



### DEVELOPPEMENT D'UN MODULE SUR LES OUVRAGES DE GESTION A LA SOURCE DES EAUX PLUVIALES DANS LE MODELE TEB

#### CONTEXTE ET OBJECTIFS

---

Le changement de paradigme qu'a connu l'hydrologie urbaine au cours des dernières décennies a vu l'émergence de nouvelles solutions de gestion à la source des eaux pluviales urbaines. Les études expérimentales menées à l'échelle d'un ouvrage ont révélé des avantages multiples liés à l'utilisation de ces dispositifs : maîtrise des flux d'eau et de polluants, lutte contre les îlots de chaleur urbains, support de biodiversité, etc. Néanmoins l'effet « cumulé » de ces pratiques à l'échelle d'un quartier ou même d'un territoire urbain demeure assez mal appréhendé à l'heure actuelle.

Cette action de recherche vise à développer et mettre en œuvre un modèle pour évaluer les effets d'une systématisation de la gestion à la source des eaux pluviales à l'échelle d'une zone urbaine.

Le développement du modèle envisagé repose sur le modèle TEB. Certains ouvrages de gestion à la source sont d'ores et déjà modélisés dans TEB (toitures végétalisées et récupération des eaux des pluies). Le travail de recherche portera tout d'abord sur la conceptualisation du fonctionnement des ouvrages de gestion à la source et leur représentation au sein du modèle TEB. Sur la base d'un état de l'art international autour des approches utilisées pour la modélisation à grande échelle, des dispositifs de gestion à la source des eaux pluviales, un schéma permettant une description générique des ouvrages à l'échelle d'une maille de TEB sera proposé et codé au sein du modèle TEB. Ce schéma sera ensuite validé, à l'échelle d'une ou de plusieurs mailles, par comparaison avec des approches classiques via le modèle SWMM.

#### MODELE HYDRO-CLIMATIQUE TEB

---

Le modèle TEB appartient à une plateforme de modélisation appelée SURFEX, qui décrit les transferts d'énergie et d'eau entre le sol, la végétation et l'atmosphère. La segmentation de l'espace se base sur un maillage régulier de quelques dizaines à quelques centaines de mètres de côté. Le modèle évalue les transferts moyens par maille, mais il est possible de distinguer les types de surface à l'intérieur de la maille en faisant appel à des modules différents : surfaces d'eau ouvertes ou fermées (module FLAKE), surfaces naturelles (Module ISBA), surfaces urbaines (TEB). Le module TEB-VEG qui couple TEB et ISBA au sein d'une maille surface urbaine a permis de décrire la végétation à l'intérieur des surfaces urbaines. Il introduit ainsi une segmentation conceptuelle d'une surface urbaine en trois compartiments : bâti, voirie et jardins (Figure 1). Le développement de TEB-HYDRO a permis d'améliorer la description du système en représentant dans le modèle le sol situé sous le bâti et la voirie et en décrivant le réseau d'assainissement. L'infiltration de l'eau a lieu dans les jardins et, dans une moindre mesure sous les voiries, puis une redistribution latérale s'effectue dans le sol des trois compartiments. Pour ce qui est du transfert en réseau d'assainissement, seule une option de routage de l'hydrogramme à vitesse constante, avec sommation des différents signaux au niveau des jonctions, est disponible à ce jour. Le modèle TEB peut être exécuté soit couplé à d'autres modèles météorologiques, soit en mode hors ligne forcé par des données atmosphériques observées. Les travaux réalisés Stavropoulos-Laffaille et al. (2018) et Stavropoulos-Laffaille et al. (2021) fournissent des informations détaillées sur les processus hydrologiques et énergétiques impliqués dans le modèle TEB.

Nous avons choisi de travailler avec le modèle TEB car il nous permet de décrire en même temps les processus hydrologiques et les processus radiatifs et énergétiques qui se produisent en milieu urbain.

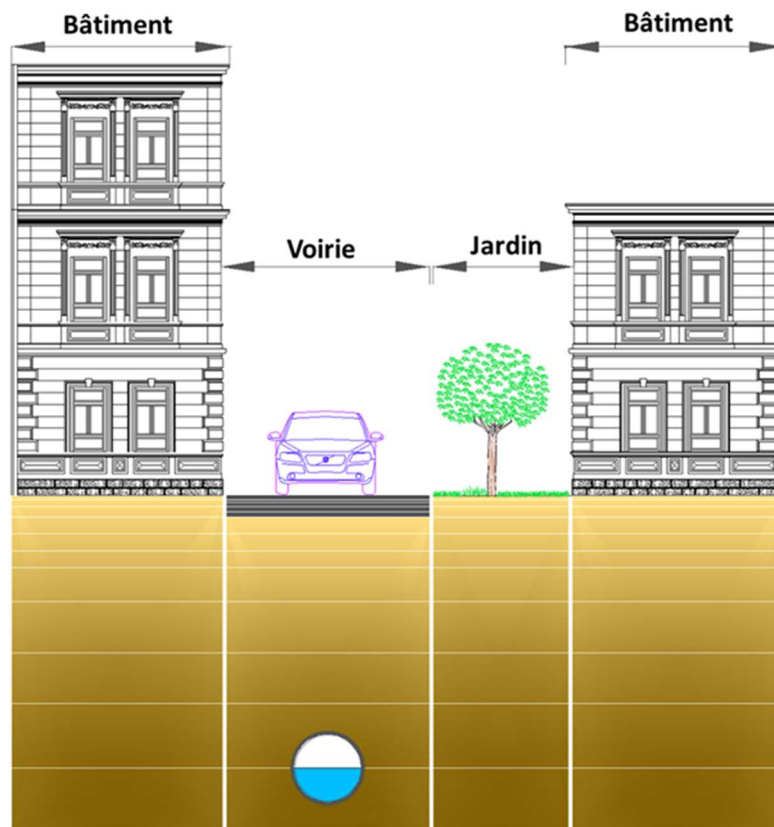


Figure 1 : Représentation de l'environnement urbain dans le modèle TEB à travers 3 compartiments : bâtiment, voirie et jardin

## DEVELOPPEMENT D'UNE NOUVELLE TYPOLOGIE DES OGS

La recherche a démarré en octobre 2020 par la réalisation d'un état de l'art sur les typologies des Ouvrages de Gestion à la Source (OGS) des eaux pluviales, afin de choisir une typologie adaptée à la modélisation des OGS à l'échelle urbaine au sein du modèle TEB. Cependant aucune des typologies étudiées n'a été retenue. Ceci s'explique par le fait que les typologies proposées dans la littérature ne permettent pas de couvrir tous les OGS utilisés en ville et ne prennent pas en compte les principales fonctions hydrologiques des ouvrages. Par conséquent, une nouvelle typologie des OGS a été développée (Tunqui Neira et al., 2023).

Cette typologie est basée sur deux critères : **les fonctions hydrologiques principales** et le **type de structure** de l'OGS.

### 1. Fonctions hydrologique principales

Les OGS assurent principalement trois fonctions hydrologiques : l'abattement, la régulation et le transport du ruissellement urbain.

- L'abattement du ruissellement peut s'appuyer sur la récupération et **l'utilisation de l'eau, l'évapotranspiration et l'exfiltration** du ruissellement vers le sol naturel.
- La régulation consiste à restituer les eaux de ruissellement stockées dans l'OGS vers un réseau d'eaux pluviales par le biais d'un dispositif à débit régulé. On peut distinguer deux types : i) Restitution partielle à débit régulé : outre l'évacuation de l'eau à un débit régulé dans un réseau d'eaux pluviales, l'OGS peut également exfiltrer l'eau dans le sol naturel. ii) Restitution totale à débit régulé : l'OGS est étanche et ne peut donc pas exfiltrer l'eau dans le sol naturel.
- Les OGS conçus pour le transport permettent de stocker l'eau et de la transporter ensuite vers un exutoire ou vers d'autres OGS.

### 2. Type de structure de l'OGS

Le deuxième critère pris en compte dans la typologie est le type de structure des OGS c. à d. les compartiments physiques dans la structure de l'OGS où le volume de ruissellement collecté par l'OGS est traité. Cette structure est importante car elle détermine les processus dominants qui se déroulent dans l'OGS (hydrologiques, hydro-climatiques et réactifs dans le cas des polluants). La structure de l'OGS peut-être **à l'air libre** ou **souterraine**.

- Les OGS avec une structure du type à l'air libre ont un compartiment à leur surface qui permet un stockage temporaire du ruissellement. Selon la gestion du ruissellement, ce groupe peut ensuite être divisé en deux sous-groupes : i) **Percolation à travers un substrat**, ii) **Gestion de l'eau en surface**. Dans le dernier cas le ruissellement est principalement évacué à débit régulé vers le réseau d'évacuation des eaux pluviales.
- Les OGS avec une structure souterraine comportent un compartiment de stockage souterrain qui permet de stocker le ruissellement jusqu'à ce que le volume soit exfiltré vers le sous-sol naturel, ou évacué à débit régulé vers le réseau d'eaux pluviales existant, ou une combinaison des deux. Ce compartiment de stockage peut être :

i) **Alimenté par la surface perméable** au-dessus du compartiment de stockage. ii) **Alimenté par tuyau**, lorsque la surface au-dessus du compartiment de stockage est imperméable.

### 3. Combinaison des deux critères de classification des OGS

La combinaison de ces deux critères de classification dans un tableau croisé (Figure 3) permet de classifier les OGS en 16 groupes. Dans chaque groupe, nous avons représenté en couches les différents compartiments constituant l'OGS. Cette représentation facilitera la modélisation du fonctionnement hydrologique des OGS dans le modèle TEB.

Les différents types d'OGS utilisés en milieu urbain s'intègrent dans les 16 groupes représentés (Figure 4) i.e. les toitures végétalisées (groupe L1C2), les bassins de rétention végétalisés (groupe L2C5), les chaussées perméables avec des structures réservoirs étanches (groupe L3C5), les cuves et citernes de récupération d'eau de pluie (groupe L4C1)

## DEVELOPPEMENT DES OUVRAGES EQUIVALENTS (OE)

### 1. Conceptualisation des processus hydrologiques

La conception du module OGS dans le modèle TEB s'appuie sur la typologie proposée. L'objectif visé consiste à développer un module d'OGS avec une paramétrisation simple des scénarios de diffusion des OGS basées sur la reproduction des fonctions hydrologiques attendues sans décrire le fonctionnement ouvrage par ouvrage. Afin d'atteindre cet objectif, nous avons conceptualisé les processus hydrologiques dans les différents groupes d'ouvrages sous la forme de réservoirs assurant des fonctions précises. Cette analyse a permis de distinguer six catégories de réservoirs, qui sont :

- Réservoir de stockage-infiltration (SI)** : Ce réservoir représente le stockage temporaire de l'eau à la surface de l'OGS, facilitant leur infiltration ultérieure dans le sol ou leur réduction via l'évapotranspiration (OGS appartenant à L1 et L2C2, L2C3, L2C4, L2C5 avec végétation, Figure 3). Ce réservoir peut être couplé avec le réservoir de stockage-régulation (SR).
- Réservoir d'eau permanent (CW)** : Ce réservoir représente une masse d'eau permanente qui peut exister à la surface de l'OGS (OGS appartenant à L2C5 sans végétation, Figure 3) et qui ne se vidange pas après un événement pluvieux. La diminution du volume d'eau se fait essentiellement par évaporation, nécessitant une interaction avec le réservoir de stockage-régulation (SR).
- Réservoir de transport-infiltration (TI)** : Conçu pour acheminer les eaux collectées à la surface des OGS (L2C6 dans la Figure 3) vers un exutoire ou vers une autre OGS. Si le sol environnant le permet, le volume d'eau transporté peut être abattu partiellement par infiltration et évapotranspiration.
- Réservoir de stockage-exfiltration (SE)** : Ce réservoir prévoit la rétention temporaire de l'eau avant son exfiltration vers le sol adjacent aux OGS. Il représente une fraction du volume des compartiments de stockage souterrain (OGS L1, L3 et L4, Figure 3). Ce réservoir peut être couplé avec le réservoir de stockage-régulation (SR).
- Réservoir de stockage-régulation (SR)** : Ce réservoir permet le stockage temporaire de l'eau avant restitution au réseau des eaux pluviales via un dispositif à débit régulé. Il correspond à la totalité ou à une partie du volume de stockage superficiel (OGS L2C4, L2C5 avec végétation, L2C5 sans végétation), du volume de stockage souterrain (L3 et L4) ou du volume de stockage sous le substrat des OGS (L1) (Figure 3). Seul le volume se vidangeant à débit régulé est considéré ici, c.-à-d. le volume situé au-dessus du niveau de restitution à débit régulé (OGS appartenant à L2) ou au-dessus du niveau du drain (OGS appartenant aux L1, L3, L4).

En plus de ces 5 réservoirs, nous avons également identifié le réservoir sol qui sera modélisé en utilisant le module ISBA de TEB. La Figure 2 illustre, à titre d'exemple, la disposition des réservoirs dans les OGS L1C3, L1C4 et L1C5 de la typologie.

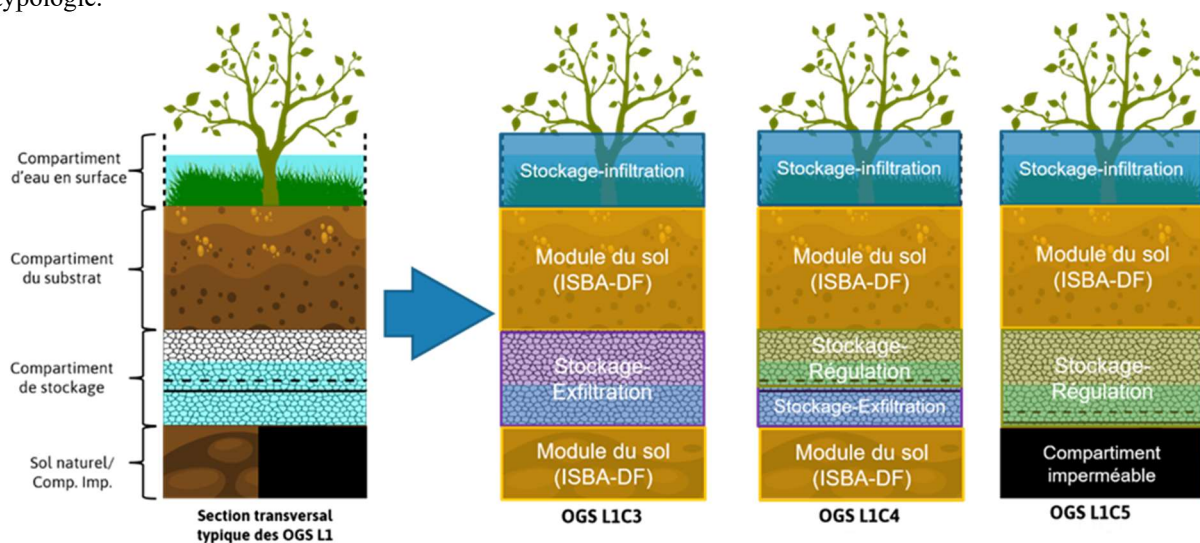


Figure 2 : Exemple de la disposition des réservoirs dans les OGS L1C3, L1C4 et L1C5 de la typologie.

## 2. Critères supplémentaires pour le regroupement des OGS dans TEB

En plus de la conceptualisation hydrologique, nous avons défini 5 critères pour faciliter le regroupement des OGS dans le modèle TEB :

- L'environnement urbain de la maille**, les OE doivent être intégrées autant que possible dans les 3 compartiments urbains de la maille c'est-à-dire bâtiment, voirie et jardin, (Figure 1).
- Les processus hydro-énergétiques d'interaction sol-végétation-atmosphère**, qui ne peuvent avoir lieu que dans le compartiment jardin de la maille TEB.
- L'interaction hydro-énergétique de l'OGS avec la surface de la rue canyon** (Figure 1) du modèle TEB, qui aura une influence sur le bilan hydro-énergétique global du modèle.
- La continuité dans la discrétisation de la couche de sol**, très importante pour le modèle qui gère les processus dans la couche de sol (ISBA-DF).
- Existence ou pas du processus de transport de l'eau collectée par l'OGS.**

En s'appuyant sur le travail de conceptualisation et d'identification de critères de regroupement, nous avons réussi à regrouper, en termes de modélisation, les OGS en 5 types d'ouvrages équivalents (OE) décrits dans le Tableau 1. La Figure 5 précise l'emplacement des OE dans les différents compartiments de la maille du modèle TEB.

Tableau 1 : Tableau récapitulatif présentant le type d'OE, les OGS et les réservoirs qui le composent

Ouvrage équivalent (OE)	OGS composant l'OE	Réservoirs utilisés par l'OE
OE-A (Figure 6)	L1C2 (avec/sans couche de stockage en souterrain)	Stockage – Infiltration (SI)
	L1C3, L1C4 et L1C5	Stockage – Exfiltration (SE)
	L2C2	Stockage – Régulation (SR)
	L2C5 (végétalisé sans eau permanente à la surfacer) °	Module de sol
OE-B (Figure 7)	L1C3(sans couche de stockage en souterrain)	Stockage – Infiltration (SI)
	L2C3, L2C4	Stockage – Exfiltration (SE)
OE-C (Figure 8)		Module de sol
	L2C6	Transport – Infiltration (TI)
OE-D (Figure 9)	L3C3, L3C4, L3C5	Stockage – Exfiltration (SE)
	L4C3, L4C4, L4C5	Stockage – Régulation (SR)
		Module de sol
OE-E (Figure 10)	L2C5(non-végétalisé avec de l'eau permanente)	Eau permanente (CW)
	L2C5 (non-végétalisé sans eau permanente)	Stockage – Régulation (SR)

## 3. Fonctionnement et modélisation des réservoirs des OE

Le principe de fonctionnement des réservoirs associés aux OE repose sur la réalisation de bilans hydriques. Toutefois, il est important de souligner que les paramètres hydrologiques à considérer diffèrent d'un réservoir à l'autre, en fonction de leurs spécificités opérationnelles. Ci-dessous, nous présenterons une synthèse des bilans hydriques pour chacun des cinq réservoirs :

- Réservoir de stockage-infiltration (SI) :** Le bilan hydrique (en volume d'eau) est le suivant :

$$\frac{d(h_{SI})}{dt} \cdot S_{SI} = DR_{SI}(t) + R_{SI}(t) + F_{SR-SI}(t) - F_{SI-ovf}(t) - F_{SI-evp}^*(t) - F_{SE-inf}^*(t), \quad (1)$$

où  $h_{SI}$  représente la hauteur d'eau stockée dans le réservoir,  $dt$  le pas de temps,  $DR_{SI}(t)$  désigne la précipitation directe tombant sur l'OE,  $R_{SI}(t)$ , le ruissellement en provenance des surfaces imperméables connectées à l'OE,  $S_{SI}$  est la surface d'infiltration du réservoir SI,  $F_{SI-ovf}(t)$  le flux de surverse, survenant lorsque le volume d'eau entrant dépasse la capacité maximale du réservoir,  $F_{SI-evp}^*(t)$  correspond à l'évaporation de l'eau, calculée selon la formule intégrée au modèle TEB (Decharme et al., 2012),  $F_{SE-inf}^*(t)$  est le flux d'infiltration vers le sol de l'OE, calculé via l'équation du taux d'infiltration potentiel (limité par la quantité d'eau disponible) existant dans TEB (Albergel et al., 2018). Le flux  $F_{SR-SI}(t)$  qui provient du réservoir stockage-régulation (SR) vers le réservoir SI lorsqu'ils sont interconnectés, est déterminé comme suit :

$$F_{SR-SI}(t) = \min \left[ (h_{SIMAX} - h_{SI}(t)) \cdot \frac{S_{SI}}{dt}; (h_{SR}(t)) \cdot \frac{S_{SR}}{dt} \right], \quad (2)$$

où  $h_{SIMAX}$  est la hauteur maximale du réservoir SI,  $h_{SR}$  est la hauteur d'eau stockée dans le réservoir SR et  $S_{SR}$  est la surface du fond de réservoir SR.

- Réservoir de stockage-exfiltration (SE) :** Le bilan hydrique (en volume d'eau) est le suivant :

$$\frac{d(h_{SE})}{dt} \cdot S_{SE} \cdot \phi_{SE} = Q_{IN-SE}(t) + F_{SR-SE}(t) - F_{SE-ovf}(t) - F_{SE-ex}^*(t), \quad (3)$$

où  $h_{SE}$  est la hauteur d'eau stockée dans le réservoir SE,  $S_{SE}$  est la surface d'exfiltration du réservoir SE,  $\phi_{SE}$  est la porosité du matériau constituant la couche de stockage souterraine,  $Q_{IN-SE}(t)$  correspond au flux entrant dans le réservoir SE, variant selon l'ouvrage : pour l'OE-A, il s'agit du flux d'eau provenant du substrat ; pour l'OE-D,



il englobe la pluie et le ruissellement, depuis la surface de l'OE ou du tuyau relié à la couche de stockage souterraine,  $F_{SE-}(t)$  est le flux de surverse, opérant de manière similaire à celui du réservoir SI,  $F_{SE-ex}^*(t)$  représente le flux d'exfiltration, calculé selon l'équation proposée par Błażejowski et al. (2018), qui prend en compte l'exfiltration à travers les parois latérales de la couche de stockage. Le flux  $F_{SR-SE}(t)$  qui provient du réservoir SR vers le réservoir SE lorsqu'ils sont interconnectés, est déterminé comme suit :

$$F_{SR-SE}(t) = \left\{ \min \left[ (h_{SEMAX} \cdot \phi_{SE} - h_{SE}(t)) \cdot \frac{S_{SE}}{dt}; (h_{SR}(t)) \cdot \frac{S_{SR}}{dt} \right] \right\}, \quad (4)$$

où  $h_{SEMAX}$  est la hauteur maximale du réservoir SE.

3. **Réservoir d'eau permanente (CW) :** Le bilan hydrique (en volume d'eau) est le suivant :

$$\frac{d(h_{CW})}{dt} \cdot S_{CW} = F_{SR-CW}(t) - F_{CW-evp}^*(t), \quad (5)$$

où  $h_{CW}$  est la hauteur d'eau stockée dans le réservoir CW,  $S_{CW}$  est la surface du fond du réservoir CW,  $F_{CW-evp}^*(t)$  est l'évaporation, estimée de la même manière que pour le réservoir SI. Le flux  $F_{SR-CW}(t)$  qui provient du réservoir SR vers le réservoir CW est déterminé comme suit :

$$F_{SR-SE}(t) = \left\{ \min \left[ (h_{CWMAX} - h_{CW}(t)) \cdot \frac{S_{CW}}{dt}; (h_{SR}(t)) \cdot \frac{S_{SR}}{dt} \right] \right\}, \quad (6)$$

où  $h_{CWMAX}$  est la hauteur maximale du réservoir CW.

4. **Réservoir de transport-infiltration (TI) :** Le bilan hydrique (en volume d'eau) est le suivant :

$$\frac{d(h_{TI})}{dt} \cdot S_{TI} = DR_{TI}(t) + R_{TI}(t) - F_{TI-ovf}(t) - F_{TI-evp}^*(t) - F_{TI-trp}^*(t) - F_{TI-inf}^*(t), \quad (7)$$

où  $h_{TI}$  représente la hauteur d'eau stockée dans le réservoir,  $DR_{TI}(t)$  désigne la précipitation directe tombant sur l'OE,  $R_{TI}(t)$ , le ruissellement en provenance des surfaces imperméables connectées à l'OE,  $S_{TI}$  est la surface d'infiltration du réservoir TI,  $F_{TI-ovf}(t)$  est le flux de surverse, similaire en fonctionnement à celui du réservoir SI,  $F_{TI-evp}^*(t)$  et  $F_{TI-inf}^*(t)$  représentent respectivement l'évaporation et l'infiltration, calculées de manière analogue au réservoir SI. Il est important de noter que l'équation décrivant le flux de transport  $F_{TI-in}^*(t)$  n'est pas encore défini à ce stade de l'étude.

5. **Réservoir de stockage-régulation (SR) :** Le bilan hydrique (en volume d'eau) est le suivant :

$$\frac{d(h_{SR})}{dt} \cdot S_{SR} = Q_{IN-SR}(t) - F_{SR-*}(t) - F_{SR-ovf}(t) - F_{SR-evp}^*(t) - F_{SR-dr}^*(t), \quad (8)$$

où  $h_{SR}$  est la hauteur d'eau stockée dans le réservoir SR,  $Q_{IN-SR}(t)$  indique le flux d'entrée dans le réservoir SR, qui varie en fonction de l'ouvrage. Pour l'OE-A, ce flux inclut la pluie tombant directement sur l'ouvrage et le ruissellement de surface ou le flux d'eau provenant du substrat. Pour l'OE-D, il comprend la pluie et le ruissellement soit de la surface, soit du tuyau connecté à la couche de stockage souterraine. Pour l'OE-E, il s'agit du flux de pluie et de ruissellement.  $F_{SR-*}(t)$  représente le flux sortant vers les autres réservoirs, tels que SI (Eq. (1)), SE (Eq. (4)) ou CW (Eq. (6)),  $F_{SR-ovf}(t)$  est le flux de surverse, similaire en fonctionnement à celui du réservoir SI,  $F_{SR-evp}^*(t)$  est l'évaporation, calculée de la même façon que pour le réservoir SI,  $F_{SR-dr}^*(t)$  est le flux à débit régulé de l'eau stockée dans le réservoir SR vers le réseau des eaux pluviales du modèle TEB, estimé selon l'équation proposée par Sage et al. (2024).

6. **Module de sol :** Le fonctionnement de cette module est identique à celui du modèle ISBA-DF (Boone et al., 2000).

#### 4. Evaluation des OE

Dans le but d'évaluer la conception hydrologique des Ouvrages Équivalents (OE), nous avons défini les deux scénarios suivants :

- Scénario 1 : Utilisation d'un Ouvrage de Gestion à la Source (OGS) Unique**  
L'OE est composé d'un seul OGS de type L1C3 (Figure 3). Les résultats du module OGS de TEB sont comparés à ceux obtenus avec le module LID du modèle SWMM (Rossman and Huber, 2015). Cette comparaison exige l'utilisation de paramètres équivalents dans TEB et SWMM.
- Scénario 2 : Utilisation d'une Configuration comportant plusieurs types d'OGS**  
Le second scénario comporte trois OGS de type L1C3 et de caractéristiques différentes. Le module OGS de TEB est utilisé de deux manières pour modéliser ce scénario : distinction ouvrage par ouvrage ou regroupement des trois ouvrages en un ouvrage équivalent. La comparaison des résultats obtenus permet d'évaluer la méthode proposée pour le regroupement des OGS dans l'OE.

Ces deux scénarios visent à évaluer le module OGS de TEB dans deux configurations différentes et examiner la robustesse et l'efficacité de la conception des OE, en les comparant à des modèles établis et en évaluant l'impact de différentes configurations d'OGS sur la performance hydrologique générale. Cette approche méthodologique permet d'identifier les configurations d'OGS les plus efficaces et d'affiner la conception des OE pour optimiser la gestion des eaux pluviales urbaines.

Les résultats obtenus dans le premier scénario indiquent que le modèle TEB reproduit de manière cohérente les différentes simulations des processus hydrologiques réalisées par le modèle SWMM au niveau de l'OGS, à l'exception de l'évapotranspiration. Ces résultats nous permettent de confirmer que l'approche utilisée pour le fonctionnement hydrologique du module d'OGS de TEB est adéquate.

Pour le scénario 2, les premières analyses indiquent que, grâce à un paramétrage approprié de l'OE (comprenant les réservoirs et le substrat), il est possible de modéliser de manière adéquate les différents processus hydrologiques observés dans les trois OGS.

La description détaillée de ces deux scénarios et les résultats obtenus seront présentés dans le rapport d'étude correspondant à cette action de recherche.

## CONCLUSIONS

---

Ce document synthétise le travail de recherche réalisé dans le cadre de l'action 4.2 de la phase 5 du programme OPUR, axée sur l'évaluation de l'impact de la diffusion des stratégies de gestion décentralisée des eaux pluviales sur l'hydro-écosystème urbain, en utilisant le modèle TEB. La première étape a consisté à élaborer une nouvelle typologie d'ouvrages de gestion à la source des eaux pluviales (OGS) adaptée à la modélisation de ces ouvrages. Cette typologie a ensuite été utilisée pour développer le concept d'ouvrages équivalents (OE) qui est adapté à la modélisation des OGS à l'échelle urbaine. Enfin, un module a été développé pour représenter et simuler le fonctionnement des OE dans une maille de TEB. Le travail actuel se focalise sur l'évaluation du module ainsi développé sur des cas théoriques avant son utilisation sur des sites réels. Les résultats qui seront obtenus devront permettre d'évaluer l'effet de la généralisation de la gestion à la source sur les différents termes du bilan hydrologique d'un bassin versant urbain.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Albergel, C., Boone, A., Belamari, S., Decharme, B., Dumont, M., Le Moigne, P., Masson, V., 2018. SURFEX V8.1. Scientific Documentation.
- Błażejowski, R., Nieć, J., Murat-Błażejowska, S., Zawadzki, P., 2018. Comparison of infiltration models with regard to design of rectangular infiltration trenches. *Hydrological Sciences Journal* 63, 1707–1716. <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1523616>
- Boone, A., Masson, V., Meyers, T., Noilhan, J., 2000. The Influence of the Inclusion of Soil Freezing on Simulations by a Soil–Vegetation–Atmosphere Transfer Scheme. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 39, 1544–1569. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2000\)039<1544:TIOTIO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2000)039<1544:TIOTIO>2.0.CO;2)
- Decharme, B., Alkama, R., Papa, F., Faroux, S., Douville, H., Prigent, C., 2012. Global off-line evaluation of the ISBA-TRIP flood model. *Climate Dynamics* 7–8, 1389–1412. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1054-9>
- Rossman, L.A., Huber, W., 2015. Storm Water Management Model Reference Manual Volume III – Water Quality. US EPA Office of Research and Development, Washington, DC.
- Sage, J., Berthier, E., Gromaire, M.-C., Chebbo, G., 2024. Supporting the Design of On-Site Infiltration Systems: From a Hydrological Model to a Web App to Meet Pluriannual Stormwater Volume Reduction Targets. *Journal of Hydrologic Engineering* 29, 04024005. <https://doi.org/10.1061/JHYEFF.HEENG-6092>
- Stavropoulos-Laffaille, X., Chancibault, K., Andrieu, H., Lemonsu, A., Calmet, I., Keravec, P., Masson, V., 2021. Coupling detailed urban energy and water budgets with TEB-Hydro model: Towards an assessment tool for nature based solution performances. *Urban Climate* 39, 100925. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100925>
- Stavropoulos-Laffaille, X., Chancibault, K., Brun, J.-M., Lemonsu, A., Masson, V., Boone, A., Andrieu, H., 2018. Improvements to the hydrological processes of the Town Energy Balance model (TEB-Veg, SURFEX v7.3) for urban modelling and impact assessment. *Geoscientific Model Development* 11, 4175–4194. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-4175-2018>
- Tunqui Neira, J.M., Gromaire, M.-C., Chancibault, K., Chebbo, G., 2023. Toward a comprehensive functional typology of stormwater control measures for hydrological and water quality modeling purposes. *Blue-Green Systems* 5, 41–56. <https://doi.org/10.2166/bgs.2023.026>

## CONTACTS

---

José Manuel Tunqui Neira, [jose-manuel.tunqui-neira@enpc.fr](mailto:jose-manuel.tunqui-neira@enpc.fr)  
Katia Chancibault, [katia.chancibault@ubiv-eiffel.fr](mailto:katia.chancibault@ubiv-eiffel.fr)  
Marie-Christine Gromaire, [marie-christine.gromaire@enpc.fr](mailto:marie-christine.gromaire@enpc.fr)  
Ghassan Chebbo, [ghassan.chebbo@enpc.fr](mailto:ghassan.chebbo@enpc.fr)

## ANNEXES

---

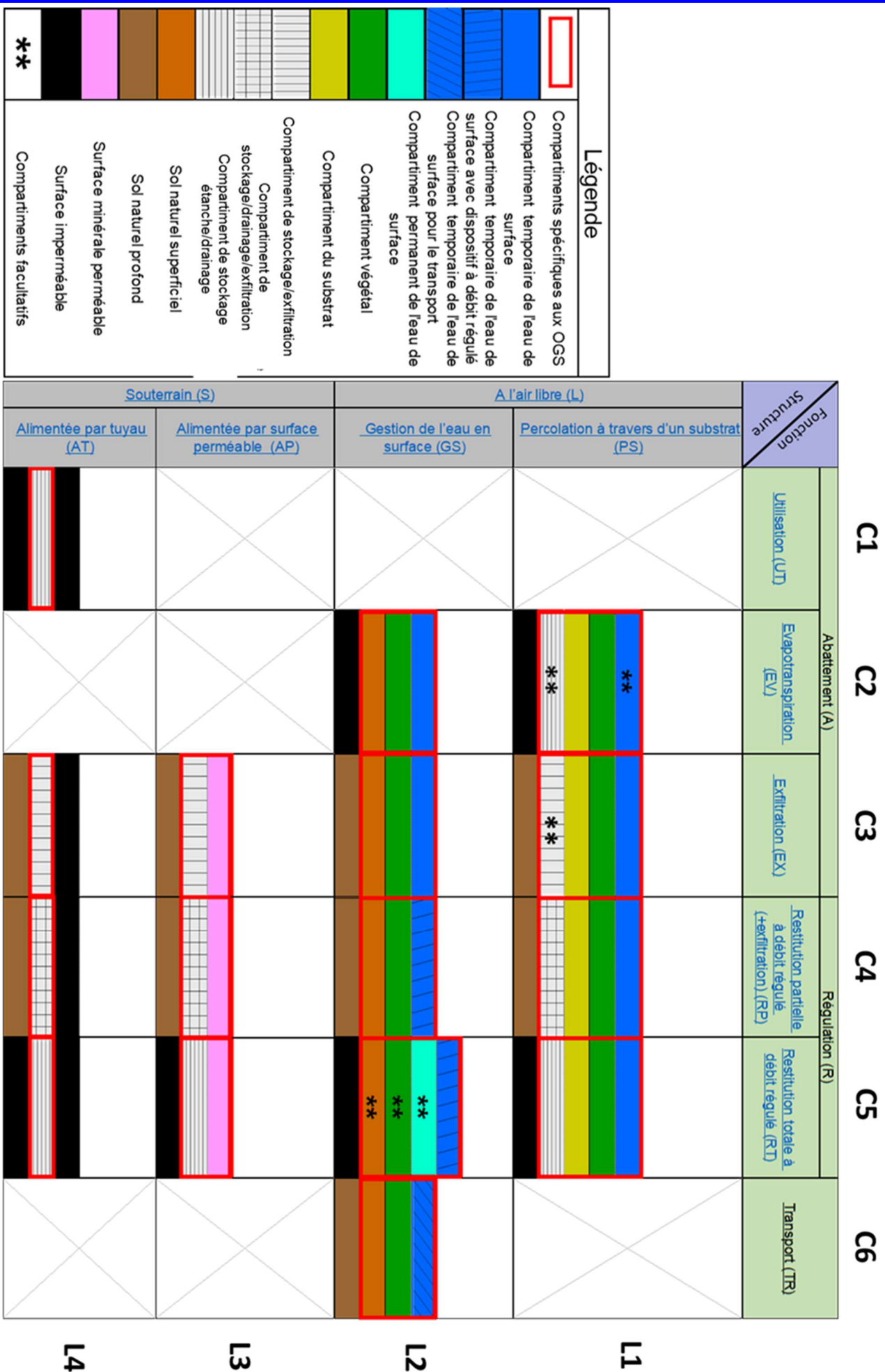


Figure 3 : Tableau croisé des deux critères utilisés pour la construction de notre typologie : Fonction hydrologique assurée (en colonne) et le type de structure (lignes). Aussi nous pouvons observer les modules d'OGS génériques résultants (16)

Fonction Structure	Abatement (A)				Régulation (R)		Transport (TR)
	Utilisation (UT)	Evapotranspiration (EV)	Exfiltration (EX)	Restitution partielle à débit régulé (+ exfiltration) (RP)	Restitution totale à débit régulé (RT)		
A l'air libre (L)		*jardinières étanches *toiture végétalisée *murs végétalisés *parkings végétalisés étanches *arbre de pluie étanche	* arbre de pluie exfiltrant * jardin de pluie exfiltrant * bioswale exfiltrant <b>* bioretention exfiltrant</b> <b>* noue infiltrante</b>	* arbre de pluie avec drain * jardin de pluie avec drain * bioswale avec drain <b>* bioretention avec drain</b> <b>* noue mixte</b>	* arbre de pluie étanche avec drain * jardin de pluie étanche avec drain * bioswale étanche avec drain <b>* bioretention étanche avec drain</b> * filtre à sable * filtre planté <b>* noue de tamponnage</b>		
		* bassin de rétention étanche sans débit de fuite régulé  <b>* noue étanche sans débit de fuite régulé</b> * wet swale	* bassin d'infiltration  *jardin de pluie *ouvrage d'interception sans débit de fuite	* bassin de rétention et infiltration avec débit de fuite régulé  <b>* noue mixte</b> * noue de rétention	*bassin de rétention étanche avec débit de fuite régulé  toiture stockante noue étanche avec débit de fuite régulé	<b>* noue de transport</b>  * fossé  * bande enherbée	
Souterrain (S)			* tranchée d'infiltration <b>* chaussée perméable avec structure réservoir exfiltrant</b>	* tranchée drainante <b>* chaussée perméable avec structure réservoir exfiltrant avec drain</b>	*tranchée étanche * chaussée classique avec structure réservoir étanche avec drain * structure alvéolaire enterré ultra légère (SAUL) étanche avec drain * filtre à sable enterré		
	Alimentée par tuyau (AT)	* citerne d'eau de pluie * cuve de stockage d'eau de pluie	* tranchée d'infiltration * chaussée classique avec structure réservoir exfiltrant * structure alvéolaire enterré ultra légère (SAUL) exfiltrant * puits d'infiltration	* tranchée drainante * chaussée classique avec structure réservoir exfiltrant avec drain * structure alvéolaire enterré ultra légère (SAUL) exfiltrant avec drain			



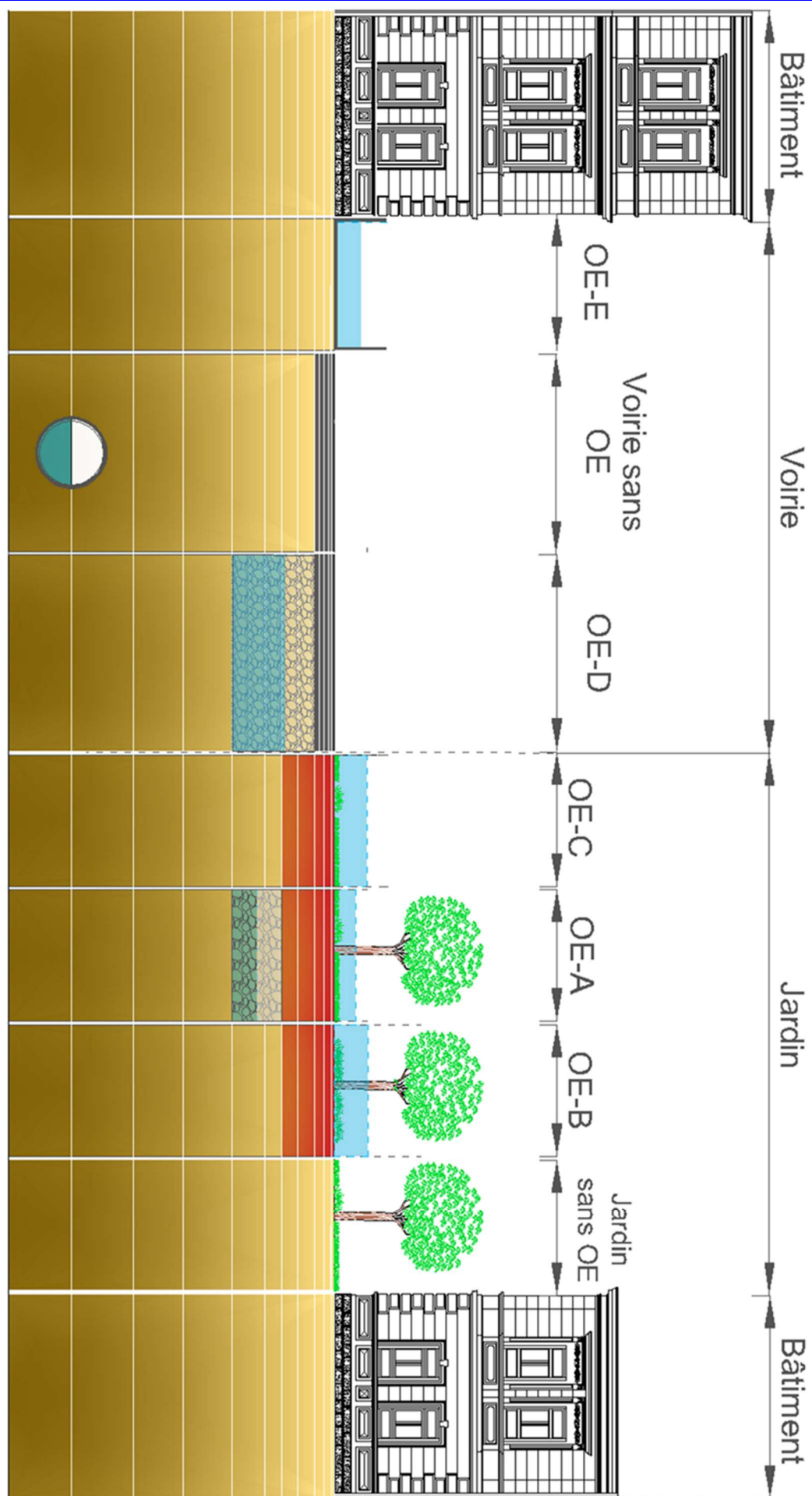


Figure 5 : Nouvelle configuration de l'environnement urbain de TEB (bâtiment, voirie et jardin) avec les nouveaux sous-compartiments produits par la mise en place des 5 OE.

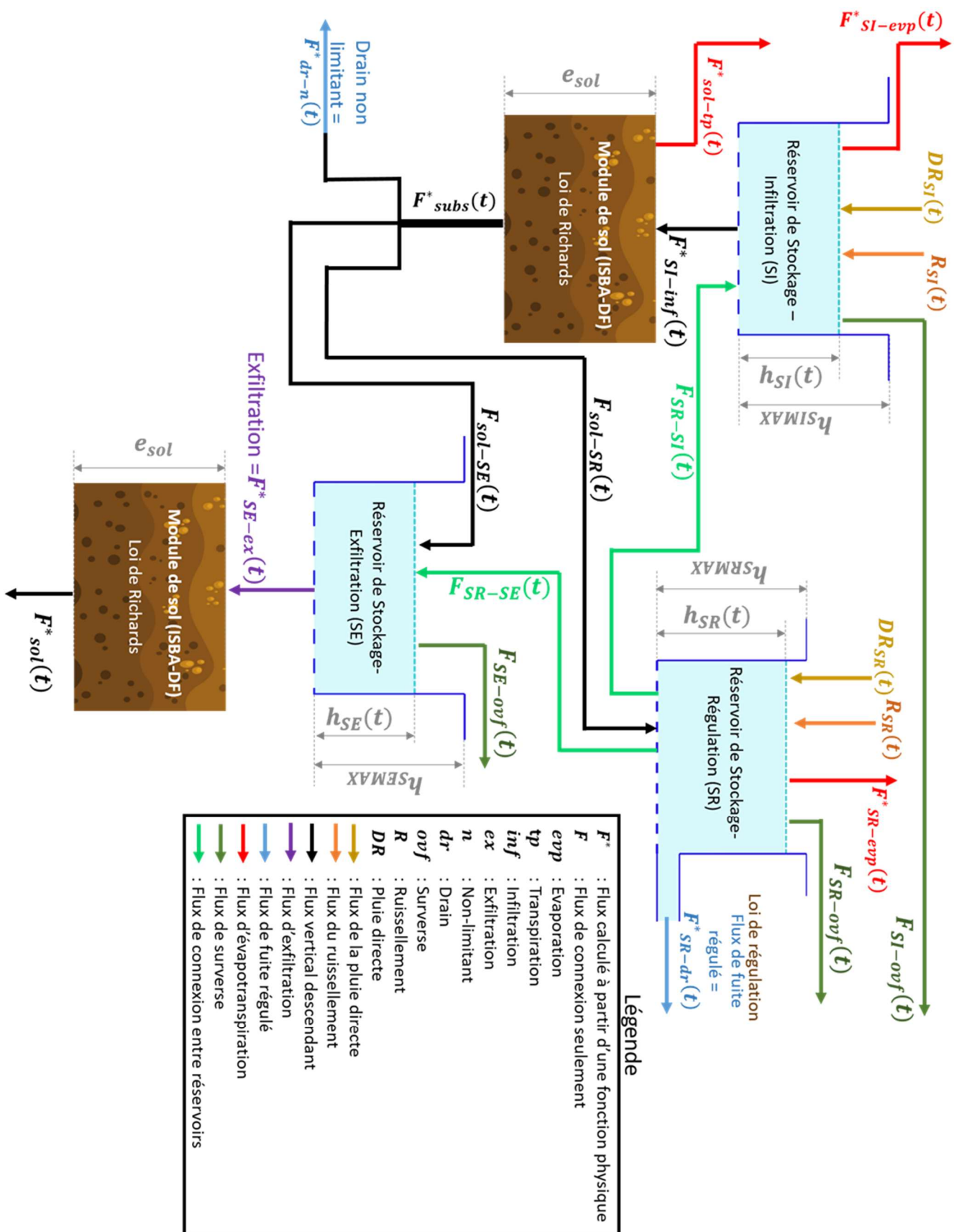


Figure 6 : Conceptualisation de l'OE-A.

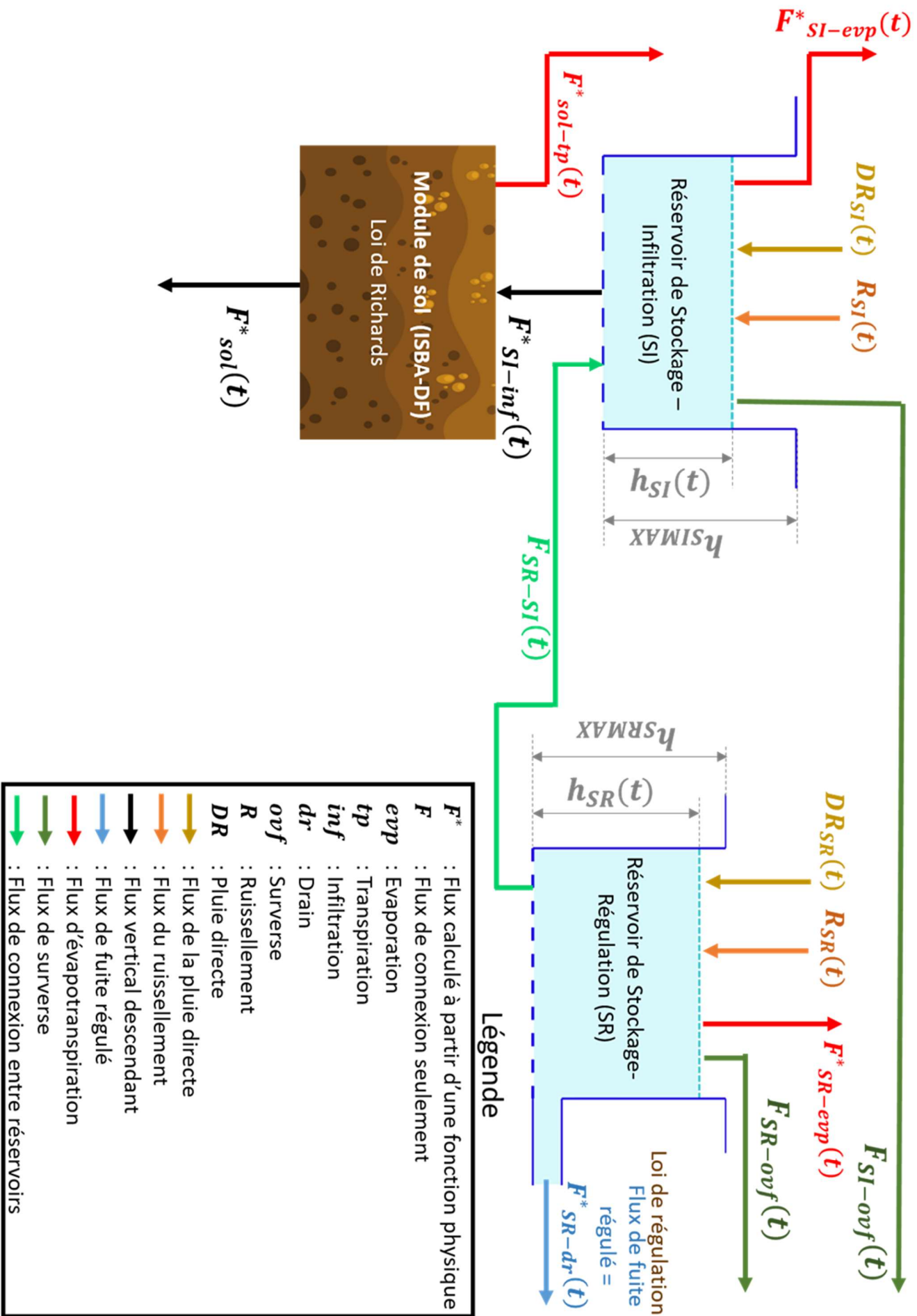


Figure 7 : Conceptualisation de l'OE-B.

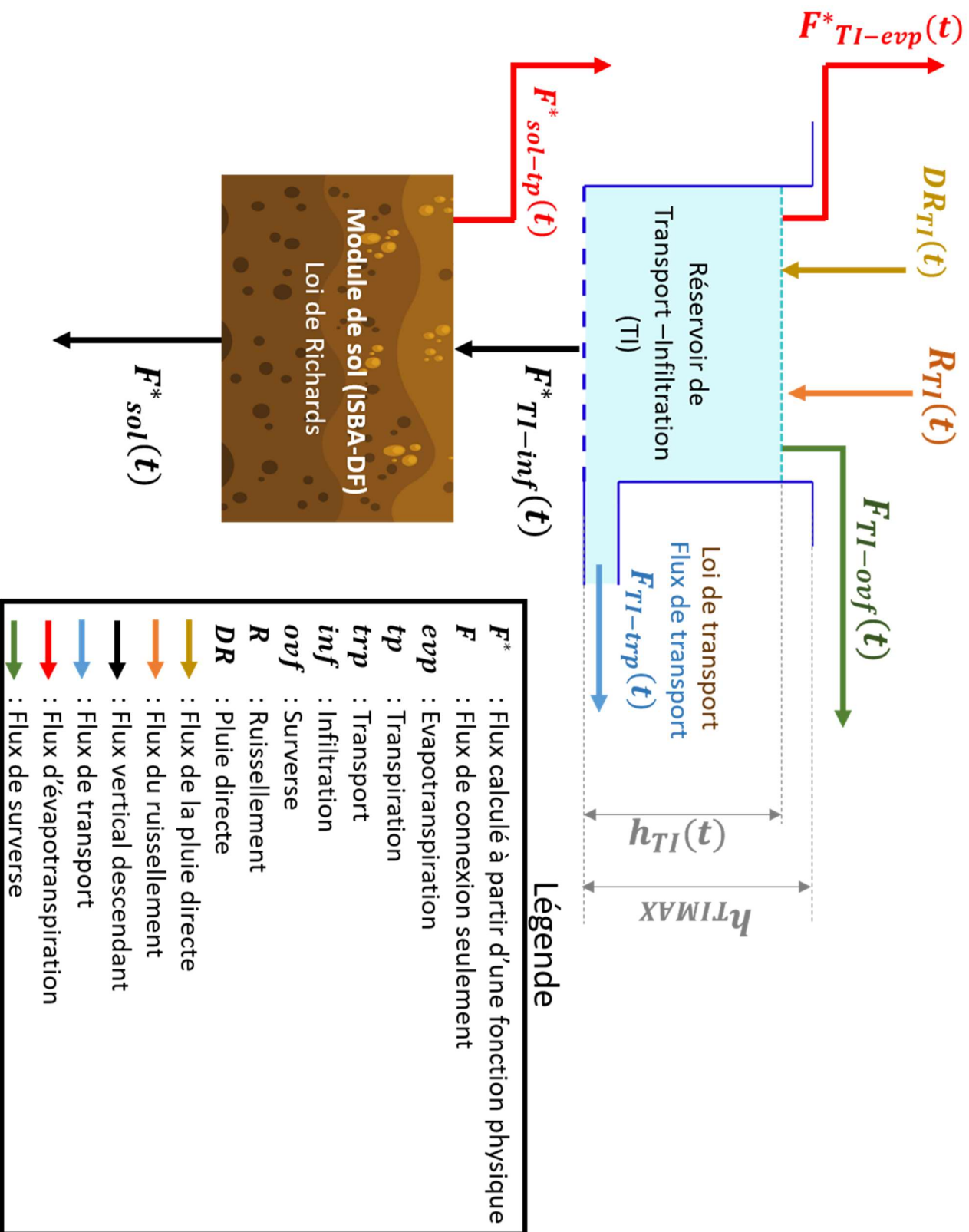


Figure 8 : Conceptualisation de l'OE-C



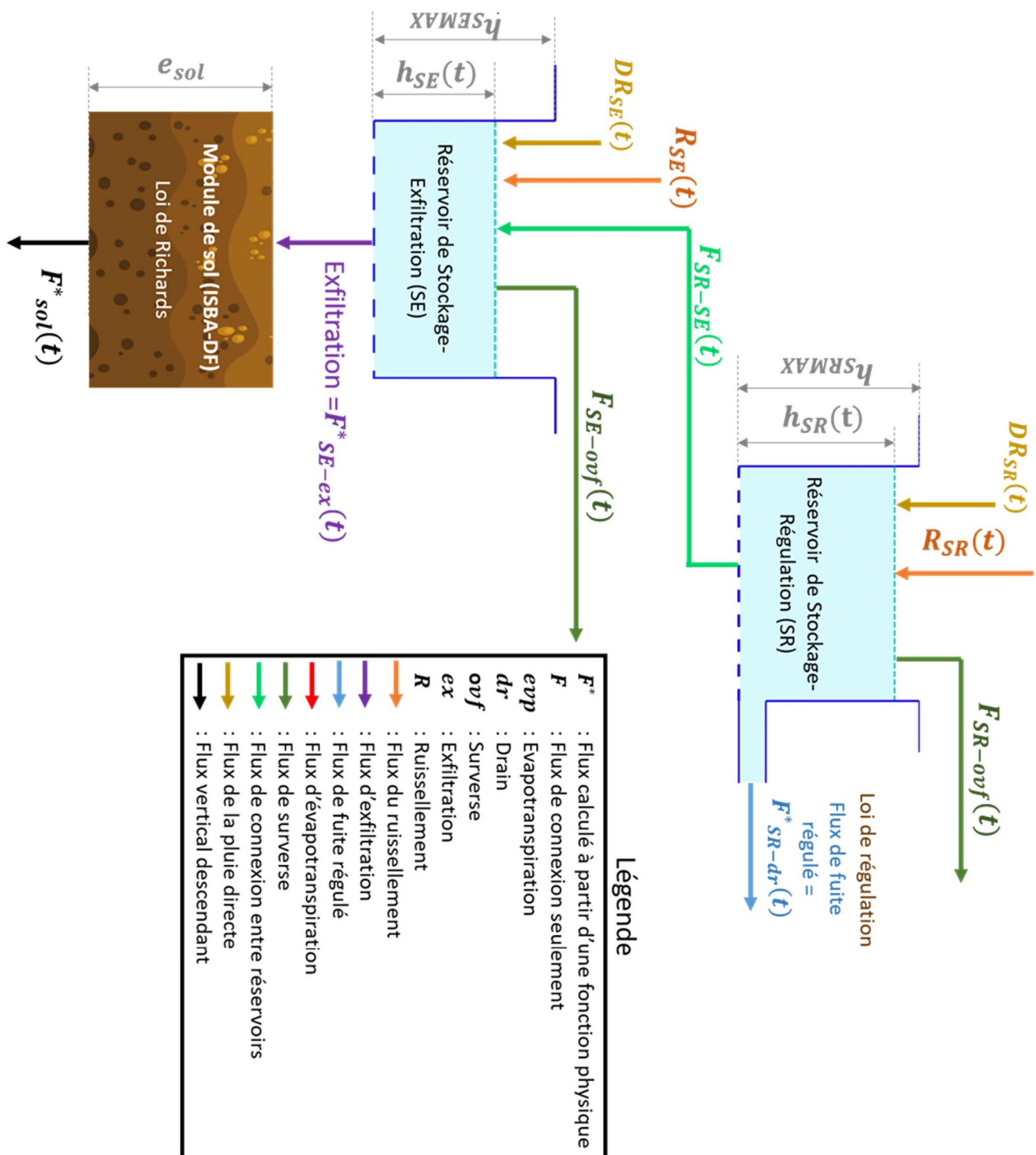


Figure 9 : Conceptualisation de l'OE-D

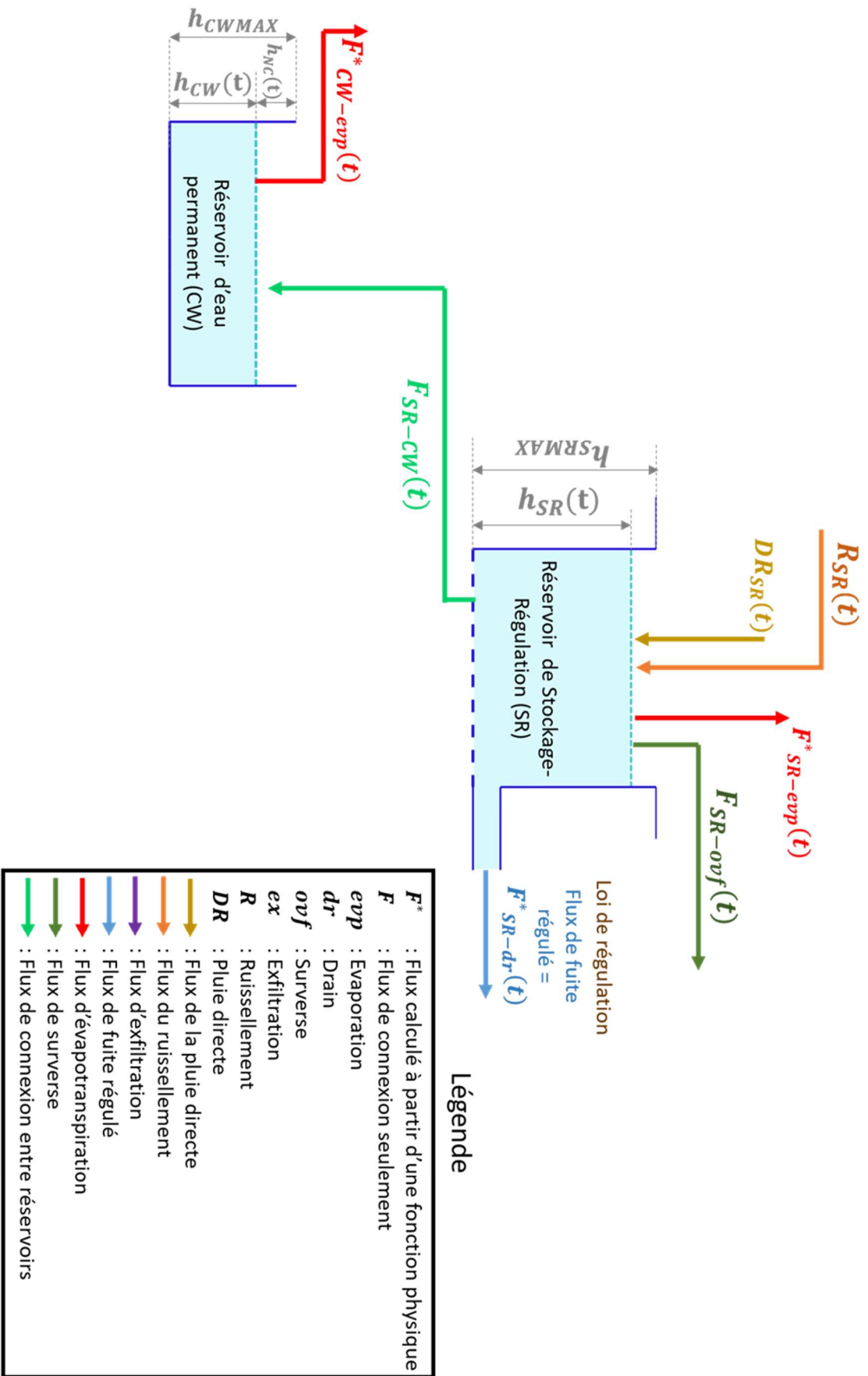


Figure 10 : Conceptualisation de l'OE-E