	10,2%	9,0%	8,2%	7,6%	7,6%	7,9%

Tableau 3 : Saisonnalité des prélèvements AEP

La répartition proposée dans Tableau 3 s'applique à l'ensemble des sous ensembles du bassin versant du Doux.

Rejets pour AEP

Dans le rapport de phase 2 de la présente étude [2], des taux de rejets ont été calculés, pour chaque bassin versant. La chronique des rejets est ensuite reconstruite, en utilisant la saisonnalité évoquée précédemment.

	Haute vallée du Doux	Moyenne vallée du Doux	Basse vallée du Doux	Daronne	Duzon
Taux de rejet AEP tr	40% sur la production nette (consommée sur place)	60%	0%	55%	65%

Tableau 4 : Taux de rejet AEP dans les différents sous-ensembles

Les volumes rejetés sont alors calculés, à chaque pas de temps :

$$\text{Volume rejeté} = t_r * \text{Volume prélevé}$$

La répartition mensuelle des volumes prélevés et rejetés sur la période 1997 – 2007 est représentée sur les graphiques en page suivante.

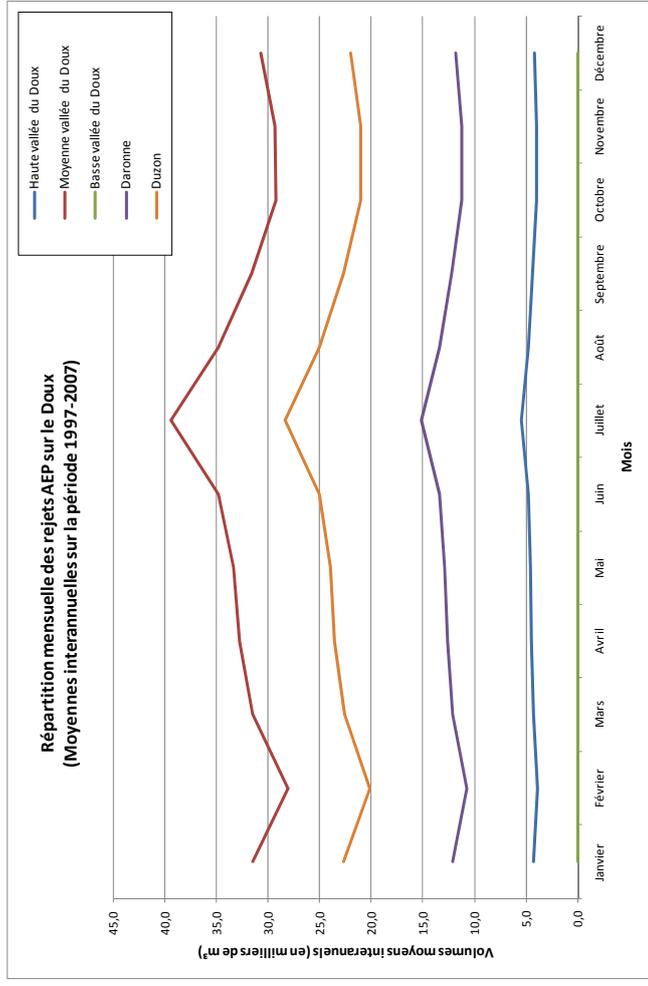
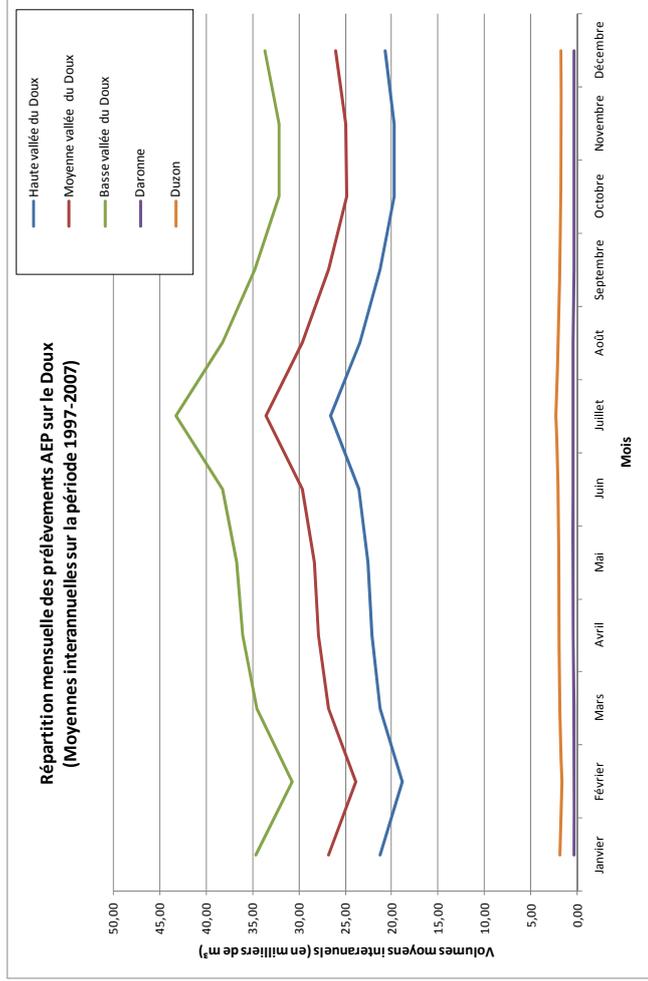


Figure 7 : Répartition mensuelle des volumes AEP prélevés et rejetés sur la période 1997 – 2007



2.4.2 Usages domestiques

Prélèvements pour usage domestique

Les prélèvements pour usage domestique sont calculés à partir des volumes AEP, avec un taux déterminé par Calligée lors de la phase 2 [2].

Rejets pour usage domestique

Le taux de rejet pour ce type d'usage a été déterminé en phase 2 [2] par Calligée, et est égal à 20 % des volumes prélevés pour chacun des grands sous ensembles.

La répartition mensuelle des prélèvements et rejets pour Usages Domestiques sur la période 1997-2007 est représentée sur les graphiques en page suivante.

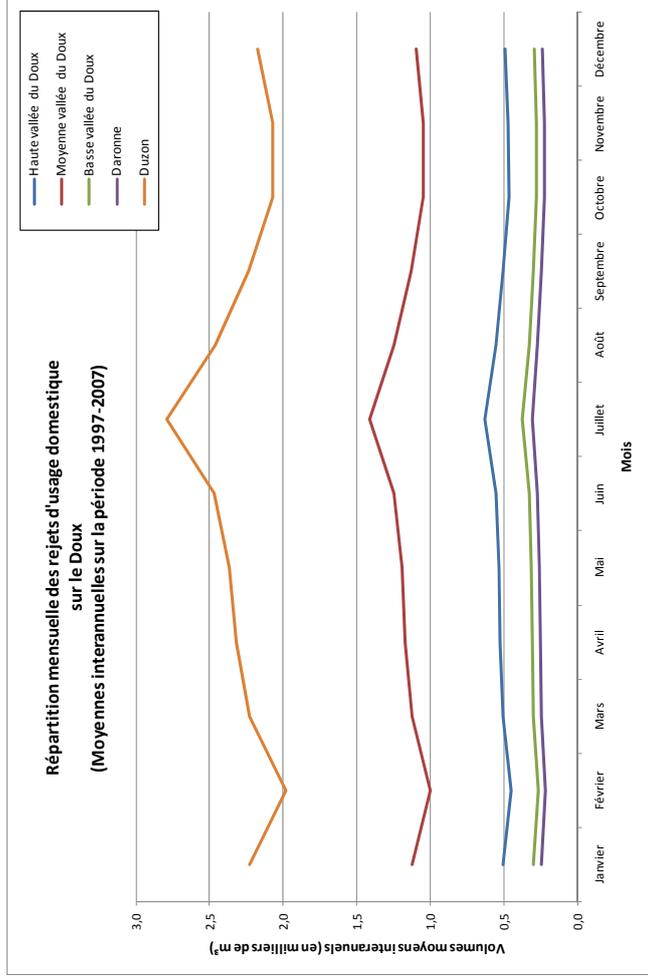
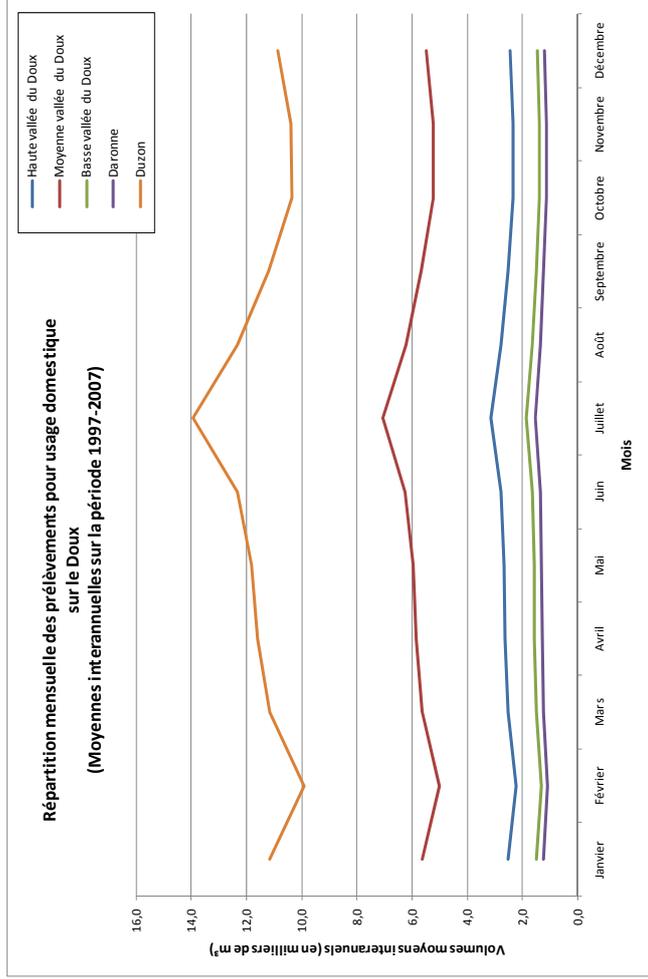


Figure 8 : Répartition mensuelle des prélèvements et rejets pour Usages Domestiques sur la période 1997-2007



2.4.3 Industrie

Aucun prélèvement ni rejet industriel n'a été identifié sur le bassin du Doux en phase 2.

2.4.4 Prélèvements pour l'irrigation

Lors de la phase 2 de la présente étude [2], un bilan annuel moyen des prélèvements pour l'irrigation a été dressé sur la période 1997-2007.

Or, il convient de reconstituer, sur la période d'étude, les chroniques de prélèvements pour l'irrigation sur le bassin versant du Doux à pas de temps décadaire (données ETP fournies au pas de temps décadaire). Un bilan hydrique est alors réalisé.

Le bilan hydrique définit, pour un pas de temps donné, les volumes d'irrigation théoriques nécessaires au développement optimal de la plante en fonction de sa nature, de son lieu d'implantation, l'évapotranspiration potentielle et des précipitations locales.

Caractérisation de l'occupation des sols

Lors de la deuxième phase [2], les surfaces irriguées au niveau des cinq grands sous-ensembles composant le bassin versant du Doux ont été évaluées pour chaque année de la période 1997 - 2007. A titre d'exemple, le Tableau 5 donne les surfaces irriguées pour l'année 2000.

Grand ensemble	Surface du bassin	Surface irriguée
Haute vallée du Doux	158 km ²	42 ha
Moyenne vallée du Doux	223 km ²	521 ha
Basse vallée du Doux	28 km ²	66 ha
Bassin de la Daronne	98 km ²	262 ha
Bassin du Duzon	123 km ²	343 ha
Total	630 km ²	1 234 ha

Tableau 5 : Surfaces agricoles irriguées des différents ensembles du Doux pour l'année 2000 [2]

Les données disponibles dans la base de l'Agence de l'Eau ne sont pas assez précises pour permettre d'établir directement un bilan hydrique qui dépend également du type de cultures irriguées (nature, espèce, surface,...), à l'échelle de chaque grand sous bassin versant.

C'est pourquoi l'étude « Document de référence pour une Irrigation Durable en Ardèche » [4] conduite par le Conseil Général de l'Ardèche a été utilisée pour obtenir la répartition de l'occupation des sols par type de culture sur le bassin versant du Doux :

Culture irriguée	Surface (%)
Abricots	19 %
Céréales	1%
Cerise	24 %
Chataignier	1,3%
Luzerne	1,6%
Mais	30%
Maraichage	0,86%
Peche	8,7%
Petits fruits	4,0 %
Poire	2,6%
Pomme	1,6%
Prairies	3,7%
Prune	0,26%
Sorgho	0,17%
Tournesol	0,17%
Autres	1,1%
Total	100%

Tableau 6: Répartition de la surface agricole du bassin versant du Doux (Source : [4])

Les besoins hydriques des différentes cultures énoncées ci-dessous dépendent du type de plants, de son stade de maturité, du sol sur lequel elle est implantée, du travail préalable de la terre,... Au regard des incertitudes existantes, le niveau de détail semble inadapté et il est pris le parti de regrouper les cultures par famille cultural :

Type de culture irriguée	Surface (%)
Arboriculture	61%
Fourrages	5,3%
Grandes cultures	1,4%
Mais	30%
Maraîchage	0,9%
Autres	1,1%
Total	100%

Tableau 7 : Regroupement des types de cultures irriguées

Bilan hydrique

Les volumes d'irrigation sur la période 1997-2007 ont été déterminés lors de la phase 2 [2] de la présente étude pour chacun des grands sous ensembles du bassin du Doux.

Afin de reconstituer la chronique des prélèvements pour l'irrigation des cultures au pas de temps décadaire, un bilan hydrique est réalisé.

La méthodologie suivante est utilisée, pour les grands sous bassins versants :

- **Etape 1** : détermination des paramètres de calcul du bilan hydrique (ETP, pluviométrie, coefficient cultural, occupation des sols),
- **Etape 2** : réalisation du bilan hydrique en prenant en compte les arrêtés de sécheresse (restrictions concernant les prélèvements en irrigation),
- **Etape 3** : les volumes annuels calculés pour chaque sous ensemble sont ensuite désagrégés au pas de temps décadaire en fonction de la répartition temporelle des besoins théoriques en irrigation déterminés par le bilan hydrique.

❖ **Etape 1** :

Données climatiques : Pluviométrie et évapotranspiration (ETP)

Pour réaliser le bilan hydrique sur le bassin du Doux, les données utilisées (pluviométrie, ETP) sont celles présentées dans les paragraphes précédents.

Le sol et son occupation

Lors d'un événement pluvieux, une partie des précipitations ruisselle tandis que l'autre s'infiltré dans le sol où elles remplissent les pores superficielles jusqu'à saturation avant de percoler vers les horizons profonds. La Réserve Utile (RU, en mm) correspond à l'épaisseur de sol « exploitable » par les plantes pour les besoins en eau.

Toutefois, la plante ne puise pas avec la même facilité l'eau stockée au niveau de la réserve utile qui peut alors être décomposée en :

- la Réserve Facilement Utilisable (RFU), renvoyant à la partie supérieure de la réserve utile. Lorsque le niveau d'eau dans le sol s'inscrit au sein de la RFU, la plante est irriguée à son optimum et l'évapotranspiration réelle (ETR) est égale à l'évapotranspiration maximale (ETM).
- la Réserve de Survie (RS). Lorsque le niveau d'eau dans le sol se situe au niveau de la zone de survie, la plante entre en stress hydrique et est amenée à réguler son évapotranspiration par ses stomates. L'évapotranspiration réelle est alors inférieure à l'évapotranspiration maximale.

La figure suivante illustre les notions de réserves utile et facilement utilisable :

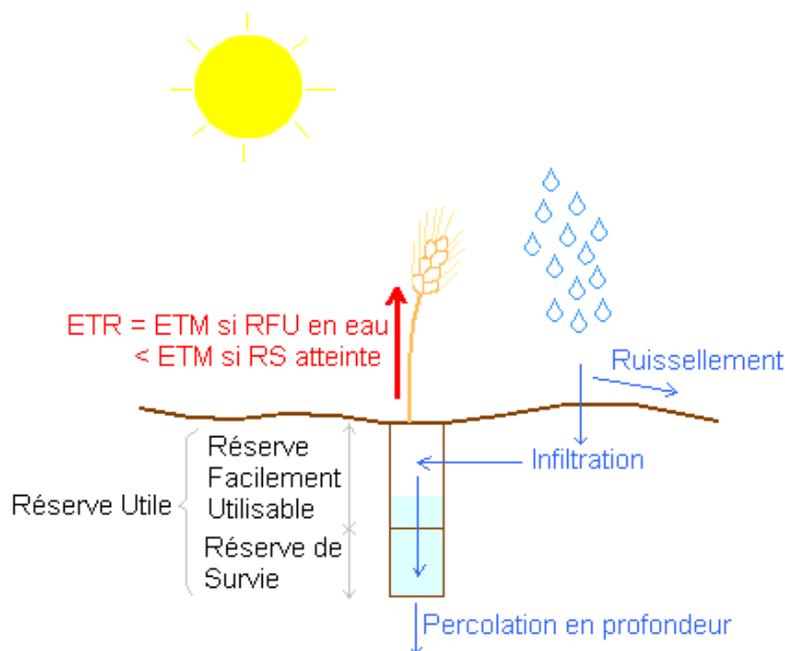


Figure 9 : Schéma explicatif du cycle de l'eau, à l'échelle des plantes

La réserve utile dépend :

- de la nature et de la granulométrie des sols en place. En effet, la capacité de rétention d'un sol est liée à la proportion de fines de ce dernier,
- de la profondeur de l'enracinement. Plus l'enracinement d'une plante est important, mieux elle résiste à une sécheresse.

Sur le bassin du Doux, les sols se composent de sables et d'arènes granitiques. Il s'agit de matériaux perméables filtrants renvoyant à de faibles réserves en eau. Les ordres de grandeurs communs pour de tels sols sont une réserve utile de 60 mm maximum et une réserve facilement utilisable correspondant au 2/3 de la réserve utile (source : [5]).

Ces ordres de grandeur ont été validés par la Chambre d'Agriculture d'Ardèche lors d'un entretien réalisé le 21 janvier 2010. La Chambre d'Agriculture indique alors que la réserve utile sur le bassin du Doux peut être estimée à 50 mm et la réserve facilement utilisable à 30 mm.

Les valeurs retenues sont reprises dans le Tableau 8.

	Valeur choisie
Réserve facilement utilisable (RFU)	30 mm
Réserve utile (RU)	50 mm

Tableau 8 : Valeurs utilisées de la RFU, et RU

Les besoins hydriques de chaque type de culture peuvent être estimés grâce à l'ETM (évapotranspiration maximale). Elle dépend du type de culture, du stade de croissance de la plante, et des conditions météo. Elle peut être calculée à partir de l'ETP, et du coefficient cultural : $ETM = Kc * ETP$, avec Kc : coefficient cultural.

Coefficients culturaux

Les coefficients culturaux propres à chaque culture (source : [6]) sont donnés ci-dessous dans le Tableau 9.

A partir de ceux-ci, on calcule alors un coefficient cultural moyen, pondéré par les surfaces de chaque type de culture².

Mois	Décade	Coefficients culturaux (Kc)					
		Arboriculture	Mais	Maraîchage	Grandes cultures	Fourrages Prairies Luzerne	Kc moyen pondéré par les surfaces
Avril	1	0,4	0	0	0	1	0,31
	2	0,4	0,1	0	0	1	0,34
	3	0,4	0,1	0	0	1	0,34
Mai	1	0,5	0,3	0	0,6	1	0,47
	2	0,5	0,3	0,5	0,6	1	0,47
	3	0,5	0,3	0,5	0,6	1	0,47
Juin	1	0,8	0,6	0,5	0,7	1	0,75
	2	0,9	0,6	0,9	0,7	1	0,81
	3	0,9	0,8	0,9	0,7	1	0,87
Juillet	1	1,1	0,8	0,9	0,7	1	1,00
	2	1,1	0,8	0,9	0,9	1	1,00
	3	1	1,2	0,9	1	1	1,06
Août	1	0,7	1,2	0,9	1	1	0,87
	2	0,7	1,2	0,4	1	1	0,87
	3	0,7	1,2	0,4	1	1	0,87
Sept.	1	0,7	1,2	0,4	0	1	0,86
	2	0,7	0,9	0	0	1	0,76
	3	0,7	0,9	0	0	1	0,76

Tableau 9 : Evolution des coefficients culturaux des cultures du Doux

² Cela revient au même que de faire un bilan hydrique pour chaque type de culture, et de les sommer ensuite.

❖ **Etape 2 :****Calcul du bilan hydrique**

Les paramètres de calcul sont repris dans le Tableau 10.

Paramètres du calcul	Définitions - Choix
Solde initial	C'est la valeur initiale du réservoir d'eau dans le sol prise égale à la valeur moyenne entre RU et RFU (hypothèse d'initialisation début avril, dont les résultats de répartition d'irrigation dépendent peu).
Seuil de déclenchement	Il est choisi égal à $RS = RU - RFU$. Si le niveau de la réserve d'eau est inférieur à ce seuil, il y a déclenchement de l'irrigation.
Irrigation décadaire	Cela correspond à la dose d'irrigation déterminée par calage (voir ci-dessous)
Prise en compte de la sécheresse	Avant 2006, si un arrêté préfectoral a été établi, la dose d'irrigation est réduite de 40%. A partir de 2006, l'arrêté cadre s'applique, et les volumes d'irrigation (hors retenue collinaire et barrage) ont été pris de la façon suivante : <ul style="list-style-type: none"> • en cas de pénurie : 4/7 du bilan théorique, • en cas de pénurie sévère : 3/7 du bilan théorique, • en cas de crise : 0 (irrigation interdite).

Tableau 10 : Paramètres de calcul du bilan hydrique

A chaque pas de temps (décadaire), on effectue la suite d'opérations représentées ci-dessous :

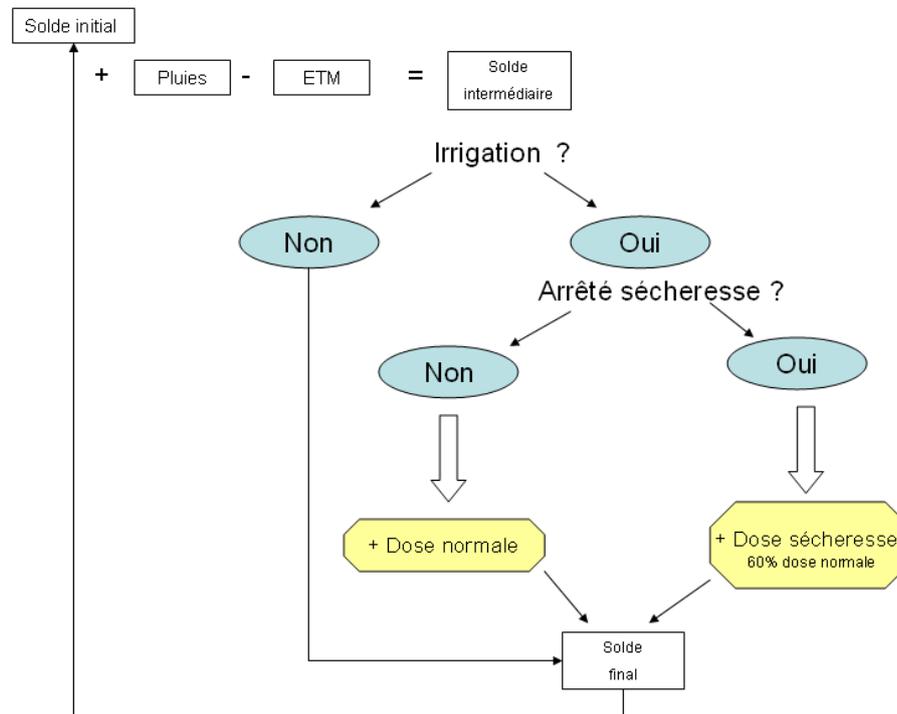


Figure 10 : Etapes de calcul du bilan hydrique

L'irrigation a lieu lorsque la condition suivante s'applique :

$$\text{Solde intermédiaire} < \text{Seuil de déclenchement (= RS)}$$

Si la condition d'irrigation est remplie, alors le réservoir reçoit une dose d'irrigation décadaire, en prenant en compte les arrêts sécheresse pour les prélèvements directs en rivière.

❖ Etape 3 :

Les besoins théoriques en irrigation au pas de temps décadaire étant alors connus, les volumes annuels réellement prélevés déterminés en phase 2 sont ensuite répartis au prorata du profil de répartition théorique sur la période d'étude 1997 – 2007, pour chaque grand sous bassin versant.

Sur la Figure 11 est représentée, à titre illustratif, la répartition journalière des prélèvements en rivière pour l'irrigation sur la Moyenne Vallée du Doux, entre avril et octobre 2001.

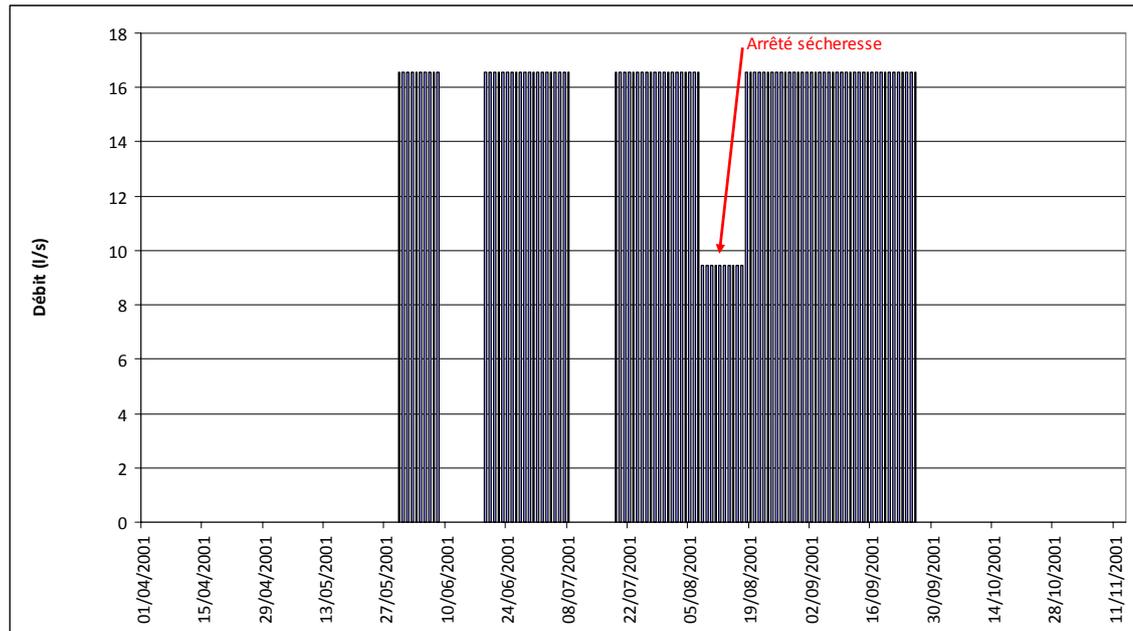


Figure 11 : Répartition journalière des prélèvements en rivière pour l'irrigation sur la Moyenne Vallée – Période estivale 2001 (Année moyenne)

Les volumes décadaires d'irrigation obtenus sont synthétisés dans les tableaux figurant dans les pages suivantes en distinguant les prélèvements directs depuis les rivières (Tableau 11) des prélèvements depuis les retenues collinaires (Tableau 12).

Rejets issus de l'irrigation

Les retours au milieu naturel provenant des prélèvements en eaux superficielles à destination de l'irrigation sont jugés négligeables, compte tenu d'une irrigation sous-optimale par rapport aux besoins théoriques des cultures sur le bassin versant (voir rapport de phase 2).

	Nn ³	Ns ⁴	Npénurie sévère ⁵	Haute Vallée			Moyenne Vallée			Basse Vallée			Daronne			Duzon		
				Norm.	Séch.	Pén. sév.	Norm.	Séch.	Pén. sév.	Norm.	Séch.	Pén. sév.	Norm.	Séch.	Pén. sév.	Norm.	Séch.	Pén. sév.
1997	8	2	0	0,15	0,08		24	14		1,81	1,04		2,29	1,31				
1998	9	2	0	0,10	0,06		17	10		1,28	0,73		1,62	0,92				
1999	10	1	0	0,13	0,07		21	12		1,58	0,90		1,99	1,14				
2000	9	2	0	0,09	0,05		15	9		1,15	0,66		1,45	0,83				
2001	9	1	0	0,09	0,05		14	8		1,08	0,62		1,36	0,78				
2002	6	1	0	0,11	0,06		18	10		1,36	0,78		1,71	0,98				
2003	13	3	0	0,07	0,04		11	6		0,84	0,48		1,06	0,61				
2004	11	2	0	0,07	0,04		12	7		0,92	0,52		1,15	0,66				
2005	6	9	0	0,08	0,04		13	7		0,98	0,56		1,24	0,71				
2006	6	0	7	0,08		0,04	14		6	1,05		0,45	1,32				0,57	
2007	3	1	4	0,06	0,04	0,03	11	6	5	0,81	0,46	0,35	1,02	0,58	0,44			

Tableau 11 : Volumes décennaires d'irrigation (en milliers de m³) en période normale, sécheresse et pénurie sévère sur les sous ensembles du bassin du Doux (**prélèvements directs en rivière**)

³ Nn : Nombre de décades par an, pour lesquelles il y a irrigation en période « normale ».

⁴ Ns : Nombre de décades par an, pour lesquelles il y a irrigation en période de sécheresse.

⁵ Npénurie sévère : Nombre de décades par an, pour lesquelles il y a irrigation en période de pénurie sévère

	Nn ⁶	Haute vallée	Moyenne vallée	Basse vallée	La Daronne	Le Duzon
1997	9	0	57	6	62	59
1998	11	0	40	4	44	42
1999	11	0	57	6	62	60
2000	11	0	42	4	46	44
2001	9	0	49	5	53	51
2002	7	0	57	6	62	59
2003	16	0	37	4	40	38
2004	13	0	44	4	47	45
2005	14	0	43	4	46	44
2006	11	0	50	5	55	52
2007	6	0	45	4	49	47

Tableau 12 : Volumes décennaux d'irrigation (en milliers de m³) en période normale sur les sous ensembles du bassin du Doux
(Prélèvements en retenue collinaire)

⁶ Nn : Nombre de décades par an, pour lesquelles il y a irrigation en période « normale ».

2.5 Prise en compte des retenues collinaires et barrages en rivière dans le modèle hydrologique

2.5.1 Méthodologie

De nombreuses retenues collinaires et barrages en rivière sont présents sur les sous ensembles du bassin du Doux. La tendance depuis 1991 est à l'augmentation du nombre de retenues comme le montre le tableau comparatif ci-dessous :

Sous ensemble	Nombre de réservoirs en 1991 (source [7])	Nombre de réservoirs en 2008 (recensement de la DDT)
Haute vallée	12	40
Moyenne vallée	181	244
Basse vallée	12	21
Daronne	86	99
Duzon	174	234

Tableau 13 : Nombre de retenues collinaires et barrages en rivière sur les sous ensembles du Doux en 1991 et en 2008

L'augmentation significative du nombre des retenues collinaires est principalement liée à la volonté des agriculteurs d'augmenter la productivité et de garantir la régularité des rendements en se protégeant des aléas climatiques. Afin de tenir compte de leur impact sur les débits des cours d'eau, le principe présenté sur la Figure 12 a été retenu pour la modélisation hydrologique.

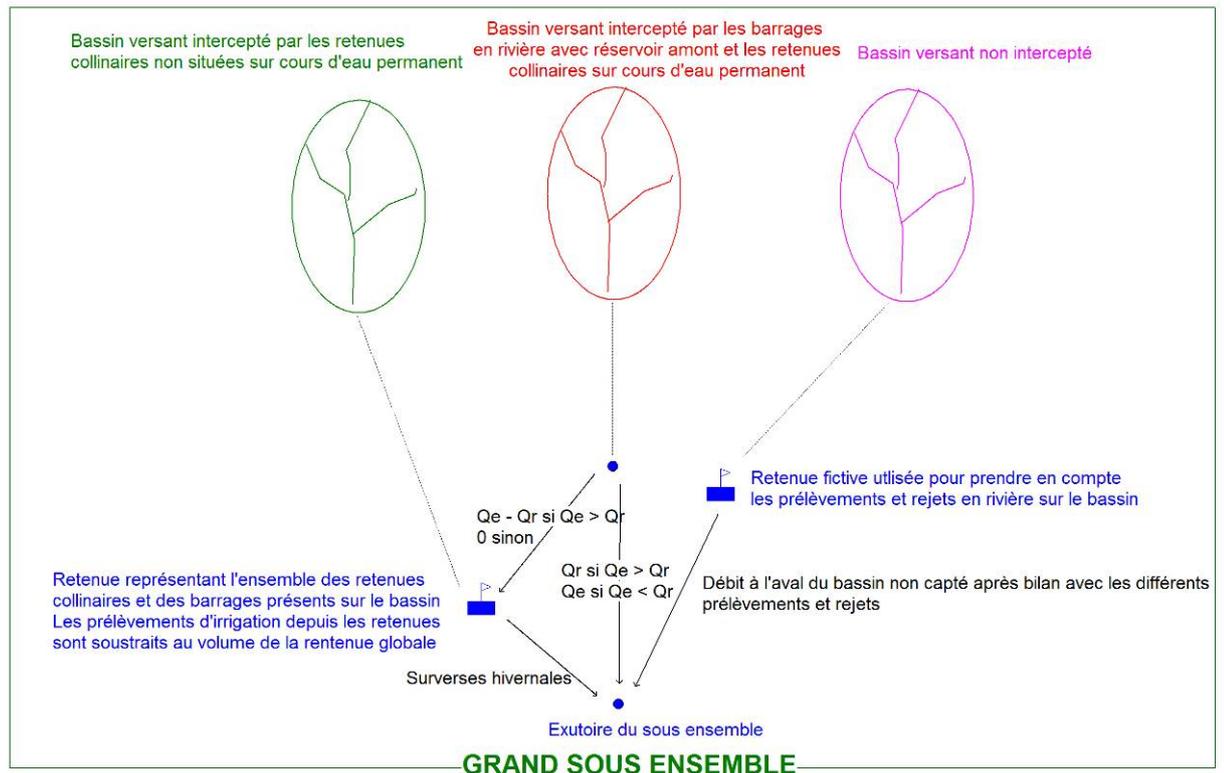


Figure 12 : Schéma de principe de modélisation des grands sous ensembles (avec Q_r : débit réservé et Q_e : débit entrant)

Chacun des grands sous ensembles est séparé en trois bassins versants :

- le premier correspond à la surface du bassin versant non capté par les retenues collinaires et barrages présents,
- le second correspond à la surface du bassin versant capté par les retenues collinaires situées en dehors des cours d'eau permanent (représentés en trait plein bleu sur le SCAN25),
- le troisième correspond aux barrages en rivière (avec stockage amont) et aux retenues collinaires placées sur des cours d'eau permanents.

A l'aval de ces sous bassins, deux réservoirs ont été modélisés :

- **un réservoir fictif** : il sert uniquement à prendre en compte les prélèvements et les rejets dans les cours d'eau pour chacun des grands sous ensembles (à l'aval des bassins versants non captés par les retenues collinaires),
- **un réservoir pour l'ensemble des retenues collinaires et des barrages en rivière** : Les retenues collinaires et barrages modifient l'hydrologie de surface, dans la mesure où des volumes de ruissellement de la période hivernale sont stockés provisoirement et utilisés en période estivale pour l'usage irrigation. Il est donc nécessaire de les prendre en compte. Dans le modèle, un unique réservoir pour chaque grand sous ensemble a été retenu pour prendre en compte l'ensemble des retenues collinaires; son volume est égal à la somme des volumes des retenues sur le grand sous ensemble. Le fonctionnement de la retenue globale tient compte : des apports du bassin versant amont capté, de la somme des prélèvements en irrigation depuis les retenues

collinaires, des débits réservés (uniquement dans le cas des barrages en rivière et des retenues collinaires sur cours d'eau permanent), et des possibles surverses hivernales.

2.5.2 Bassins versants captés

Le rapport d'impact des retenues collinaires [7] de 1991 fournit le nombre de retenues collinaires et barrages en rivière par grand sous ensemble du Doux ainsi que les surfaces captées des bassins versants. Par ailleurs, la DDT a recensé l'ensemble des retenues collinaires et barrages en rivière présents sur le bassin du Doux en 2008 (voir planche 12 en annexe du rapport de phase 1). Les surfaces captées actuelles (2008) ont été déterminées en considérant le rapport entre la surface captée et le nombre de retenues en 1991 et en multipliant ce rapport par le nombre de retenues de 2008 (hypothèse : même taille moyenne de bassin versant capté).

Les barrages en rivière avec stockage amont et les retenues collinaires placées sur des cours d'eau permanents ont été identifiés en superposant la table MAPINFO de positionnement des retenues de la DDT avec le réseau hydrographique du SCAN25. Les cours permanents figurent en trait bleu continu sur le SCAN25.

Les surfaces interceptées et non interceptées pour chaque grand sous ensemble du Doux sont données dans le Tableau 14.

Bassin	Surface non influencée par les retenues collinaires ou barrages en rivière ⁷	Surface captée par les retenues collinaires situées hors cours d'eau permanent	Surface captée par les barrages en rivière ⁸ et retenues collinaires situées sur cours d'eau permanent	Total
Haute vallée du Doux	150 km ²	8 km ²	0 km ²	158 km ²
Moyenne vallée du Doux	182 km ²	27,5 km ²	13,5 km ²	223 km ²
Basse vallée du Doux	26,5 km ²	1,5 km ²	0 km ²	28 km ²
Daronne	74,5 km ²	12,5 km ²	11 km ²	98 km ²
Duzon	86 km ²	30 km ²	7 km ²	123 km ²

Tableau 14 : Surfaces des différents bassins modélisés avec GESRES_{ISL}

⁷ Barrages avec stockage amont

⁸ Barrages avec stockage amont

2.5.3 Débit réservé total des barrages en rivière et des retenues collinaires sur cours d'eau permanent

L'étude « Schéma Départemental d'Hydraulique Agricole de 1992 » [8] propose une carte des débits spécifiques sur le bassin du Doux : sur la haute vallée le module a été évalué à 15,5 l/s/km² et à 14,8 l/s/km² pour les autres grands sous ensembles.

Les débits réservés des barrages en rivière et des retenues sur cours d'eau permanents ont probablement été fixés à partir de ces débits spécifiques, sur la base du dixième du module⁹.

La somme des débits réservés estimés dans les retenues collinaires sur cours d'eau permanent et dans les retenues des barrages en rivière est donnée dans le Tableau 15 pour chacun des grands sous bassins du Doux¹⁰.

Bassin	Somme des débits réservés
Haute vallée du Doux	0
Moyenne vallée du Doux	20 l/s
Basse vallée du Doux	0
Daronne	16 l/s
Duzon	10 l/s

Tableau 15 : Somme des débits réservés dans les retenues collinaires sur cours d'eau permanent et barrages en rivière

⁹ Les valeurs des débits réservés ne sont pas connues de la DDT, de la chambre d'agriculture ou des ASA.

¹⁰ Le respect de ces débits réservés étant incertain, un test de sensibilité sur les résultats obtenus a été réalisé en prenant les débits réservés nuls. Les débits d'étiage VCN10 influencés sont alors plus bas de 5 à 15% selon les années à l'aval des grands sous bassins versants. Les débits naturels sont inchangés.

2.5.4 Volume total stocké dans les retenues des barrages en rivière et dans les retenues collinaires

La somme des volumes stockés dans les retenues collinaires (sur cours d'eau permanent et hors cours d'eau) et dans les retenues des barrages en rivière est donnée dans le tableau suivant pour chacun des grands sous bassins du Doux (source ; données DDT).

Bassin	Volume stocké dans les retenues collinaires et barrages ¹¹
Haute vallée du Doux	19 000 m ³
Moyenne vallée du Doux	879 000 m ³
Basse vallée du Doux	82 000 m ³
Daronne	581 000 m ³
Duzon	731 000 m ³

Tableau 16 : Somme des volumes stockés dans les retenues collinaires et barrages en rivière

¹¹ d'après les données DDT, recensement de 2008

2.6 Calage du modèle hydrologique (en état influencé)

Le calage du modèle est réalisé en état influencé, avec prise en compte de l'impact des usages (prélèvements et rejets), sur les stations hydrométriques du bassin versant.

2.6.1 Initialisation du modèle hydrologique

Le modèle est initialisé le 1^{er} janvier 1997 avec des paramètres standard du modèle pluie-débit GR4J et des retenues et barrages supposés pleins. Un test de sensibilité a été réalisé sur cette hypothèse d'initialisation, montrant qu'elle n'a pas d'impact sur les débits à l'étiage.

2.6.2 Valeurs observées

Dans l'optique du calage du modèle, il est nécessaire de disposer de mesures de débits et/ou de hauteurs d'eau. Le logiciel GESRES/ECRET_{ISL} intègre par exemple une procédure automatique de calage des paramètres du modèle GR4j des bassins versants sur des hydrogrammes mesurés.

Dans notre cas, sur la période étudiée 1997-2007, nous disposons des valeurs mesurées à la station de Colombier-le-Vieux, située en amont de la confluence du Doux et de la Daronne, et à la station de Tournon-sur-Rhône à l'aval du bassin du Doux :

Station	Chronique
Colombier-le-Vieux BV = 378 km ²	1968-1969 et 1978-2009 (les débits ne sont pas connus de janvier 1997 à mars 1998 inclus)
Tournon-sur-Rhône BV = 640 km ²	2004 – 2010 (Sur la période d'étude, la station ne mesure pas les débits supérieurs à 20 m ³ /s et inférieurs à 2 m ³ /s)

Tableau 17 : Stations hydrométriques sur le bassin du Doux en service sur la période 1997-2007 (source Banque Hydro)

2.6.3 Calage à partir des débits mesurés aux différentes stations hydrométriques présentes sur le bassin versant

Le calage est réalisé en adaptant les paramètres des modèles GR4j des bassins versants.

Dans le modèle GR4j, les paramètres à caler sont :

- **A** : hauteur de stockage dans le réservoir A en mm (capacité du réservoir de production) ;
- **B** : hauteur de stockage dans le réservoir B en mm (capacité à un jour du réservoir de routage) ;
- **C** : temps de montée de l'hydrogramme unitaire en heures ;

- **D** : coefficient d'échange avec la nappe ; une valeur négative signifie que le cours d'eau alimente la nappe tandis qu'une valeur positive signifie que la nappe alimente le cours d'eau ;
- **S0/A** : taux de remplissage initial du réservoir A.

Le Cémagref fournit les valeurs standard suivantes pour les différents paramètres, obtenues sur un large échantillon de bassins versants [3] :

Paramètres à caler :	Médiane	Intervalle de confiance à 80%
A	350 mm	[100 ; 1 200]
B	90 mm	[20 ; 300]
C	Dépend du temps de concentration du bassin versant	
D	0 mm	[-5 ; 3]

Tableau 18 : Exemples de valeurs de calage pour le modèle GR4j (source [3])

GESRES_{ISL} compare, en utilisant le critère de Nash, les chroniques de débits mesurés à la station avec la chronique de débit calculé et propose un calage des paramètres du modèle GR4j des bassins amont.

Deux jeux de paramètres GR4j sont obtenus ; le premier assure un meilleur calage du modèle sur la période d'étiage de juin à septembre tandis que le second privilégie un calage global sur l'année entière. Le premier jeu permet ainsi de caler le modèle en vue de déterminer les débits caractéristiques d'étiage du Doux et de ses affluents (VCN et QMNA) alors que le deuxième jeu servira à déterminer le module interannuel et le débit médian.

Calage des paramètres GR4j sur l'année entière

Le calage des paramètres GR4j sur l'année entière est réalisé en comparant le module interannuel et le débit médian, obtenus par ajustements statistiques¹² des débits mesurés à la station hydrométrique de Colombier-le-Vieux à ceux obtenus par ajustement statistique des débits calculés par le modèle hydrologique.

Le Tableau 19 donne le module et le débit médian obtenus à partir des débits calculés par le modèle et à partir des débits mesurés à la station hydrométrique de Colombier-le-Vieux, située à l'exutoire de la moyenne vallée du Doux. Les valeurs sont proches dans le deux cas.

¹² Ajustement par une loi log-normale

Source	Module (m ³ /s)	Débit médian (m ³ /s)
Station hydrométrique de Colombier-le-Vieux	4,2	2,2
Modèle hydrologique en état influencé à l'aval de la moyenne vallée	4,1	1,9

Tableau 19 : Module et débit médian obtenus à partir des valeurs mesurées à la station hydrométrique de Colombier-le-Vieux (1999-2007) et à partir des résultats du modèle hydrologique

Le jeu de paramètres minimisant l'écart avec les volumes mesurés est fourni en annexe 4.

Pour l'utilisation du modèle, ces mêmes paramètres ont été ensuite extrapolés à l'ensemble des bassins versants : pour vérifier cette hypothèse, le module et le débit médian obtenus à partir des débits calculés à l'aval de la basse vallée sont comparés aux valeurs obtenues à partir des débits mesurés à la station de Tournon-sur-Garonne située également en aval du Doux (cf. paragraphe 3.1, page 7). Les valeurs obtenues dans de précédentes études seront également confrontées aux résultats du modèle hydrologique.

Calage des paramètres GR4j sur la période d'étiage

Le calage des paramètres GR4j sur la période d'étiage est réalisé en comparant les débits caractéristiques d'étiage, QMNA et VCN, obtenus par ajustement statistique¹³ des débits mesurés à la station hydrométrique de Colombier-le-Vieux à ceux obtenus par ajustement statistique des débits calculés par le modèle hydrologique en état influencé.

Le Tableau 20 donne les débits caractéristiques d'étiage obtenus à partir des débits calculés par le modèle et à partir des débits mesurés à la station hydrométrique de Colombier-le-Vieux, située à l'exutoire de la moyenne vallée du Doux. Les valeurs obtenues à partir du modèle hydrologique diffèrent de celles provenant de la station hydrométrique, bien que comprises dans l'intervalle de confiance à 90 %. Cette différence s'explique par les valeurs nulles du VCN3 et du QMNA de 2003 obtenues à partir des débits mesurés à la station hydrométrique alors que le modèle hydrologique donne des débits minimaux de l'ordre 30 l/s à l'étiage 2003. Les valeurs de débits lors de l'étiage 2003 sont cependant jugées incertaines par le gestionnaire de la station, ainsi que celles des étiages de 1999 et 2005. On constate par ailleurs que les ajustements réalisés sur les valeurs caractéristiques (VCN10 et QMNA) issues des débits mesurés par la station hydrométrique sont beaucoup moins bons que ceux réalisés à partir des débits caractéristiques issus du modèle (cf. Figure 13).

On conserve cependant l'année 2003 pour le calage du modèle qui, bien que non calée sur les débits d'étiage mesurés, correspond à l'année où les VCN10 et QMNA calculés sont les plus faibles sur la période d'étude.

¹³ Ajustement par une loi log-normale

Source	VCN10 (l/s)		QMNA (l/s)	
	2 ans	5 ans sec	2 ans	5 ans sec
Station hydrométrique de Colombier-le-Vieux	65 [50 ; 162]	16 [18, 70]	192 [78 ; 469]	55 [16 ; 128]
Modèle hydrologique en état influencé à l'aval de la moyenne vallée	100 [74 ; 136]	65 [42 ; 87]	154 [107 ; 220]	93 [57 ; 131]

Tableau 20 : Débits caractéristiques d'étiage et intervalles de confiance à 90 % obtenus à partir des valeurs mesurées à la station hydrométrique de Colombier-le-Vieux (1998-2007) et à partir des résultats du modèle hydrologique

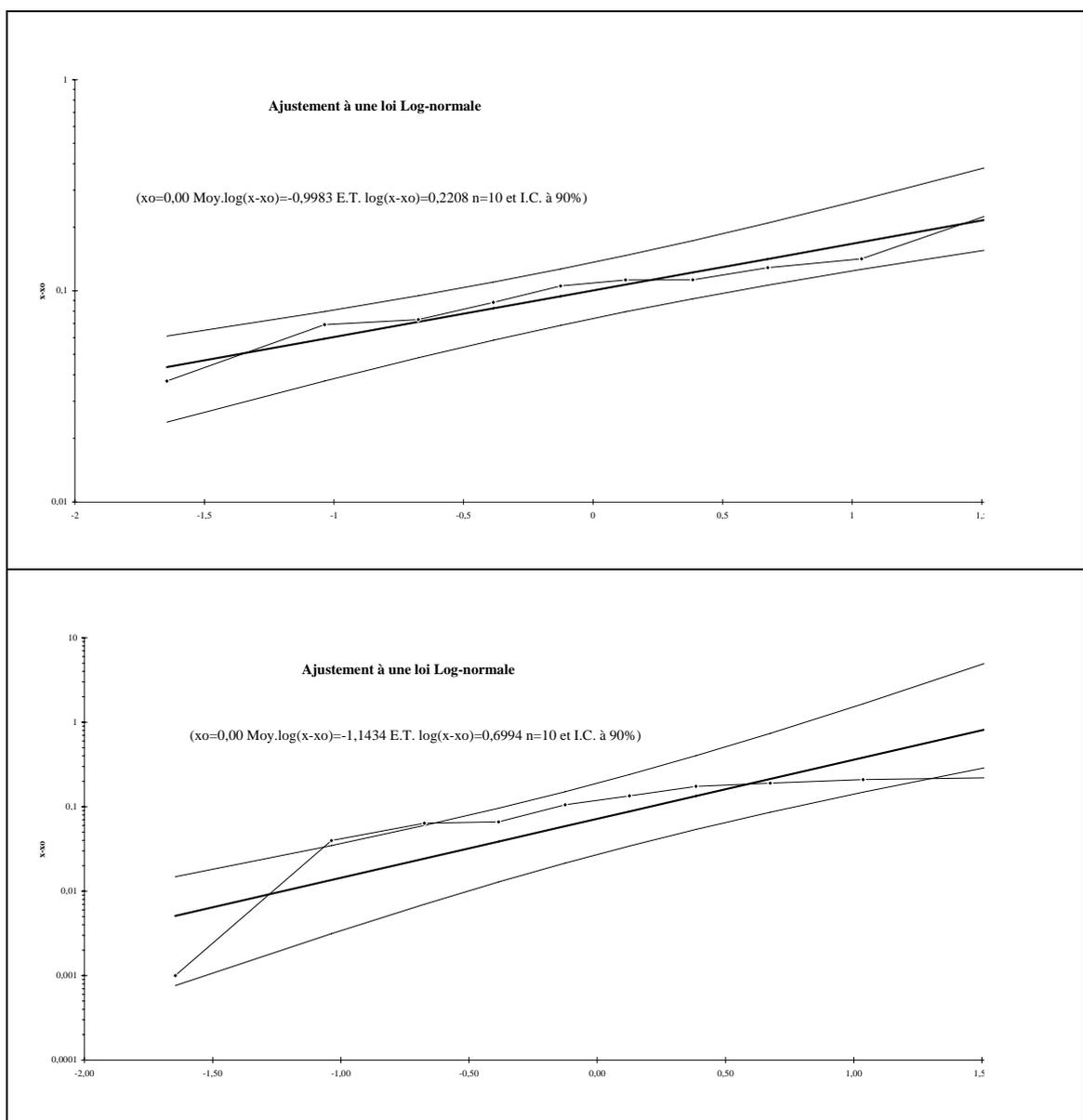


Figure 13 : Ajustements à une loi log-normale des VCN10 obtenus à partir des débits calculés par le modèle hydrologique (figure du haut) et à partir des débits mesurés à la station de Colombier-le-Vieux (figure du bas)

Le jeu de paramètres minimisant l'écart avec les volumes mesurés est donné en annexe 4.

Pour l'utilisation du modèle, ces mêmes paramètres ont été ensuite extrapolés à l'ensemble des bassins versants : les débits caractéristiques d'étiage obtenus sont ensuite confrontés aux jaugeages disponibles, aux observations des débits d'étiage du Réseau d'Observation de Crise des Assecs (ROCA) et aux résultats d'autres études (cf. paragraphe 3.2, page 44).

3 RESULTATS

Les résultats du modèle hydrologique en état influencé et non influencé (naturel) présentés par la suite sont regroupés en deux catégories qui traitent :

- des valeurs moyennes annuelles : module interannuel et débit médian ;
- des valeurs caractéristiques d'étiage : VCN10 et QMNA.

L'hydrologie non influencée est obtenue en enlevant l'influence des usages (prélèvements, rejets, retenues et barrages) du modèle hydrologique influencé, qui a fait l'objet d'un calage sur les valeurs mesurées aux stations hydrométriques.

Les résultats présentés ont des incertitudes, liées notamment :

- au calage du modèle hydrologique sur les stations hydrométriques existantes et à l'extrapolation des paramètres du modèle aux autres bassins versants ne disposant pas de stations,
- à la connaissance des prélèvements et rejets, leur répartition spatiale et temporelle, qui reste perfectible.

3.1 Module interannuel et débit médian

Ce paragraphe vise à déterminer le module interannuel et le débit médian en différents points du bassin du Doux en considérant l'hydrologie influencée et non influencée.

Le module interannuel est la moyenne des débits annuels ; il permet de caractériser l'écoulement d'une année « moyenne ».

Le débit médian est estimé à partir des débits journaliers sur la période d'étude : 50 % des valeurs sont supérieures à la médiane et 50 % lui sont inférieures.

3.1.1 Hydrologie influencée

Résultats

Le Tableau 21 donne le module interannuel et le débit médian à l'exutoire des grands sous bassins versants du Doux (bassins versants cumulés) en état influencé.

Grand sous bassin	Surface (km ²)	Module interannuel (m ³ /s)			Débit médian (m ³ /s)
		Module	« 1/10 »	« 1/40 »	
Haute Vallée	158	1,55 [1,4 ; 1,7]	0,16	0,04	0,81 [0,8 ; 0,85]
Moyenne Vallée	380	3,87 [3,2 ; 4,8]	0,39	0,10	1,83 [1,78 ; 1,89]
Basse Vallée	630	6,01 [4,8 ; 7,7]	0,6	0,15	2,8 [2,72 ; 2,88]
Daronne	98	0,73 [0,6 ; 0,9]	0,07	0,02	0,34 [0,33 ; 0,35]
Duzon	123	1,21 [0,9 ; 1,7]	0,12	0,03	0,52 [0,5 ; 0,54]

Tableau 21 : Module interannuel et débit médian à l'exutoire des grands sous bassins versants du Doux en état influencé et intervalle de confiance à 90 %

Par ailleurs, le module et le débit médian sont également donnés en **annexe 6** pour les 9 stations de mesure du débit minimum biologique (stations ESTIMHAB) dont les sites d'implantation ont été localisés lors de la **phase 1** de la présente étude.

Les valeurs sont obtenues à partir des débits caractéristiques à l'exutoire des grands sous bassins versants (Tableau 21) et au prorata des surfaces des bassins versants.

L'emplacement des points ESTIMHAB est donné sur la Figure 14.

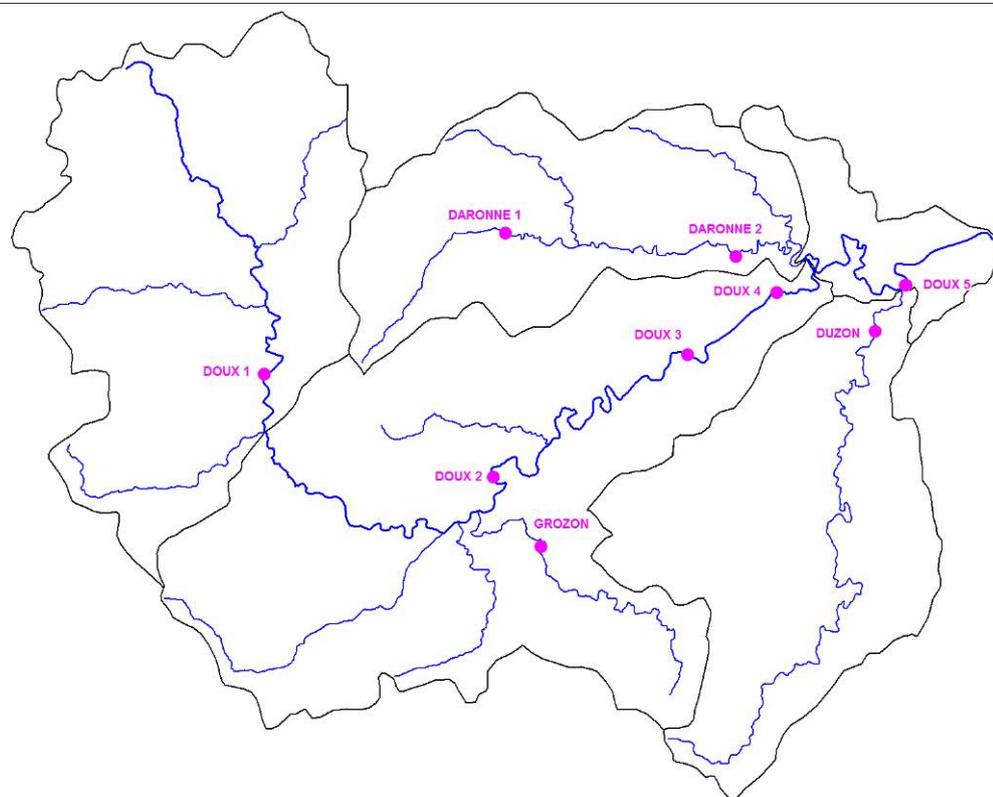


Figure 14 : Localisation des stations de mesure du débit minimum biologique (stations ESTIMHAB) sur le bassin du Doux

Comparaison aux données existantes

A l'aval du bassin versant du Doux, le module interannuel issu des chroniques de débits mesurés à la station hydrométrique de Tournon-sur-Rhône a été comparé avec le module interannuel calculé à partir des débits fournis par le modèle hydrologique pour vérifier le calage des paramètres. On rappelle cependant que la station de Tournon-sur-Rhône ne permet de mesurer les débits en dessous de $2,13 \text{ m}^3/\text{s}$ (période d'étiage) et au-delà de $20,7 \text{ m}^3/\text{s}$; et que les mesures ne sont effectuées que depuis 2004. Pour la comparaison, les modules interannuels ont donc été calculés sur la période 2004-2007 et en retirant les dates où les débits étaient supérieurs à $20,7 \text{ m}^3/\text{s}$ et inférieurs à $2,13 \text{ m}^3/\text{s}$. On obtient, d'après les chroniques de débits mesurés, un débit interannuel de $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$ contre $5 \text{ m}^3/\text{s}$ dans le cas des chroniques de débits calculés.

Il semblerait donc que la partie aval (Daronne, Duzon et Basse Vallée) soit plus « productrice » (en dehors de la période d'étiage) que la partie amont du bassin du Doux (Haute Vallée et Moyenne Vallée). Le module interannuel du Duzon et de la Daronne issu du modèle hydrologique sont peut-être légèrement sous estimés ; les tableaux du Réseau d'Observation de Crise des Assecs (ROCA) donnent un module de la Daronne de $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$

à sa confluence avec le Doux (cf. **annexe 7**) alors que le module calculé à partir des débits fournis par le modèle est de 0,73 m³/s. En l'absence de données complémentaires, il est difficile de caler avec précision les paramètres GR4j des grands sous bassins de la partie aval du bassin du Doux.

L'étude « Schéma Départemental d'Hydraulique Agricole de 1992 » [8] propose par ailleurs une carte des débits spécifiques sur le bassin du Doux : sur la haute vallée le module a été évalué à 15,5 l/s/km² d'après les débits mesurés à la station hydrométrique de Pont du Verger sur la période 1953-1963 et à 14,8 l/s/km² pour les autres grands sous ensembles d'après les débits mesurés à la station hydrométrique de Colombier-le-Vieux sur la période 1978-1990. Le module interannuel à l'exutoire des grands sous bassins versants du Doux est donné dans le Tableau 22.

Lieu	Module interannuel estimé par [8]
Haute Vallée	2,37 m ³ /s
Moyenne Vallée	5,62 m ³ /s
Basse Vallée	9,32 m ³ /s
Daronne	1,45 m ³ /s
Duzon	1,82 m ³ /s

Tableau 22 : Module interannuel en différents points du bassin du Doux en état non influencé d'après l'étude « Schéma Départemental d'Hydraulique Agricole de 1992 » [8]

Dans l'ensemble, les valeurs issues de l'étude « Schéma Départemental d'Hydraulique Agricole de 1992 » [8] sont supérieures à celles obtenues à partir du modèle hydrologique sur la période 1997-2007.

Le modèle hydrologique étant bien calé à Colombier-le-Vieux, les différences proviendraient a priori de deux causes :

- L'hydrologie serait moins soutenue sur la période étudiée que précédemment (d'après les modules à la station hydrométrique de Colombier-le-Vieux),
- La modélisation des bassins versant aval semble conduire à des débits moyens interannuels trop faibles (voir précédemment).

3.1.2 Hydrologie non influencée

Résultats

Le Tableau 23 donne le module interannuel et le débit médian à l'exutoire des grands sous bassins versants du Doux (bassin versant cumulé) en état non influencé.

Grand sous bassin	Surface (km ²)	Module interannuel (m ³ /s)			Débit médian (m ³ /s)
		Module	« 1/10 »	« 1/40 »	
Haute Vallée	158	1,55 [1,4 ; 1,7]	0,16	0,04	0,82 [0,8 ; 0,85]
Moyenne Vallée	380	3,91 [3,2 ; 4,8]	0,39	0,1	1,91 [1,85 ; 1,96]
Basse Vallée	630	6,09 [4,9 ; 7,7]	0,61	0,15	2,96 [2,88 ; 3,05]

Daronne	98	0,75 [0,6 ; 1]	0,07	0,02	0,37 [0,36 ; 0,38]
Duzon	123	1,22 [0,9 ; 1,7]	0,12	0,03	0,55 [0,53 ; 0,57]

Tableau 23 : Module interannuel et débit médian à l'exutoire des grands sous bassins versants du Doux en état non influencé et intervalle de confiance à 90 %

L'impact cumulé (diminution des débits) des différents prélèvements et rejets, des retenues collinaires et barrages en rivière est très faible sur le débit médian et le module interannuel. Pour la haute vallée, la Daronne et le Duzon, l'impact est inférieur à 1 %, pour la moyenne vallée et la basse vallée, l'impact est compris entre 1 et 3%.

Le module et le débit médian en état non influencé sont également donnés en **annexe 6** pour les 9 stations de mesure du débit minimum biologique (stations ESTIMHAB).

Comparaison aux données existantes

L'étude d'impact des retenues collinaires sur le bassin du Doux de 1991 [7], propose une des valeurs du module interannuel en état non influencé en différent point du bassin du Doux (cf. Tableau 24). Ces valeurs sont obtenues à partir des débits mesurés à la station de Pont-de-Verger (haute vallée) sur la période 1953–1963 et en appliquant un rapport de surface entre bassins versants.

Lieu	Module interannuel obtenu Période 1953-1963
Le Doux à Colombier-le-Vieux	5,43 m ³ /s
La Daronne à son exutoire	1,31 m ³ /s
Le Duzon à son exutoire	1,69 m ³ /s
Le Doux à Tournon	8,60 m ³ /s

Tableau 24 : Module interannuel en différents points du bassin du Doux en état non influencé calculé sur la période 1953–1963 (source : [7])

Dans l'ensemble, les valeurs issues de l'étude d'impact des retenues collinaires [7] sur la période 1953-1963 sont supérieures à celles obtenues à partir du modèle hydrologique sur la période 1997-2007.

Les différences proviendraient à la fois d'une baisse de l'hydrologie moyenne et de débits moyens modélisés sur la partie aval trop faible par rapport à la réalité.

3.1.3 Influence des usages de l'eau sur l'hydrologie moyenne

La figure suivante présente l'impact des usages de l'eau sur l'hydrologie moyenne (module). L'impact est très faible, mais perceptible de manière cumulée à l'exutoire du bassin du Doux (module influencé : 6,0 m³/s, module non influencé : 6,1 m³/s).

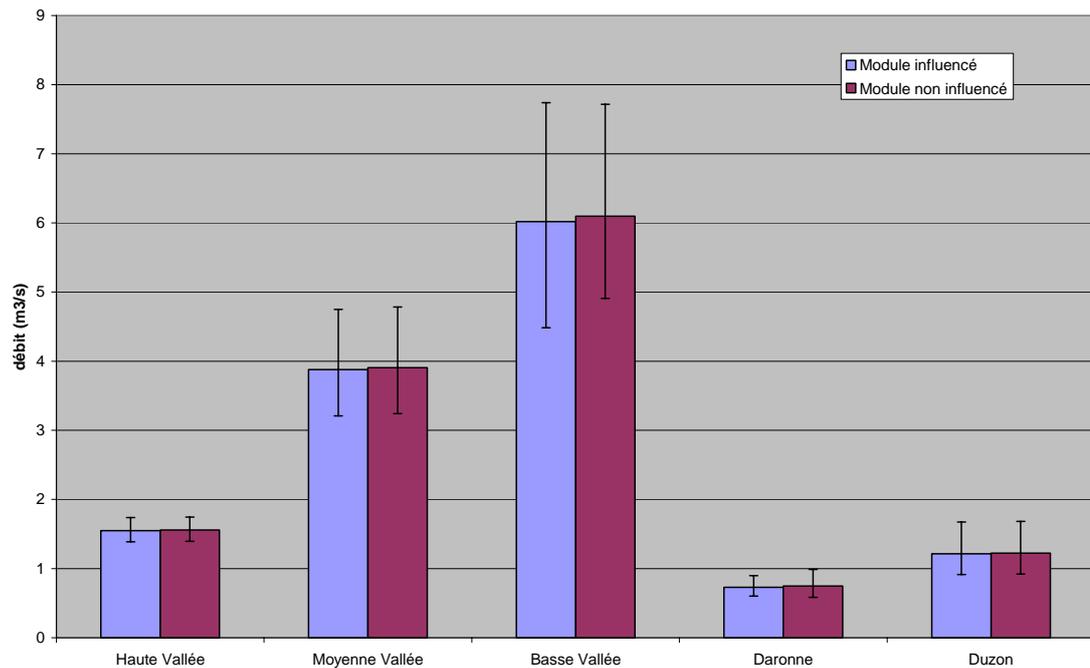


Figure 15 : Comparaison des modules en hydrologie influencée et naturelle (non influencée). Les barres représentent l'intervalle de confiance à 90%

3.2 Débits caractéristiques d'étiage

Ce paragraphe vise à déterminer les débits caractéristiques d'étiage en différents points du bassin du Doux en considérant l'hydrologie influencée et non influencée :

- VCN10 : le VCN10 d'une année est le débit minimal ("moyen") calculé sur 10 jours consécutifs ;
- QMNA : le QMNA est le débit mensuel minimal annuel.

Les valeurs annuelles de VCN10 et QMNA ainsi que les ajustements statistiques sur la chronique 1997-2007 sont donnés en **annexe 5**.

A partir de ces valeurs annuelles, des ajustements statistiques (loi log-normale dite loi de « Galton ») sont réalisés pour déterminer les VCN10 et QMNA en année biennale et en année quinquennale sèche.

3.2.1 Hydrologie influencée

Résultats

Le Tableau 25 donne les débits caractéristiques d'étiage à l'exutoire des grands sous bassins versants du Doux (bassins versants cumulés) en état influencé.

Les débits caractéristiques d'étiage en état influencé sont également donnés en **annexe 6** pour les 9 stations de mesure du débit minimum biologique (stations ESTIMHAB).

Grand sous bassin	Surface (km ²)	VCN10 (l/s)		QMNA (l/s)	
		2 ans	5 ans	2 ans	5 ans
Haute Vallée	158	50 [39 ; 64]	34 [24 ; 43]	76 [56 ; 103]	48 [31 ; 64]
Moyenne Vallée	380	92 [68 ; 125]	58 [38 ; 78]	150 [110 ; 210]	92 [58 ; 126]
Basse Vallée	630	158 [121 ; 205]	107 [75 ; 138]	247 [180 ; 340]	154 [100 ; 209]
Daronne	98	25 [20 ; 33]	17 [12 ; 22]	37 [27 ; 50]	23 [15 ; 31]
Duzon	123	41 [33 ; 50]	30 [22 ; 36]	58 [42 ; 80]	36 [23 ; 49]

Tableau 25 : Débits caractéristiques d'étiage à l'exutoire des grands sous bassins versants du Doux en état influencé et intervalle de confiance à 90%

Comparaison aux données existantes

La comparaison des résultats du modèle avec des débits de jaugeages proposée dans ce paragraphe est donnée à titre indicatif, à considérer comme une vérification des ordres de grandeur. En effet, de par leur nature ponctuelle dans le temps et dans l'espace, leur incertitude de mesure (couramment 10-15% pour un bon jaugeage), les jaugeages sont difficilement comparables aux résultats du modèle hydrologique qui sont des valeurs journalières moyennes, prenant en compte des prélèvements et rejets lissés sur 10 jours (irrigation) ou sur le mois (autres prélèvements).

ISL a réalisé le 28 août 2009, hors période d'étude (1997-2007), une campagne de jaugeages en différents points du bassin du Doux. Les valeurs de débits et la localisation du jaugeage figurent dans le Tableau 26.

Localisation	heure	Débit (l/s)
Le Doux en aval du Taillarès (Haute vallée)	8h	125
L'Aygueneyre à la confluence avec le Doux (Haute vallée)	9h15	35
Le Douzet à la confluence avec le Doux (Haute vallée)	10h	28
Le Doux en amont de la confluence avec la Sumène (Moyenne vallée)	11h30	239
Le Doux en aval du Grozon (Moyenne vallée)	14h30	263
La Daronne à sa confluence avec le Doux	10h30	0
Le Duzon à sa confluence avec le Doux	11h	0
Le Doux à Saint-Jean-de-Muzols (Basse vallée)	12h30	18

Tableau 26 : Jaugeages réalisés par ISL le 28 août 2009 sur le bassin du Doux

Lors de la campagne de jaugeage, la Daronne et le Duzon étaient à sec.

Le même constat ressort des données issues du ROCA (cf. **annexe 7**) pour l'année 2005 du 11 juillet au 4 septembre où les débits étaient nuls. L'état récapitulatif des débits de référence d'étiage de la DREAL.¹⁴ propose également des valeurs nulles de QMNA (5ans sec) à l'aval des bassins du Duzon et de la Daronne.

¹⁴ Source : http://www.rdbmrc-travaux.com/spge/site_v2/IMG/pdf/qmna5-l3.pdf

Il semblerait donc que les valeurs des débits caractéristiques d'étiage obtenues à partir du modèle hydrologique en état influencé soient surestimées pour les bassins de la Daronne et du Duzon. Cet écart peut s'expliquer par la combinaison de plusieurs facteurs :

- un éventuel non respect des débits réservés de certains barrages et retenues collinaires en rivière (Daronne : 16 l/s, Duzon : 10 l/s), l'impact étant évalué entre 5 et 15% sur le VCN10,
- une sous estimation des différents volumes prélevés ou une surestimation des rejets,
- les difficultés du modèle hydrologique à se caler sur des débits nuls ou quasi nuls (interactions avec la nappe).

Pour l'état influencé du bassin Doux, il est donc recommandé de considérer des débits caractéristiques d'étiage (VCN et QMNA) nuls pour ces deux grands sous bassins versants que sont le Duzon et la Daronne.

3.2.2 Hydrologie non influencée

Résultats

Le Tableau 27 donne les débits caractéristiques d'étiage à l'exutoire des grands sous bassins versants du Doux en état non influencé.

Grand sous bassin	Surface (km ²)	VCN10 (l/s)		QMNA (l/s)	
		2 ans	5 ans	2 ans	5 ans
Haute Vallée	158	57 [46 ; 70]	42 [31 ; 51]	84 [64 ; 110]	56 [39 ; 73]
Moyenne Vallée	380	122 [95 ; 156]	84 [66 ; 107]	185 [137 ; 250]	118 [78 ; 153]
Basse Vallée	630	201 [158 ; 257]	140 [100 ; 177]	305 [225 ; 413]	194 [128 ; 260]
Daronne	98	30 [23 ; 38]	21 [15 ; 26]	43 [32 ; 57]	28 [19 ; 37]
Duzon	123	42 [32 ; 55]	28 [19 ; 37]	63 [44 ; 88]	38 [24 ; 52]

Tableau 27 : Débits caractéristiques d'étiage à l'exutoire des grands sous bassins versants du Doux en état non influencé et intervalle de confiance à 90 %

Les débits caractéristiques d'étiage en état non influencé sont également donnés en **annexe 6** pour les 9 stations de mesure du débit minimum biologique (stations ESTIMHAB).

En se basant sur les résultats du modèle hydrologique, l'impact cumulé (diminution des débits) des prélèvements, rejets, retenues collinaires et barrages en rivière est de l'ordre de 15 à 25 % sur la Daronne, la moyenne vallée et la basse vallée du Doux. Sur la haute vallée, l'impact est plus faible, de l'ordre de 10 à 20 %. Enfin sur le Duzon, l'importance des rejets, notamment les rejets AEP issus de prélèvement depuis la nappe du Rhône, compense voire prédomine sur l'impact des différents prélèvements et sur l'impact des retenues collinaires et barrages en rivière.

En réalité, comme nous l'avons expliqué au paragraphe précédent en comparant les résultats du modèle hydrologique aux jaugeages et aux données du ROCA, l'impact de l'activité humaine sur l'hydrologie des bassins de la Daronne, du Duzon et de la basse vallée est plus important : certaines années, le Duzon et la Daronne peuvent en effet s'assécher complètement pendant plusieurs semaines, voire un mois.

Comparaison aux données existantes

L'étude d'impact des retenues collinaires sur le bassin du Doux de 1991 [7], propose des valeurs du module interannuel en état non influencé en différent point du bassin du Doux (cf. Tableau 28). Ces valeurs sont obtenues à partir des débits mesurés à la station de Pont-de-Verger (haute vallée) sur la période 1953–1963 et en appliquant un rapport de surface entre bassins versants.

Lieu	VCN10 (l/s) - Période 1953-1963	
	2 ans	5 ans sec
Le Doux à Colombier-le-Vieux	290	96
La Daronne à son exutoire	25	8
Le Duzon à son exutoire	52	17
Le Doux à Tournon	368	122

Tableau 28 : VCN10 en différents points du bassin du Doux en état non influencé calculé sur la période 1953–1963 (source : [7])

Les débits caractéristiques d'étiage issus de l'étude d'impact des retenues collinaires [7] et calculés sur la période 1953-1963 sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus à partir du modèle hydrologique sur la période 1997-2007.

3.2.3 Comparaison de l'hydrologie influencée et de l'hydrologie naturelle à l'étiage

La figure ci-après présente la comparaison de l'hydrologie influencée et non influencée à l'étiage (QMNA5).

L'impact cumulé des usages est une réduction des débits d'étiage QMNA5 estimé à 14% en Haute Vallée, 23% à l'aval de la Moyenne Vallée, 18% sur la Daronne, 5% sur le Duzon et 20% à l'aval du bassin du Doux.

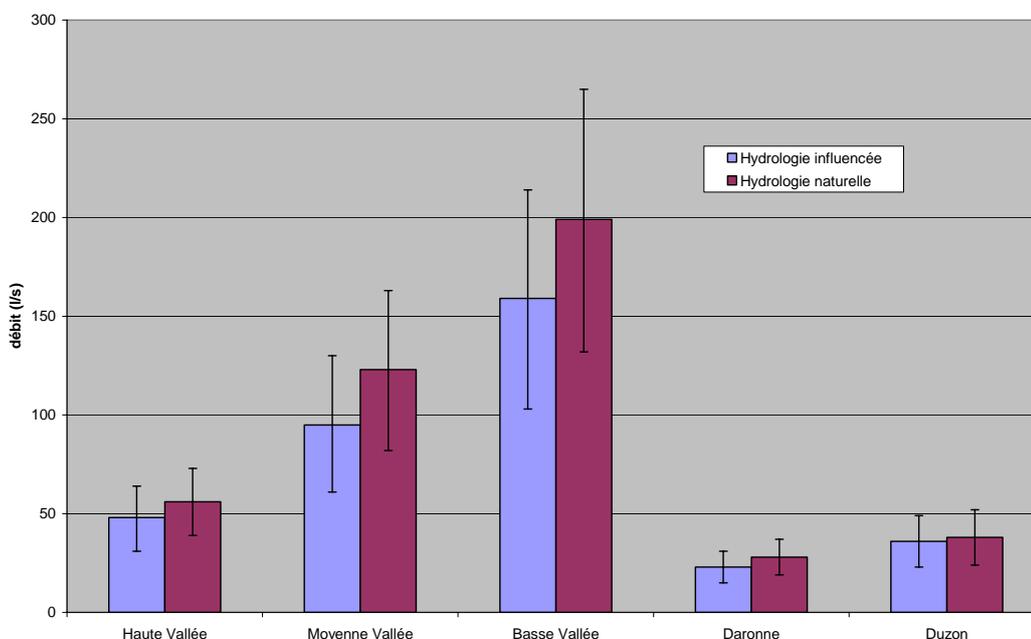


Figure 16 : Comparaison de l'hydrologie naturelle et de l'hydrologie influencée à l'étiage – QMNA5 et intervalle de confiance à 90%

ANNEXE 1
Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Etude de détermination des volumes prélevables – Bassin versant du Doux, rapport de phase 1, version 3, ISL, mars 2010
- [2] Etude de détermination des volumes prélevables – Bassin versant du Doux, rapport de phase 2, version 3, ISL, août 2010
- [3] Modèles hydrologiques du Génie Rural (GR), Cemagref, Juin 2007
- [4] Document de référence pour une Irrigation Durable en Ardèche, BR Conseil, 2009
- [5] Irrigation - Guide pratique, L. Rieul, P. Ruelle, Cemagref, 2003 – 3^{ème} édition
- [6] Inventaire des prélèvements et des besoins en eau d'irrigation agricole sur le département de l'Ardèche, Rapport de la Chambre d'Agriculture de l'Ardèche, 2004
- [7] Etude de l'impact des retenues collinaires sur les étiages dans le bassin du Doux, CIPEA, novembre 1991
- [8] Schéma départemental d'hydraulique agricole, étude des ressources en eau, Service Régional de l'Aménagement des Eaux Rhône-Alpes, février 1992

ANNEXE 2
Présentation de GESRES_{ISL}

Présentation succincte du logiciel GESRES_{ISL}

Le Logiciel GESRES_{ISL} sera utilisé. Il s'agit d'un modèle de simulation hydrologique et hydraulique.

Le code de calcul s'articule autour de trois modules:

- le **module hydrologique** réalise la transformation pluie-débit sur une distribution de bassins versants,
- le **module de propagation** réalise la propagation et la combinaison des débits résultant de la transformation pluie-débit dans le réseau hydrographique,
- le **module gestion des réservoirs** permet d'intégrer une gestion fine des ouvrages-réservoirs disposés sur le réseau hydrographique et d'associer à chacun des nœuds prélèvements et apports.

Le modèle peut aussi bien être utilisé pour des simulations « événementielles » que pour des simulations « continues » sur des périodes de plusieurs années.

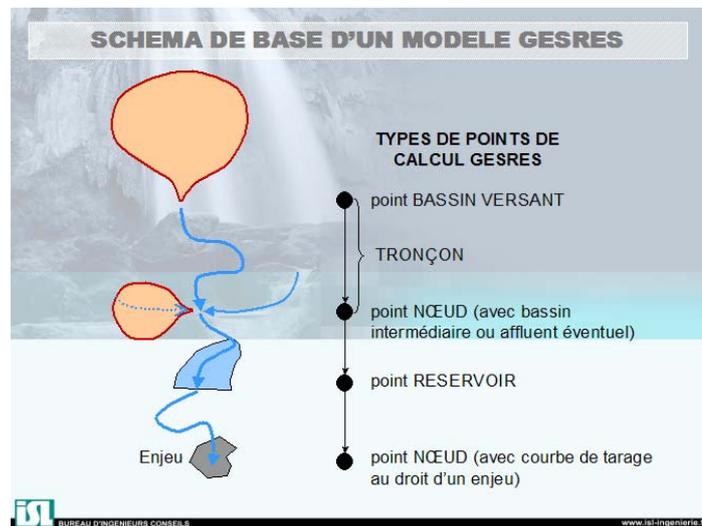


Figure 17 : synoptique de l'architecture du modèle GESRES/ECRET.

L'architecture du modèle s'appuie sur une topologie simplifiée, formée de nœuds de calcul auxquels sont rattachés les éléments producteurs et de contrôle des débits (bassin versant, hydrogramme, retenue) et reliés entre eux par les éléments du réseau hydrographique (bief, flux).

Le logiciel GESRES_{ISL} est par ailleurs couplé à une base de données géographiques au format Mapinfo qui permet d'extraire de manière automatique les caractéristiques des différents éléments structurels du modèle.

ANNEXE 3
Paramétrage des éléments structurels du modèle hydrologique
GESRES_{ISL}

Paramétrage des éléments structurels du modèle hydrologique GESRES_{ISL}

Les bassins versants

Le modèle employé pour réaliser la transformation pluie-débit est le modèle de simulation empirique GR4J (Génie Rural à 4 paramètres) développé par le Cemagref.

Les principaux paramètres à renseigner pour les bassins versants sont les suivants :

- **Nom** : nom du bassin versant ;
- **nœud aval** : nom du nœud exutoire du bassin versant ;
- **bassin versant** : surface du bassin en km² ;
- **A** : hauteur de stockage dans le réservoir A en mm ;
- **B** : hauteur de stockage dans le réservoir B en mm ;
- **C** : temps de montée de l'hydrogramme unitaire en heures ;
- **D** : coefficient d'échange avec la nappe ;
- **S0/A** : taux de remplissage initial du réservoir A.

Les biefs

Le modèle de propagation retenu est le modèle de Muskingum-Cunge à 8 points. Les paramètres suivants sont renseignés :

Les principaux paramètres à renseigner sont les suivants :

- **Abcisses-cotes** (8 couples) : décrivant le profil en travers type de la vallée
- **Amont** : nom du nœud amont ;
- **Aval** : nom du nœud aval ;
- **Longueur** : longueur du bief en m ;
- **Pente** : pente du bief en m/m ;
- **Strickler 1** : coefficient de frottement de Strickler dans le lit majeur gauche du bief ;
- **Strickler 2** : coefficient de frottement de Strickler dans le lit mineur du bief ;

- **Strickler 3** : coefficient de frottement de Strickler dans le lit majeur droit du bief.

Les profils en travers type des lits mineurs des biefs sont issus des campagnes de jaugeages réalisées par ISL et Aquascop dans le cadre de la présente étude.

Les nœuds

Les nœuds réalisent le lien entre tous les autres éléments : ils reçoivent les apports directs des bassins versants, permettent la jonction entre les biefs et le rattachement des flux au reste du réseau et peuvent être associés à un site de stockage des eaux.

Les réservoirs

Un réservoir est nécessaire à la définition de flux représentant les prélèvements et échanges de volume entre le système modélisé et l'extérieur ou internes au système.

Les principaux paramètres à renseigner sont les suivants :

- **Nom** : nom de la retenue ;
- **Noeud** : nom du nœud associé à la retenue ;
- **Unité S** : unité de la grandeur S dans la loi Z/S ;
- **Z0** : cote initiale de la retenue en m ;
- **Zmort** : cote minimale de la retenue sous laquelle les prélèvements ne sont pas assurés, en m.
- **Loi cote-surface ou loi cote-volume**

Les flux et équations

Les flux représentent les prélèvements et échanges de volume entre le système modélisé et l'extérieur ou internes au système. Les flux sont obligatoirement rattachés à une retenue fictive ou réelle, ils permettent pour la présente étude de modéliser :

- les différents prélèvements et rejets : irrigation, AEP, usages domestiques. Ces flux sont pris en compte par GESRES_{ISL} sous forme de chroniques réelles au pas de temps journalier appelées par le logiciel,
- les surverses des retenues, qui sont soit fictives dans le cas des retenues fictives et qui servent juste à laisser transiter le débit une fois les prélèvements et rejets effectués dans la retenue, soit réelles comme dans le cas des retenues collinaires globales et permettant de prendre en compte les surverses hivernales.

Pluviométrie

La chronique de pluie de chacune des stations présentes sur le bassin du Doux est appelée sous forme de fichier .txt. Celle-ci est définie au pas de temps journalier sur la période 1997-2007.

Les pluies de chacune des stations sont appliquées à chacun des grands sous ensembles du Doux avec la répartition souhaitée.

Evapotranspiration potentielle

GESRES_{ISL} offre la possibilité d'introduire des ETP distribuées sur l'ensemble du modèle. Les données d'ETP intéressent trois types d'éléments : les bassins versants, les biefs et les retenues. Dans notre cas, l'ETP est appliquée aux bassins versants, aux biefs et aux retenues réelles (retenues collinaires). Pour chaque année de la période étudiée, un fichier txt avec les données journalières de l'ETP est appelé par le logiciel.

ANNEXE 4
Paramètres de calage du modèle hydrologique

Paramètres de calage du modèle hydrologique

Calage sur l'année entière

		Année entière
Paramètres du modèle	A	330
	B	70
	C	2
	D	0,5

Calage sur la période d'étiage

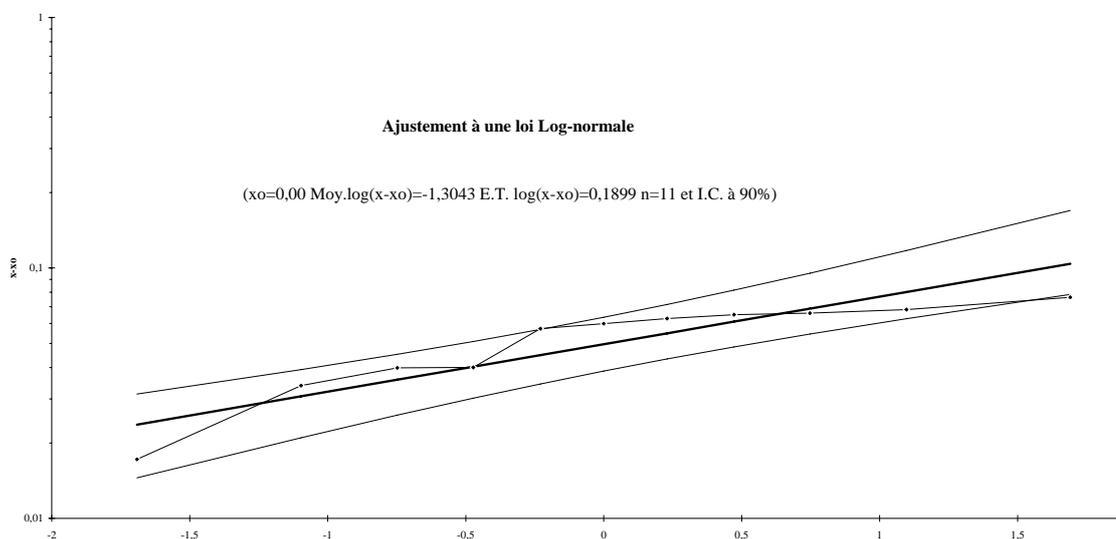
		Etiage
Paramètres du modèle	A	180
	B	40
	C	3,5
	D	-0,53

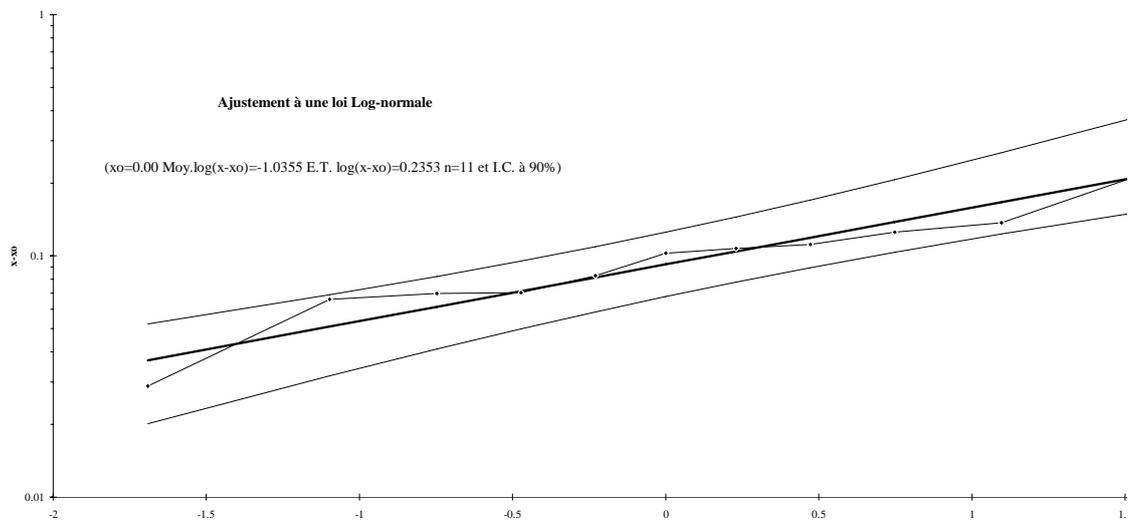
ANNEXE 5
VCN10, QMNA et ajustements statistiques

VCN10, QMNA et ajustements statistiques

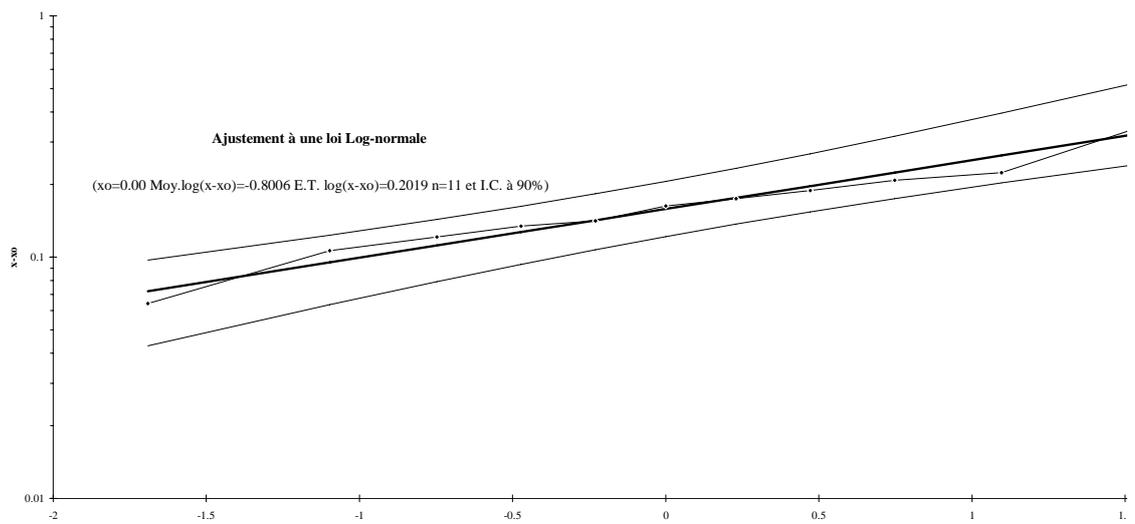
Hydrologie influencée

VCN10 en l/s	Haute Vallée	Moyenne Vallée	Basse Vallée	Daronne	Duzon
1997	65	74	111	14	25
1998	76	142	229	39	50
1999	40	73	137	22	44
2000	40	104	192	30	58
2001	63	128	212	35	49
2002	68	256	403	63	83
2003	17	37	72	13	24
2004	57	87	147	24	34
2005	34	68	124	23	34
2006	60	111	180	27	43
2007	66	112	164	20	32

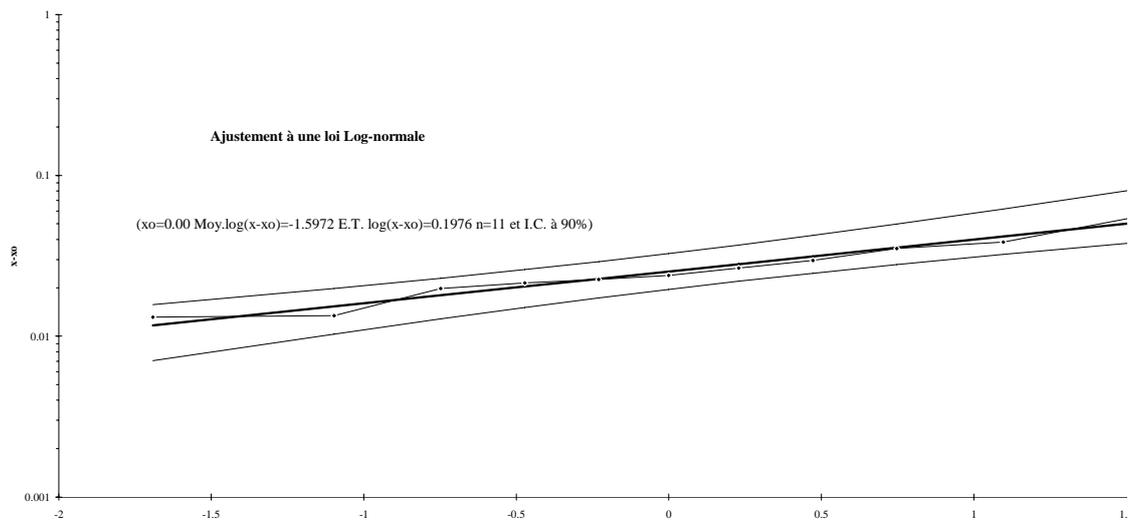
Tableau des **VCN10** sur le bassin du Doux – **hydrologie influencée**Ajustement à une loi Log-normale des **VCN10** sur la **Haute Vallée – hydrologie influencée**



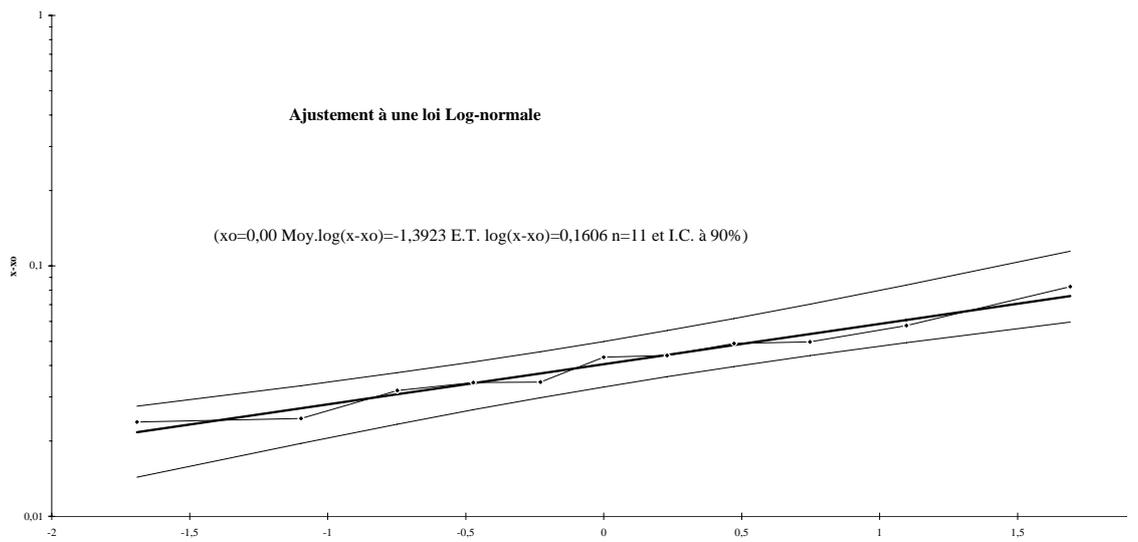
Ajustement à une loi Log-normale des VCN10 sur la Moyenne Vallée – hydrologie influencée



Ajustement à une loi Log-normale des VCN10 sur la Basse Vallée – hydrologie influencée



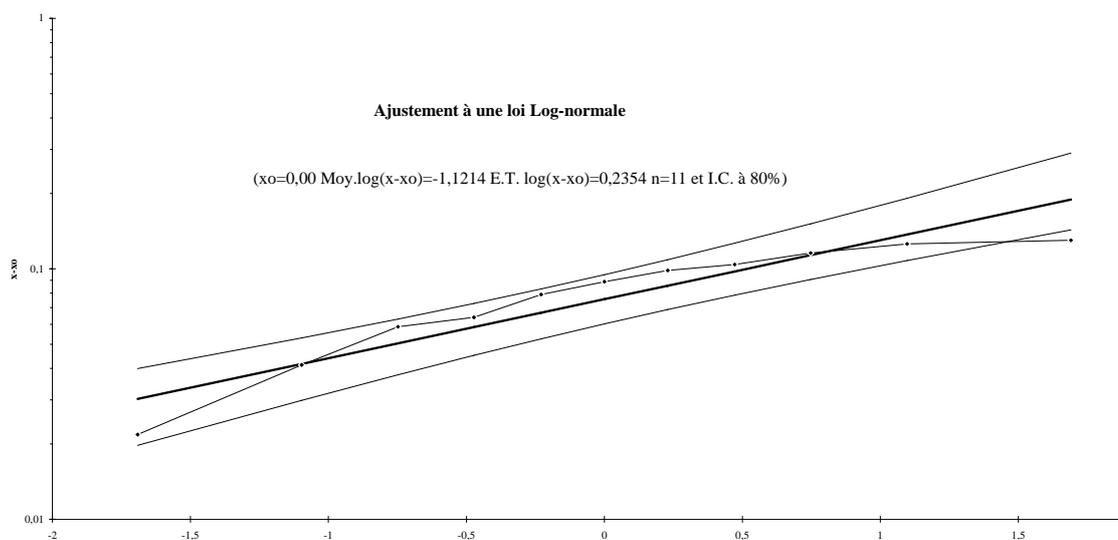
Ajustement à une loi Log-normale des VCN10 sur la Daronne – hydrologie influencée



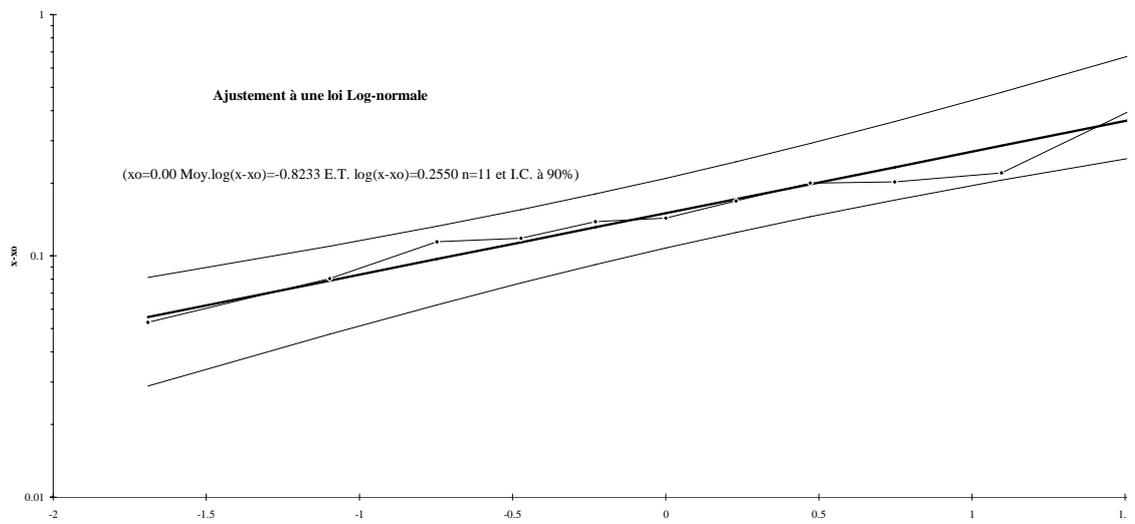
Ajustement à une loi Log-normale des VCN10 sur le Duzon – hydrologie influencée

QMNA en l/s	Haute Vallée	Moyenne Vallée	Basse Vallée	Daronne	Duzon
1997	104	172	218	18	33
1998	116	207	324	54	65
1999	64	122	220	33	66
2000	59	142	259	44	75
2001	99	224	364	56	82
2002	126	514	921	128	238
2003	22	56	107	20	33
2004	79	119	189	32	39
2005	41	83	148	27	39
2006	89	148	238	36	55
2007	130	202	277	29	46

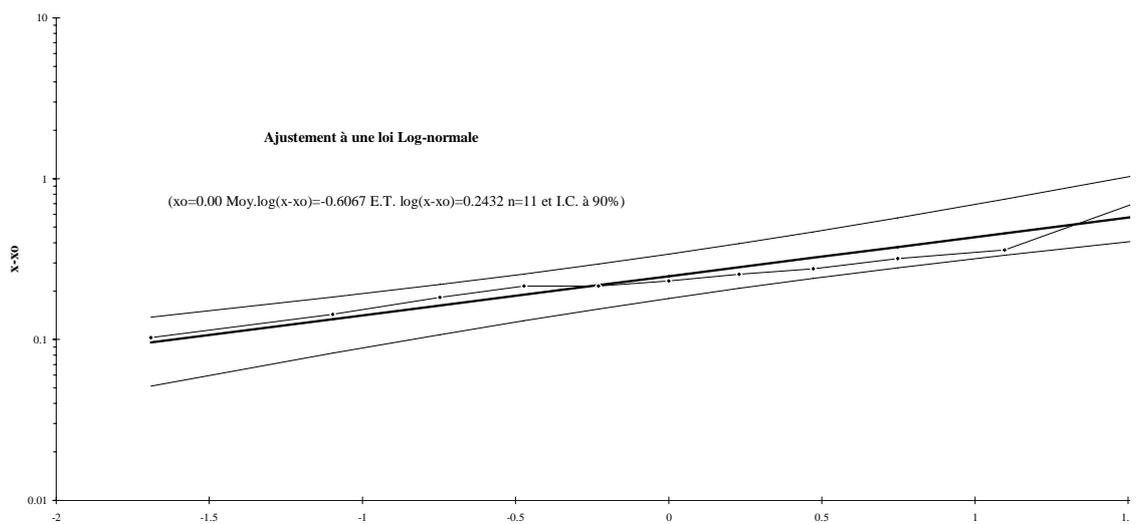
Tableau des **QMNA** sur le bassin du Doux – **hydrologie influencée**



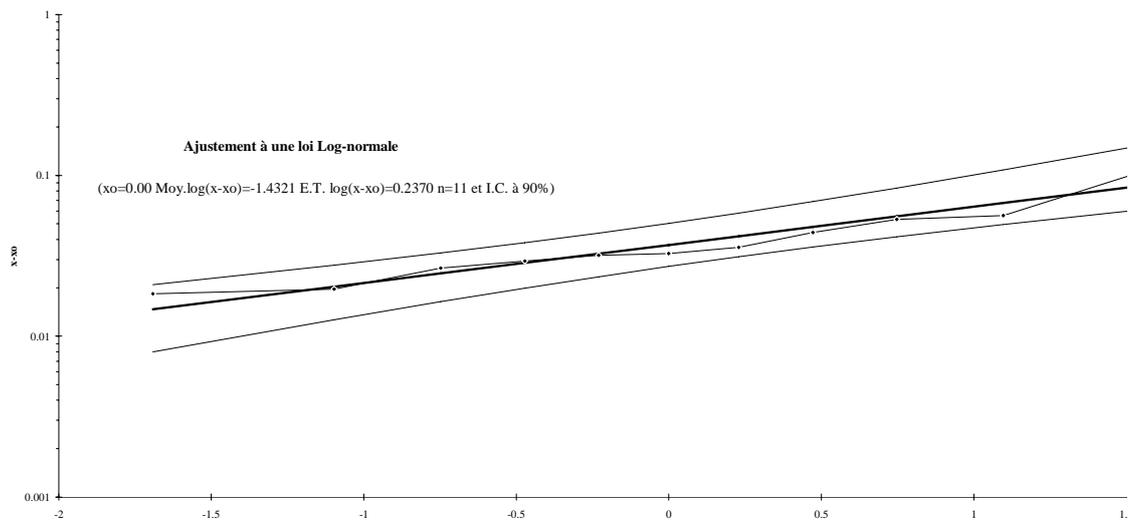
Ajustement à une loi Log-normale des **QMNA** sur la **Haute Vallée** – **hydrologie influencée**



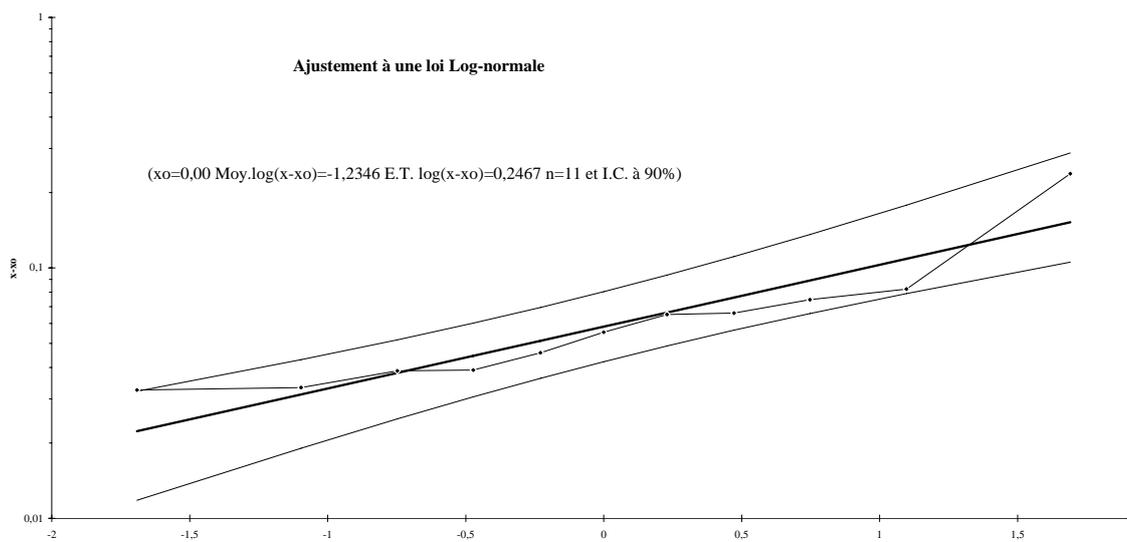
Ajustement à une loi Log-normale des QMNA sur la Moyenne Vallée – hydrologie influencée



Ajustement à une loi Log-normale des QMNA sur la Basse Vallée – hydrologie influencée



Ajustement à une loi Log-normale des QMNA sur la Daronne – hydrologie influencée

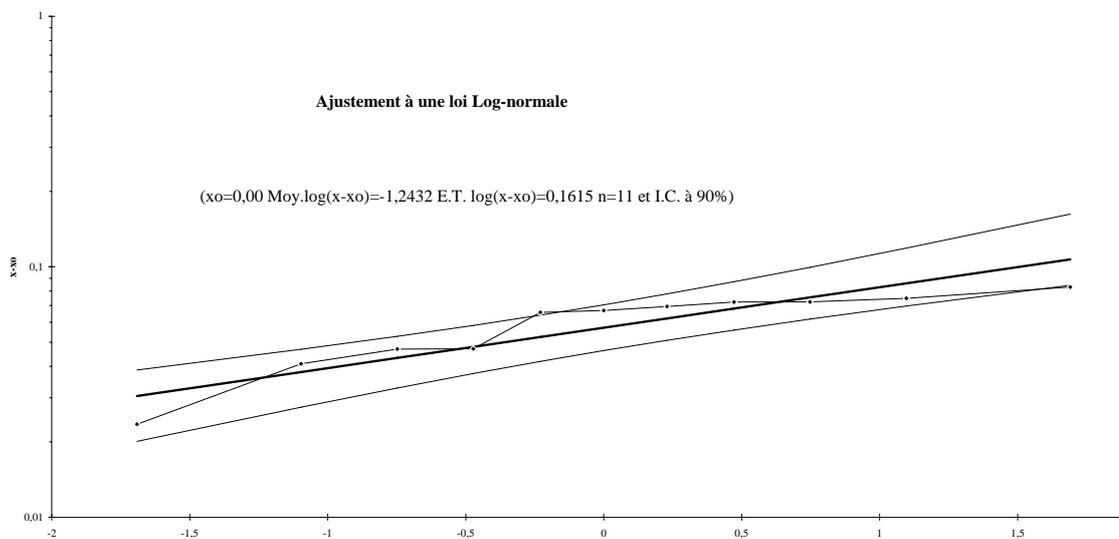


Ajustement à une loi Log-normale des QMNA sur le Duzon – hydrologie influencée

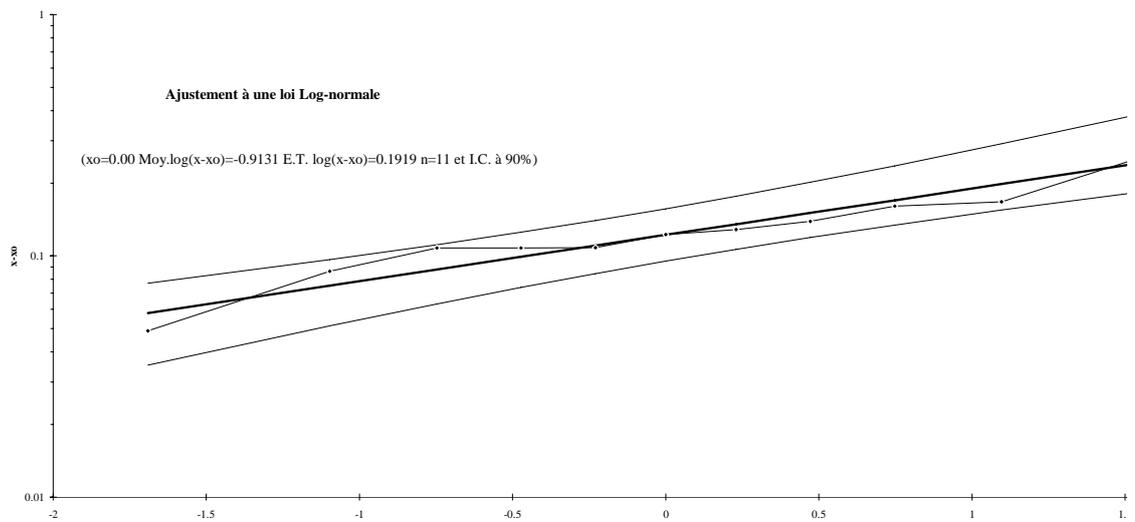
Hydrologie non influencée

VCN10 en l/s	Haute Vallée	Moyenne Vallée	Basse Vallée	Daronne	Duzon
1997	72	113	155	17	23
1998	83	172	278	45	55
1999	47	111	194	26	49
2000	47	142	255	36	66
2001	69	164	270	42	55
2002	75	298	484	73	97
2003	24	52	91	16	21
2004	66	114	180	27	32
2005	41	90	157	27	33
2006	67	134	216	31	45
2007	72	124	180	22	32

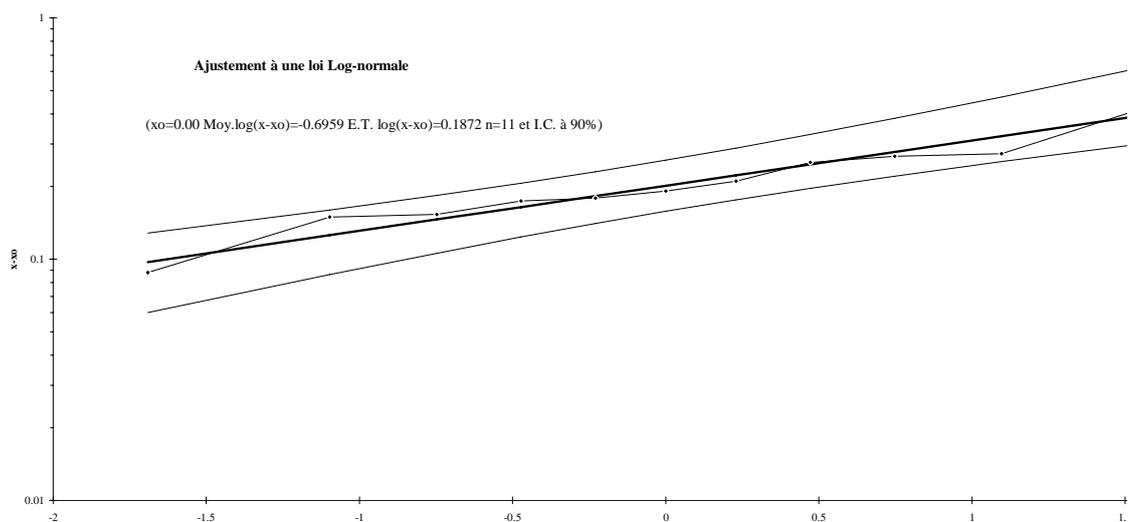
Tableau des VCN10 sur le bassin du Doux – hydrologie non influencée



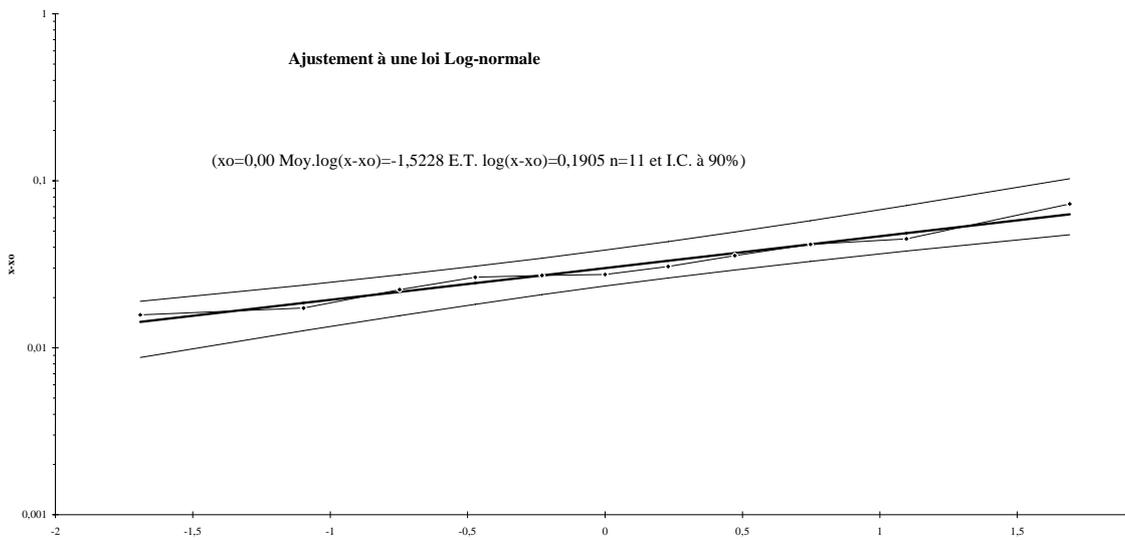
Ajustement à une loi Log-normale des VCN10 sur la Haute Vallée – hydrologie non influencée



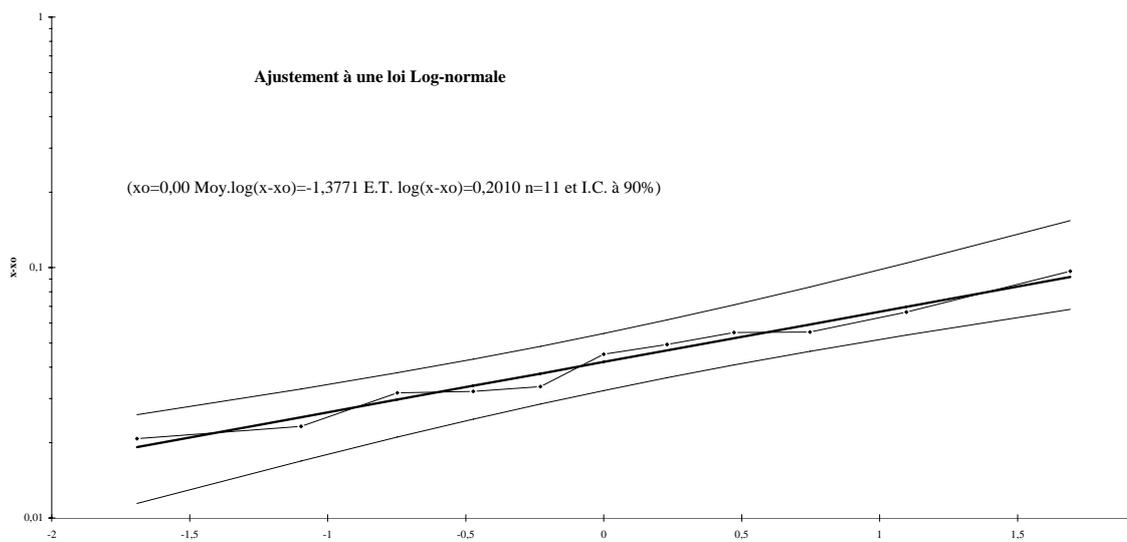
Ajustement à une loi Log-normale des VCN10 sur la Moyenne Vallée – hydrologie non influencée



Ajustement à une loi Log-normale des VCN10 sur la Basse Vallée – hydrologie non influencée



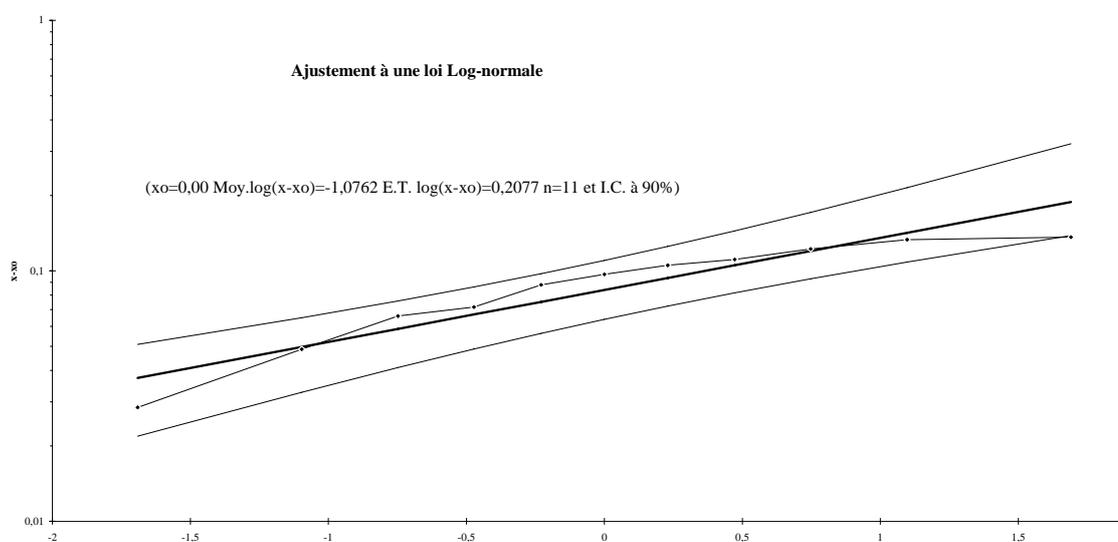
Ajustement à une loi Log-normale des VCN10 sur la *Daronne* – hydrologie non influencée



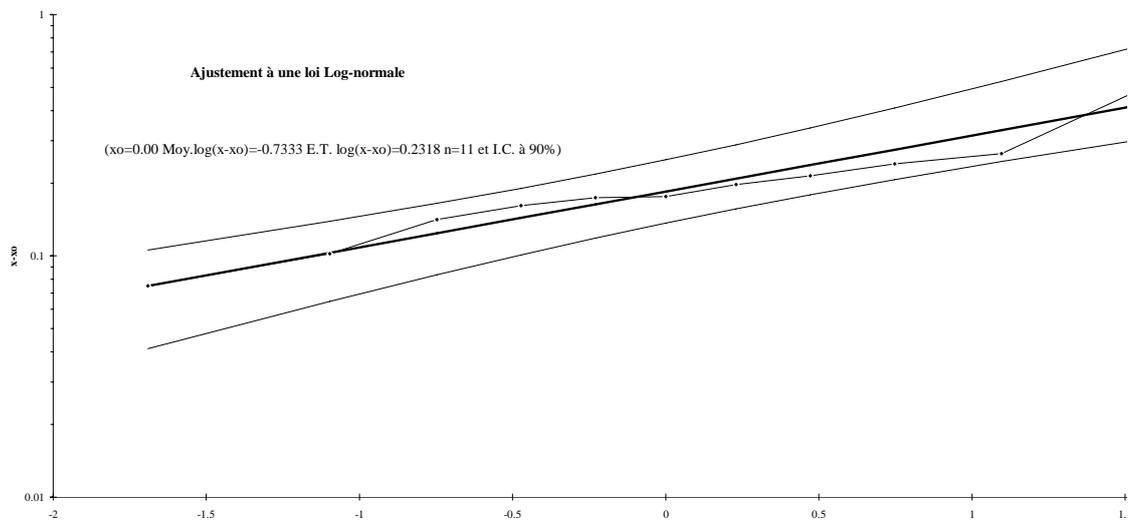
Ajustement à une loi Log-normale des VCN10 sur le *Duzon* – hydrologie non influencée

QMNA en l/s	Haute Vallée	Moyenne Vallée	Basse Vallée	Daronne	Duzon
1997	111	204	274	23	35
1998	122	246	391	62	76
1999	72	167	295	39	78
2000	66	182	334	52	89
2001	105	271	451	67	101
2002	133	596	1066	130	231
2003	29	80	137	23	30
2004	88	148	228	36	38
2005	49	107	184	32	39
2006	97	181	292	42	60
2007	136	216	304	33	50

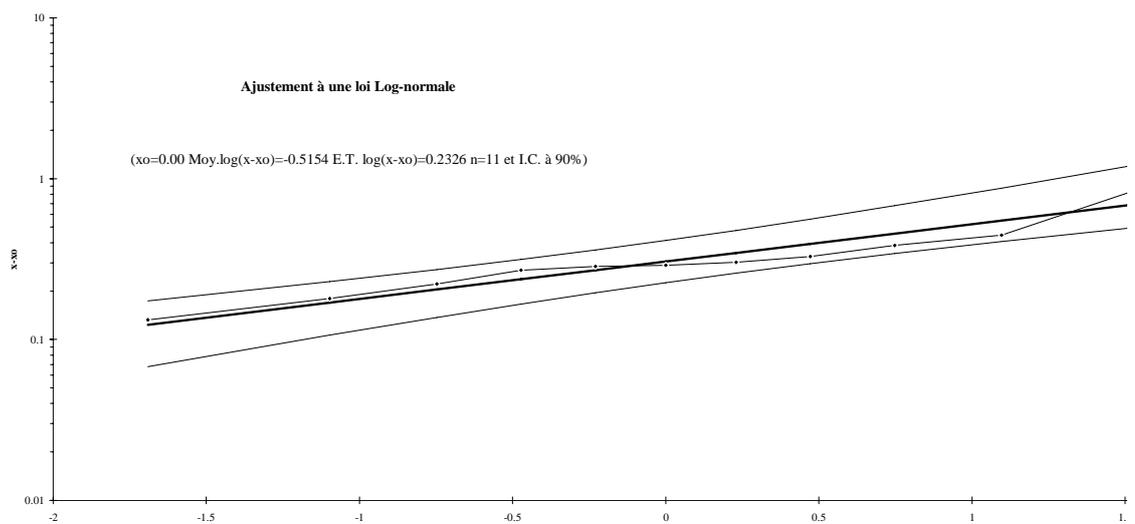
Tableau des **QMNA** sur le bassin du Doux – **hydrologie non influencée**



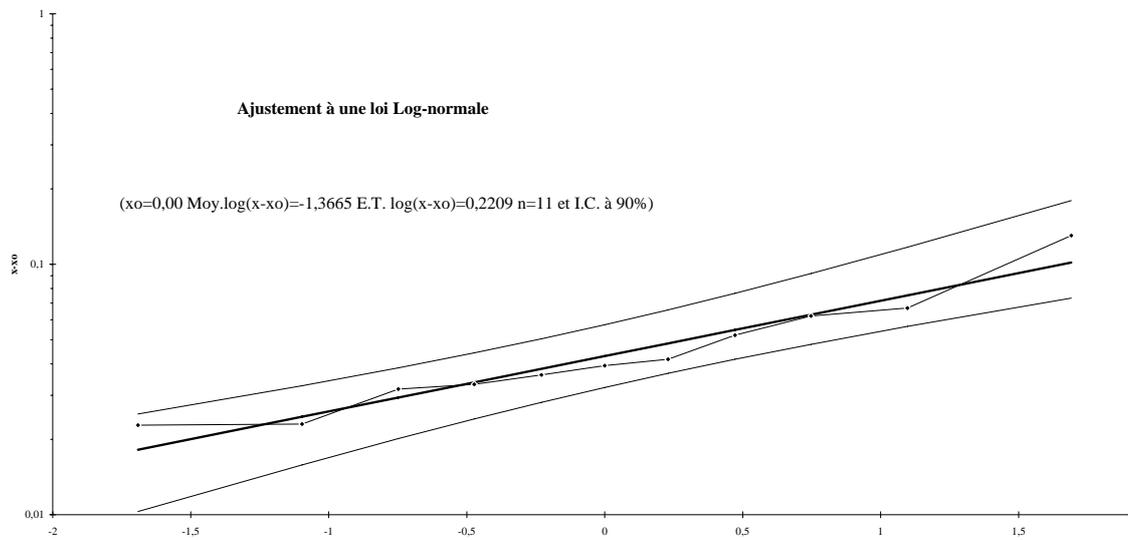
Ajustement à une loi Log-normale des **QMNA** sur la **Haute Vallée** – **hydrologie non influencée**



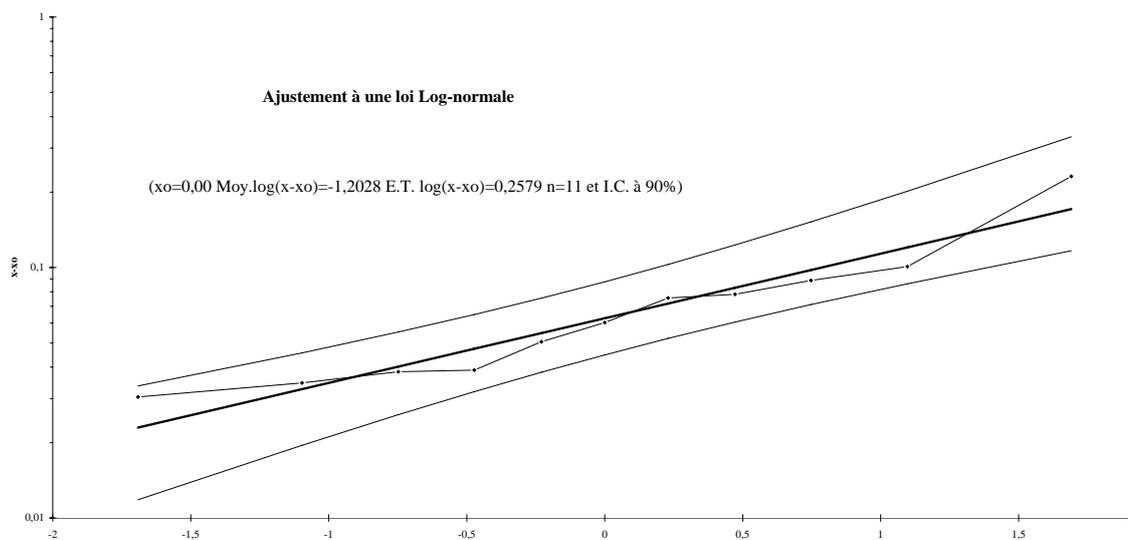
Ajustement à une loi Log-normale des QMNA sur la Moyenne Vallée – hydrologie non influencée



Ajustement à une loi Log-normale des QMNA sur la Basse Vallée – hydrologie non influencée



Ajustement à une loi Log-normale des QMNA sur la Daronne – hydrologie non influencée



Ajustement à une loi Log-normale des QMNA sur le Duzon – hydrologie non influencée

ANNEXE 6
Débits caractéristiques aux points ESTIMHAB

Débits caractéristiques aux points ESTIMHAB

Hydrologie influencée

Points Estimhab	Surface (km ²)	Module interannuel (m ³ /s)			Débit médian (m ³ /s)
		Module	« 1/10 »	« 1/40 »	
DOUX1	122	1,20 [1,1 ; 1,3]	0,12	0,03	0,62 [0,62 ; 0,66]
DOUX2	299	3,04 [2,5 ; 3,7]	0,3	0,08	1,44 [1,4 ; 1,48]
DOUX3	358	3,64 [3 ; 4,5]	0,36	0,09	1,72 [1,67 ; 1,78]
DOUX4	379	3,86 [3,2 ; 4,7]	0,39	0,10	1,82 [1,77 ; 1,88]
DOUX5	618	5,9 [4,4 ; 7,6]	0,59	0,15	2,75 [2,67 ; 2,84]
GROZON	27	0,28 [0,22 ; 0,34]	0,03	0,007	0,13 [0,12 ; 0,14]
DARONNE1	30	0,22 [0,18 ; 0,27]	0,02	0,006	0,10 [0,1 ; 0,11]
DARONNE2	79	0,59 [0,5 ; 0,7]	0,06	0,02	0,27 [0,26 ; 0,28]
DUZON	114	1,13 [0,8 ; 1,5]	0,11	0,03	0,48 [0,46 ; 0,5]

Module interannuel et débit médian aux stations ESTIMHAB du bassin du Doux en état influencé et intervalle de confiance à 90 %

Points Estimhab	Surface (km ²)	VCN10 (l/s)		QMNA (l/s)	
		2 ans	5 ans	2 ans	5 ans
DOUX1	122	39 [30 ; 49]	26 [19 ; 33]	59 [43 ; 80]	37 [24 ; 49]
DOUX2	299	72 [53 ; 98]	46 [30 ; 61]	118 [86 ; 165]	72 [46 ; 99]
DOUX3	358	86 [64 ; 117]	54 [36 ; 73]	141 [103 ; 197]	86 [54 ; 118]
DOUX4	379	92 [68 ; 124]	58 [38 ; 78]	149 [109 ; 209]	92 [58 ; 125]
DOUX5	618	155 [119 ; 201]	105 [74 ; 135]	242 [177 ; 334]	151 [98 ; 205]
GROZON	27	7 [5 ; 9]	5 [3 ; 6]	11 [8 ; 15]	7 [4 ; 9]
DARONNE1	30	8 [6 ; 10]	5 [4 ; 7]	11 [8 ; 15]	7 [5 ; 9]
DARONNE2	79	20 [16 ; 27]	14 [10 ; 18]	30 [22 ; 40]	19 [12 ; 25]
DUZON	114	38 [31 ; 46]	28 [20 ; 33]	54 [39 ; 74]	33 [21 ; 45]

Débits caractéristiques d'étiage aux stations ESTIMHAB du bassin du Doux en état influencé et intervalle de confiance à 90%

Hydrologie non influencée

Points Estimhab	Surface (km ²)	Module interannuel (m ³ /s)			Débit médian (m ³ /s)
		Module	« 1/10 »	« 1/40 »	
DOUX1	122	1,2 [1,1 ; 1,3]	0,12	0,03	0,63 [0,61 ; 0,66]
DOUX2	299	3,07 [2,5 ; 3,8]	0,3	0,08	1,50 [1,45 ; 1,54]
DOUX3	358	3,67 [3 ; 4,5]	0,37	0,09	1,80 [1,74 ; 1,84]
DOUX4	379	3,89 [3,2 ; 4,8]	0,39	0,1	1,90 [1,84 ; 1,95]
DOUX5	618	5,97 [4,8 ; 7,6]	0,6	0,15	2,90 [2,82 ; 2,99]
GROZON	27	0,28 [0,23 ; 0,34]	0,03	0,007	0,14 [0,13 ; 0,14]
DARONNE1	30	0,23 [0,18 ; 0,3]	0,02	0,006	0,11 [0,11 ; 0,12]
DARONNE2	79	0,6 [0,5 ; 0,8]	0,06	0,02	0,30 [0,29 ; 0,31]
DUZON	114	1,13 [0,9 ; 1,6]	0,11	0,03	0,51 [0,49 ; 0,53]

Module interannuel et débit médian aux stations ESTIMHAB du bassin du Doux en état non influencé et intervalle de confiance à 90 %

Points Estimhab	Surface (km ²)	VCN10 (l/s)		QMNA (l/s)	
		2 ans	5 ans	2 ans	5 ans
DOUX1	122	44 [36 ; 54]	32 [24 ; 39]	65 [49 ; 85]	43 [30 ; 56]
DOUX2	299	96 [75 ; 122]	66 [52 ; 84]	145 [108 ; 196]	93 [61 ; 120]
DOUX3	358	115 [89 ; 147]	79 [62 ; 101]	174 [129 ; 235]	111 [73 ; 144]
DOUX4	379	121 [95 ; 155]	84 [66 ; 106]	184 [136 ; 249]	117 [78 ; 152]
DOUX5	618	197 [155 ; 252]	137 [98 ; 174]	299 [221 ; 405]	190 [126 ; 255]
GROZON	27	9 [7 ; 11]	6 [4 ; 8]	14 [10 ; 18]	9 [6 ; 12]
DARONNE1	30	9 [7 ; 12]	6 [5 ; 8]	13 [10 ; 17]	9 [6 ; 11]
DARONNE2	79	24 [19 ; 31]	17 [12 ; 21]	35 [26 ; 46]	23 [15 ; 30]
DUZON	114	39 [30 ; 51]	26 [18 ; 34]	58 [41 ; 82]	35 [22 ; 48]

Débits caractéristiques d'étiage aux stations ESTIMHAB du bassin du Doux en état non influencé et intervalle de confiance à 90 %

ANNEXE 7
Débits d'étéage issus du ROCA

Débits d'étiage issus du ROCA

2005														
Code	Cours d'eau	Nom station	X	Y	Module	Q2005-S27	Q2005-S28	Q2005-S29	Q2005-S30	Q2005-S31	Q2005-S32	Q2005-S33	Q2005-S34	Q2005-S35
ROCA-07-6	Doux	RHP Labatie	770115	2005650	2 000 l/s	150 l/s	50 l/s	-	50 l/s	50 l/s	-	40 l/s	50 l/s	40 l/s
ROCA-07-7	Duzon	Pont de Foriel	787910	1995360	180 l/s	6 l/s	2 l/s	-	0 l/s	0 l/s	-	0 l/s	0 l/s	0 l/s
ROCA-07-8	Daronne	Clauzel	789285	2010485	1 300 l/s	15 l/s	0 l/s	-	0 l/s	0 l/s	-	0 l/s	0 l/s	0 l/s

2006																
Code	Cours d'eau	Nom station	X	Y	Module	Q2006-S25	Q2006-S26	Q2006-S27	Q2006-S28	Q2006-S29	Q2006-S30	Q2006-S31	Q2006-S32	Q2006-S33	Q2006-S34	Q2006-S35
ROCA-07-6	Doux	RHP Labatie	770115	2005650	2 000 l/s	50 l/s	60 l/s	200 l/s	80 l/s	90 l/s	45 l/s	80 l/s	70 l/s	70 l/s	70 l/s	70 l/s
ROCA-07-7	Duzon	Pont de Foriel	787910	1995360	180 l/s	15 l/s	20 l/s	50 l/s	15 l/s	5 l/s	1 l/s	10 l/s	5 l/s	15 l/s	25 l/s	20 l/s
ROCA-07-8	Daronne	Clauzel	789285	2010485	1 300 l/s	20 l/s	10 l/s	5 l/s	4 l/s	5 l/s	0 l/s	20 l/s	4 l/s	0 l/s	15 l/s	20 l/s

2007											
Code	Cours d'eau	Nom station	X	Y	Module	Q2007-S33	Q2007-S34	Q2007-S35	Q2007-S36	Q2007-S37	Q2007-S38
ROCA-07-6	Doux	RHP Labatie	770115	2005650	2 000 l/s	100 l/s	180 l/s	110 l/s	170 l/s	100 l/s	90 l/s
ROCA-07-7	Duzon	Pont de Foriel	787910	1995360	180 l/s	40 l/s	30 l/s	30 l/s	25 l/s	25 l/s	20 l/s
ROCA-07-8	Daronne	Clauzel	789285	2010485	1 300 l/s	15 l/s	15 l/s	200 l/s	30 l/s	10 l/s	7 l/s