



EPTB *Charente*

Institution interdépartementale pour l'aménagement
du fleuve Charente et de ses affluents

PRESTATION CONCERNANT LE CYCLE DE L'EAU ET LA GESTION DES ETIAGES SUR LA BASSIN FLUVIAL DE LA CHARENTE

RAPPORT THEMATIQUE

*Reconstitution des débits naturels de la Charente
et ses affluents - Période 1970-2007*

MISSION 01-3

Bon de commande n° 08-11 révisé septembre 2008

ANNEE 2008-2009

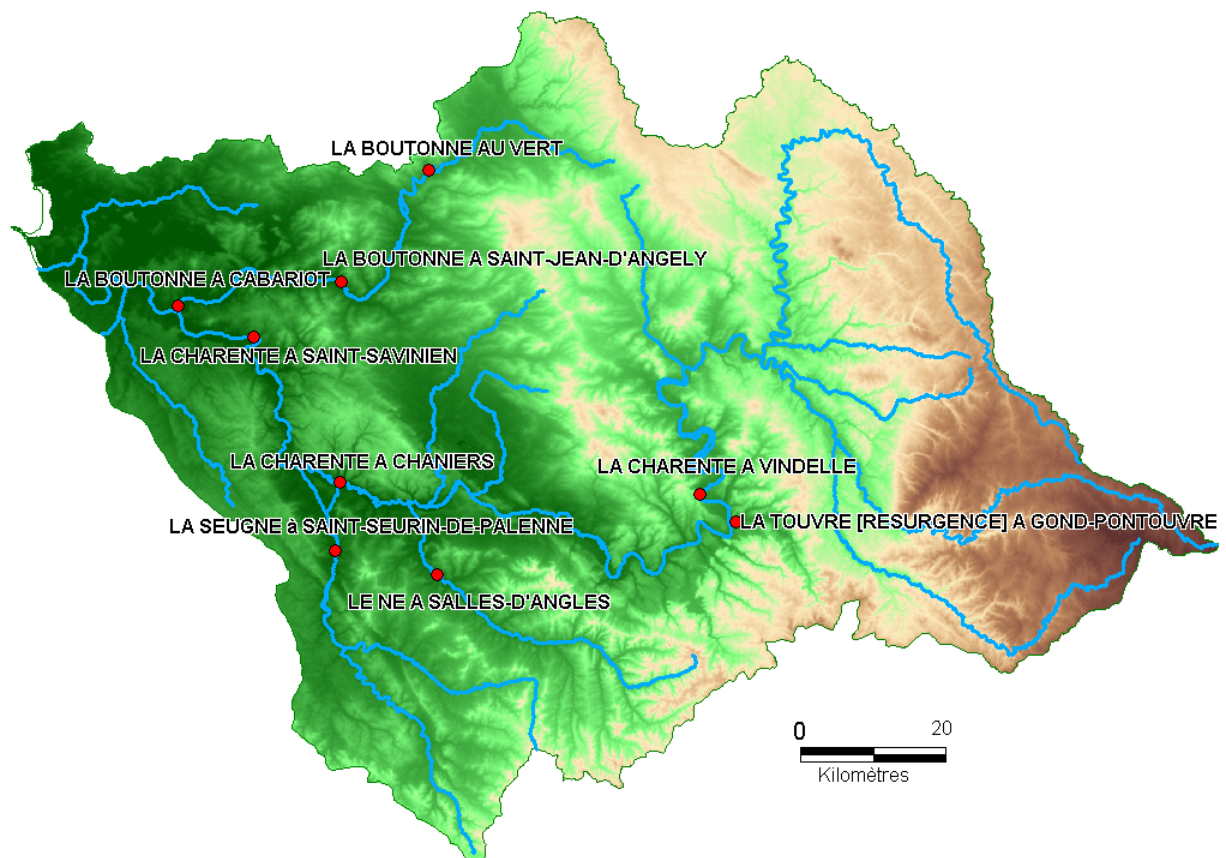
Mars 2009



Le réseau hydrométrique

Le réseau des stations hydrométriques de la Charente est dense sauf sur les cours aval de la Charente et de la Boutonne. Le principal problème vient de la fiabilité des données historiques et de l'hétérogénéité des séries disponibles. Rappelons que la Charente en aval de St-Savinien et la Boutonne en aval de Carillon sont soumises à l'influence de la marée et de la gestion des vannes des barrages visant à limiter la remontée de la salinité vers l'amont. L'influence sur les niveaux d'eau se fait sentir très en amont des deux seuils. Dans ces conditions la mesure du débit d'eau douce ne peut se faire que par différence entre les volumes enregistrés du flot et du jusant. A l'étiage et en forte marée, cet écart devient trop faible pour permettre un réel suivi des débits. Depuis 2004, la station de mesure de Chaniers apporte des données plus fiables quant à l'hydrologie aval. Les stations de Saint Jean d'Angely et de Cabariot, en place depuis 2002 et 2003, apportent également des informations complémentaires sur l'hydrologie aval.

Les stations hydrométriques installées depuis quelques années n'apportent pas assez de données pour permettre une analyse statistique. Elles constituent toutefois de nouveaux points de référence pour le calage de modèles pluie-débit permettant la reconstitution de chroniques longues.



Méthodologie

La reconstitution des débits naturels de la Charente s'est appuyée sur deux types de modélisation.

La première consiste à désinfluencer les débits mesurés de l'ensemble des impacts quantitatifs s'exerçant sur le système (prélèvements, dérivations, restitutions, lâchers de compensation ou de soutien d'étiage, etc.) : c'est le modèle d'impact hydrologique. Il nécessite une bonne connaissance des influences anthropiques à la fois spatiale (localisation des prélèvements) et temporelle (répartition au cours de la campagne et évolution historique sur l'ensemble de la période). Il est dépendant de la fiabilité des mesures et les hypothèses prises en compte quant aux influences peuvent induire des imprécisions sensibles dans la naturalisation des débits.

La deuxième méthode s'affranchit de la connaissance des influences, puisqu'elle reconstitue les débits naturels directement à partir des données météorologiques de pluie et d'évapotranspiration (modèle pluie – débit). Le modèle hydrologique utilisé est celui développé par Eaucéa (CycleauPE). Il n'est pas sujet aux incertitudes des influences humaines sur les cours d'eau mais nécessite un calage de ses paramètres de fonctionnement, indispensable à la bonne modélisation des débits naturels.

L'utilisation en parallèle de ces deux outils a ainsi permis, par des itérations successives, d'optimiser la modélisation et d'affiner les résultats.

Le modèle d'impact hydrologique a été retenu pour les stations bénéficiant de chroniques suffisamment longues et pour lesquelles les données ont été jugées assez fiables. Ces chroniques sont par la suite intégrées au modèle CycleauPE. Le calage pour la modélisation pluies débits s'appuie sur une analyse de l'hydrologie annuelle et non sur la période d'étiage en particulier.

Modele PGE

Le modèle d'impact hydrologique a été construit et utilisé pour la mise en place de Plan de Gestion d'Étiage. Le modèle s'applique à l'échelle d'un bassin versant (Lot, Tarn, Adour...) pour la description de l'hydrologie naturelle et la simulation de scénarios de gestion de la ressource proposés dans le cadre des PGE. Il est ici utilisé dans sa fonction "naturalisation des débits mesurés".

Le bassin est divisé en unités de gestion, associées à des stations hydrométriques et définies par un ensemble de zones hydrographiques (ZHY). Les calculs sont effectués au pas de temps journalier sur la période d'étiage (1^{er} juin-31 octobre).

Les données de base sont les données de débits journaliers mesurés aux stations hydrométriques sur la période 1970-2007, ainsi que l'inventaire des usages consommateurs d'eau et des compensations éventuelles par les réservoirs. L'inventaire est réalisé à l'échelle de chaque unité de gestion.

Le modèle reconstitue les chroniques de débits naturels en désinfluençant les débits mesurés des prélèvements des différents usagers (AEP, industrie, agriculture, canaux) et des apports par lâchers de compensation ou de soutien d'étiage.

Débit mesuré + influence historique = Débit naturel

Les influences historiques sont comptées positives lorsqu'elles correspondent à une consommation et négatives lorsqu'elles correspondent à des apports d'eau.

Débit mesuré + consommations - apports = Débit naturel

Influence des prélèvements en nappe

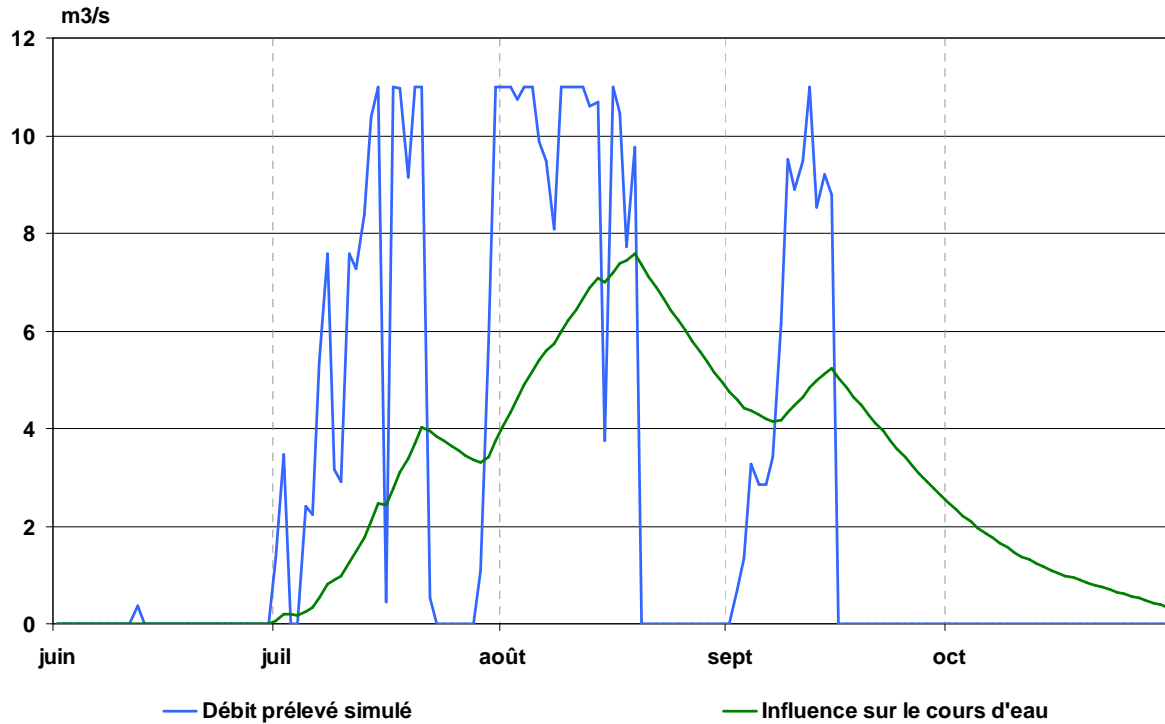
Les nappes superficielles drainées par la Charente et ses affluents sont fortement sollicitées en étiage, notamment pour les prélèvements d'irrigation.

L'impact de ces prélèvements souterrains sur la ressource superficielle a fait l'objet d'un traitement particulier dans la modélisation, pour prendre en compte l'effet retard induit par l'inertie de réaction de l'aquifère à une sollicitation de pompage. L'effet d'un prélèvement direct en rivière est pratiquement immédiat sur l'hydrogramme mesuré un peu plus en aval au droit de la station hydrométrique ; en revanche, l'effet d'un prélèvement en nappe alluviale aura un impact retardé et étalé dans le temps sur les débits de la rivière.

L'influence des prélèvements est plus ou moins retardée suivant l'éloignement du forage vis-à-vis du cours d'eau ainsi que des caractéristiques hydrogéologiques des aquifères. L'influence a été évaluées par unité hydrologique homogène. Elle prend en compte le tarissement des cours d'eau qui est fonction des caractéristiques aquifères du secteur considéré et est affinée par une expertise des chroniques de débits mesurés.

Pour un prélèvement constant, l'influence maximale s'établit en régime permanent au bout des 60 jours.

Impact des prélèvements en nappe sur le débit des cours d'eau

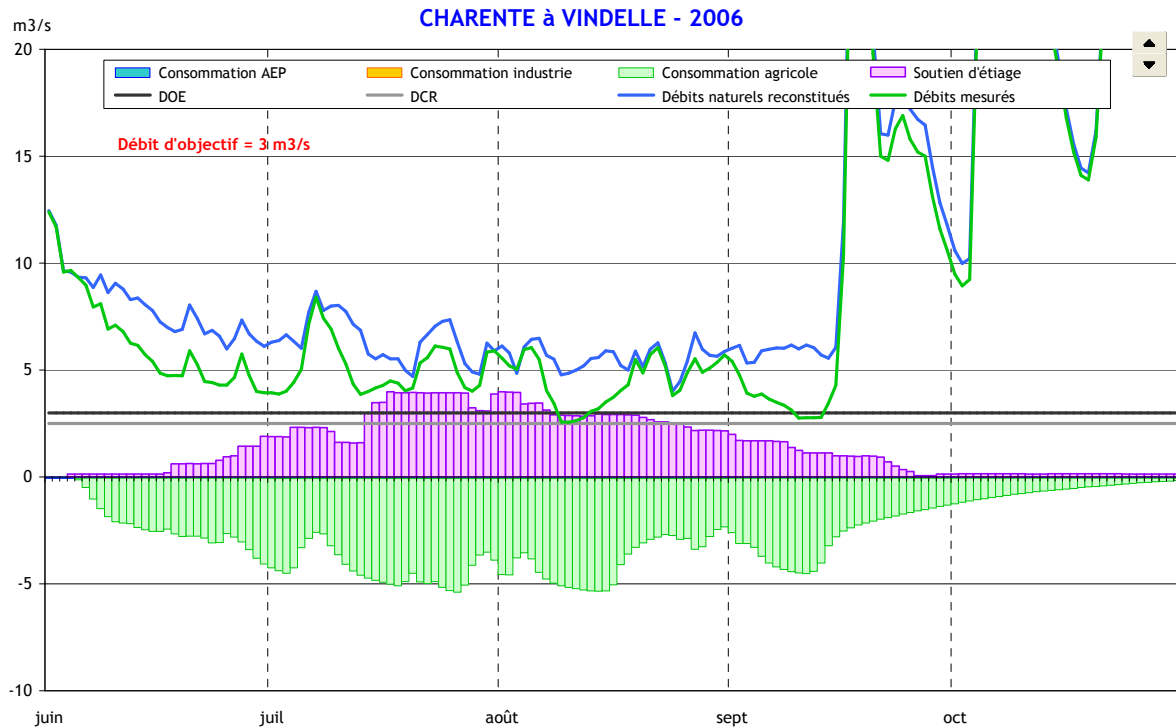


Dans le cas de prélèvements proches de la réalité, on constate bien l'effet retard et l'amortissement du débit de pointe des prélèvements. L'impact peut ainsi se faire sentir jusqu'au mois d'octobre.

Résultats

Une fois tous ces impacts et influences pris en compte, le modèle restitue les débits naturels reconstitués par cette méthode.

Le graphe ci-dessous illustre la naturalisation des débits de la Charente pour la station de Vindelle en 2005. Les influences sont également représentées (consommations en négatif, apports en positif).



On retrouve ainsi un régime hydrologique de tarissement estival, plus conforme à un phénomène naturel.

Modèle CycleauPE

CycleauPE (Cycle de l'eau Pour les Etiages) est un modèle pluie – débit à réservoirs, c'est-à-dire qu'il simule les débits en fonction des seules données météorologiques de pluie et d'évapotranspiration, en modélisant les différents compartiments du sol et du sous-sol par des réservoirs qui sont régis par des relations mathématiques (vidange, remplissage, transfert, influence, etc.).

Ces modèles pluie – débit peuvent être plus ou moins complexes mais un consensus se dégage pour considérer que les modèles type réservoirs sont les plus robustes et les moins gourmands en données.

Pluie et ETP \Rightarrow Débit naturel

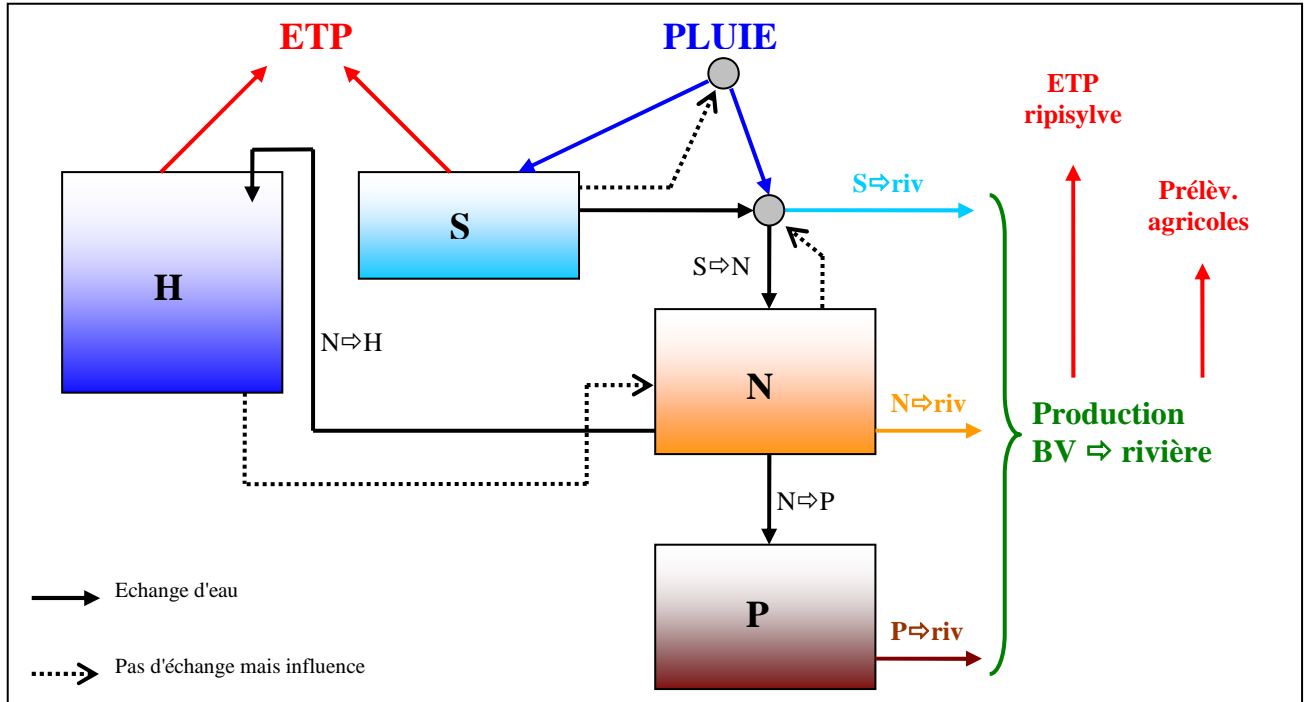
Le modèle hydrologique CycleauPE est une plateforme de simulation et de prévision des débits journaliers, exploitant plusieurs sous modèles, eux-mêmes en relation les uns avec les autres.

La particularité de CycleauPE par rapport à un modèle réservoir traditionnel est la très grande attention portée à l'étiage (période la plus complexe) et l'absence de relation "purement mathématique" sans lien avec un comportement physique identifiable. Cela en fait un puissant outil de communication auprès des usagers de la ressource (par exemple test de l'impact de restriction).

Le modèle comporte 4 réservoirs :

- Le réservoir superficiel (noté S), à capacité limitée (S_{max})
- Le réservoir non saturé (noté N), à capacité limitée (N_{max})
- Le réservoir "humidité" (noté H), à capacité limitée (H_{max}). Il représente le potentiel matriciel du sol, caractéristique de la capacité au champ du sol.
- Le réservoir profond saturé (noté P), sans limite de capacité

Ces réservoirs et leurs fonctionnements sont représentés schématiquement sur la figure suivante :



La production du bassin versant vers la rivière dépend dans ce modèle des précipitations (PLUIE) et de l'évapotranspiration potentielle (ETP), qui font réagir les différents réservoirs, qui eux-mêmes se vidangent, chacun à leur rythme, dans la rivière.

1. Dans le modèle, la pluie alimente directement le sol, la zone non saturée et le ruissellement. Les proportions de ces échanges (compris entre 0 et 1 pour chaque compartiment) sont en interaction et dépendent de leur état respectif à J-1. Lorsque la pluie s'abat sur le bassin, le taux de remplissage du réservoir S (rapport S/S_{max}) commande la part infiltrée dans S et la part qui passera directement dans N. Ainsi, un sol humide va favoriser l'alimentation de la zone non saturée. Si les apports pluviométriques sont supérieurs à la capacité S_{max} , il y a transfert. La part évaporée vient réduire le stock de S (La pluie précède l'évaporation dans le modèle).

2. En fonction du taux de remplissage de N (N/N_{max}), les apports à N (pluie et transfert depuis S) vont soit ruisseler ($S-Riv$), soit alimenter N ($S-N$). Ainsi, un fort remplissage de N favorisera le ruissellement direct.

3. Le réservoir N commande à la fois les écoulements retardés vers le cours d'eau (ressuyage, décrue, etc...) et les apports au réservoir profond P (recharge des nappes). Cette vidange de N vers P ou la rivière est régulée par la notion de capacité au champ (potentiel matriciel du sol = capacité du sol à retenir l'eau dans l'espace interstitiel grâce aux forces de capillarité). Ce potentiel va donc avoir tendance à soit retenir l'eau dans la zone non saturée si l'humidité du sol est faible, soit la laisser s'écouler si l'humidité est élevée.

C'est à ce niveau qu'intervient le réservoir H, caractéristique de la capacité au champ du sol. H est alimenté par N et vidangée par la part de l'ETP non satisfaite par le stock du sol (lorsque S = 0).

Les échanges depuis N vers P et Riv (N-Riv et N-P) sont proportionnels à H/Hmax (plus l'humidité est forte, plus la vidange est importante). A l'inverse les échanges de N vers H (N-H) sont proportionnels à 1-H/Hmax (plus l'humidité est faible, plus le transfert vers H est important).

Par ailleurs, l'intensité des échanges est aussi proportionnelle au stock de N. Plus le remplissage de N est élevé, plus les transferts d'eau vers H, P ou Riv sont importants. Enfin, la part relative des sorties d'eau depuis N est paramétrée par KN-H, KN-P et KN-Riv.

4. La vidange du réservoir profond P assure le débit de base du cours d'eau, notamment à l'étiage. Cette vidange (P-Riv) est directement dépendante du remplissage de P. Elle suit la loi suivante, issue du modèle GR4J:

$$Q = P \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{P}{P_{\max}} \right)^4 \right]^{-\frac{1}{4}} \right\}$$

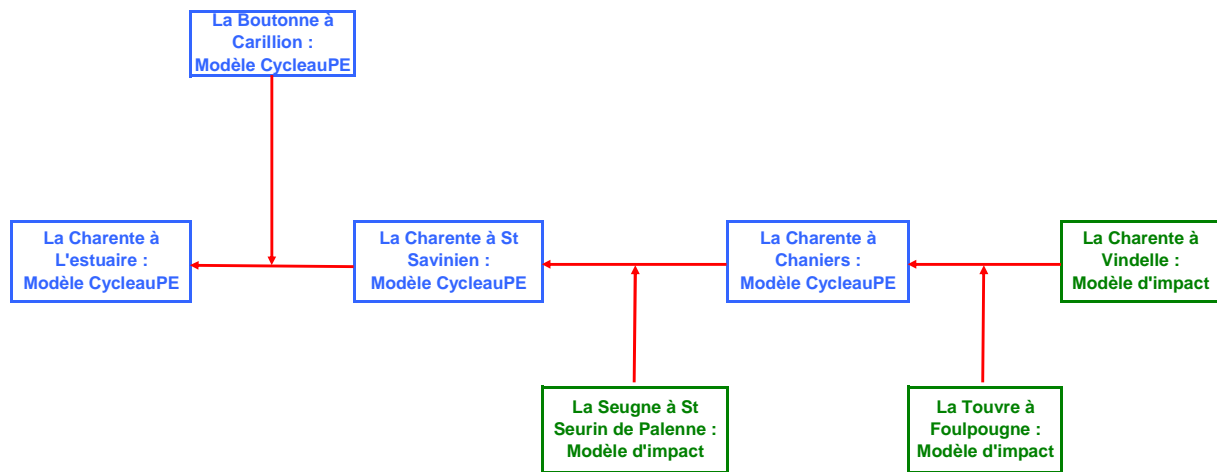
5. La production du bassin versant, apportée à la rivière, est donc l'addition des termes S-Riv, N-Riv et P-Riv.

Structure du modèle de reconstitution des débits naturels

Chaque bassin a ses particularités et sa structure hydrographique propre ; les points géographiques de simulation sont également à prendre en compte.

Ainsi, la méthodologie adoptée s'est calquée sur une logique descendante, de l'amont vers l'aval. Il a donc été nécessaire pour reconstituer les débits naturels d'une station, de naturaliser les stations situées en amont, puis d'y ajouter la modélisation du bassin versant intermédiaire.

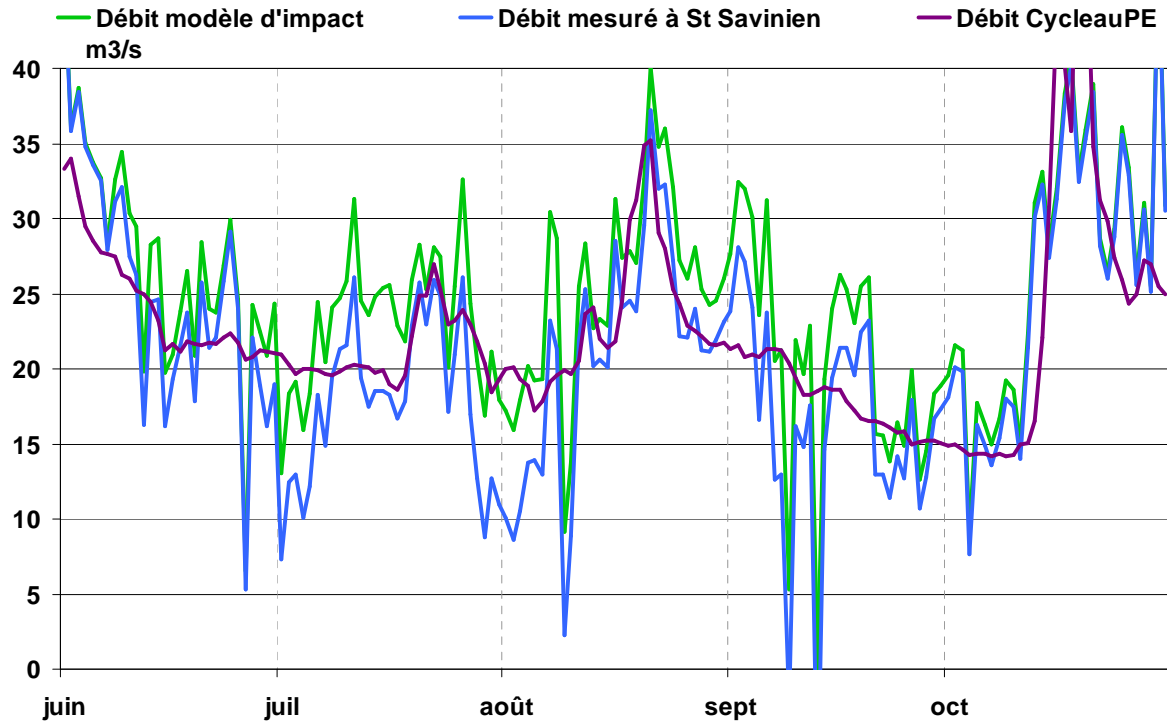
La figure ci-dessous schématise cette logique de modélisation.



Résultats

En reprenant l'exemple de l'année 2004 à St Savinien, pour laquelle le modèle d'impact hydrologique présentait des anomalies, on s'aperçoit que les résultats fournis par CycleauPE sont beaucoup plus cohérents et restituent un régime naturel d'étiage.

Néanmoins, le calage du modèle pluie – débit en étiage a été permis par les résultats du modèle d'impact. C'est à ce niveau-là qu'est la plus-value de l'utilisation couplée des deux outils de modélisation.



Il faut également noter que le modèle CycleauPE permet de reconstituer des débits naturels, même lorsque les débits mesurés sont indisponibles, puisqu'une fois calé, le modèle fournit des résultats pour peu qu'il soit alimenté en données météo.

Cela a donc permis de compléter les trous de données dans les chroniques.

Indicateur d'étiage

L'intérêt de ses chroniques est de pouvoir calculer les indicateurs d'étiage usuels, qui servent à évaluer l'hydrologie du bassin à l'étiage, ainsi que d'en sortir des éléments statistiques.

Les indicateurs calculés sont les suivants :

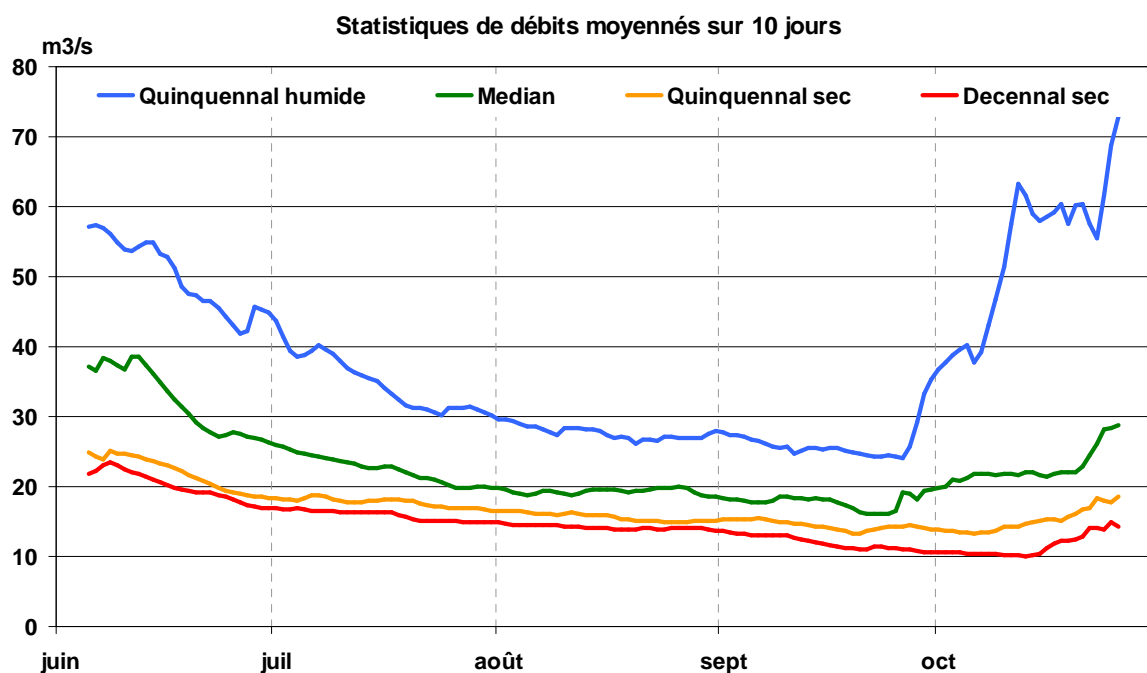
- **QMNA** : débit moyen mensuel minimum sur les cinq mois de chroniques (exprimé en m^3/s).
- **VCN₁₀** : minimum du débit moyenné sur 10 jours consécutifs. C'est l'indicateur de référence du SDAGE pour statuer sur le respect des DOE (m^3/s).
- **VCN₃₀** : minimum du débit moyenné sur 30 jours consécutifs. Il correspond à une actualisation du QMNA, non soumis à une période calendaire (m^3/s).
- **Déficit** : volume d'eau manquant pour satisfaire un objectif de débit (DOE ou autre) tout au long de la campagne (exprimé en m^3).

Remarque importante : tous les indicateurs sont calculés sur la période officielle PGE, c'est-à-dire du 1^{er} juin au 31 octobre. Des différences avec les statistiques Banque HYDRO peuvent donc apparaître sur les débits mesurés, étant donné qu'elle fournit les statistiques sur une période annuelle.

La Charente à Beillant

	Median	Quinquennal sec	Decennal sec
Juin	33,5	22,7	21,2
Juillet	23,5	18,3	16,1
Août	20,5	16,0	14,2
Septembre	19,1	14,8	13,4
Octobre	23,7	18,2	14,5
QMNA	16,1	13,8	12,3

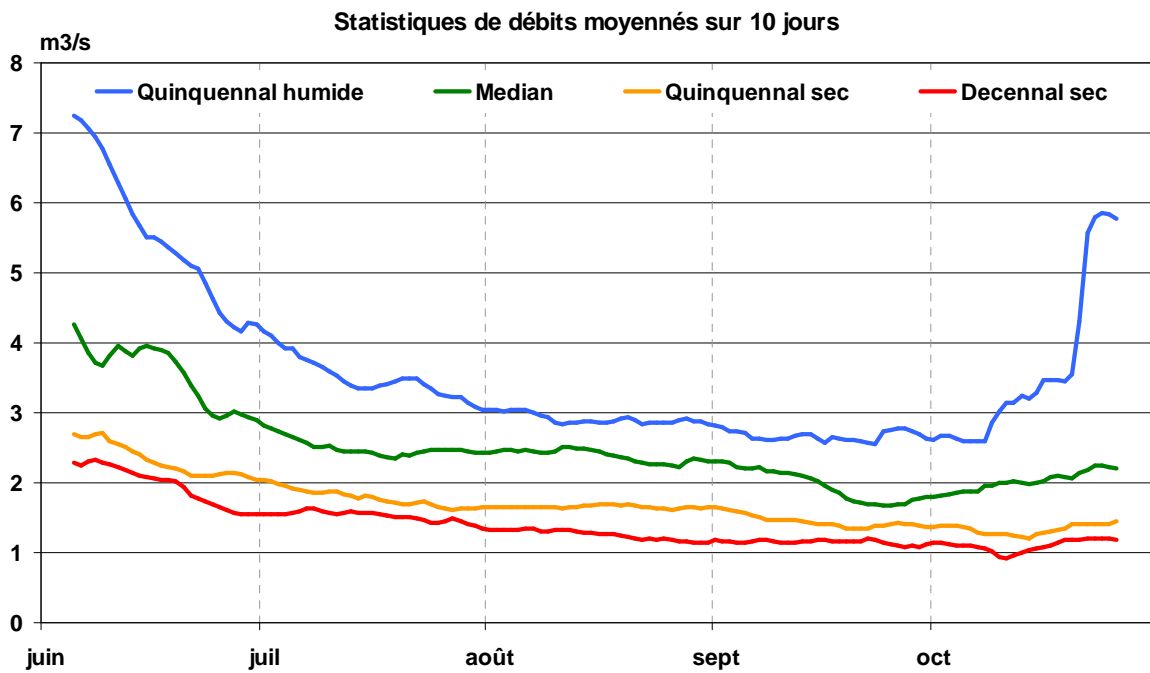
	Median	Quinquennal sec	Decennal sec
VCN10	14,26	11,75	8,96
VCN30	15,3	13,6	10,2



La Seugne

	Median	Quinquennal sec	Decennal sec
Juin	4,1	2,6	2,1
Juillet	2,4	1,8	1,7
Août	2,4	1,7	1,3
Septembre	2,0	1,5	1,3
Octobre	2,1	1,4	1,3
QMNA	1,6	1,2	0,9

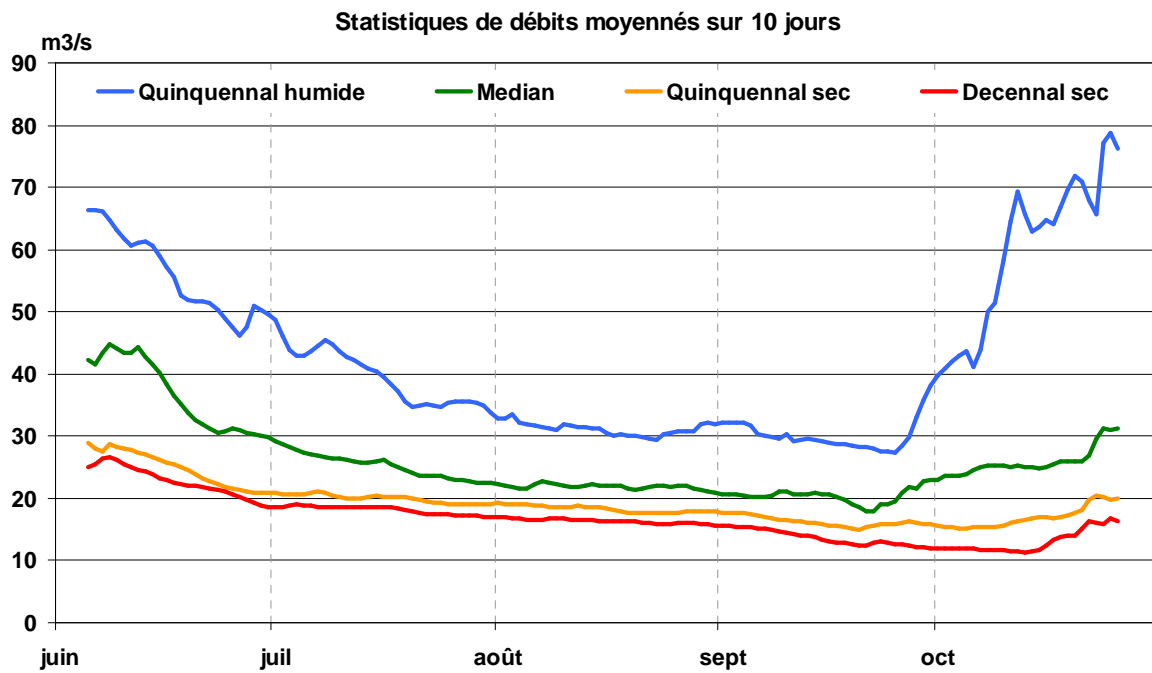
	Median	Quinquennal sec	Decennal sec
VCN10	1,42	0,99	0,83
VCN30	1,6	1,2	0,9



La Charente à St Savinien

	Median	Quinquennal sec	Decennal sec
Juin	38,0	25,9	24,2
Juillet	26,2	20,5	18,3
Août	23,1	18,6	16,4
Septembre	21,9	16,6	15,2
Octobre	28,2	20,5	16,5
QMNA	18,3	16,0	13,8

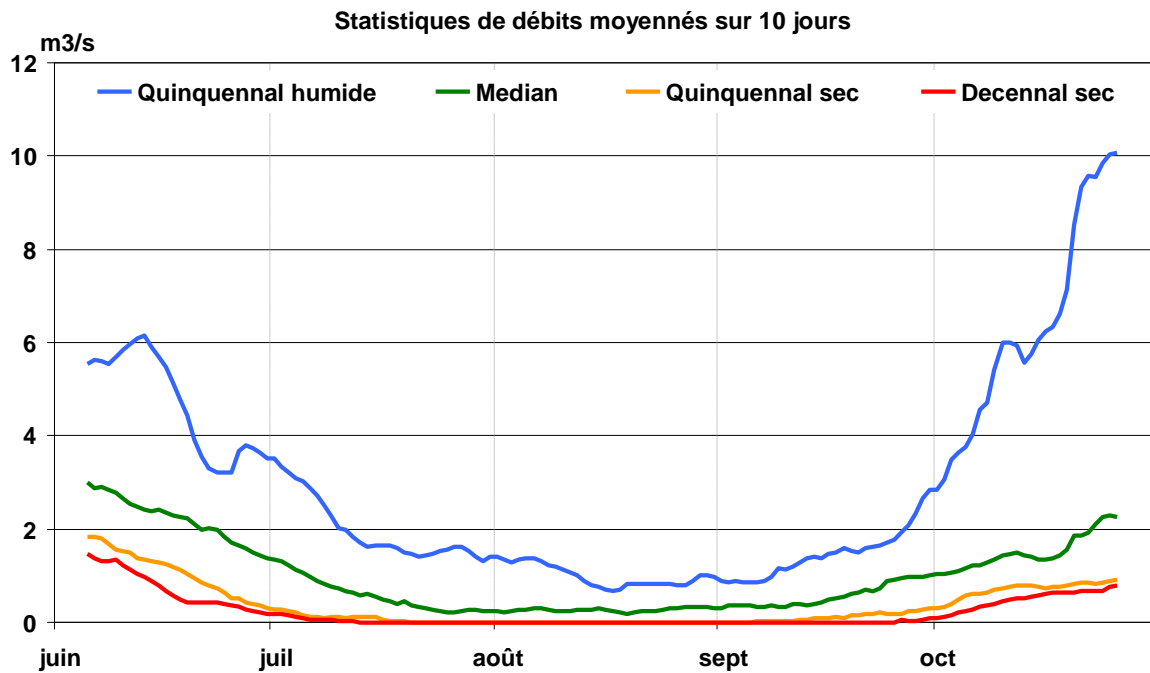
	Median	Quinquennal sec	Decennal sec
VCN10	16,30	13,34	9,91
VCN30	17,9	15,5	11,7



La Boutonne

	Median	Quinquennal sec	Decennal sec
Juin	2,5	1,3	1,0
Juillet	0,6	0,2	0,1
Août	0,3	0,0	0,0
Septembre	0,5	0,3	0,0
Octobre	1,6	0,9	0,7
QMNA	0,3	0,0	0,0

	Median	Quinquennal sec	Decennal sec
VCN10	0,00	0,00	0,00
VCN30	0,2	0,0	0,0



La Charente à l'estuaire

	Median	Quinquennal sec	Decennal sec
Juin	41,3	29,5	26,1
Juillet	27,8	21,1	19,2
Août	23,6	19,3	16,7
Septembre	23,2	17,8	15,6
Octobre	30,8	21,8	19,1
QMNA	19,9	17,0	14,5

	Median	Quinquennal sec	Decennal sec
VCN10	17,05	13,98	10,15
VCN30	18,6	16,4	12,2

