3ème Journées de Modélisation des Surfaces Continentales

Comment modifier la structure d'un modèle « rural » pour tenir compte de l'urbanisation d'un bassin versant ?

Mohamed Saadi, Ludovic Oudin et Pierre Ribstein
UMR METIS (Sorbonne Université, CNRS, EPHE)

14 Novembre 2019, Paris, France

Thématique et échelle spatiotemporelle

Domaine d'étude : **hydrologie des bassins versants**

Processus modélisés : **les flux hydriques intervenant dans la relation pluie-débit**

Thématique : **Impact de l'urbanisation sur l'hydrologie des bassins versants**

Choix de représentation spatiale

Distribué | Semi-distribué | **Global (*lumped*)**

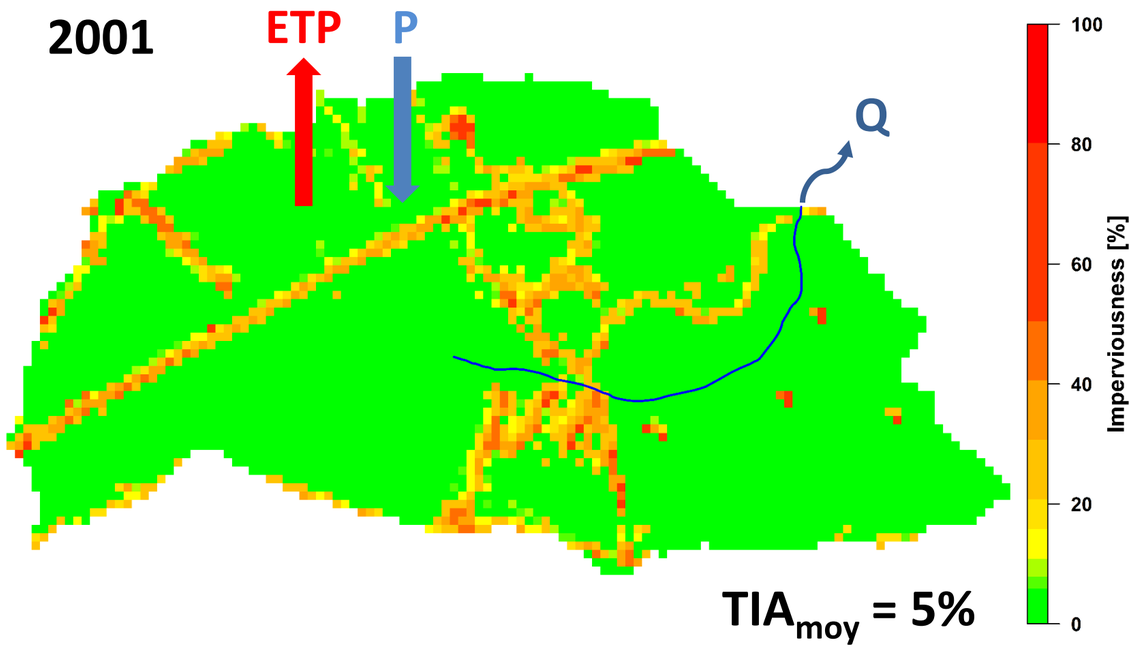
Echelle spatiale

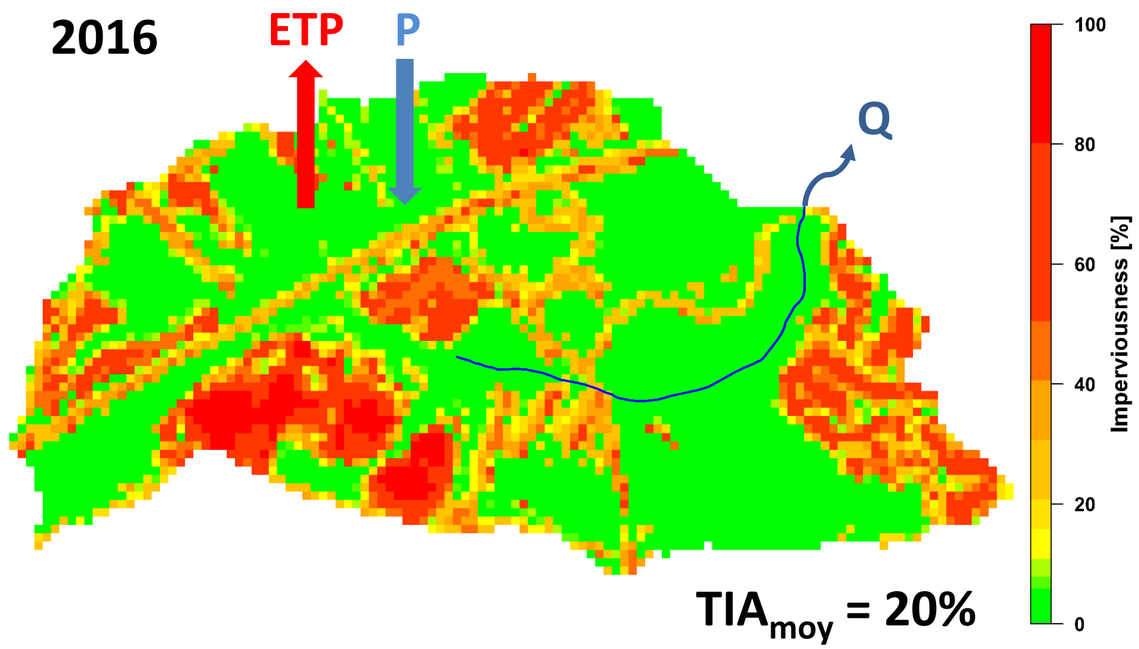
1 km² — **10^3 km²**

Résolution temporelle

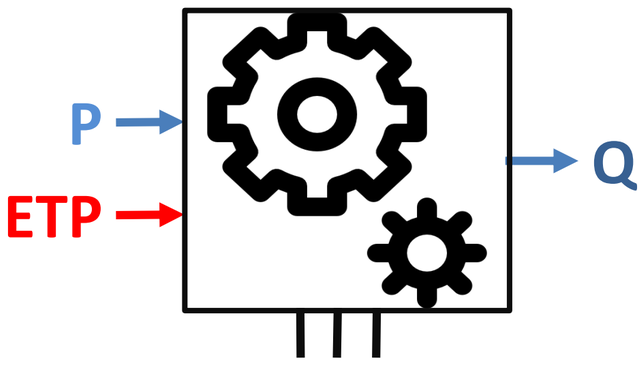
1min | 6min | 1h | 6h | 12h | 1j | 1mois | 1 an | plusieurs années

Contexte et objectifs



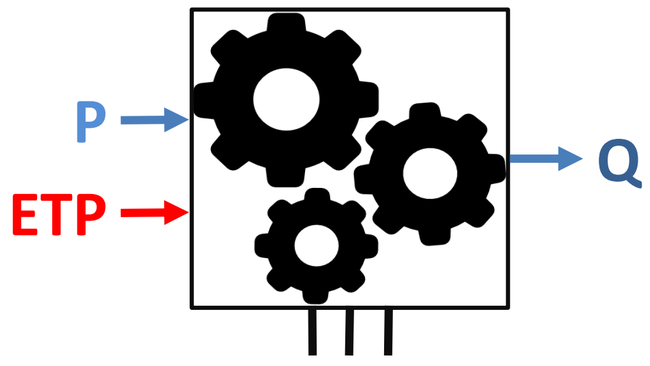


Évolution d'une situation **faiblement urbanisé** à une situation **fortement urbanisée**



$f(P, ETP, \{\theta\})$

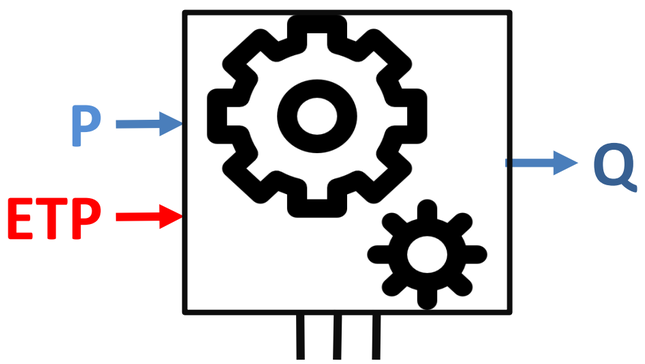
Modèle « rural » : ne représentant aucun aspect spécifiquement lié à l'urbanisation



$\mathbf{g}(P, ETP, \{\theta\}, \{\theta\}_{Urb})$

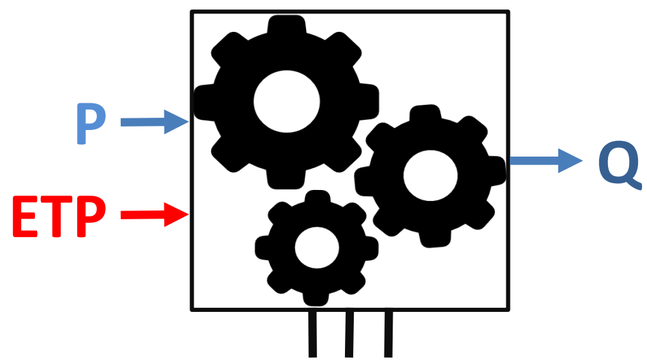
Modèle souhaité : prenant en compte la présence de surfaces très imperméables au sein du bassin versant

Contexte et objectifs



$f(P, ETP, \{\theta\})$

Modèle « rural » : ne représentant aucun aspect spécifiquement lié à l'urbanisation



$\mathbf{g}(P, ETP, \{\theta\}, \{\theta\}_{Urb})$

Modèle souhaité : prenant en compte la présence de surfaces très imperméables au sein du bassin versant

Question : Comment modifier la structure de départ du modèle « rural » pour mieux reproduire les écoulements observés sur les bassins versants fortement urbanisés ?

Possibilités d'adaptation

Implicite / « *lumped* »

Explicite / Distribué

Choix de représentation des processus hydriques

Niveau de paramétrisation du modèle de départ

Légèrement paramétré

Lourdement paramétré

Adaptations	**Faire dépendre les paramètres au taux d'urbanisation**	**Rajouter au modèle « rural » une branche imperméable**	**Branche imperméable + Autres processus anthropiques (irrigation, AEP, assainissement…)**	**Représentation explicite des processus induits par l'urbanisation**
Exemples	**ReFH** (Kjeldsen, 2007 ; Kjeldsen et al., 2013)	Aronica et Cannarozzo (2000), **MUSIC** (Dotto et al., 2011 ; Hamel et Fletcher, 2014), **KAREN** (Dotto et al., 2011)	**SIMHYD** (Singh et al., 2009), **Aquacycle** (Mitchell et al., 2001)	**ISBA-TOPMODEL** (Furusho et al., 2013); **TEB-Hydro** (Stavropulos-Laffaille et al., 2017)

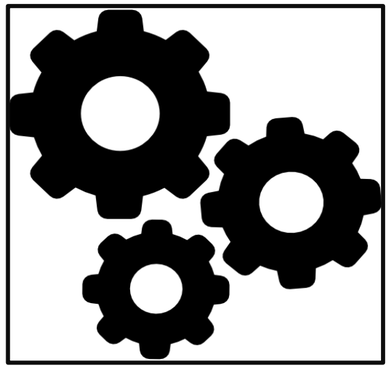
Méthodologie

Hypothèses

Pour expliquer

Conceptualisation

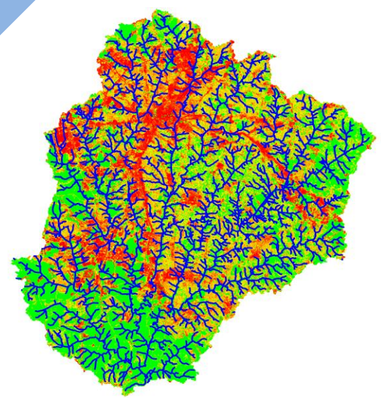
Formulation



Modèle

Pour rendre testable/tester les hypothèses

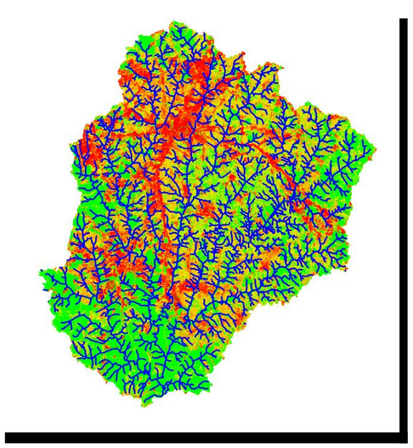
Test et évaluation

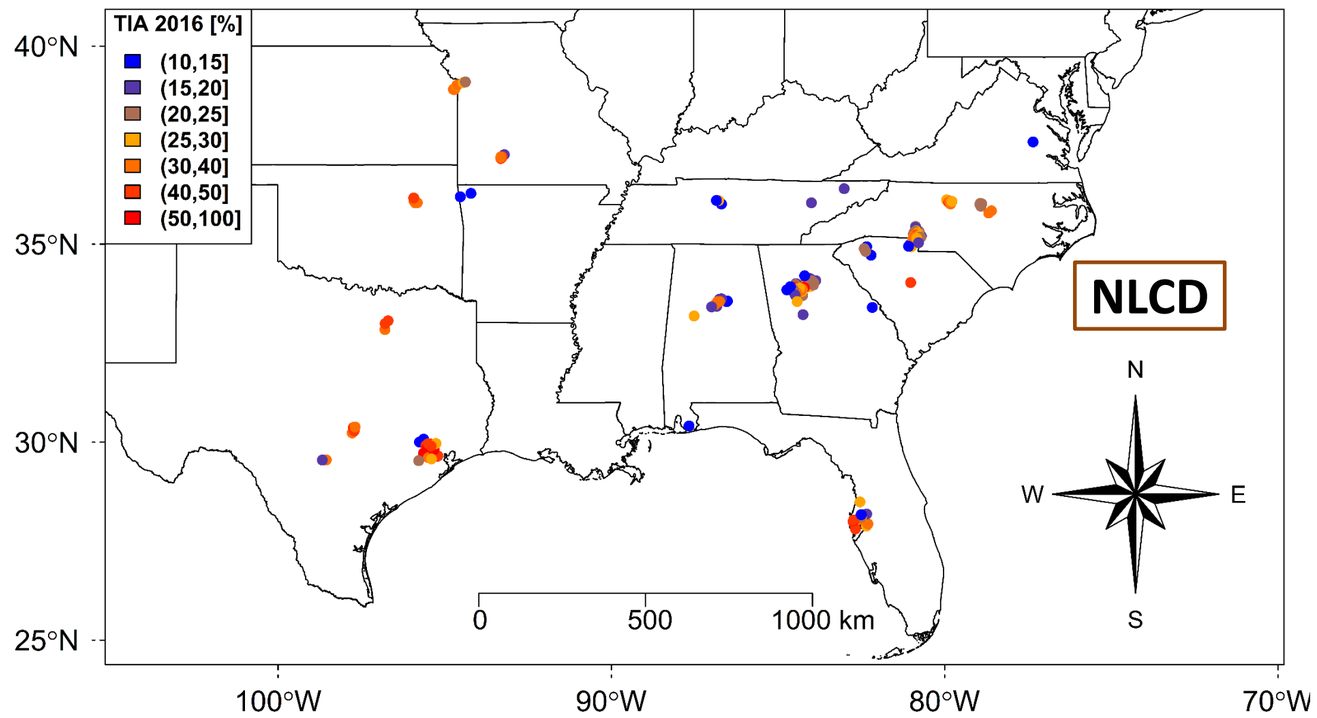


Données

Pour formuler et tester les hypothèses

Échantillon de bassins versants



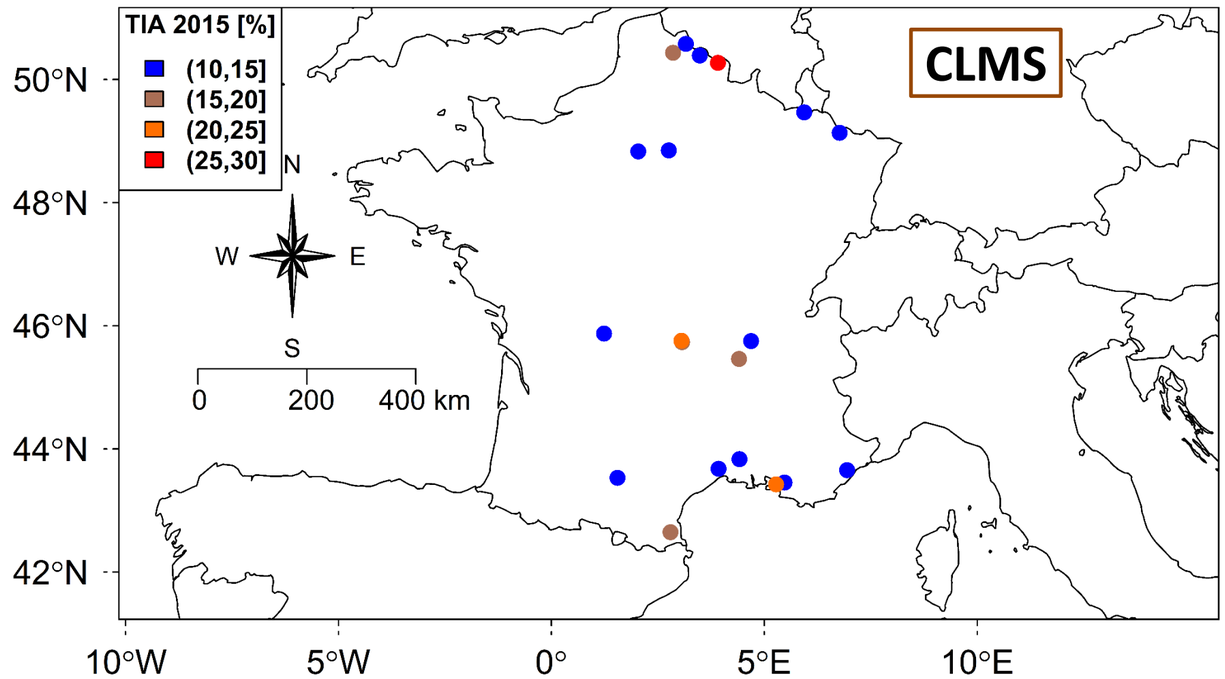


- **Un large échantillon de 176 bassins versants situés aux États-Unis (156) et en France (20)**

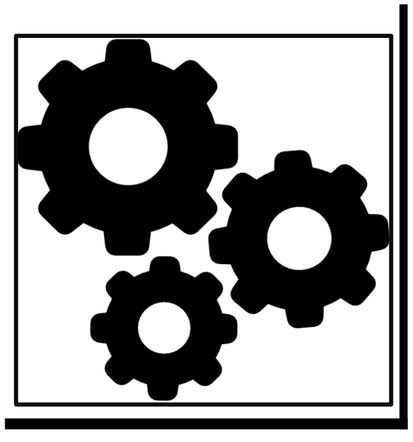
- **Un minimum de 8 ans de données hydroclimatiques au pas de temps horaire en 1997-2017, TIA ≥ 10%**

- **TIA disponible en moyenne tous les 3-5 ans**

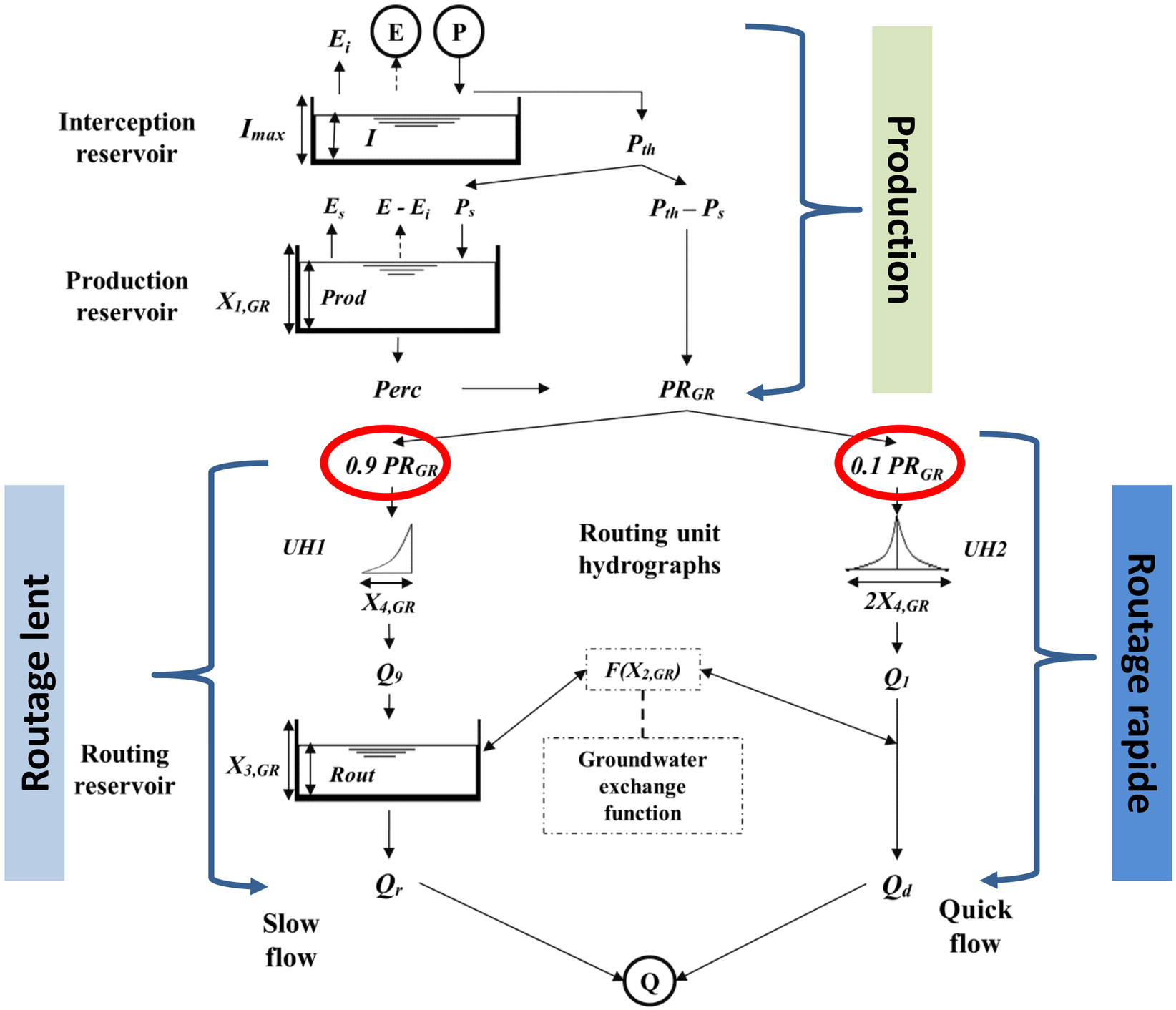
	Valeur minimale	Valeur maximale
Surface [km²]	1.13	727.23
P_{moy} [mm/an]	500	1620
ETP_{moy}[mm/an]	630	1400



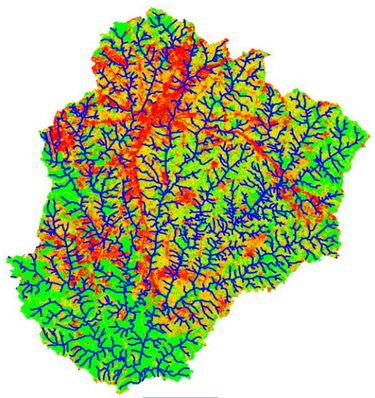
Modèle hydrologique « rural » de base



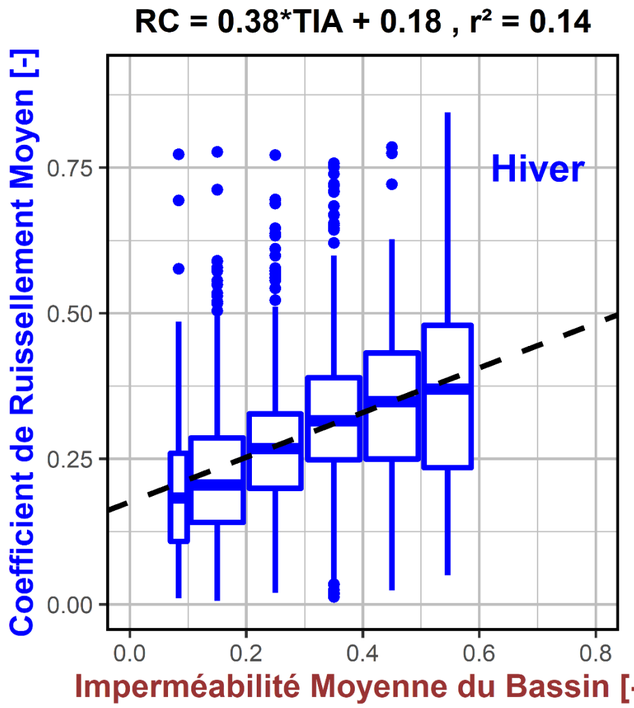
Modèle hydrologique « rural » : GR4H (Ficchi, 2017; Le Moine, 2008; Mathevet, 2005)

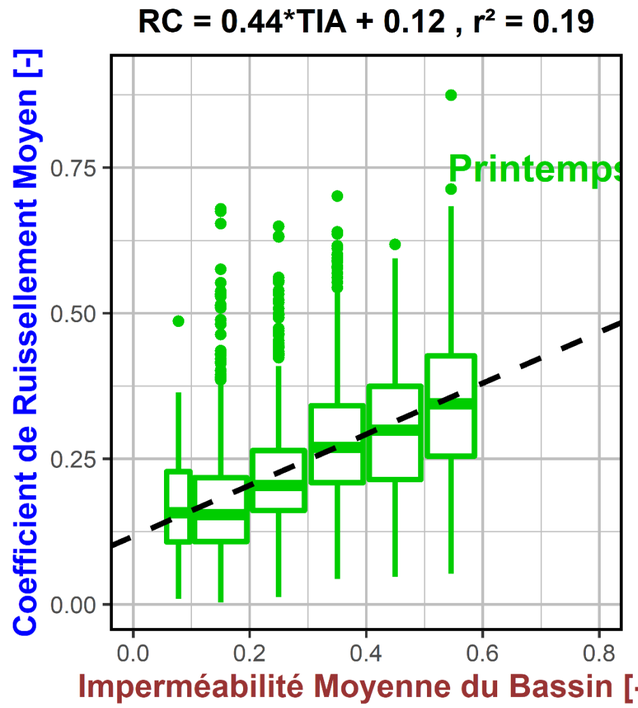


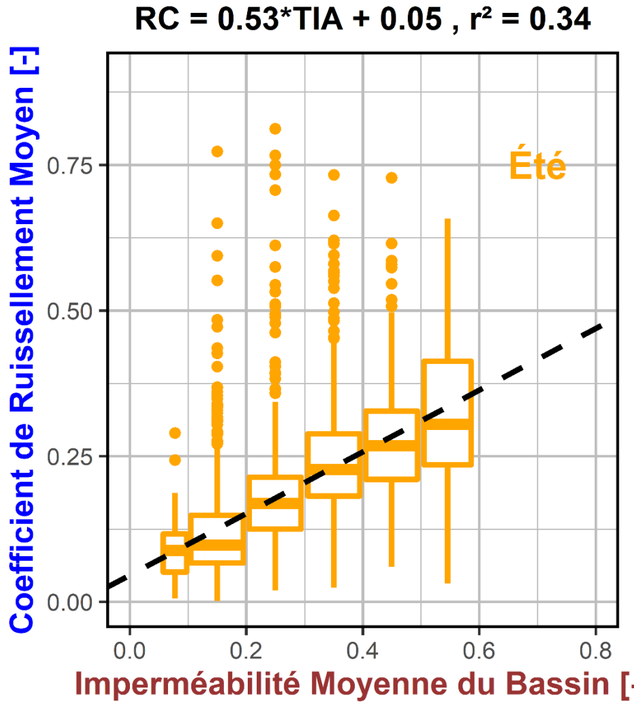
Analyse des données hydroclimatiques

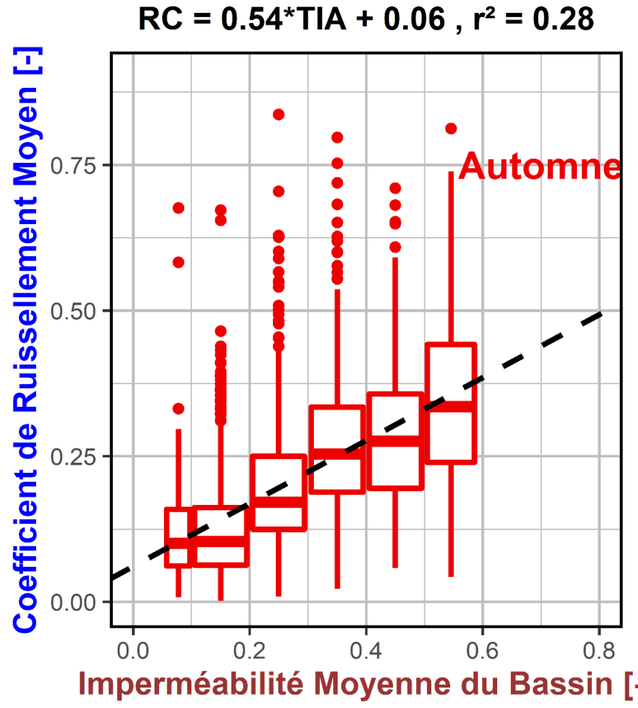


Formulation





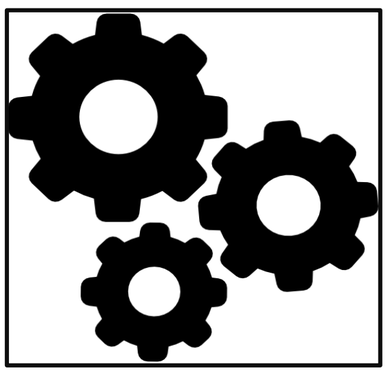


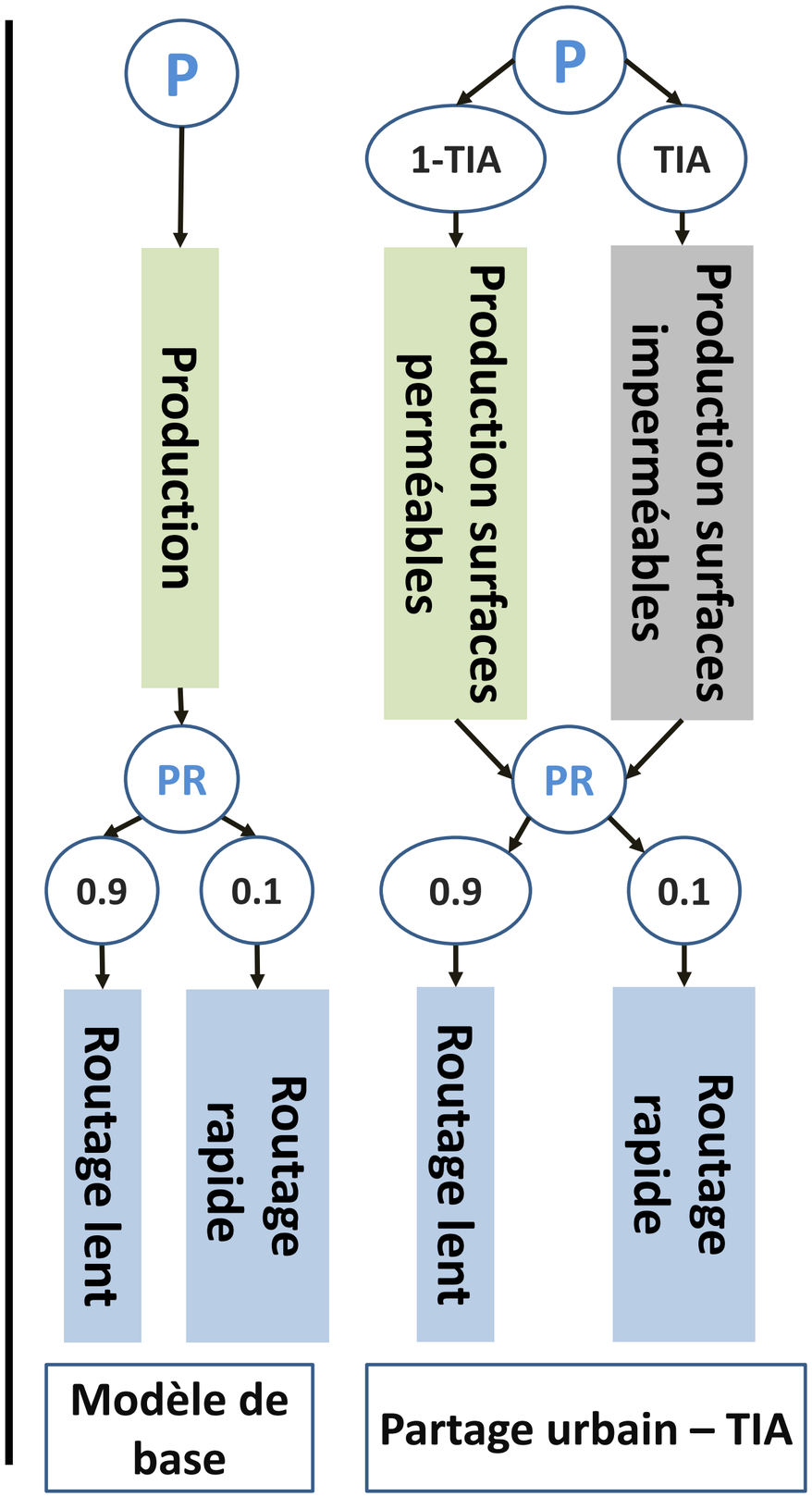


Une production dépendante de TIA ?

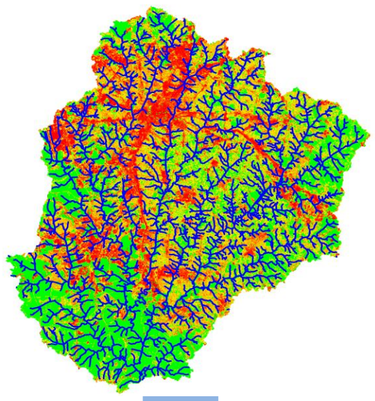
Modifications testées

Conceptualisation

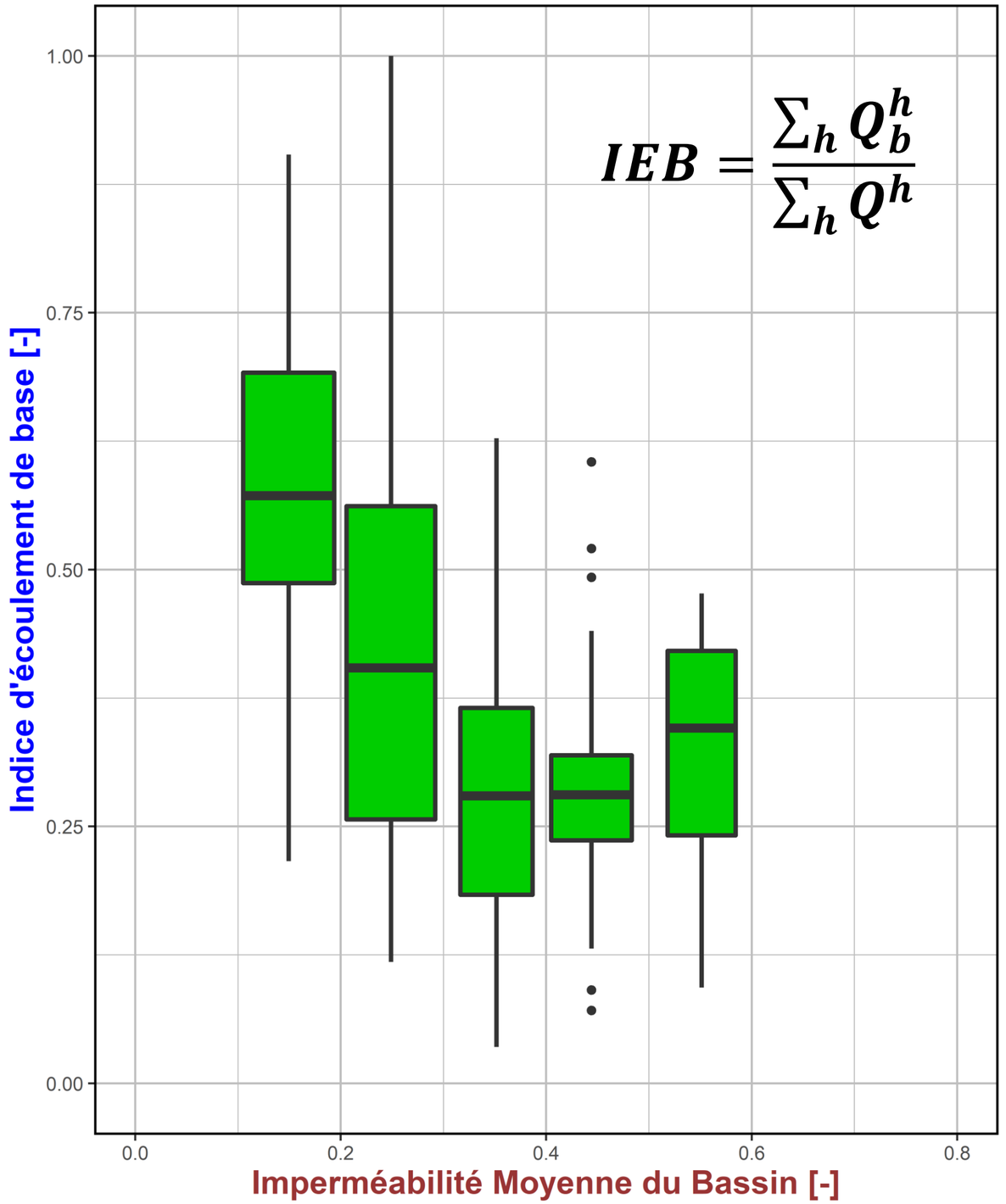




Analyse des données hydroclimatiques



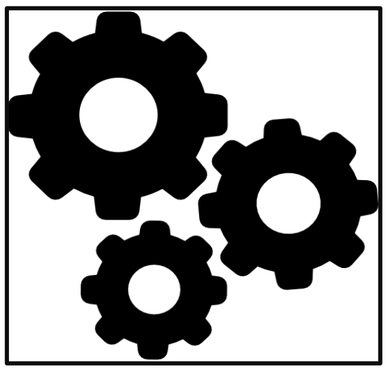
Formulation

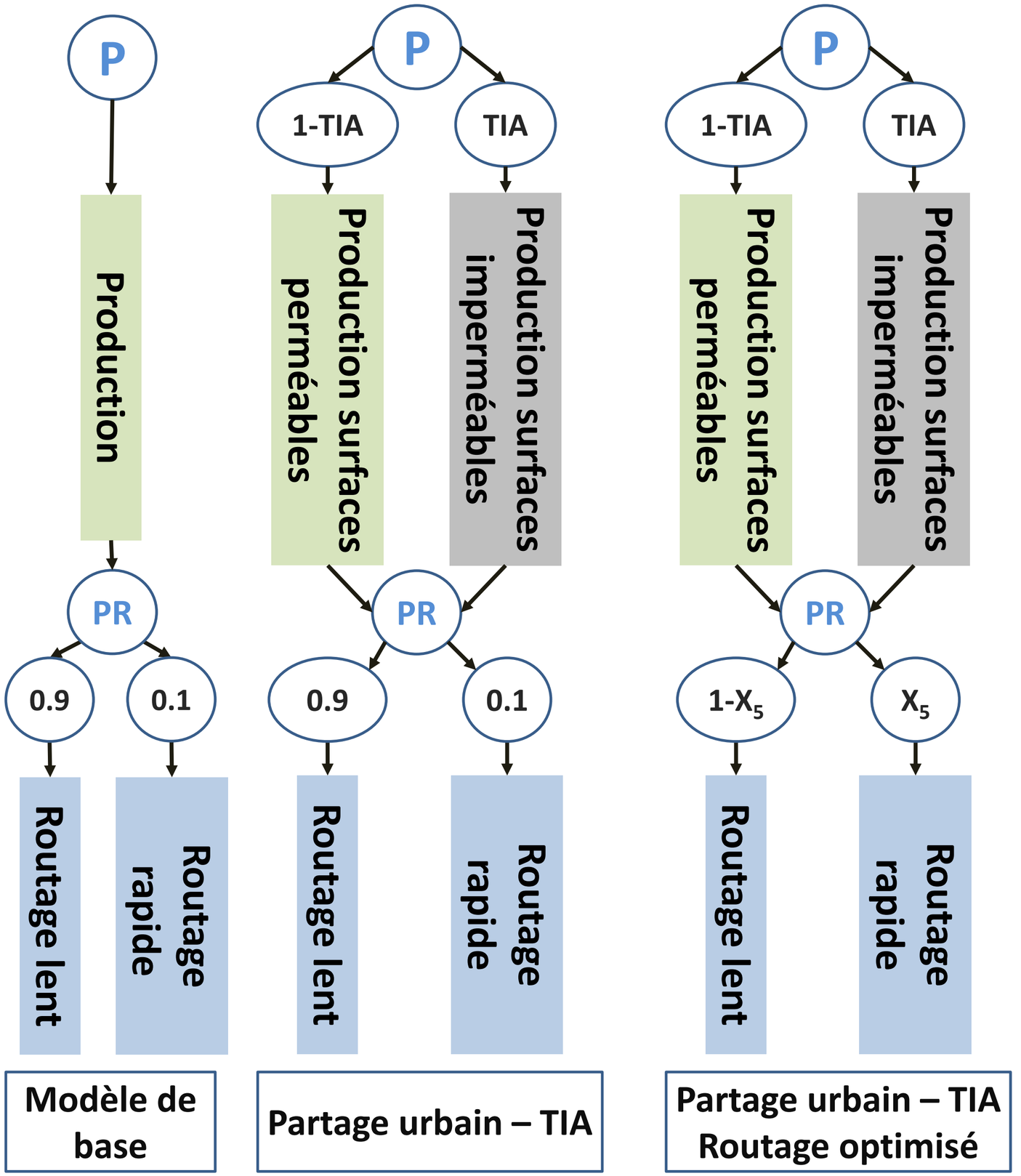


Libérer le paramètre de partition de routage libre/lent ?

Modifications testées

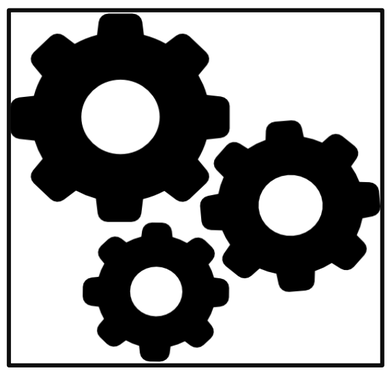
Conceptualisation

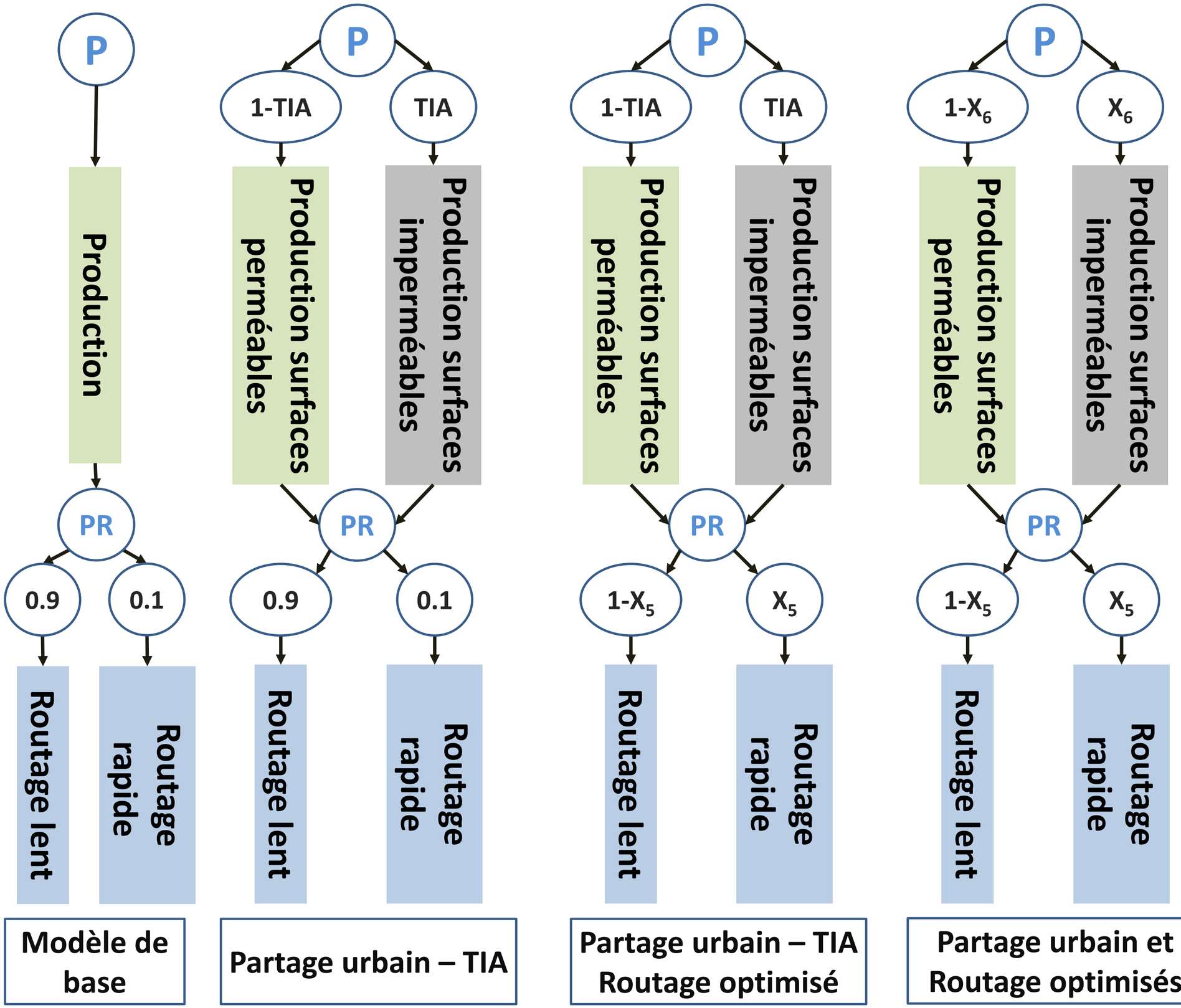




Modifications testées

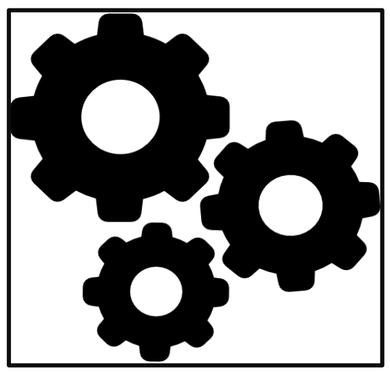
Conceptualisation

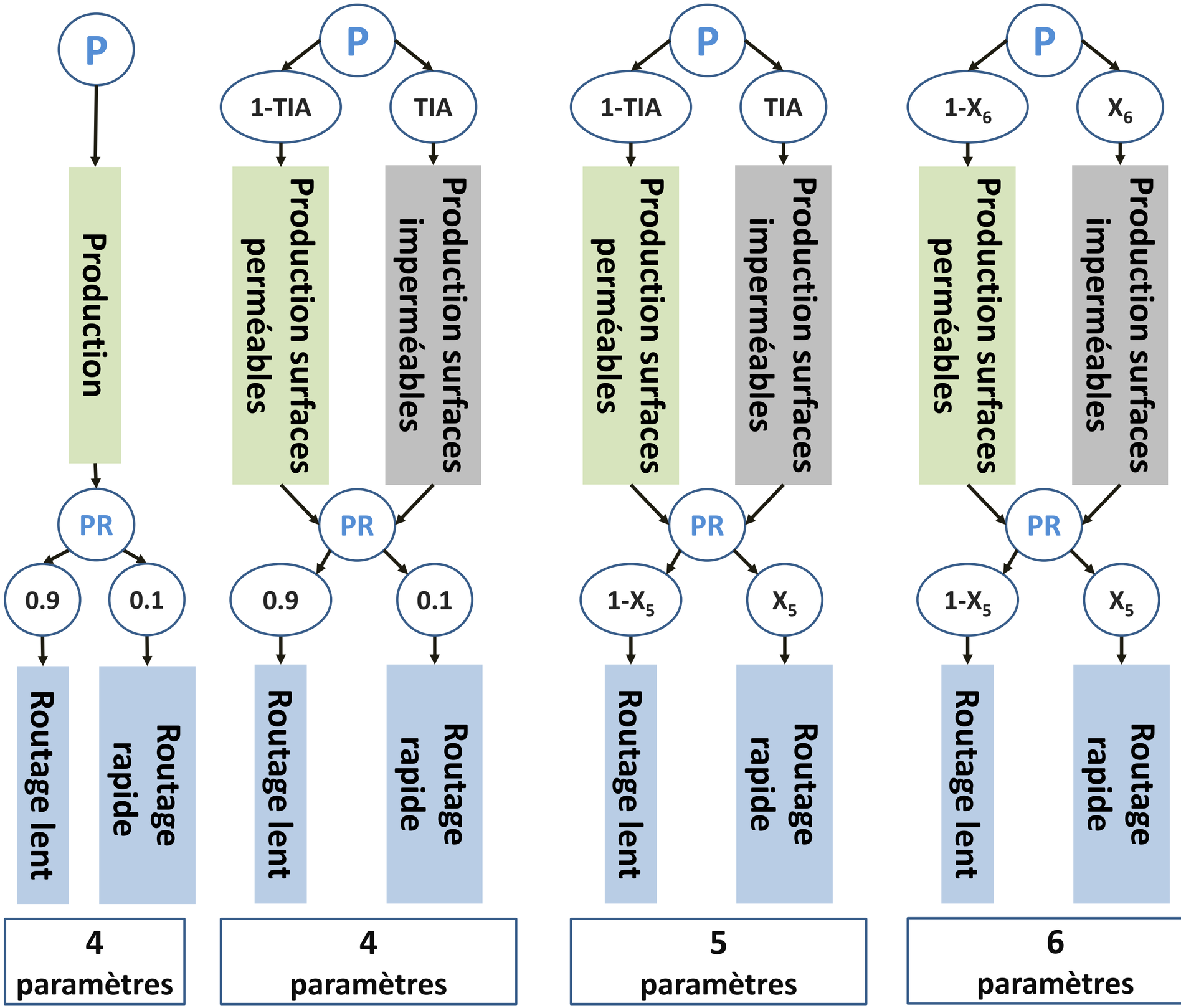




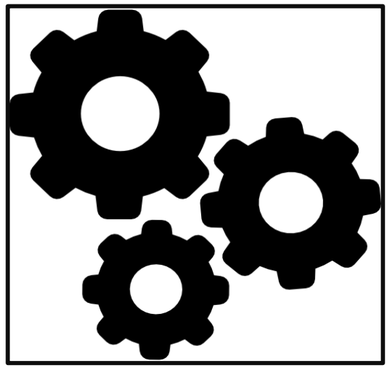
Modifications testées

Conceptualisation

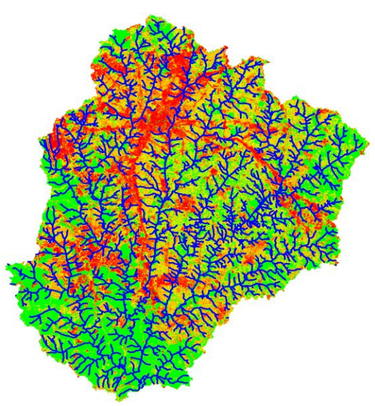


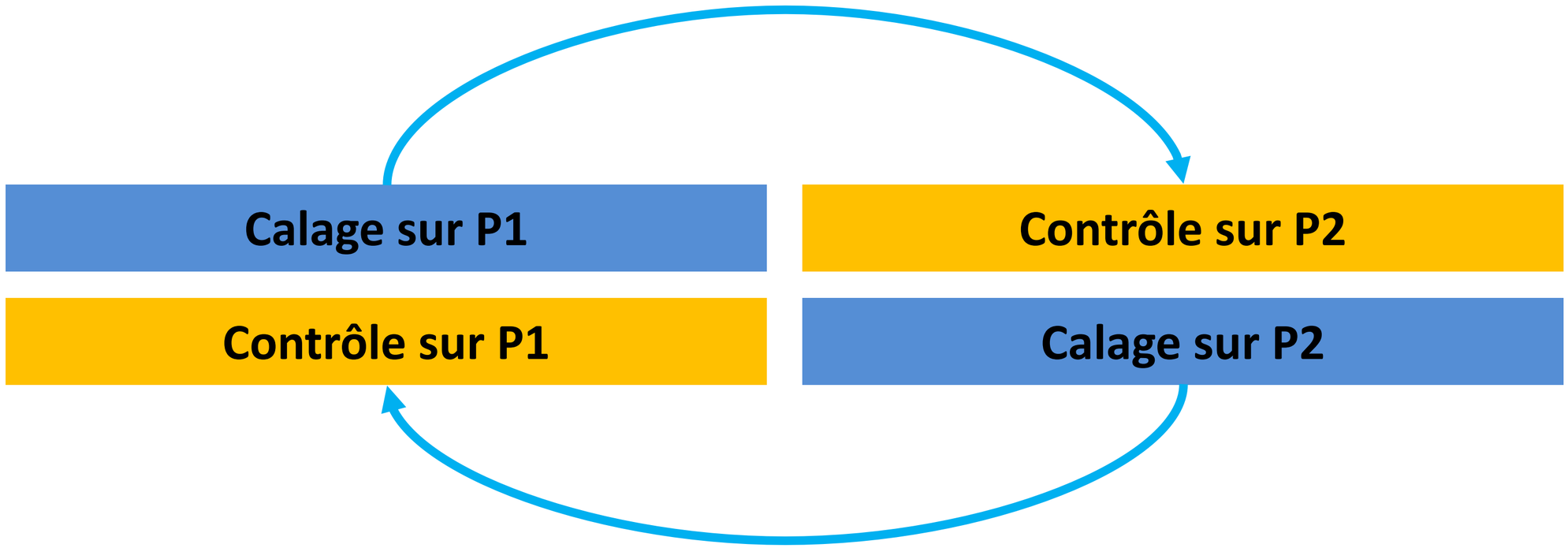


Évaluation des structures



Test et évaluation





- **Algorithme de calage :** recherche sur une grille grossière (hypercube latin) du meilleur point de départ, suivie d'un gradient descendant (Edijatno et al., 1999)

- **Fonction Objectif :** Score de Kling-Gupta KGE (Gupta et al., 2009).

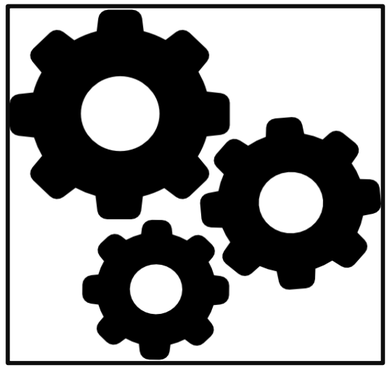
$$KGE = 1 - \sqrt{(1-r)^2+(1-\alpha)^2+(1-\beta)^2}$$

Corrélation

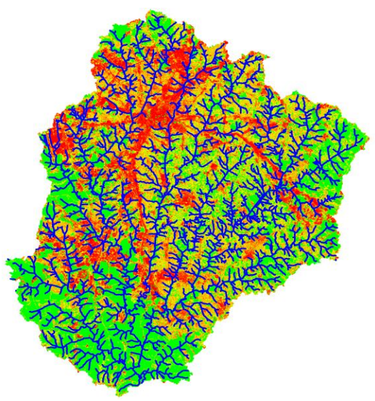
Rapport des écarts-types

Rapport des volumes

Évaluation des structures



Test et évaluation



Type de critère	Critère	Abréviation	Valeur idéale
Continus	KGE sur les débits	**KGE**	**1**
	Nash-Sutcliffe sur les débits (NSE)	**NSE**	**1**
	KGE sur les racines carrées de débit	**KGESQ**	**1**
	NSE sur les racines carrées de débit	**NSESQ**	**1**
Événementiels	Erreurs sur les pics	$\boldsymbol{\varepsilon^*_{Qp}}$	**1**
	Erreurs sur les temps de pics	$\boldsymbol{\varepsilon^*_{Tp}}$	**1**
	Erreurs sur les volumes écoulés	**VE**	**1**

$$\boldsymbol{NSE = 1 - \frac{\sum_h (Q^h_{sim} - Q^h_{obs})^2}{\sum_h (Q^h_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2}}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon^*_{Qp} = 1 - \frac{|Q^p_{sim} - Q^p_{obs}|}{Q^p_{obs}}}$$

$$\boldsymbol{VE = 1 - \frac{\sum_{h \in event} |Q^h_{sim} - Q^h_{obs}|}{\sum_{h \in event} Q^h_{obs}}}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon^*_{Tp} = 1 - \frac{|t^p_{sim} - t^p_{obs}|}{t^p_{obs} - t^{deb}_{obs}}}$$

Sur 89177 événements

Performances en calage

Version	Nombre de paramètres calibrés	KGESQ		KGE	
		Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane
Modèle de base	4	0.85	0.87	0.82	0.85
Partage urbain – TIA	4	+ 0.01	+ 0.01	+ 0.02	+ 0.02
Partage urbain – TIA + routage optimisé	5	+ 0.02	+ 0.02	+ 0.03	+ 0.03
Partage urbain et routage optimisés	6	+ 0.03	+ 0.02	+ 0.03	+ 0.03

- Plus le degré de liberté est important, mieux est le modèle en CALAGE
- Bonne reproduction des écoulements en exploitant TIA (au pas de temps annuel)

Performances en contrôle – Critères continus (Calage sur KGESQ)

Version	KGE	NSE	KGESQ	NSESQ
Modèle de base	**0.63**	**0.42**	**0.79**	**0.57**
Partage urbain – TIA	**+ 0.02**	**+ 0.04**	**+ 0.00**	**+ 0.01**
Partage urbain – TIA + routage optimisé	**+ 0.03**	**+ 0.09**	**+ 0.01**	**+ 0.03**
Partage urbain et routage optimisés	**+ 0.03**	**+ 0.11**	**+ 0.02**	**+ 0.07**

- **L'ajout de la branche imperméable en proportion à TIA seul améliore les résultats**
- **Amélioration significative en KGE et NSE qu'en KGESQ et NSESQ**
- **Amélioration plus prononcée en NSE qu'en KGE**

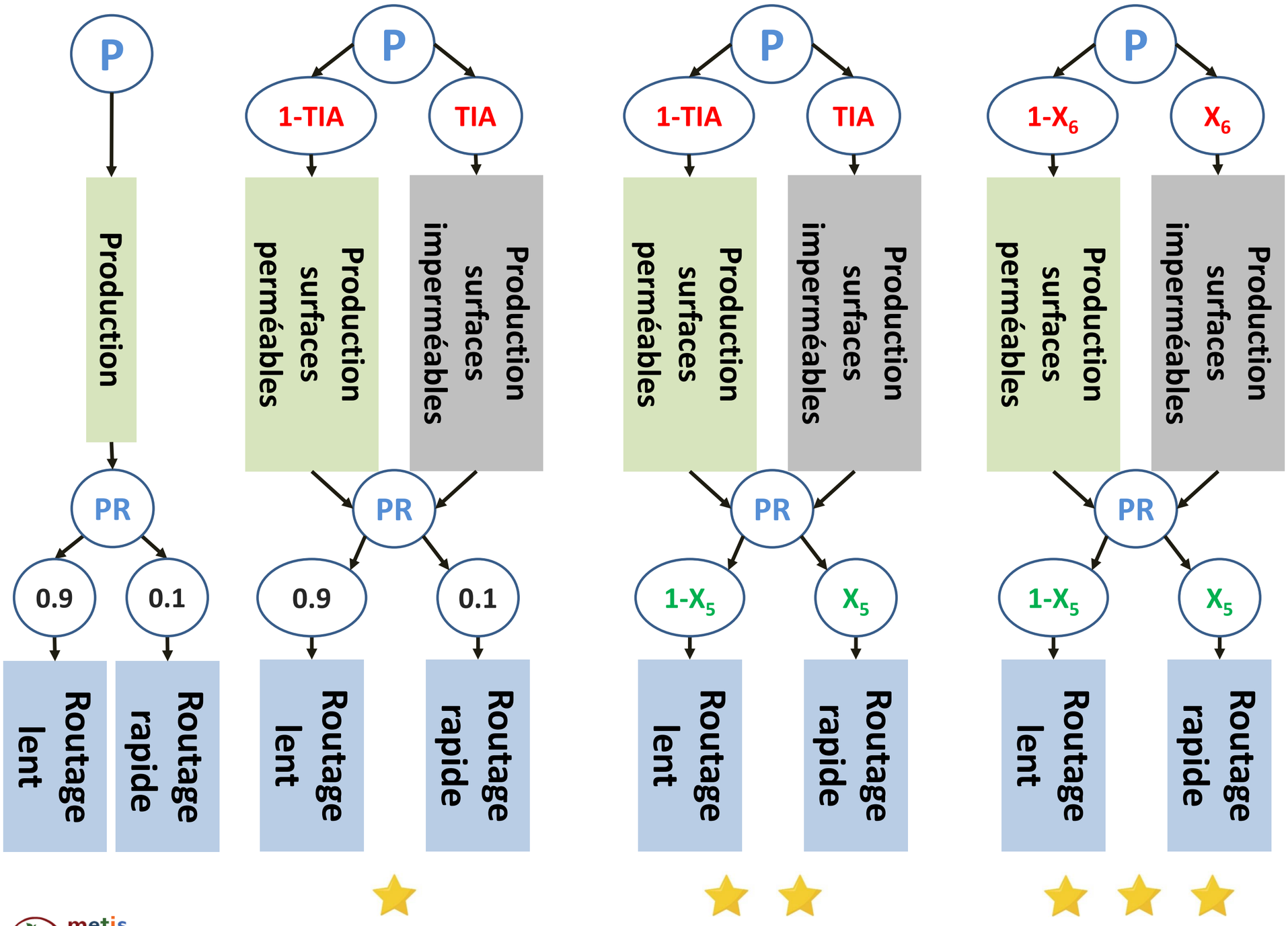
Performances en contrôle – Critères événementiels (Calage sur KGESQ)

Version	ε^*_{Qp}	ε^*_{Tp}	VE
Modèle de base	**0.46**	**0.80**	**0.46**
Partage urbain – TIA	**0.55**	**0.82**	**0.51**
Partage urbain – TIA + routage optimisé	**0.59**	**0.80**	**0.51**
Partage urbain et routage optimisés	**0.57**	**0.80**	**0.51**

- **Atténuation significative des erreurs par rapport au point de départ**
- **Tenir compte de la production sur les surfaces urbaines permet d'atténuer les erreurs sur les pics de débit**

Conclusion

Question : Comment modifier la structure de départ du modèle rural pour mieux reproduire les écoulements observés sur les bassins versants fortement urbanisés ?



A l'échelle du bassin versant

une partition perméable/ imperméable

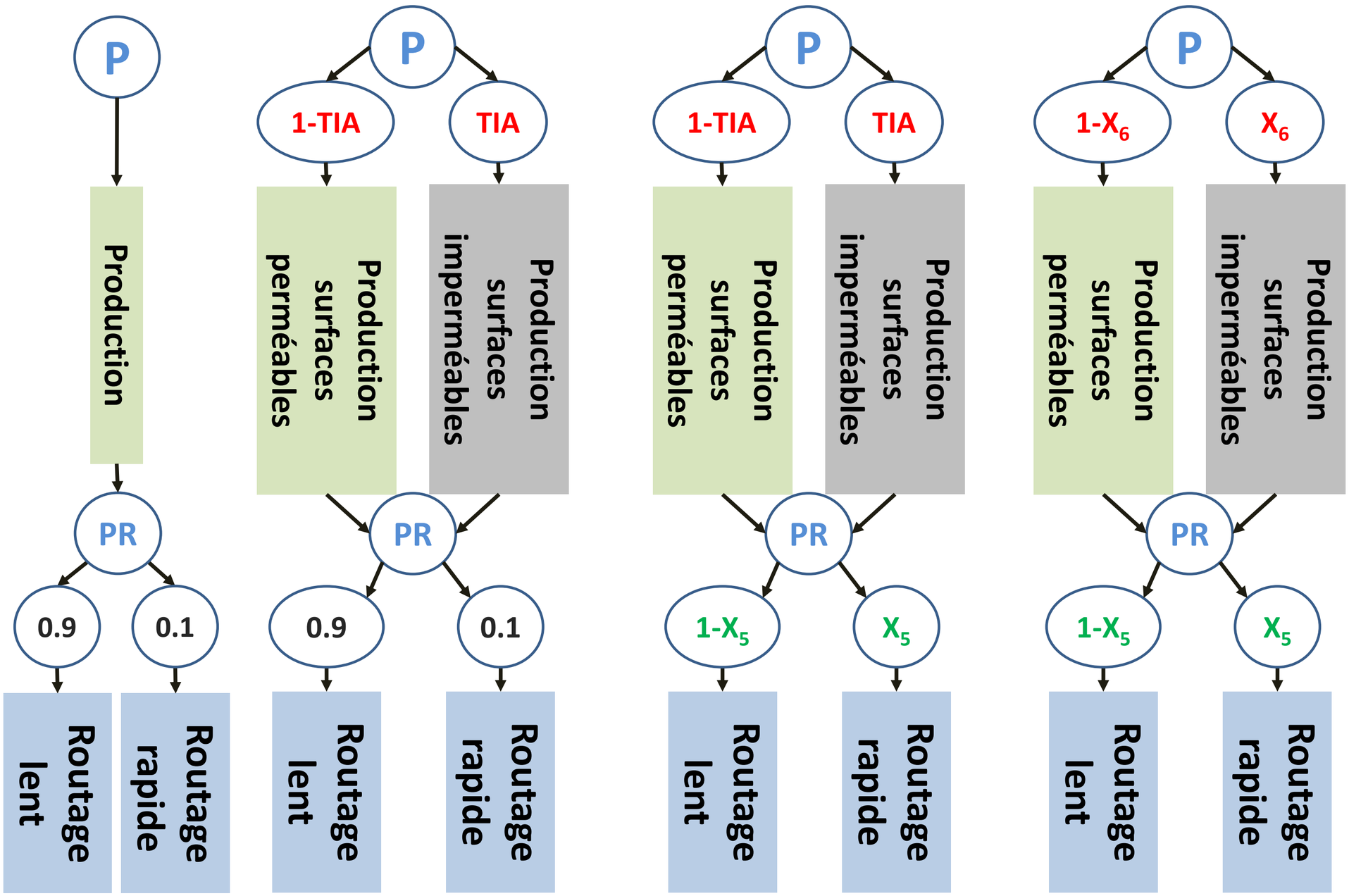
+

une partition lent/rapide

permet d'améliorer nettement les résultats

Conclusion

Question : Comment modifier la structure de départ du modèle rural pour mieux reproduire les écoulements observés sur les bassins versants fortement urbanisés ?



Quand les paramètres sont optimisés, un effort de régionalisation est nécessaire pour les besoins d'étude de scénarios

Merci de votre attention !