

FReWaB-PLUS

Mobilisation
des biocides
en milieu urbain



Manuel

FReWaB-PLUS

Version 1.2

(mars 2022)



Fonds européen de développement régional
(FEDER)
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
(EFRE)



WWL

HYDR^oLOGY



Auteurs:

Marcus Bork, Johannes Engel, Alexander Krämer, Jens Lange

WWL Planification environnementale et géoinformatique GbR

Chemin de Mozart 8

79189 Bad Krozingen

Chaire d'hydrologie

Université Albert-Ludwig Fribourg i.Br.

39, rue Friedrichstraße

79098 Fribourg



Contenu

1	Introduction.....	5
2	Informations nécessaires pour la simulation	6
3	Utilisation de FReWaB -PLUS.....	6
3.1	Démarrer le logiciel	6
3.2	Réglages de base	7
3.3	Sélection surface de base / bassin versant	8
3.4	Numériser des surfaces	9
3.4.1	Sélection des types de surfaces.....	9
3.4.2	Construire des bâtiments - Choix des toits et des façades	10
3.4.3	Dessiner les types de surfaces.....	12
3.5	Résultats - Situation actuelle.....	13
3.5.1	Informations sur les surfaces	15
3.5.2	Output - Bilan hydrique pour l'ensemble de la période.....	15
3.5.3	Output - Lixiviation de biocides.....	17
3.6	Créer une variante.....	19
3.7	Résultats - Comparaison de la "situation actuelle" avec une nouvelle variante	21
3.8	Calculs détaillés (valeurs au jour près)	23
3.9	Résultats - Calculs détaillés du bilan hydrique et du lessivage des biocides.....	23
3.10	Autres actions.....	23
3.10.1	Lien direct.....	23
3.10.2	Exportation Excel.....	24
4	Modèle (mathématique)	24
4.1	Formation de l'écoulement dans FReWaB-PLUS.....	25
4.2	Lixiviation des biocides.....	27
4.3	Intégration de l'évacuation des eaux de façade.....	28
4.4	Calcul des charges de biocides	29
5	Exemple d'application	30
5.1	Réglages de base, surface de base et types de surface	30
5.2	Paramètres de la façade.....	32
5.3	Informations sur les surfaces	34



5.4	Résultats - bilan hydrique.....	35
5.5	Résultats - Lixiviation des biocides.....	36
5.6	Conclusion	37
6	Annexe.....	38
6.1	Types de surface disponibles et leurs coefficients.....	38
6.2	Exportation Excel : explication des noms de colonnes	39



1 Introduction

Dans les zones urbaines, les mesures d'infiltration des eaux pluviales peuvent devenir des voies d'infiltration des eaux souterraines pour les substances actives biocides provenant des produits de construction (notamment les façades ou les peintures de protection) si l'effet de barrière n'est pas suffisant (**Figure 1**). Afin de mieux évaluer ce risque, le modèle web FReWaB-PLUS¹ (Freiburger Regewasser-bewirtschaftung - Plus Stofftransport) a été développé pour simuler facilement les volumes d'eau et donc les charges de biocides potentiellement mobilisées.



Figure 1 Schéma de la gestion décentralisée des eaux de pluie et du lessivage des biocides.

Pour la formation des débits, une approche modifiée basée sur des coefficients de débit combinés à une mémoire pour les pertes initiales a été mise en œuvre afin de permettre une transposition simple à d'autres domaines de modélisation. Pour l'évaporation, un module d'évaporation a été intégré dans le modèle selon la méthode Haude. La répartition des valeurs journalières de l'évaporation sur les pas de temps plus petits disponibles dans le modèle s'effectue à l'aide d'une fonction dépendant de la position du soleil / de l'angle de rayonnement. Pour estimer les charges entrantes des biocides diuron, terbutryne et oclothilone, on utilise les valeurs actuelles de la littérature sur l'évacuation mesurée dans des conditions de précipitations naturelles, qui dépendent surtout de l'âge de la surface considérée ou de la date du dernier traitement par le biocide.

¹ FReWaB-PLUS a été développé dans le cadre du projet MUTReWa (Mesures pour une gestion plus durable des produits de transformation dans la gestion régionale de l'eau), soutenu par le ministère fédéral allemand de l'éducation et de la recherche, et du projet de recherche européen NAVBGO (Réduction durable des apports de biocides dans la nappe phréatique du Rhin supérieur). FReWaB-PLUS est une évolution de FReWaB, qui a été développé dans le cadre d'un projet de recherche soutenu par le Fonds d'innovation pour la protection du climat et de l'eau de badenova AG & Co. KG.



Remarque

Le modèle web FReWaB-PLUS est basé sur l'utilisation de technologies OpenSource (PostgreSQL, PostGIS, GeoServer) et a été développé principalement en PHP. Il est conçu de manière modulaire afin de pouvoir réagir au mieux aux exigences et développements futurs, surtout en ce qui concerne l'implémentation.

2 Informations nécessaires pour la simulation

Pour pouvoir effectuer une simulation du bilan hydrique et du lessivage des biocides pour un bâtiment ou un quartier, vous avez besoin des informations suivantes : La hauteur des façades des bâtiments, des informations sur la nature des toits et des surfaces entourant les bâtiments, ainsi que la période de calcul souhaitée.

3 Utilisation de FReWaB -PLUS

L'interface de FReWaB-PLUS est basée sur le web et peut être utilisée dans tous les navigateurs courants (Firefox, Chrome, Edge).

3.1 Démarrer le logiciel

Lorsque vous ouvrez la fenêtre du modèle de simulation FReWaB-PLUS pour la première fois, vous voyez le bouton "Nouvelle simulation", qui vous permet de démarrer la simulation (**Figure 2**).

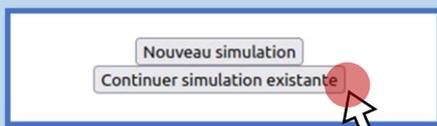


Figure 2 Démarrage d'une nouvelle simulation.



REMARQUE

Si vous avez déjà commencé une simulation et que vous souhaitez la poursuivre plus tard, le bouton "Continuer la simulation existante" apparaît au début de la simulation. Si l'ancienne simulation doit être poursuivie, Java Script doit être autorisé et le cache de votre navigateur ne doit pas avoir été effacé depuis la dernière exécution de la simulation.



3.2 Réglages de base

Dans un menu déroulant (**Figure 3, A**) vous pouvez sélectionner la station climatique souhaitée du service météorologique allemand (DWD). Dans l'étape suivante, vous définissez la période pendant laquelle vous souhaitez effectuer la simulation (**Figure 3, B**). Vous pouvez ensuite choisir de numériser les informations sur les surfaces sur une carte, auquel cas vous dessinez les surfaces à la souris sur une carte Google, ou d'utiliser le mode expert (C). **Figure 3, C**. Dans ce cas, vous avez la possibilité d'utiliser l'interface SIG de FReWaB-PLUS et d'importer les informations sur les surfaces à l'aide de Shapefiles. Pour ce faire, veuillez adresser votre demande à frewabplus@hydrology.uni-freiburg.de.

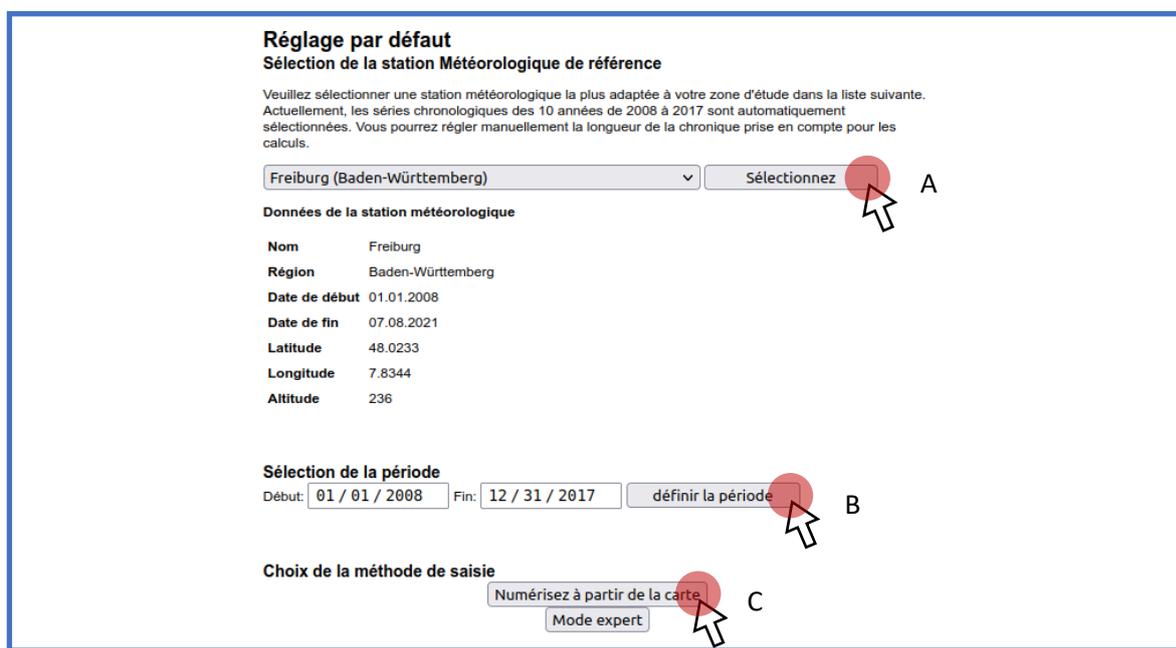


Figure 3 Réglages de base pour FReWaB-PLUS : sélection des données météorologiques, de la plage horaire et de la méthode de saisie.



REMARQUE

Les données météorologiques sont disponibles pour la période 2008-2021 pour toutes les stations climatiques du DWD en Allemagne et trois autres stations à Strasbourg (France). Si vous choisissez plus tard pour la simulation une période dépassant la série de mesures disponibles, des précipitations annuelles moyennes sont supposées pour la période allant jusqu'à 2008 et ne sont pas représentées graphiquement.

3.3 Sélection surface de base / bassin versant

Si vous avez sélectionné "Numériser sur carte" comme méthode de saisie à l'étape précédente, vous pouvez maintenant dessiner la surface de base pour laquelle la simulation doit être effectuée. Ici, vous devez d'abord naviguer vers la zone souhaitée à l'aide de la recherche d'adresse ou de la carte (et des boutons +/- dans le coin supérieur gauche) (Figure 4).

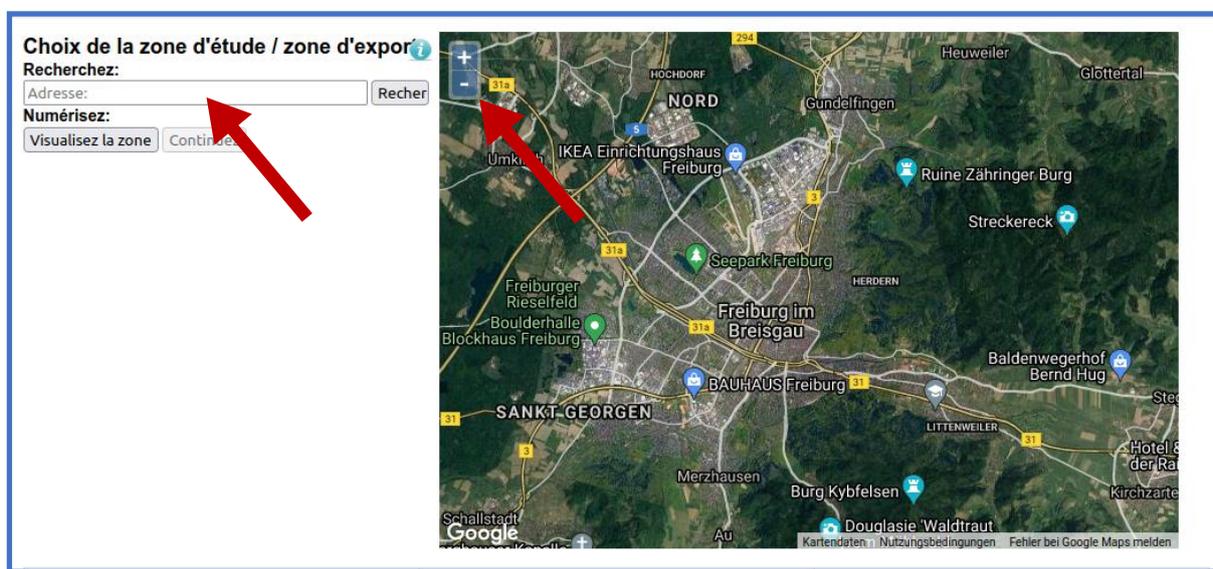


Figure 4 Sélection de la surface de base soit par une recherche d'adresse et par sélection dans la carte Google.

Si vous cliquez ensuite sur "Dessiner une surface de base" et déplacez le curseur de la souris dans la carte, un cercle noir apparaît sous le curseur de la souris. Vous pouvez maintenant dessiner la surface de base sur la carte Google. A chaque clic du bouton gauche de la souris, vous placez un point de la surface de base. Lorsque vous avez terminé de dessiner la surface de base, placez le dernier point en double-cliquant dessus. La couleur de la surface passe du rouge au vert (Figure 5). Vous avez d'abord créé une surface non construite, une "prairie". Si vous cliquez maintenant sur le bouton "Suivant" à gauche de la carte, vous pouvez définir plus précisément la surface à l'étape suivante et dessiner le toit ainsi que les espaces de circulation et verts environnants.



Figure 5 Dessiner la surface de base par des clics de souris et confirmer par un double clic (la couleur de la surface passe du rouge au vert).

REMARQUE

Si la surface de base doit être modifiée, un clic gauche dans la surface verte fait apparaître un bouton "Redimensionner" (Figure 6). Lorsque vous cliquez sur ce bouton, des points rouges apparaissent sur les bords de la surface, que vous pouvez ensuite déplacer. Si vous êtes satisfait du résultat, confirmez-le en cliquant dans le "vide" à côté de la surface.



Figure 6 Modifier la taille et la forme de la surface de base.

3.4 Numériser des surfaces

3.4.1 Sélection des types de surfaces

Dans la fenêtre "Numérisation des surfaces", vous voyez sur le côté gauche un menu contenant les types de surfaces possibles. Ceux-ci se répartissent dans les catégories "Surface de toit", "Surface verte" et "Surface stabilisée". En cliquant sur la catégorie correspondante, les types de surface possibles s'ouvrent (Figure 7). Un clic sur les boutons d'information derrière les types de surface vous fournit des informations supplémentaires.



Figure 7 Sélection des types de surfaces.

REMARQUE

La **surface de base** est d'abord considérée comme une surface naturelle (pré) sur laquelle vous pouvez construire et aménager. Vous créez **des bâtiments** indirectement, en définissant les **surfaces de toit** (pour plus de détails, voir la **section 4**). Le modèle ne prend en compte que les surfaces situées à l'intérieur de la surface de base. Les surfaces dépassant la surface de base sont donc automatiquement coupées. Les surfaces qui dépassent à l'intérieur de la surface du toit sont également automatiquement coupées.

3.4.2 Construire des bâtiments - Choix des toits et des façades

En cliquant sur le type de surface correspondant dans le menu déroulant à gauche de la carte, vous sélectionnez les différents types de surface. Si vous sélectionnez une "surface de toit", une fenêtre apparaît d'abord, dans laquelle vous devez saisir les paramètres de la façade (**Figure 8**). Vous devez y indiquer la hauteur moyenne de la façade (en m, arrondie à l'entier sans décimale) ainsi que les dates auxquelles les façades ont été peintes pendant la période d'essai (en années et séparées par des virgules).

REMARQUE

Si vous **souhaitez simuler une façade qui n'émet pas de biocides** (par exemple parce qu'elle n'est pas peinte avec une peinture contenant des biocides ou parce qu'elle est constituée d'autres matériaux comme le verre ou la brique), il faut saisir une hauteur de façade de 0 m. Dans ce cas, aucun écoulement contenant des biocides n'est formé par FReWaB-PLUS à partir des façades de bâtiment correspondantes. Par exemple, si 50 % de la façade d'un bâtiment est en briques, la hauteur de la façade doit être indiquée comme étant égale à la moitié de la hauteur réelle. Pour les autres pourcentages d'une façade exempte de biocides, il faut procéder de la même manière.

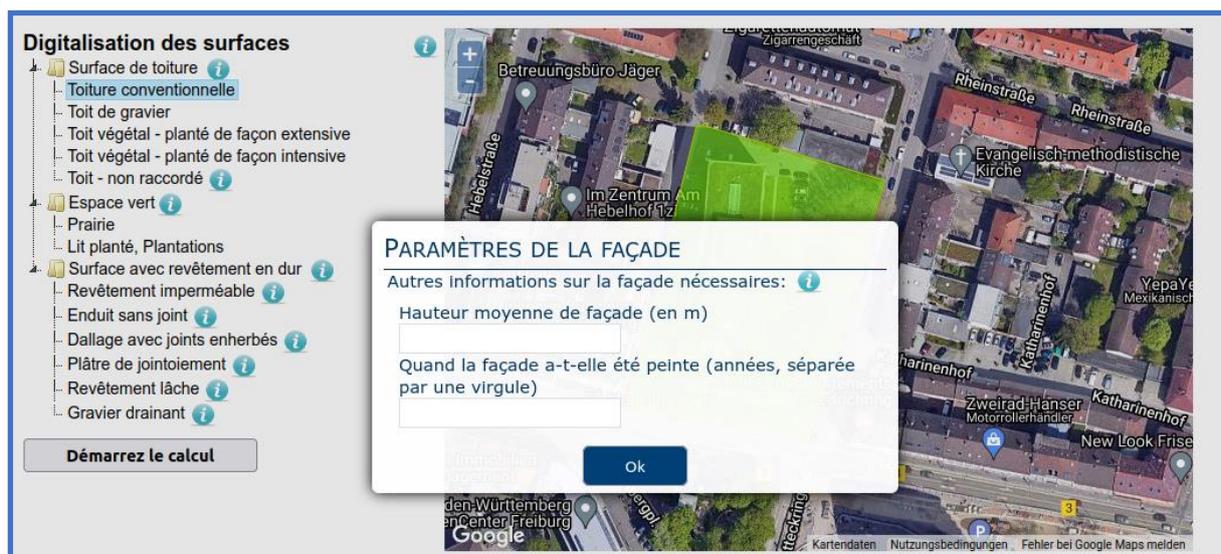


Figure 8 Fenêtre de saisie des paramètres des surfaces de toit ou de façade.

REMARQUE

La **hauteur de façade** est une valeur moyenne pour tous les côtés de la façade d'une maison (surfaces de toit). Elle sert à calculer la surface de la façade (surface de la façade = périmètre de la surface du toit x hauteur de la façade). Les surfaces de façade contiguës (par exemple dans le cas de maisons mitoyennes) ne sont pas prises en compte, même si les surfaces sont elles-mêmes directement contiguës. La hauteur de la façade doit être indiquée arrondie à l'unité, c'est-à-dire sans décimales. L'**âge de la façade** est indiqué sous forme d'année et correspond à la date de la dernière couche de peinture. Les années des dernières peintures sont séparées par des virgules et indiquées sous forme de nombres décimaux : par exemple 2000, 2015. L'âge de la façade est important pour estimer la quantité de biocides qui a déjà été lessivée. La plupart des biocides sont lessivés immédiatement après la mise en peinture. Cette valeur diminue ensuite avec le temps. Si cette information n'est pas disponible, vous devez faire une estimation raisonnable.

3.4.3 Dessiner les types de surfaces

Après avoir sélectionné le type de surface souhaité dans le menu déroulant, le tracé de la surface correspondante sur la carte s'effectue de la même manière que le tracé de la surface de base à l'aide de la souris (**section 3.3**). Un double-clic termine le traçage de la surface (**Figure 9**).

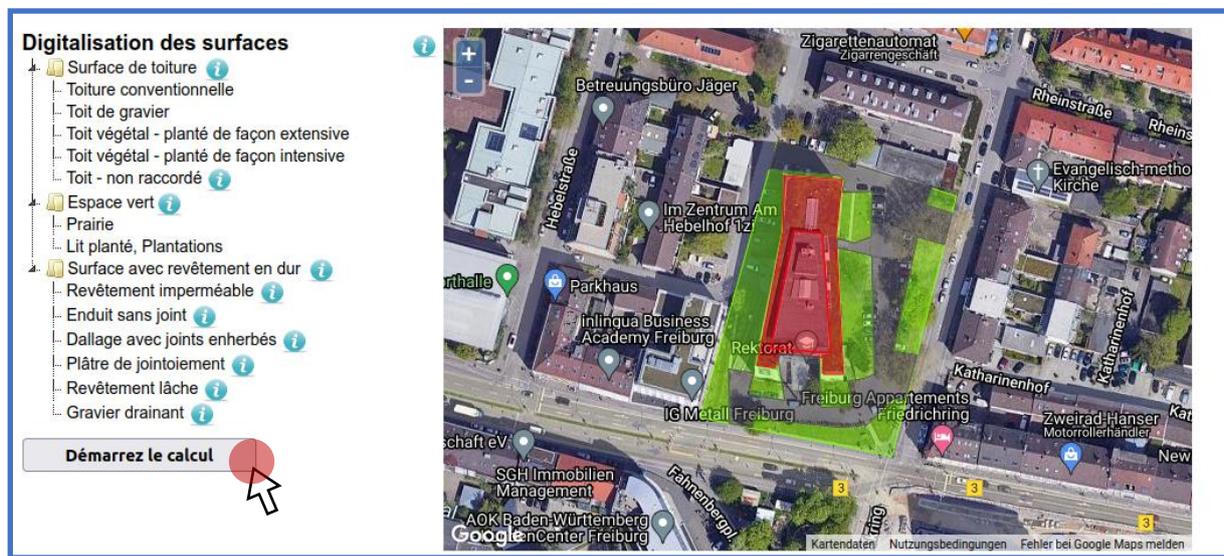


Figure 9 Dessiner les différentes surfaces de toitures, espaces verts et surfaces revêtues.

Si vous passez maintenant avec le curseur de la souris sur les surfaces dessinées, une bulle d'information apparaît, contenant des informations sur le type et la taille de la surface et, dans le cas des surfaces de toit, également la hauteur du bâtiment et l'âge de la façade saisis (**Figure 10**).

Une fois que vous avez saisi toutes les surfaces, cliquez sur "Démarrer le calcul" pour lancer la simulation (**Figure 9**).

REMARQUE

Pour modifier à nouveau les différentes surfaces, vous devez cliquer avec la souris dans la surface correspondante. Un menu apparaît ensuite, dans lequel vous pouvez modifier la taille ou le type ("Attribution de la surface") de la surface ou supprimer la surface (**Figure 10**).

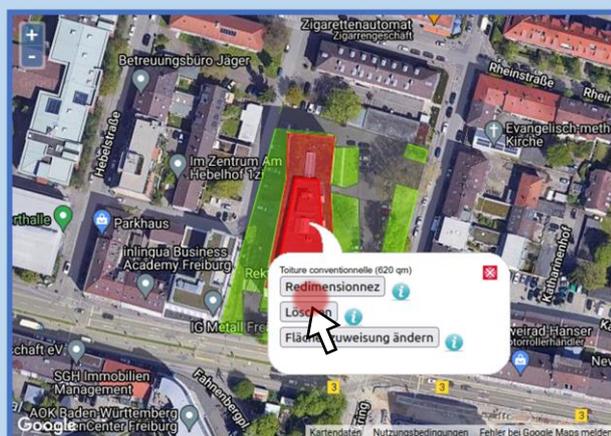


Figure 10 Supprimer ou modifier la taille et le type d'une surface.



REMARQUE

Types de surfaces et leur importance pour le régime des eaux

En principe, les types de surface se distinguent par leur répartition entre l'évaporation, le ruissellement de surface et la recharge des nappes phréatiques. Par exemple, sur un toit conventionnel, l'eau s'écoule principalement et l'évaporation est faible. En revanche, sur un toit vert utilisé de manière intensive, beaucoup d'eau est retenue et peut s'évaporer, de sorte que seule une petite partie s'écoule par les gouttières. Si l'on compare les surfaces revêtues, un revêtement imperméable, comme l'asphalte, et un drainage en gravier constituent les deux extrémités d'un spectre : alors que sur un asphalte, le ruissellement de surface est élevé, sur un drainage en gravier, la majeure partie de l'eau de pluie peut s'infiltrer directement dans la nappe phréatique. Parallèlement, plus le pavage d'une surface partiellement imperméabilisée est grand et plus la proportion de joints est importante, plus le ruissellement de surface est faible et plus l'infiltration est élevée. Une végétalisation, par exemple des joints de pavés, augmente à son tour l'évaporation. En outre, FReWaB-PLUS part du principe que les biocides présents dans le sol des prairies et des parterres y sont retenus par sorption, c'est-à-dire par fixation sur les particules de sol.

Dans **Tableau 2** en annexe (**section 6.1**), vous trouverez les différentes valeurs pour le paramètre a du modèle ainsi que pour le réservoir d'évaporation IL, qui sont des mesures de la manière dont l'eau de pluie se répartit entre l'évaporation, le ruissellement de surface et la recharge de la nappe phréatique (pour de plus amples explications, voir **la section 3.10**).

3.5 Résultats - Situation actuelle

Après peu de temps, le calcul est terminé et les 3 colonnes "Surface naturelle", "Etat actuel" et "Variante" apparaissent maintenant en dessous de la carte (**Figure 11**). En cliquant sur les boutons d'information à côté des titres des colonnes, vous obtenez des informations supplémentaires.

Pour la variante "surface naturelle", le régime hydrique de la surface de base dessinée est calculé exclusivement pour le type de surface "prairie". On part ici du principe que cette surface n'est pas construite. En cliquant sur le bouton "Modifier" dans cette colonne, vous êtes renvoyé à la fenêtre "Sélection de la surface de base/du bassin versant", où vous pouvez modifier la surface de base. La variante "état actuel" montre les résultats pour les surfaces urbaines dessinées. De plus, dans la troisième colonne à droite ("variante"), il est possible de calculer et de comparer un autre calcul dans des conditions modifiées, c'est-à-dire par exemple une planification future (plus d'infos dans **la section 3.6**).



Espace naturel ⓘ

Éditer

Etat actuel ⓘ

Éditer

Variante ⓘ

Nouveau Éditer

Données - Information sur la région:

Utilisation: Prairie, terrain vacant
Zone total: 6,255 qm

1. Toiture conventionnelle	620 qm
2. Toiture végétalisée (plantée)	795 qm

Sortie - bilan hydrique pour l'ensemble de la période (1/1/2008 – 12/31/2017):

Les précipitations qui tombent sur toute la surface sont divisées en:
Décaissement + infiltration ou recharge des eaux souterraines + évaporation.

Les proportions suivantes ont été déterminées pour la conception de votre propriété sur une plus longue période::

	7%		49%
	67%		28%
	26%		23%

Tableau: [afficher](#) Tableau: [afficher](#)

Hydrographes

Sortie - lessivage des biocides pour l'ensemble de la période:

Tables: [afficher](#)

Calculs détaillés:

Date de début: 01.01.2008 Durée: 30 Démarez le calcul

Actions supplémentaires:

Lien direct: https://www.biozidauswaschtisch.de/?page=simulation_map&load_id=1301 (appeler à nouveau directement cette configuration de simulation)

Excel-Export

Figure 11 Cinq nouvelles sections qui apparaissent sous la carte après le calcul.

Au total, la partie résultats de FReWaB-PLUS se compose de 5 sections (Figure 11) : les informations (type et taille) sur les surfaces dessinées (section 3.5.1 Figure 12), le bilan hydrique pour l'ensemble de la période de calcul ainsi que les hydrogrammes des variables du bilan hydrique (section 3.5.2 Figure 13), les quantités de biocides lessivées (section 3.5.3, Figure 16), la fenêtre de traitement pour d'autres calculs détaillés (section 3.8 Figure 24), le lien direct pour relancer la simulation et le bouton pour l'exportation des données (section 3.10) ainsi qu'une remarque sur les limites des résultats.



REMARQUE

Les présents calculs reposent sur des hypothèses et des estimations très généralisées concernant la nature et les caractéristiques du sous-sol, du substrat du toit et des surfaces perméables. Les conditions réelles d'un site donné en termes de perméabilité, de pente et de distance par rapport à la nappe phréatique doivent être évaluées site par site.

Le paramètre de bilan de la recharge des eaux souterraines regroupe la percolation et l'écoulement intermédiaire, car on part d'une topographie plate. Une remontée capillaire des eaux souterraines n'a pas été prise en compte. Le paramètre du bilan "écoulement" décrit ici les précipitations s'écoulant en surface.

La simulation avec FReWaB-PLUS doit uniquement servir à illustrer les effets relatifs des mesures de gestion des eaux pluviales sur le bilan hydrique et ne peut pas être utilisée pour d'éventuelles planifications ou constructions. Les niveaux des eaux souterraines ne sont pas pris en compte dans tous les calculs. Toutes les données ne sont pas garanties !

3.5.1 Informations sur les surfaces

Dans la section "Informations sur les surfaces", vous trouverez les informations sur les surfaces dessinées (**Figure 12**). Dans la colonne de gauche ("Surface naturelle"), vous trouverez la surface totale, dans la colonne du milieu les types et les tailles des surfaces de l'"état actuel" et dans la colonne de droite apparaissent les informations pour une variante supplémentaire (voir **la section 3.6**).

Espace naturel 	Etat actuel 	Variante 												
Éditer	Éditer	Nouveau Éditer												
Données - Information sur la région:														
Utilisation: Prairie, terrain vacant Zone total: 6,255 qm	<table border="0"> <tr><td>1. Toiture conventionnelle</td><td style="text-align: right;">620 qm</td></tr> <tr><td>2. Toiture végétalisée (plantée extensivement)</td><td style="text-align: right;">795 qm</td></tr> <tr><td>3. Façade sur pelouse</td><td style="text-align: right;">3 qm</td></tr> <tr><td>4. Façade sur asphalte</td><td style="text-align: right;">0 qm</td></tr> <tr><td>5. Revêtement imperméable</td><td style="text-align: right;">2,206 qm</td></tr> <tr><td>6. Prairie</td><td style="text-align: right;">2,631 qm</td></tr> </table>	1. Toiture conventionnelle	620 qm	2. Toiture végétalisée (plantée extensivement)	795 qm	3. Façade sur pelouse	3 qm	4. Façade sur asphalte	0 qm	5. Revêtement imperméable	2,206 qm	6. Prairie	2,631 qm	
1. Toiture conventionnelle	620 qm													
2. Toiture végétalisée (plantée extensivement)	795 qm													
3. Façade sur pelouse	3 qm													
4. Façade sur asphalte	0 qm													
5. Revêtement imperméable	2,206 qm													
6. Prairie	2,631 qm													

Figure 12 Informations sur les surfaces dessinées.

3.5.2 Output - Bilan hydrique pour l'ensemble de la période

Dans la section située sous les informations relatives aux surfaces, les résultats relatifs au régime hydrique sont affichés (**Figure 13**). Outre une brève explication de la répartition des précipitations en écoulement, infiltration ou recharge de la nappe phréatique et évaporation, vous trouverez dans un diagramme à barres la répartition en pourcentage de ces paramètres du bilan hydrique pour l'ensemble de la période de calcul. En option, vous pouvez cliquer sur le bouton "Afficher" sous l'histogramme pour déplier un tableau dans lequel vous pouvez afficher les valeurs des paramètres du bilan hydrique pour les différentes années de la période de calcul. Les valeurs sont d'abord affichées pour chaque année de la période de calcul. La possibilité d'effectuer en outre des calculs détaillés (au jour près) est décrite **dans la section 3.8 (Figure 24)**.

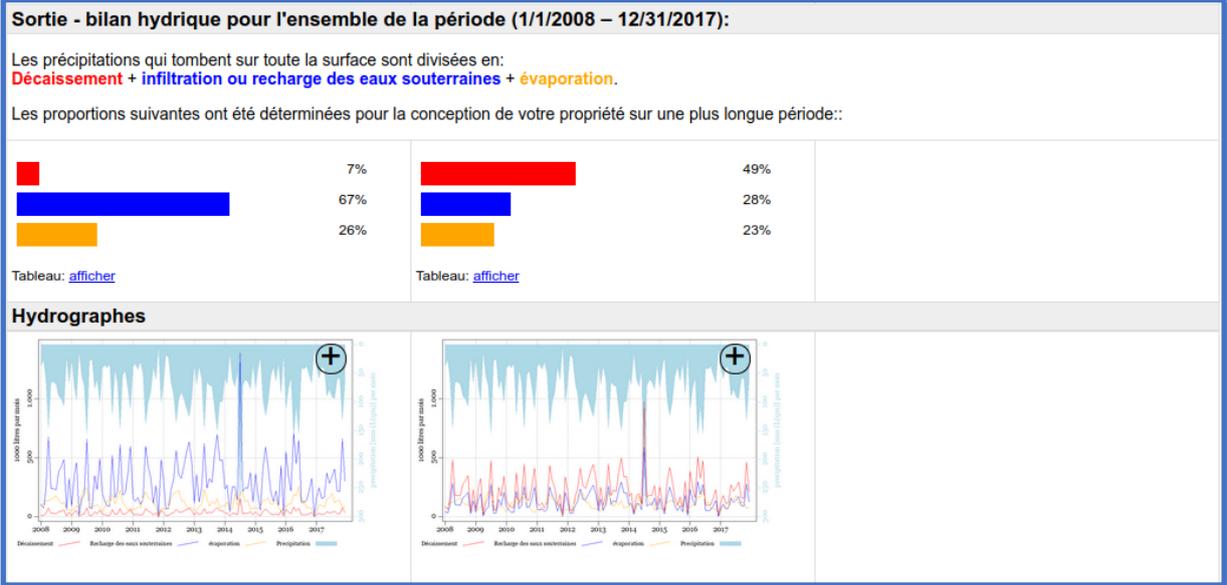


Figure 13 Bilan hydrique pour l'ensemble de la période de calcul.

REMARQUE

Les précipitations qui tombent sur l'ensemble de la surface se répartissent entre le ruissellement (de surface), l'infiltration ou la recharge des nappes phréatiques et l'évaporation.

Bilan hydrique :

$$\text{Précipitation} = \text{Ruissellement} + \text{Infiltration ou recharge de la nappe phréatique} + \text{Évaporation}$$

Le **ruissellement** représente l'eau qui s'écoule en surface sur les surfaces imperméabilisées ou partiellement imperméabilisées (et, dans une moindre mesure, sur les surfaces végétalisées). Pour les surfaces imperméabilisées, ce pourcentage est proportionnellement plus élevé que pour les surfaces partiellement imperméabilisées.

L'infiltration ou la recharge de la nappe phréatique est la part de l'eau qui pénètre dans le sol à travers des surfaces partiellement imperméabilisées ou végétalisées et qui, si la quantité d'eau est suffisante, peut conduire à la recharge de la nappe phréatique.

L'évaporation est la part d'eau qui s'évapore à nouveau dans l'atmosphère.

Courbes de variation

Dans la section "hydrogrammes", on trouve en outre les données des variables du bilan hydrique représentées sous forme de diagrammes (**Figure 14**). Dans les diagrammes, les données sont représentées dans une résolution mensuelle. En cliquant sur le symbole "+" dans le coin supérieur droit des diagrammes, ceux-ci peuvent être ouverts et affichés en grand.

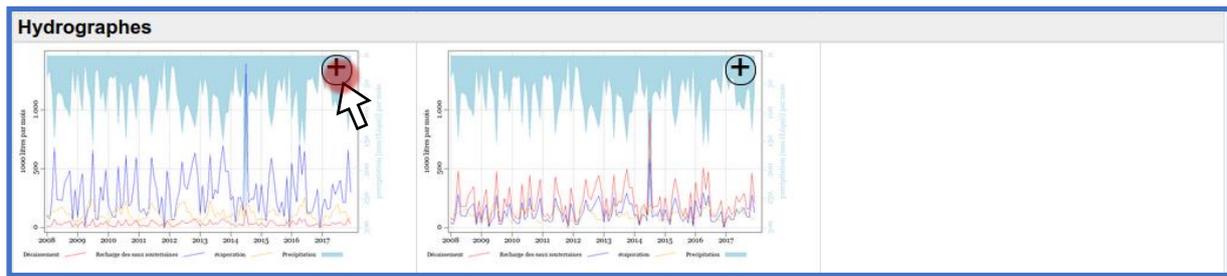


Figure 14 Hydrogrammes des variables du bilan hydrique.

REMARQUE

Les **hydrogrammes du bilan hydrique (Figure 15)** montrent les grandeurs débit, recharge de la nappe phréatique (ou infiltration), l'évaporation ainsi que les précipitations. L'axe x représente le temps en années, l'axe y gauche la quantité d'eau en milliers de litres par mois et l'axe y droit la quantité de précipitations en mm (L / m^2) par mois. Toutes les grandeurs se rapportent à la surface totale.

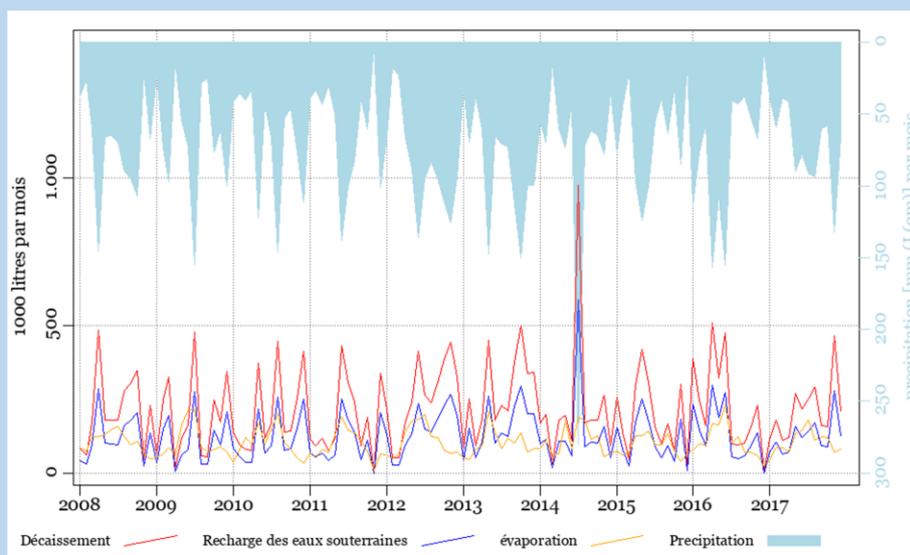


Figure 15 Courbes de variation des paramètres du bilan hydrique en fonction du temps, en années.

3.5.3 Output - Lixiviation de biocides

Les résultats relatifs au lessivage des biocides sont affichés sous les grandeurs du bilan hydrique (**Figure 16**). Comme pour la représentation des variables du bilan hydrique, les quantités de biocides lessivées sont d'abord représentées sous forme de diagrammes (voir **Figure 17** ainsi que l'encadré d'information correspondant sur les hydrogrammes de lixiviation des biocides). En outre, il est possible, en option, d'afficher les données sous forme de tableau pour chaque année en cliquant sur le bouton "Afficher" situé sous les diagrammes. Les valeurs des quantités de biocides dans le ruissellement de surface et dans les eaux souterraines y sont répertoriées pour chaque année.



Sortie - lessivage des biocides pour l'ensemble de la période:

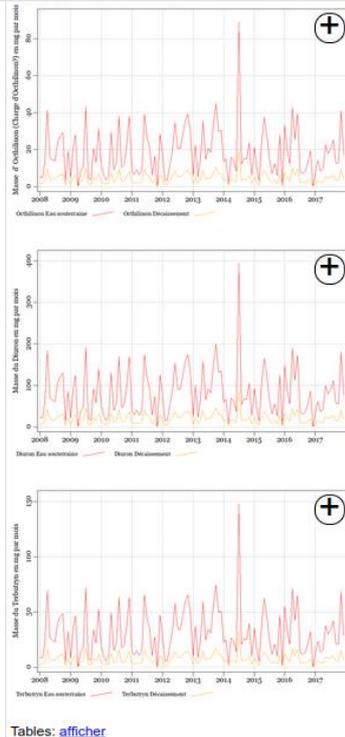


Figure 16 Résultats du lessivage des biocides pour la période calculée.

REMARQUE

lessivage des biocides :

Une fois que les biocides ont été lessivés de la façade par les précipitations, ils se trouvent soit dans l'eau qui s'écoule en surface ("ruissellement", **Figure 17**) ou dans l'eau qui s'infiltre ("eau souterraine", **Figure 17**). Il n'y a pas de pourcentage de biocides dans l'eau d'évaporation, car il a été supposé que les biocides ne s'évaporent pas (seule l'eau s'évapore). Si l'eau d'infiltration atteint alors une quantité suffisante et contribue ainsi à la recharge de la nappe phréatique, les biocides peuvent également être lessivés dans la nappe phréatique.



REMARQUE

Les **hydrogrammes de lixiviation des biocides** (Figure 17), représentées ici pour le biocide terbutryne. L'axe des x représente le temps en années et l'axe des y la quantité de biocide lessivée en mg par mois. La ligne rouge représente la quantité calculée de biocide dans les eaux d'infiltration ("eaux souterraines") et la ligne jaune la quantité calculée de biocide dans le ruissellement de surface. Toutes les tailles se rapportent à la surface totale.

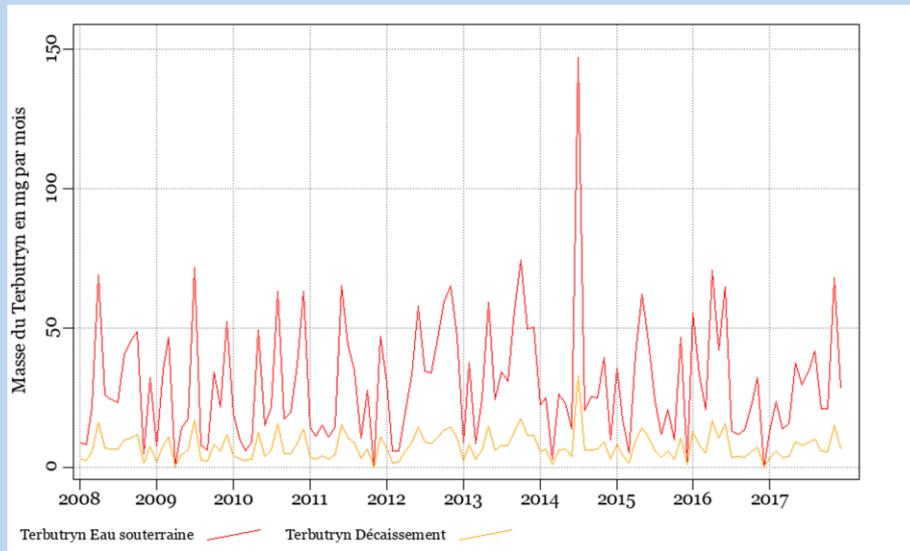


Figure 17 Courbes de variation des biocides lessivés. Ici, la quantité de biocides lessivés pour la terbutryne en mg par mois en fonction du temps en années.

3.6 Créer une variante

Pour créer une nouvelle variante, par exemple pour une planification future, cliquez dans la colonne de droite sous Variante sur le bouton "Nouveau" (Figure 18).

Espace naturel i	Etat actuel i	Variante i												
Éditer	Éditer	Nouveau Éditer												
Données - Information sur la région:														
Utilisation: Prairie, terrain vacant Zone total: 6,255 qm	<table border="0"> <tr><td>1. Toiture conventionnelle</td><td>620 qm</td></tr> <tr><td>2. Toiture végétalisée (plantée extensivement)</td><td>795 qm</td></tr> <tr><td>3. Façade sur pelouse</td><td>3 qm</td></tr> <tr><td>4. Façade sur asphalte</td><td>0 qm</td></tr> <tr><td>5. Revêtement imperméable</td><td>2,206 qm</td></tr> <tr><td>6. Prairie</td><td>2,631 qm</td></tr> </table>	1. Toiture conventionnelle	620 qm	2. Toiture végétalisée (plantée extensivement)	795 qm	3. Façade sur pelouse	3 qm	4. Façade sur asphalte	0 qm	5. Revêtement imperméable	2,206 qm	6. Prairie	2,631 qm	
1. Toiture conventionnelle	620 qm													
2. Toiture végétalisée (plantée extensivement)	795 qm													
3. Façade sur pelouse	3 qm													
4. Façade sur asphalte	0 qm													
5. Revêtement imperméable	2,206 qm													
6. Prairie	2,631 qm													
Sortie - bilan hydrique pour l'ensemble de la période (1/1/2008 – 12/31/2017):														
Les précipitations qui tombent sur toute la surface sont divisées en: Décaissement + infiltration ou recharge des eaux souterraines + évaporation.														
Les proportions suivantes ont été déterminées pour la conception de votre propriété sur une plus longue période::														

Figure 18 Création d'une nouvelle variante.



Une fenêtre apparaît d'abord dans laquelle vous pouvez choisir de créer une surface entièrement nouvelle (bouton "Vider") ou de copier "l'état actuel" et de l'éditer ensuite (bouton "Réplique") (Figure 19).

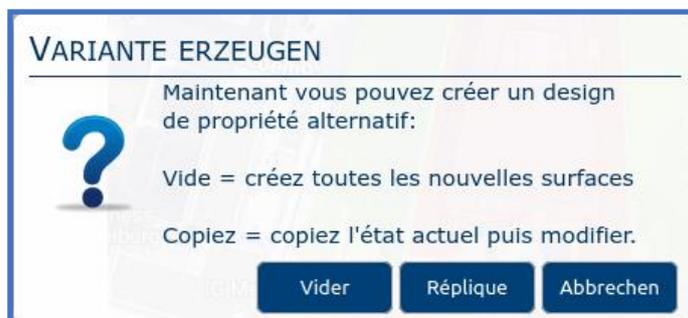


Figure 19 Sélection de la variante à recalculer (créer une nouvelle surface ou traiter "l'état actuel").

Si vous optez pour la variante "Vide" (Figure 20, à gauche), vous recommencez à partir de la surface de base et vous pouvez, comme décrit dans la section 3.4 ("Numériser des surfaces"), dessiner les différents types de surfaces.

Si vous optez pour la variante "Copie" (Figure 20, à droite), vous commencez par les types de surface déjà dessinés et vous pouvez les modifier, comme indiqué dans la boîte d'indication de la section 3.4.3 (Figure 10), vous pouvez les modifier.

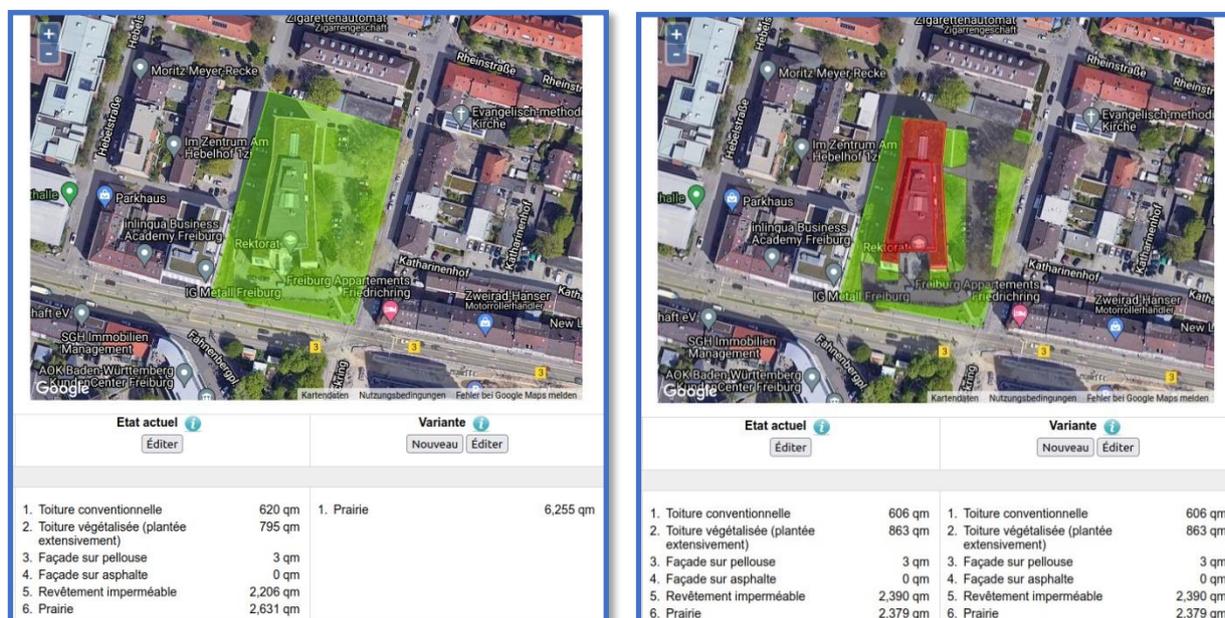


Figure 20 A gauche : Sélection de la variante "Vider" (créer une nouvelle surface) ; à droite : sélection de la variante "Réplique" ("traiter l'état actuel").

Lorsque vous avez adapté les surfaces de votre nouvelle variante en conséquence, démarrez le nouveau calcul en cliquant sur le bouton "Démarrer le calcul" à gauche de la carte (Figure 21).

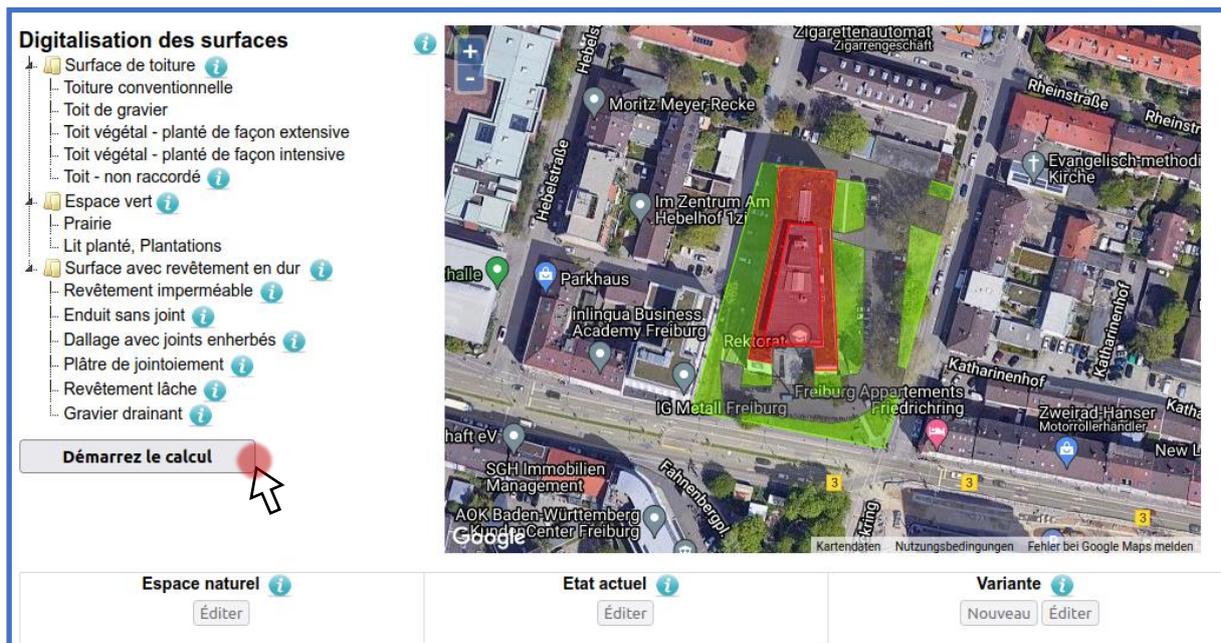


Figure 21 Lancer le calcul de la nouvelle variante.

3.7 Résultats - Comparaison de la "situation actuelle" avec une nouvelle variante

Lorsque le calcul pour la nouvelle variante est terminé, les cinq sections relatives aux informations (type et taille) des surfaces dessinées, au bilan hydrique pour l'ensemble de la période de calcul, aux hydrogrammes des variables du bilan hydrique, aux données sur le lessivage des biocides, à la fenêtre de traitement pour d'autres calculs détaillés et aux autres possibilités (lien direct et exportation Excel) apparaissent à nouveau (Figure 22). Cette fois-ci, les résultats de la nouvelle variante apparaissent en plus dans la troisième colonne et peuvent être comparés directement avec les résultats de "l'état actuel".



Figure 22 Résultats du calcul de la nouvelle variante.

REMARQUE

Vous pouvez éditer et calculer à nouveau la "surface naturelle", "l'état actuel" ou la nouvelle "variante" (Figure 23).



Figure 23 D'autres traitements des différentes variantes sont possibles.



3.8 Calculs détaillés (valeurs au jour près)

Si vous souhaitez effectuer le calcul pour une période donnée dans une résolution journalière précise, vous avez la possibilité de le faire dans la section "Calculs détaillés" (**Figure 24**). Vous pouvez ici choisir librement la date de début et la durée du calcul. Il est ainsi possible, par exemple, de suivre en détail le comportement des paramètres du bilan hydrique et des quantités de biocides lessivées en fonction des différents événements pluvieux.

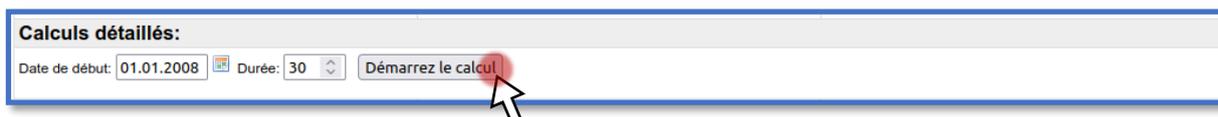


Figure 24 Calculs détaillés (valeurs au jour près).

3.9 Résultats - Calculs détaillés du bilan hydrique et du lessivage des biocides

Après un court temps de calcul, vous obtenez à nouveau des diagrammes pour le débit, l'infiltration ou la recharge de la nappe phréatique et l'évaporation ainsi que les quantités de biocides lessivées dans une résolution journalière (**Figure 25**). Vous avez ici à nouveau la possibilité d'ouvrir les diagrammes en cliquant sur le symbole "+" dans le coin supérieur droit et de les afficher en plus grand.

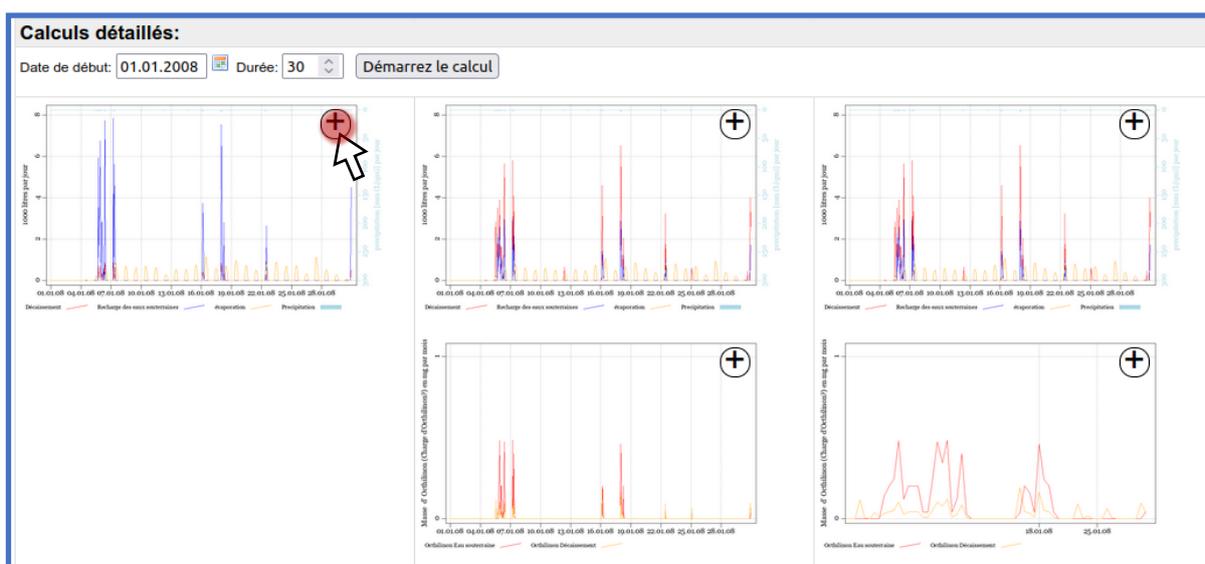


Figure 25 Résultats des calculs détaillés (au jour près) pour les paramètres du bilan hydrique, le ruissellement, l'infiltration ou la recharge des nappes phréatiques et l'évaporation, ainsi que le lessivage des biocides.

3.10 Autres actions

3.10.1 Lien direct

Le lien direct (par ex. : https://www.biozidAuswaschung.de/?page=simulation_map&load_id=1280) vous permet de récupérer une simulation que vous avez effectuée une fois et de continuer à la traiter.



Cela fonctionne même si les cookies de votre navigateur ont déjà été supprimés, car les données sont enregistrées sur le serveur de FReWaB-PLUS sous l'ID correspondant (chiffre à la fin du lien).

3.10.2 Exportation Excel

Ici, vous pouvez exporter les données de votre simulation dans un format de tableur .xlsx. Dans l'annexe (**section 6.2**), vous trouverez une explication des feuilles de calcul et des noms de colonnes du tableau Excel exporté.

4 Modèle (mathématique)

FReWaB-PLUS utilise différentes données d'entrée météorologiques, telles que les précipitations, la température, l'humidité de l'air et la position du soleil, qui sont extraites pour l'Allemagne des jeux de données des stations climatiques du DWD (Deutscher Wetterdienst). Les données d'entrée pour la paramétrisation des surfaces peuvent être transmises au modèle sous forme de données SIG (fichiers Shape) ou manuellement en les dessinant sur une carte Google (voir **section 3.2**). Le modèle calcule alors la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan hydrique, à savoir l'évaporation, la recharge de la nappe phréatique (infiltration) et le ruissellement de surface, en fonction de différents types de surfaces, comme les prairies, les toits des maisons, l'asphalte, etc. et pendant des pas de temps discrets. Le lessivage des biocides diuron, terbutryne et OIT des façades des maisons est estimé à l'aide de valeurs de la littérature en fonction de la surface et de l'âge des façades. La sortie du modèle est alors constituée d'informations sur les trois composantes du bilan hydrique ainsi que sur les flux de biocides en fonction de ces trois composantes (**Figure 26**). Le calcul des composantes du bilan hydrique et des charges de biocides est expliqué plus en détail ci-dessous.

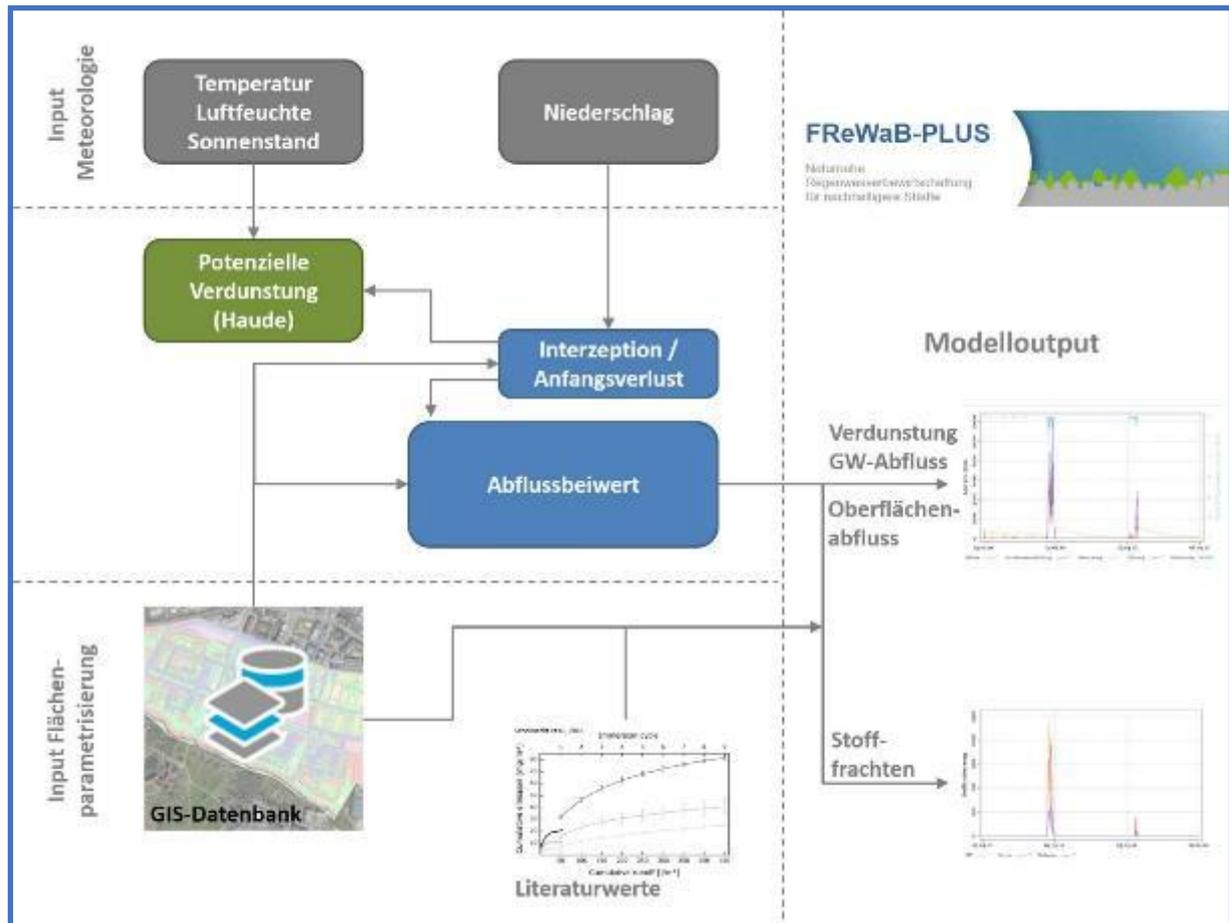


Figure 26 Concept du modèle FReWaB-PLUS. Traductions : Input Meteorologie=Input Météorologie, Temperatur=Température, Luftfeuchte=Humidité de l'air, Sonnenstand=Position du soleil, Niederschlag=Précipitations, Potentielle Verdunstung (Haude)=Évaporation potentielle (Haude), Interzeption/Anfangsverlust=Interception/perte initiale, Abflussbeiwert=Coefficient de ruissellement, Input Flächenparametrisierung=Input Paramétrage de la surface, Literaturwerte=Valeurs bibliographiques, GIS-Datenbank=Base de données SIG, Modelloutput=Sortie du modèle, Verdunstung=Évaporation, GW-Abfluss=Débit des eaux souterraines, Oberflächenabfluss=Ruissellement de surface, Stofffrachten=Charges de substances.

4.1 Formation de l'écoulement dans FReWaB-PLUS

Lorsque des précipitations tombent sur une ville, l'eau y est souvent d'abord retenue et s'évapore, s'infiltre ou ne s'écoule en surface qu'avec un certain retard. Le temps et l'ampleur de ce retard dépendent des différentes surfaces, comme les surfaces de tuiles ou les toits à végétation extensive, les surfaces en asphalté ou les prairies, etc. C'est pourquoi, dans FReWaB-PLUS, les précipitations sont d'abord stockées temporairement dans un réservoir dit d'évaporation (IL : Initial-Loss-Speicher) (**Figure 27**). La taille de ce réservoir d'évaporation dépend de la capacité d'absorption d'eau de différents types et matériaux de surface (**Tableau 2**). L'évaporation maximale de l'eau du réservoir d'évaporation, également appelée évapotranspiration potentielle ET_p ($mm \times d^{-1}$; évaporation = évaporation des surfaces, transpiration = évaporation de la végétation), est calculée dans le modèle par la méthode HAUDE :



$$ET_p = k_h \times e_s \times \left(1 - \frac{F}{100}\right) \tag{1}$$

avec: $e_s = 6.11 \times e^{\left(\frac{17,62 \times T}{243,12+T}\right)}$

Le paramètre k_h (mm d⁻¹ x mbar) est ici le facteur HAUDE constant déterminé expérimentalement, qui dépend de différents facteurs d'influence, comme le type de surface, et qui est déterminé jour par jour ou mois par mois (**Tableau 1**). En outre, l'humidité relative F (%) ainsi que la pression de vapeur saturante de l'air à 14 heures e_s (hPa) sont prises en compte dans le calcul. Cette dernière dépend à son tour de la température de l'air T (K).

Tableau 1 Facteurs HAUDE constants en fonction du mois.

Jan	Fév	Mar	avr	Mai	Jun	Jul	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
0.20	0.20	0.25	0.29	0.29	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.20

L'évaporation du réservoir dépend de son niveau de remplissage IL (mm) et diminue lorsque celui-ci est plus faible. Par conséquent, l'évaporation réelle V (mm) est calculée comme suit en fonction de l'évapotranspiration potentielle, de la taille maximale IL_{max} (mm) et du niveau IL du réservoir d'évaporation :

$$V = IL \times \left(1 - e^{\left(-\frac{ET_p}{IL_{max}}\right)}\right) \tag{2}$$

Lorsqu'il tombe plus de précipitations sur une surface que celle-ci ne peut en stocker (IL > IL_{max}), l'eau s'écoule soit en surface (ruissellement), soit s'infiltré en direction de la nappe phréatique (recharge de la nappe). Dans le modèle FReWaB-PLUS, l'eau de pluie qui déborde du réservoir d'évaporation ("excédent") est alors répartie par un paramètre de modèle a (-) entre le ruissellement de surface A (mm) et la recharge de la nappe phréatique G (mm) :



$$A = \text{Excédent} \times a \tag{3}$$

$$G = \text{Excédent} \times (1 - a) \tag{4}$$

Le paramètre de modèle a peut prendre des valeurs entre 0 et 1 et dépend essentiellement du type de surface (ϕ). Sur l'asphalte traditionnel, une grande partie de l'eau de pluie s'écoule en surface, ce qui fait que a prend des valeurs proches de 1. Dans un drainage de gravier, l'eau s'infiltré souvent très rapidement, ce qui conduit à des valeurs de a proches de 0. Les valeurs des paramètres IL (réservoir d'évaporation) et a , qui dépendent du type de surface, ont été déterminées et adaptées sur la base des valeurs de la littérature.

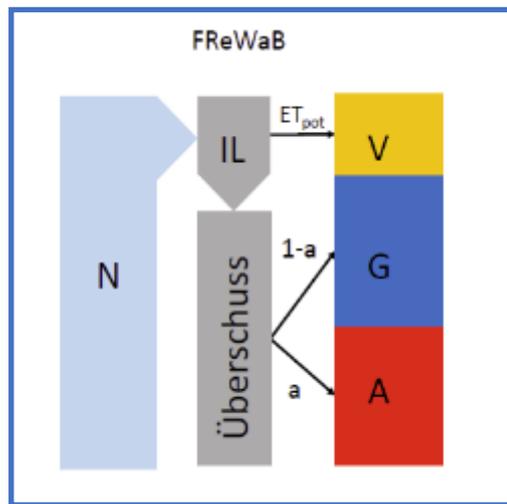


Figure 27 Intégration de la formation des débits dans le modèle FReWaB-PLUS. N : précipitations ; IL : réservoir à perte initiale ; ET_{pot} : évapotranspiration potentielle ; V : évaporation ; G : recharge de la nappe phréatique ; A : écoulement (de surface). a : Part des précipitations non évaporées. Traductions : Überschuss=Excédent.

4.2 Lixiviation des biocides

Lorsque la pluie tombe sur la façade, la couche supérieure de la façade est humidifiée. Les biocides contenus dans la peinture de façade sont dissous par l'eau de pluie et se diffusent lentement à la surface de la façade. Là, ils peuvent être lavés par l'eau de pluie qui s'écoule de la façade.

Lorsque la mémoire de perte initiale de la façade est remplie au maximum et que l'écoulement est généré dans le modèle, le biocide est également lessivé de la façade. La quantité de biocide $S_{released}$ ($mg \times m^{-2}$) lessivée de la façade est alors calculée comme suit dans FReWaB-PLUS :



$$S_{released} = S_{max} \times (e^{(-k_{release} \times A_{total})}) \quad (5)$$

où S_{max} ($mg \times m^{-2}$) représente la quantité maximale possible de biocide à lessiver, $k_{release}$ ($m^2 \times L$) est un facteur spécifique à la substance qui décrit la forme de la courbe de lessivage de chaque biocide et A_{total} ($L \times m^{-2}$) est le débit de façade dans lequel les biocides sont dissous. La forme des courbes de lessivage pour les différents biocides a été déterminée en ajustant les paramètres S_{max} et $k_{release}$ dans l'équation (5) aux valeurs de la littérature (Schoknecht et al. 2016) ont été calibrés.

4.3 Intégration de l'évacuation des eaux de façade

La surface totale d'une façade de maison A_F (m^2) est calculée comme suit dans FReWaB-PLUS :

$$A_F = U_{roof} \times H_{facade} \quad (6)$$

avec le périmètre du toit de la maison U_{roof} (m) et la hauteur totale de la façade H_{facade} (m). Dans FReWaB-PLUS, les façades ne sont donc pas créées en tant que surfaces indépendantes, mais résultent, conformément à l'équation (6) à partir des surfaces de toit correspondantes.

Le modèle calcule maintenant une surface A_W (m^2) autour du bâtiment, sur laquelle est appliquée la quantité de biocide lessivée par la façade (Figure 28). La surface A_W , qui est une surface horizontale représentant la surface A_F de la façade, est calculée comme suit :

$$A_W = k_{buffer} \times A_F \quad (7)$$

La constante k_{buffer} (-) dépend de la hauteur de la façade - plus la façade est haute, plus la surface affectée par les précipitations est grande. La valeur de k_{buffer} a été déterminée à l'aide de données de mesure. Ensuite, la surface efficace pour les précipitations est recoupée avec les surfaces adjacentes à la façade de la maison (Figure 28).

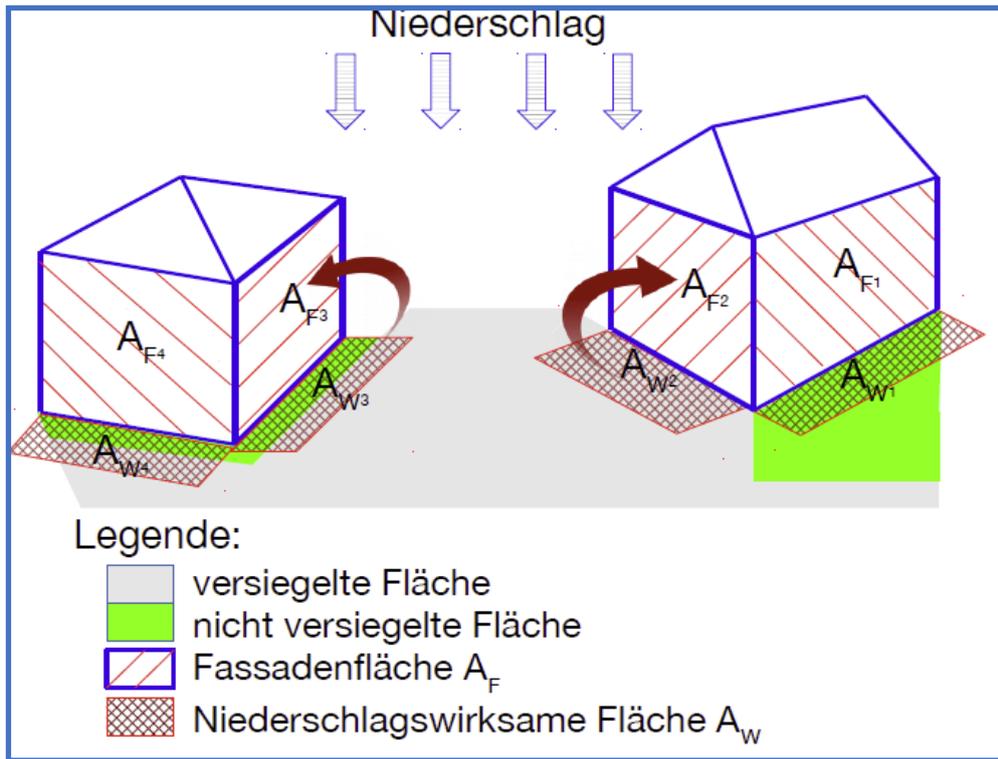


Figure 28 Intégration du ruissellement en façade dans le modèle FReWaB-PLUS. Traductions : Legende=Légende, Niederschlag=Précipitations, Versiegelte Fläche=Surface imperméabilisée, Nicht versiegelte Fläche=Surface non imperméabilisée, Fassadenfläche=Surface de la façade, Niederschlagswirksame Fläche=Surface affectée par les précipitations.

4.4 Calcul des charges de biocides

La quantité de biocide lessivée de la façade est transférée aux surfaces directement adjacentes à la façade de la maison (distance maximale de 10 cm). Cela se fait proportionnellement à la part de la surface qui se trouve à l'intérieur de ce tampon de 10 cm, à l'aide de la constante définie dans la **section 4.3** constante k_{buffer} déterminée. Les quantités de biocides sont ensuite réparties sur chaque surface partielle en fonction de la quantité d'eau dans le réservoir IL_{sub} , de l'écoulement de la surface A et de la recharge de la nappe phréatique G ($IL_{sub} + A + G = IL_{total}$). La part de la quantité de biocide dans le réservoir IL est ensuite BW répartie à l'aide d'un coefficient IL et, en fonction du type de surface, soit dans le réservoir IL ($S_{IL,sub}$) (mg), soit accumulée dans le sol ($S_{soil,sub}$) (mg). Le calcul des deux pools est effectué comme dans l'**équation (8)** et l'**équation (9)** sont représentées :

$$S_{IL,sub} = S_{IL} + S_{released} \times k_{buffer} \left(\frac{IL_{sub}}{IL_{total}} \right) \times IL_{BW} \quad (8)$$

$$S_{soil,sub} = S_{released} \times k_{buffer} \left(\frac{IL_{sub}}{IL_{total}} \right) \times (1 - IL_{BW}) \quad (9)$$

où S_{IL} (mg) représente la quantité de biocide déjà présente dans le réservoir d' IL et $S_{released}$ (mg) est la quantité de biocide lessivée.



Si l'eau de pluie s'écoule en plus sous forme de débit A ou contribue à la recharge de la nappe phréatique G, la quantité de biocide dans le réservoir IL est répartie conformément au paramètre défini dans la **section 4.1** présentée dans le paramètre a du modèle. Le calcul est alors effectué comme dans l'**équation (10)** et l'**équation (11)** sont présentés.

$$S_{drainage,sub} = S_{released} \times k_{buffer} \left(\frac{IL_{sub}}{IL_{total}} \right) + S_{IL,sub} \times a \quad (10)$$

$$S_{groundwater,sub} = S_{released} \times k_{buffer} \left(\frac{IL_{sub}}{IL_{total}} \right) + S_{IL,sub} \times (1 - a) \quad (11)$$

$S_{drainage,sub}$ (mg) et $S_{groundwater,sub}$ (mg) représentent ici les quantités de biocides dans le ruissellement de surface et dans les eaux souterraines.

5 Exemple d'application

Dans cette section, vous allez découvrir un exemple d'application de FReWaB-PLUS. Le calcul est effectué à titre d'exemple pour un petit groupe de maisons ainsi que pour les zones de circulation et les espaces verts environnants, puis comparé à une variante avec des types de surface modifiés. Dans cette section, l'accent est mis sur la discussion des résultats. L'utilisation de l'interface web est décrite dans la **section 2 et 3** décrit en détail.

5.1 Réglages de base, surface de base et types de surface

Il faut tout d'abord procéder aux réglages de base (sélection de la station climatique, de la plage horaire ainsi que de la méthode de saisie ; voir **paragraphe 3.2**). Dans l'exemple d'application, la station climatique de Fribourg est sélectionnée et la période est définie sur la plage 01.01.2008 - 07.08.2021. La méthode de saisie choisie est "Numériser sur carte" (**Figure 29**).

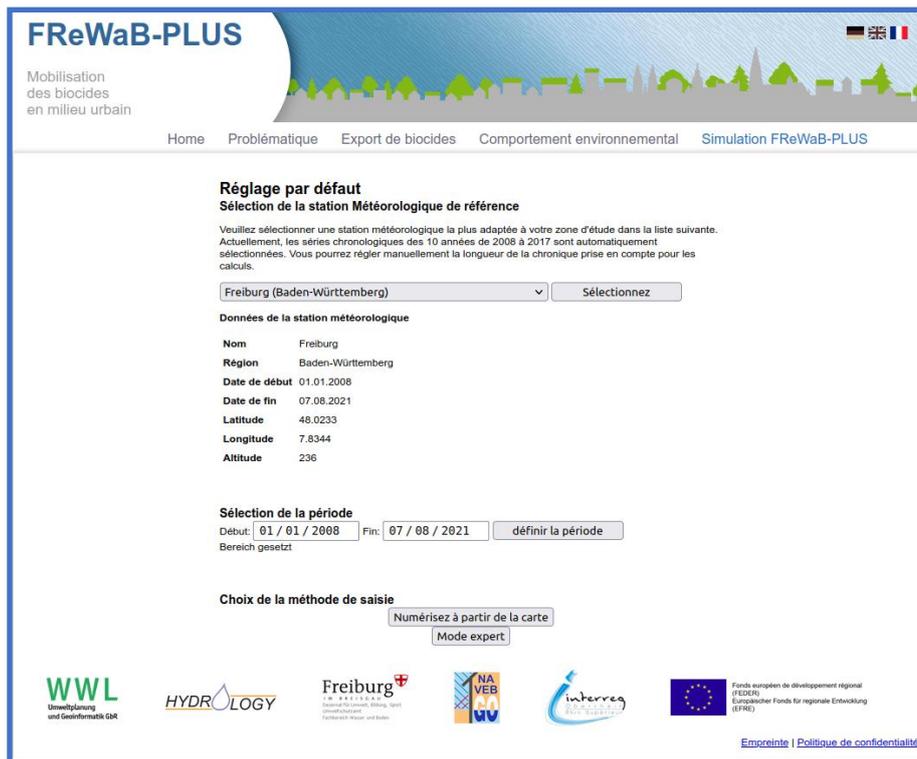


Figure 29 Réglages de base effectués dans l'exemple d'application.

Ensuite, il faut naviguer sur la carte Google Maps jusqu'à la section de la carte où se trouve la surface à simuler et dessiner la surface de base (Figure 30 à gauche ; voir section 3.3). Pour l'exemple d'application, un groupe de cinq maisons ainsi que les zones de circulation et les espaces verts environnants ont été choisis dans un nouveau quartier de Fribourg. Ensuite, il faut définir les types de surface (Figure 30 à droite ; voir section 3.4).



Figure 30 Surface de base dessinée (à gauche) et types de surface déjà définis (à droite).



5.2 Paramètres de la façade

Pour pouvoir calculer le lessivage des biocides, les façades doivent être dotées des paramètres nécessaires (**Figure 31**). Cela se fait en sélectionnant les types de surface correspondants. Ici, il faut d'une part la hauteur moyenne de la façade (en m). La surface de la façade à partir de laquelle les biocides peuvent être lessivés est calculée à partir de cette valeur et de la circonférence du toit (qui résulte de la surface du toit dessinée) (voir **section 4.3**). En outre, les dates auxquelles la façade a été peinte sont nécessaires. Cette information est importante, car le lessivage des biocides dépend du moment où la façade a été repeinte. Une grande partie des biocides est lessivée dans les premiers temps après la mise en peinture. Cette valeur diminue ensuite lentement avec le temps.

Figure 31 Saisie des paramètres de la façade nécessaires pour calculer le lessivage des biocides.

Il existe plusieurs possibilités de connaître les hauteurs des bâtiments. Parfois, il est possible de trouver ces valeurs dans les plans d'urbanisme, que les villes mettent souvent à disposition en ligne. A Fribourg, il existe en outre la possibilité de déterminer la hauteur des bâtiments dans un modèle 3D de la ville (<https://3d.freiburg.de>) (**Figure 32**). Pour ce faire, il existe un outil qui permet de mesurer les distances, les surfaces et les hauteurs. En outre, Google-Earth offre également la possibilité d'estimer la hauteur des bâtiments (**Figure 33**). L'altitude du terrain sur lequel se trouve le curseur de la souris est affichée en bas de l'image. Si l'on place le curseur de la souris sur le toit d'un bâtiment, la hauteur du terrain s'affiche et l'on peut déterminer la hauteur du bâtiment par la différence entre les deux valeurs.



Figure 32 Complexe de bâtiments à simuler dans le modèle 3D de la ville de Fribourg (<https://3d.freiburg.de>).



Figure 33 Complexe de bâtiments à simuler dans Google-Earth.

Les valeurs des peintures de façade sont difficiles à déterminer. Les informations réelles ne peuvent être obtenues qu'auprès des propriétaires*, parfois des habitants* ou, dans le cas des bâtiments publics, des autorités compétentes des villes. Une estimation peut souvent être faite si l'on connaît l'année de construction des maisons. Sinon, l'âge de la façade peut également être estimé à partir de son état. Toutefois, cette estimation n'est que très approximative. En particulier si une façade a été peinte avec une peinture contenant des biocides, elle peut avoir un aspect blanc ou coloré éclatant même des années après avoir été peinte.

Si vous souhaitez simuler une façade qui n'émet pas de biocides (par exemple parce qu'elle n'est pas peinte avec une peinture contenant des biocides ou qu'elle est constituée d'autres matériaux tels que du verre ou des briques), vous devez saisir une hauteur de façade de 0 m. Dans ce cas, aucun écoulement contenant des biocides n'est formé par FReWaB-PLUS à partir des façades de bâtiment correspondantes. Par exemple, si 50 % de la façade d'un bâtiment est en briques, la hauteur de la façade doit être indiquée comme étant égale à la moitié de la hauteur réelle. Pour les autres pourcentages d'une façade exempte de biocides, il faut procéder de la même manière (voir **la section 3.4.2**).



5.3 Informations sur les surfaces

La surface de l'exemple d'application (**Figure 35**) se compose de cinq maisons aux toits conventionnels, entourées de routes asphaltées et en partie de prairies. Dans la cour intérieure du complexe de bâtiments, il y a un chemin en revêtement meuble (revêtement de chemin lié à l'eau). Dans la variante, à titre de comparaison, la surface asphaltée est remplacée par un pavage avec de grands joints (pour savoir comment la variante est créée et calculée, voir la **section 3.6** peut être consultée). Sur **Figure 34** les dimensions des différentes surfaces sont listées (ces informations apparaissent une fois le calcul terminé ; voir la **section 3.5**).

Utilisation: Prairie, terrain vacant Zone total: 9,012 qm	1. Toiture conventionnelle	2,983 qm	1. Toiture conventionnelle	2,983 qm
	2. Façade sur pelouse	1 qm	2. Façade sur pelouse	1 qm
	3. Façade sur gravier enherbé	0 qm	3. Façade sur gravier enherbé	0 qm
	4. Façade sur asphalte	6 qm	4. Façade sur petit dallage en mosaïque	6 qm
	5. Revêtement lâche et perméable	653 qm	5. Revêtement lâche et perméable	653 qm
	6. Revêtement imperméable	3,533 qm	6. Revêtement perméable (riche en joints)	3,533 qm
	7. Prairie	1,836 qm	7. Prairie	1,836 qm

Figure 34 Dimensions des surfaces indiquées en m² (à gauche : surface naturelle ; au milieu : état actuel ; à droite : variante).

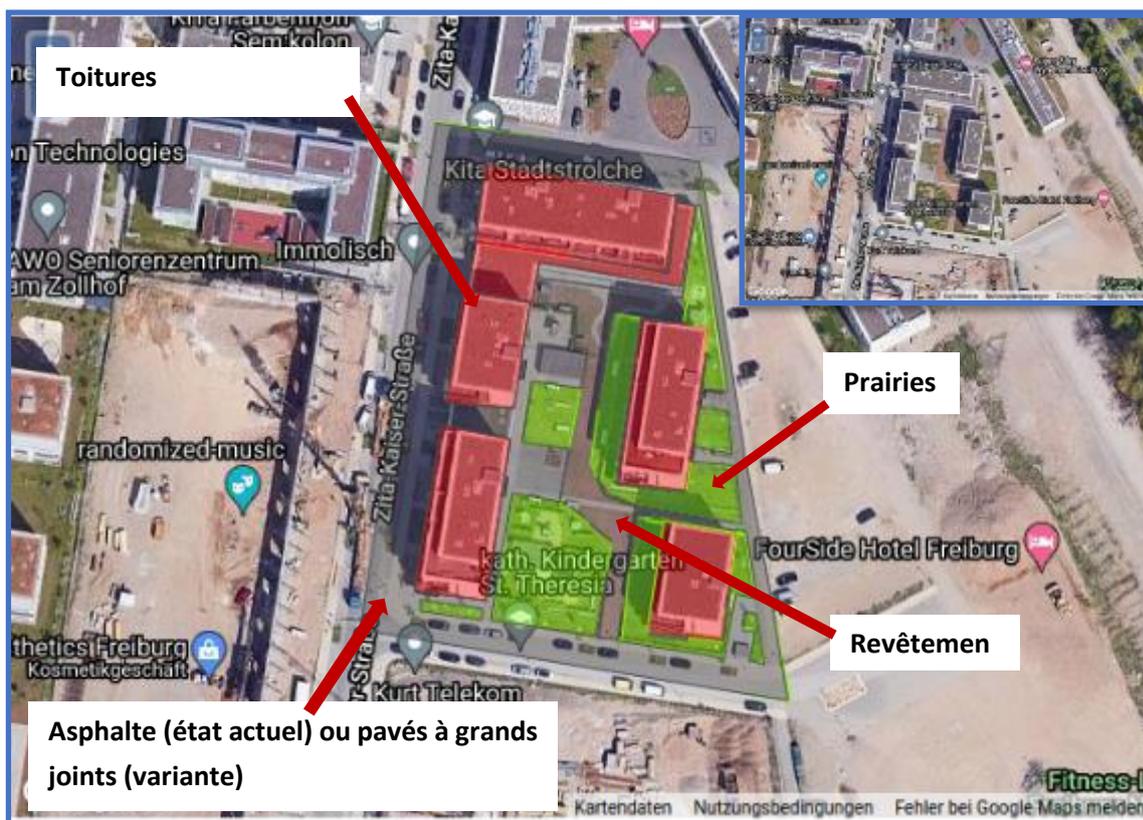


Figure 35 Types de surfaces dessinés. En haut à droite de l'image, le groupe de maisons est représenté sans types de surfaces dessinés.



5.4 Résultats - bilan hydrique

Une fois les calculs terminés pour l'état actuel et la variante, les données de sortie du bilan hydrique pour l'ensemble de la période de calcul apparaissent sous la carte et les informations sur les surfaces (Figure 36).

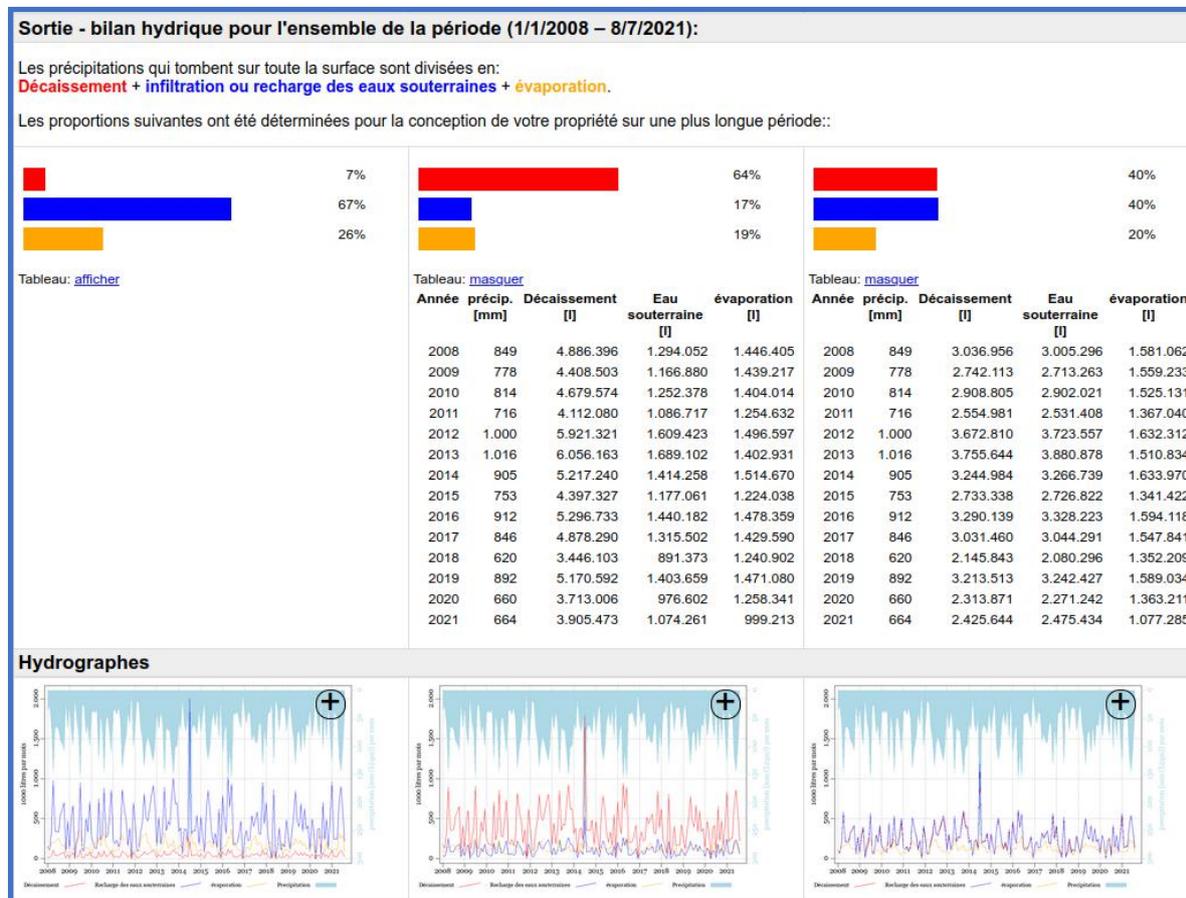


Figure 36 Données de sortie du bilan hydrique pour la période de calcul (répartition en pourcentage des précipitations en ruissellement de surface, infiltration/recharge de la nappe phréatique et évaporation ; flux d'eau annuels cumulés sous forme de tableaux et d'hydrographes).

On peut tout d'abord comparer les diagrammes en bâtons des bilans hydriques des trois scénarios surface naturelle/prairie (à gauche), état actuel (au milieu) et variante (à droite). Alors que sur la surface naturelle, l'infiltration/la recharge de la nappe phréatique représente la plus grande part du bilan hydrique (67%), le ruissellement de surface est le plus important sur le scénario "état actuel" (64%). Ici, l'asphalte, un revêtement qui ne permet pas l'infiltration et ne peut retenir (et donc évaporer) que très peu d'eau, représente la plus grande part de surface (Figure 34). Si l'asphalte est remplacé par un pavage à joints multiples, comme dans le scénario "variante", la part du ruissellement de surface diminue nettement (40%) et la part de l'infiltration/recharge des eaux souterraines augmente (40%).

Les tableaux et les hydrographes situés sous les diagrammes à barres permettent de suivre l'évolution temporelle des paramètres du bilan hydrique. En outre, les hydrographes (Figure 37) montrent



clairement la relation entre les précipitations et les variables du bilan hydrique. On voit ici que le ruissellement de surface, l'infiltration/la recharge de la nappe phréatique et l'évaporation suivent toujours directement l'événement pluvieux correspondant. Si vous avez besoin d'une résolution temporelle plus élevée, vous pouvez également effectuer les calculs au jour le jour dans la section "Calculs détaillés" sous les données de sortie (explications dans la **section** "Calculs détaillés"). **3.8**).

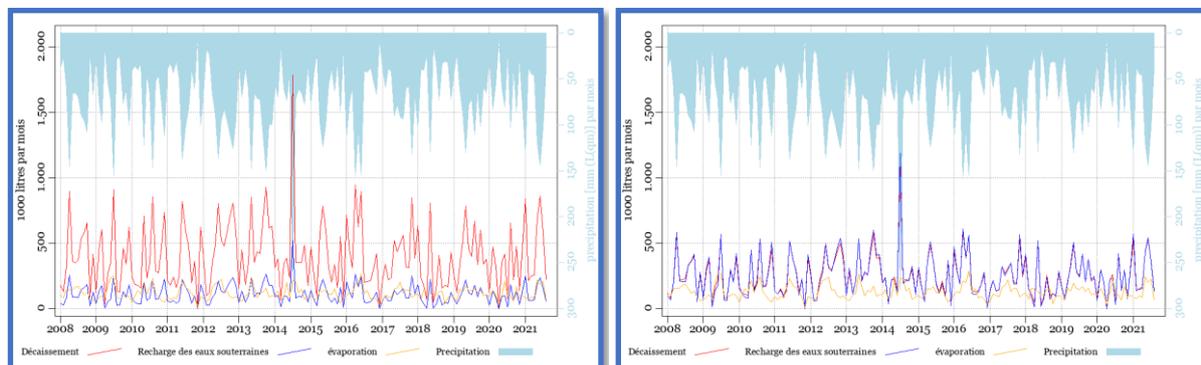


Figure 37 Hydrogrammes de "l'état actuel" (à gauche) et de la "variante" (à droite).

5.5 Résultats - Lixiviation des biocides

Les données sur le lessivage des biocides sont présentées sous forme de diagrammes avec l'évolution temporelle des biocides lessivés dans le ruissellement de surface et dans les eaux souterraines, en dessous des résultats sur le régime des eaux. En plus des diagrammes, les données peuvent être affichées en option sous forme de tableau. Les données sont disponibles pour les trois biocides les plus utilisés, à savoir la terbutryne, le diuron et l'octhilonone.

Il n'y a pas de données sur les biocides dans le scénario "Surface naturelle", car il n'y a pas de bâtiments simulés à partir desquels les biocides peuvent être lessivés. En outre, il n'y a pas de données sur les biocides dans le paramètre du bilan hydrique "évaporation", car le modèle FReWaB-PLUS suppose que les biocides ne peuvent pas s'évaporer en quantités significatives.

Une comparaison des charges en biocides des scénarios "état actuel" et "variante" montre que dans l'état actuel, les biocides se trouvent principalement dans le ruissellement de surface alors que dans la variante, ils peuvent être transférés principalement vers les eaux souterraines (**Figure 38**). Ce résultat est analogue à celui des variables du bilan hydrique. Étant donné que dans la variante, les surfaces asphaltées ont été remplacées par un pavage à joints multiples, les précipitations s'infiltrent ici beaucoup plus directement dans la surface. Toutefois, les biocides peuvent ainsi s'infiltrer directement dans le sous-sol et, si l'eau contribue à la recharge de la nappe phréatique et que les biocides ne sont pas retenus dans le sol, ils peuvent également atteindre la nappe phréatique.

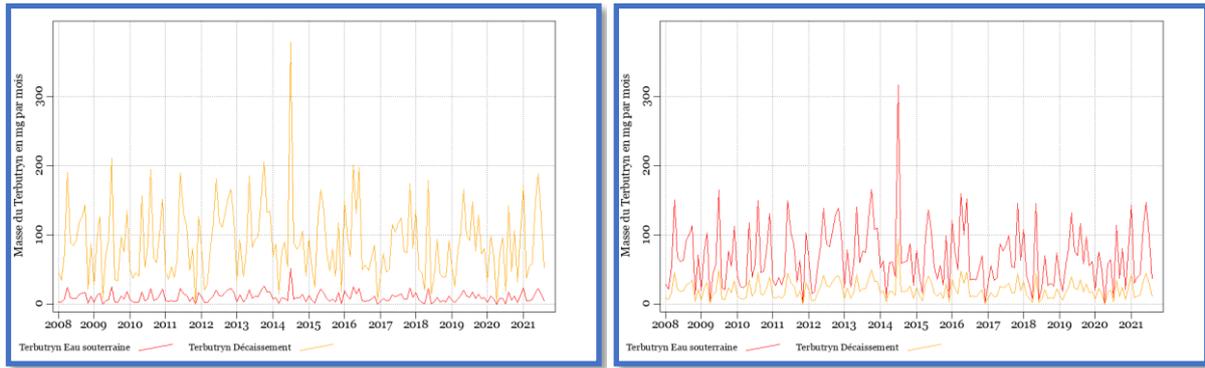


Figure 38 Charges de biocides dans la "situation actuelle" (à gauche) et dans la "variante" (à droite).

5.6 Conclusion

La simulation de l'infiltration de l'eau de pluie et du lessivage des biocides dans cet exemple d'application a montré, à titre d'exemple, l'influence de l'urbanisation (comparaison de la surface naturelle et de l'état actuel) et du choix du matériau de surface ou du type de surface (comparaison de l'état actuel et de la variante) sur ces grandeurs.

En premier lieu, cet exemple doit vous aider à apprendre FReWaB-PLUS et à l'utiliser pour vos applications. En même temps, il montre aussi les problèmes dans la gestion des eaux pluviales urbaines. L'infiltration des précipitations directement dans la surface est souhaitée et offre des avantages pour le régime des eaux urbaines et pour le microclimat. Toutefois, le risque existe que les polluants contenus dans les eaux pluviales urbaines, comme les biocides, puissent également atteindre les eaux souterraines urbaines. C'est pourquoi il convient, dans la mesure du possible, de viser une réduction des polluants à la source.



6 Annexe

6.1 Types de surface disponibles et leurs coefficients

Tableau 2 Types de surface et valeurs correspondantes pour le paramètre de modèle a et le réservoir d'évaporation IL utilisés dans FReWaB-PLUS. Le paramètre de modèle a détermine la répartition de la part des précipitations (qui ne s'évaporent pas) entre le ruissellement de surface et la recharge des nappes phréatiques. Des valeurs de 1 signifient 100% de ruissellement de surface, tandis que des valeurs de 0 signifiaient que l'eau contribuait à 100% à la recharge des nappes phréatiques. Plus le réservoir d'évaporation IL est élevé, plus l'eau s'évapore dans un premier temps.

Type de surface	Paramètres du modèle a (-)	Réservoir d'évaporation IL (L x m ⁻²)
Toitures		
Toit conventionnel	1,0	0,8
Toiture en gravier	1,0	3,5
Toiture verte - extensive	1,0	10,0
Toiture verte - intensif	1,0	20,0
Toit - non raccordé	0,0	-
Espaces verts		
Prairie	0,1	4,0
Parterre, plantation	0,1	2,4
Surfaces consolidées		
Revêtement imperméable	1,0	2,0
Pavage à faible jointoiment	0,5	2,5
Pavés avec joints végétalisés	0,15	6,5
Pavés à joints multiples	0,25	3,0
Revêtement lâche	0,3	4,5
Drainage de gravier	0,0	2,5



6.2 Exportation Excel : explication des noms de colonnes

Tableau 3 Explication des noms des colonnes du tableau Excel exporté. Le tableau comporte trois feuilles de calcul : bilan hydrique, surfaces et bilan biocide. Sont indiqués les noms des colonnes, leur description et l'unité de chaque paramètre. Dans la dernière colonne, vous trouverez les noms des différents paramètres tels qu'ils sont utilisés dans la base de données ; ce sont des informations dont vous n'avez besoin qu'en mode expert.

Feuille de calcul	Colonne	Description	Unité	Information pour le mode expert : Table DB (select where base_id = Run-ID)
Bilan hydrique	Base_id	Run-ID individuel	-	digi.v_gangl_dyn_sum_day
	Variant_id	0 pour l'original, 1 pour la variante	-	digi.v_gangl_dyn_sum_day
	mo	Date	-	digi.v_gangl_dyn_sum_day
	Sum_a	Écoulement	L	digi.v_gangl_dyn_sum_day
	Sum_g	Eaux souterraines	L	digi.v_gangl_dyn_sum_day
	Sum_v	Évaporation	L	digi.v_gangl_dyn_sum_day
	Sum_ns	Précipitations	L	digi.v_gangl_dyn_sum_day
	Sum	Total du bilan hydrique	L	digi.v_gangl_dyn_sum_day
	Sum_ns	Total du bilan hydrique	mm	digi.v_gangl_dyn_sum_day
Surfaces	Base_id	Run-ID individuel	-	digi.v_result_area
	Variant_id	0 pour l'original, 1 pour la variante	-	digi.v_result_area
	Area	Surface du bassin versant en m ²	m ²	digi.v_result_area
	id_couche	Type de surface	-	digi.v_result_area
	Area_façade	Surface de la façade	m ²	digi.v_result_area
Bilan des biocides	Base_id	Run-ID individuel	-	digi.v_gangl_all_day
	Variant_id	0 pour l'original, 1 pour la variante	-	digi.v_schad_group
	ts	Date	-	digi.v_schad_group
	H24	Heure	-	digi.v_schad_group
	b_oit	OIT dans le sol	mg	digi.v_schad_group
	b_diu	Le diuron dans le sol	mg	digi.v_schad_group
	b_ter	La terbutryne dans le sol	mg	digi.v_schad_group
g_oit	OIT dans les eaux souterraines	mg	digi.v_schad_group	



Feuille de calcul	Colonne	Description	Unité	Information pour le mode expert : Table DB (select where base_id = Run-ID)
	g_diu	Le diuron dans les eaux souterraines	mg	digi.v_schad_group
	g_ter	La terbutryne dans les eaux souterraines	mg	digi.v_schad_group
	a_oit	OIT dans le ruissellement de surface	mg	digi.v_schad_group
	a_diu	Diuron dans le ruissellement de surface	mg	digi.v_schad_group
	a_ter	Terbutryne dans le flux de surface	mg	digi.v_schad_group



Liste des figures

Figure 1 Schéma de la gestion décentralisée des eaux de pluie et du lessivage des biocides.	5
Figure 2 Démarrage d'une nouvelle simulation.	6
Figure 3 Réglages de base pour FReWaB-PLUS : sélection des données météorologiques, de la plage horaire et de la méthode de saisie.	7
Figure 4 Sélection de la surface de base soit par une recherche d'adresse et par sélection dans la carte Google.	8
Figure 5 Dessiner la surface de base par des clics de souris et confirmer par un double clic (la couleur de la surface passe du rouge au vert).	9
Figure 6 Modifier la taille et la forme de la surface de base.	9
Figure 7 Sélection des types de surfaces.	10
Figure 8 Fenêtre de saisie des paramètres des surfaces de toit ou de façade.	11
Figure 9 Dessiner les différentes surfaces de toitures, espaces verts et surfaces revêtues.	12
Figure 10 Supprimer ou modifier la taille et le type d'une surface.	12
Figure 11 Cinq nouvelles sections qui apparaissent sous la carte après le calcul.	14
Figure 12 Informations sur les surfaces dessinées.	15
Figure 13 Bilan hydrique pour l'ensemble de la période de calcul.	16
Figure 14 Hydrogrammes des variables du bilan hydrique.	17
Figure 15 Courbes de variation des paramètres du bilan hydrique en fonction du temps, en années.	17
Figure 16 Résultats du lessivage des biocides pour la période calculée.	18
Figure 17 Courbes de variation des biocides lessivés. Ici, la quantité de biocides lessivés pour la terbutryne en mg par mois en fonction du temps en années.	19
Figure 18 Création d'une nouvelle variante.	19
Figure 19 Sélection de la variante à recalculer (créer une nouvelle surface ou traiter "l'état actuel").	20
Figure 20 A gauche de l'écran : Sélection de la variante "Vide" (créer une nouvelle surface) ; à droite : sélection de la variante "Copie" ("traiter l'état actuel").	20
Figure 21 Lancer le calcul de la nouvelle variante.	21
Figure 22 Résultats du calcul de la nouvelle variante.	22
Figure 23 D'autres traitements des différentes variantes sont possibles.	22
Figure 24 Calculs détaillés (valeurs au jour près).	23
Figure 25 Résultats des calculs détaillés (au jour près) pour les paramètres du bilan hydrique, le ruissellement, l'infiltration ou la recharge des nappes phréatiques et l'évaporation, ainsi que le lessivage des biocides.	23
Figure 26 Concept du modèle FReWaB-PLUS. Traductions : Input Meteorologie=Input Météorologie, Temperatur=Température, Luftfeuchte=Humidité de l'air, Sonnenstand=Position du soleil, Niederschlag=Précipitations, Potentielle Verdunstung (Haude)=Évaporation potentielle (Haude), Interzeption/Anfangsverlust=Interception/perte initiale, Abflussbeiwert=Coefficient de ruissellement, Input Flächenparametrieserung=Input Paramétrage de la surface, Literaturwerte=Valeurs bibliographiques, GIS-Datenbank=Base de données SIG, Modelloutput=Sortie du modèle,	



Verdunstung=Évaporation, GW-Abfluss=Débit des eaux souterraines, Oberflächenabfluss=Ruissellement de surface, Stofffrachten=Charges de substances. 25

Figure 27 Intégration de la formation des débits dans le modèle FReWaB-PLUS. N : précipitations ; IL : réservoir à perte initiale ; ET_{pot} : évapotranspiration potentielle ; V : évaporation ; G : recharge de la nappe phréatique ; A : écoulement (de surface). a : Part des précipitations non évaporées. Traductions : Überschuss=Excédent. 27

Figure 28 Intégration du ruissellement en façade dans le modèle FReWaB-PLUS. Traductions : Legende=Légende, Niederschlag=Précipitations, Versiegelte Fläche=Surface imperméabilisée, Nicht versiegelte Fläche=Surface non imperméabilisée, Fassadenfläche=Surface de la façade, Niederschlagswirksame Fläche=Surface affectée par les précipitations. 29

Figure 29 Réglages de base effectués dans l'exemple d'application. 31

Figure 30 Surface de base dessinée (à gauche) et types de surface déjà définis (à droite). 31

Figure 31 Saisie des paramètres de la façade nécessaires pour calculer le lessivage des biocides. 32

Figure 32 Complexe de bâtiments à simuler dans le modèle 3D de la ville de Fribourg (<https://3d.freiburg.de>). 32

Figure 33 Complexe de bâtiments à simuler dans Google-Earth. 33

Figure 34 Dimensions des surfaces indiquées en m² (à gauche : surface naturelle ; au milieu : état actuel ; à droite : variante). 34

Figure 35 Types de surfaces dessinés. En haut à droite de l'image, le groupe de maisons est représenté sans types de surfaces dessinés. 34

Figure 36 Données de sortie du bilan hydrique pour la période de calcul (répartition en pourcentage des précipitations en ruissellement de surface, infiltration/recharge de la nappe phréatique et évaporation ; flux d'eau annuels cumulés sous forme de tableaux et d'hydrogrammes). 35

Figure 37 Hydrogrammes de "l'état actuel" (à gauche) et de la "variante" (à droite). 36

Figure 38 Charges de biocides dans la "situation actuelle" (à gauche) et dans la "variante" (à droite). 37

Liste des tableaux

Tableau 1 Facteurs HAUDE constants en fonction du mois. 26

Tableau 2 Types de surface et valeurs correspondantes pour le paramètre de modèle a et le réservoir d'évaporation IL utilisés dans FReWaB-PLUS. Le paramètre de modèle a détermine la répartition de la part des précipitations (qui ne s'évaporent pas) entre le ruissellement de surface et la recharge des nappes phréatiques. Des valeurs de 1 signifient 100% de ruissellement de surface, tandis que des valeurs de 0 signifiaient que l'eau contribuait à 100% à la recharge des nappes phréatiques. Plus le réservoir d'évaporation IL est élevé, plus l'eau s'évapore dans un premier temps. 38

Tableau 3 Explication des noms des colonnes du tableau Excel exporté. Le tableau comporte trois feuilles de calcul : bilan hydrique, surfaces et bilan biocide. Sont indiqués les noms des colonnes, leur description et l'unité de chaque paramètre. Dans la dernière colonne, vous trouverez les noms des



différents paramètres tels qu'ils sont utilisés dans la base de données ; ce sont des informations dont vous n'avez besoin qu'en mode expert..... 39