

Essai de cartographie des classes d'infiltrabilité des sols de Wallonie (Belgique)

Pierre Demarcin ⁽¹⁾, Catherine Sohier ⁽¹⁾, Abdel Ilah Mokadem ⁽²⁾, Sylvia Dautrebande ⁽¹⁾, Aurore Degré ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Univ. Liège - Gembloux Agro-Bio Tech. Unité d'Hydrologie & Hydraulique agricole. Passage des Déportés, 2. B-5030 Gembloux (Belgique). E-mail : aurore.degre@ulg.ac.be

⁽²⁾ Service public de Wallonie. Direction Générale opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement (D GARNE). Direction de l'Espace rural. Chaussée de Louvain, 14. B-5000 Namur (Belgique).

Reçu le 5 mars 2009, accepté le 24 aout 2010.

Sur base de la cartographie numérique des sols de Wallonie au 1/20000, une clé de classification est proposée pour attribuer une classe d'infiltrabilité à chaque type de sol. La classification proposée exploite les caractéristiques texturales, de drainage, de substrat et le cas échéant de charge. Les groupes hydrologiques ainsi produits se rapportent à la méthodologie SCS visant à quantifier l'infiltration lors d'événements pluvieux (modélisation événementielle ou continue). Les groupes hydrologiques définis par la méthodologie SCS sont au nombre de quatre, nommés de A à D et caractéristiques respectivement de vitesses limites d'infiltration des plus élevées aux plus faibles. La cartographie ainsi produite est un raster de résolution 10 m au sol, couvrant toute la Wallonie (16900 km²), directement utilisable dans des modèles hydrologiques spatialisés. L'article détaille la procédure de cartographie et les limites d'utilisation inhérentes.

Mots-clés. Infiltration, sol, groupes hydrologiques, SCS, région wallonne (Belgique), cartographie.

Mapping infiltration classes of Wallonian soils: an attempt. On the basis of the digital soil map of Wallonia (1/20,000), a decision tree is proposed for attributing infiltration class to each soil type. The proposition takes into account soil texture, drainage characteristics, substratum and, when appropriate, percentage of stoniness. The so defined infiltration classes are coherent with SCS methodology for abstraction computation (continuous or event based modelling). There are four groups named A, B, C and D from higher to lower basic infiltration rate. The map produced is a raster with a ground resolution of 10 m, covering Wallonia (16,900 km²), readily usable in hydrological distributed models. The paper deals with the classification and its inherent limitations.

Keywords. Infiltration, soil, hydrologic groups, SCS, Walloon region (Belgium), mapping.

1. INTRODUCTION

La problématique de l'estimation de la capacité d'infiltration des sols intervient dans de nombreuses questions liées notamment à la gestion de l'espace rural ou périurbain en relation avec le climat; citons de manière non exhaustive les inondations (débordement de cours d'eau ou concentration des eaux de ruissellement), l'état des cultures et de la végétation en général, la recharge des eaux souterraines, l'imperméabilisation des terres par le fait de l'urbanisation, l'érosion hydrique ou encore l'infiltration des eaux usées épurées ou non.

La présente étude s'est attachée à développer une cartographie de classes d'infiltrabilité des sols de la région wallonne sur base d'une méthodologie

largement utilisée dans le monde, à savoir la « méthode SCS » du *Soil Conservation Service* (Musgrave, 1955¹; SCS, 1958 ; Ogrosky et al., 1964 ; SCS, 1972 ; Rawls et al., 1993) et incluse dans des modèles hydrologiques tels le modèle EPICgrid (Sohier et al., 2009) ou SWAT (Neitsch et al., 2002). Cette méthode se base notamment sur un classement des sols en quatre classes de capacité d'infiltration de base, sous la dénomination « Groupes hydrologiques des Sols ».

La quantification de l'infiltration de la pluie par le sol est abordée dans la littérature au moyen de

¹ Musgrave G.W., 1955. How much of the rain enters the soil ?
In: USDA Water yearbook of agriculture. Washington, DC, USA: USDA, 151-159. Cité par : Musgrave et al., 1964.

nombreux modèles physiquement basés (Green et al., 1911 ; Richards, 1931 ; Philip, 1957 ; Haverkamp et al., 1990 ; Corradini et al., 1994 ; Morel-Seytoux et al., 1996), conceptuels ou empiriques (Horton, 1933 ; Holtan, 1961 ; SCS, 1972 ; Diskin et al., 1995). Différents auteurs se sont attachés à comparer ces différents types de modélisations dans des situations contrastées : bassins versants urbains (Zariello, 1998), parcelles d'essais agricoles (Chahinian et al., 2005) ou encore dans le contexte de bassins versants agricoles (Kannan et al., 2007). Dans les deux premiers contextes, la méthode SCS présente des résultats moins performants que les autres modèles qui lui sont confrontés. En revanche, dans un contexte de bassins versants agricoles, la méthode SCS s'avère la plus appropriée, et ce assez logiquement puisqu'il s'agit de son domaine initial de développement (Ponce et al., 1996).

Outre le type et la taille du domaine d'application, le pas de temps du modèle doit en orienter le choix (Singh, 1995). Une dynamique fine (de l'ordre de la minute) impose une modélisation physiquement basée (Chahinian et al., 2005), tandis qu'une estimation du volume ruisselé en réponse à un événement pluvieux vu dans sa globalité sera aussi bien approchée par un modèle simple comme le modèle SCS qui s'impose dès lors comme le modèle le plus efficient (Kannan et al., 2007).

La classification SCS a précédemment été appliquée sur base de la carte des associations de sols de Belgique (Maréchal et al., 1971), d'échelle 1/500 000, dans le cadre du projet CARHY (Laimé et al., 1995) et ses divers développements et utilisations [notamment, le modèle hydrologique journalier EPICgrid, Sohier et al. (2009)]. La validation de la méthode dans le contexte de la région wallonne repose sur l'analyse des résultats de la modélisation hydrologique distribuée. La classification en groupes hydrologiques étant une donnée primaire de l'estimation de l'abstraction de la pluie, la qualité de la classification peut être estimée par comparaison entre hydrogrammes simulés et observés, les autres variables primaires étant issues de mesures ou observations directes (occupation du sol, pente et données météorologiques). Sohier et al. (2008 et 2009) présentent de telles analyses pour des bassins versants dont les superficies varient de quelques à plusieurs centaines de km².

Suite à la numérisation de la carte des sols de la Belgique (voir ci-après), d'échelle 1/20 000, il est apparu nécessaire d'actualiser et affiner spatialement les différentes classes d'infiltrabilité des sols à partir de cette nouvelle base de données. L'affinement attendu de la caractérisation de l'infiltrabilité des sols est de nature à améliorer les performances des modèles hydrologiques spatialement distribués qui l'utilisent. Ce travail doit permettre également la production de cartes thématiques,

telles les cartes de risque de ruissellement diffus, qui résultent du traitement de différentes géodonnées au sein desquelles une carte des classes d'infiltrabilité au 1/500 000 appauvrirait significativement la qualité des informations cartographiées. En effet, les récents développements techniques des géodonnées telles que l'occupation du sol autorisent l'utilisation d'entités hydrologiques plus fines que les sous-bassins versants hydrographiques fréquemment utilisés jusqu'ici pour la gestion du territoire. Passer d'une cartographie des sols à l'échelle du 1/500 000 à une cartographie à l'échelle 1/20 000 prend dès lors tout son sens. Citons encore toute l'importance de la gestion du ruissellement dans les bassins versants secs, en amont des rivières, qui nécessitent une échelle spatiale relativement fine pour caractériser l'infiltrabilité des sols.

Il est important de rappeler que la carte des classes d'infiltrabilité des sols et ses cartes dérivées porteront intrinsèquement les mêmes limitations que les géodonnées qui sont utilisées pour les élaborer. Ainsi, le changement de projection d'une partie de la carte des sols au 1/20 000 a induit des décalages spatiaux pouvant atteindre 20 m sur certaines planches. Il en sera de même pour la carte des classes d'infiltrabilité.

La présente étude s'inscrit dans le cadre du Projet ERRUISSOL (ERosion-RUISsellement-SOL), mis en œuvre par l'Unité d'Hydrologie & Hydraulique agricole de Gembloux Agro-Bio Tech à la demande de la Direction de l'Espace rural [Direction Générale Opérationnelle Agriculture, Ressources Naturelles et Environnement (DGARNE) – Service Public de Wallonie (SPW)] ; le projet a pour objet la réalisation de cartes numériques portant sur les risques de ruissellement et d'érosion hydrique des sols au format matriciel, avec une résolution au sol de 10 m et couvrant l'ensemble du territoire de la région wallonne. Ces cartes constitueront des outils de diagnostic et d'aide à la décision en ce qui concerne des problèmes récurrents d'inondations par ruissellement, de coulées boueuses, d'érosion des terres, etc.

2. MATÉRIEL

2.1. Donnée numérique

La donnée de base est la Carte Numérique des Sols de Wallonie (CNSW, 2004) provenant de la digitalisation des planchettes (1/20 000) de la carte des sols de la Belgique réalisées de 1947 à 1991 (Bah et al., 2005) pour le compte de l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (IRSIA) selon un système de classification des sols très détaillé (Avril, 1987). La CNSW reprend ainsi plus de 6000 sigles pédologiques issus de la classification belge.

2.2. Outils informatiques

Le logiciel informatique utilisé est la version 9.1 de ArcgisDesktop (Environmental Systems Research Institute, Inc., ESRI®), dont le système est constitué de quatre applications : ArcMAP, ArcCatalog, ArcToolbox et ModelBuilder.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1. Méthodologie du *Soil Conservation Service*

En 1955, Musgrave propose de classer les sols en quatre groupes hydrologiques en fonction de leur capacité d'infiltration de base (cité par Musgrave et al., 1964 ; Woodward et al., 2002). Par la suite, la notion a évolué vers une description amplifiée (SCS, 1958 ; Ogrosky et al., 1964 ; SCS, 1972 ; Rawls et al., 1993). La définition des quatre groupes hydrologiques de sols telle que décrite dans Musgrave (1955) et reprise dans Musgrave et al. (1964) fait référence à la capacité d'infiltration à saturation. Cette définition est la suivante :

- Groupe A : les sols dont la capacité limite d'infiltration varie entre 7,6 et 10,2 mm·h⁻¹, reprenant les sols développés dans les sables, les loëss profonds, de même que dans les limons agrégés²,
- Groupe B : les sols dont la capacité limite d'infiltration varie entre 3,8 et 7,6 mm·h⁻¹, soit les sols dérivés de loëss et développés dans les limons sableux peu profonds,
- Groupe C : les sols dont la capacité limite d'infiltration varie de 1,3 à 3,8 mm·h⁻¹, reprenant les sols développés dans les limons argileux, les limons sableux, les sols à faibles teneurs en matière organique et les sols à haute teneur en argile,
- Groupe D : les sols dont la capacité limite d'infiltration est inférieure à 1,3 mm·h⁻¹, ce qui correspond aux sols à forte teneur en argiles gonflantes, aux sols riches en argile lourde et à certains sols salins. Précisons que l'éventuelle apparition de fentes de retrait lors de l'assèchement de ces sols argileux ne justifie pas une modification de leur appartenance à ce groupe hydrologique puisqu'il est fait référence à la capacité limite d'infiltration de l'eau dans le sol, soit la capacité d'infiltration de l'eau dans un sol saturé.

² Dans certains ouvrages postérieurs à Musgrave (1955), tels que Rawls et al. (1993), concernant le Groupe hydrologique A, les auteurs ne donnent pas de limite de classe supérieure en termes de capacité d'infiltration de base.

Il faut également noter que toutes les nomenclatures pédologiques citées dans cet article s'entendent au sens du triangle textural belge. Le travail de conversion dans le système belge des descriptions de sols américains de référence présentés notamment par Chow et al. (1988) depuis le triangle textural américain a été opéré systématiquement.

Dans la méthode SCS, la production de ruissellement est estimée à partir d'une relation semi-empirique établie entre la hauteur de précipitation en excès (ou production de ruissellement) R et la hauteur de pluie P :

$$R = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

Dans cette relation, S est le paramètre de rétention du sol. P, R et S ont la dimension d'une longueur. Le paramètre S est directement dérivé du paramètre CN défini sur base du groupe hydrologique de sol, du type d'occupation de sol et de la pente. Cette relation a été établie sur base de nombreuses mesures de pluies et débits réalisées dans des bassins versants agricoles aux États-Unis. Le paramètre CN est adimensionnel. Sa valeur est fixée en fonction du groupe hydrologique de sol mais également de l'occupation de sol et de la rotation des cultures dans laquelle elle s'inscrit. Il varie entre 0 (infiltration totale) et 100 (infiltration nulle). Les valeurs chiffrées de ces paramètres ont été tabulées notamment par Chow et al. (1988) et SCS (1958 et 1972).

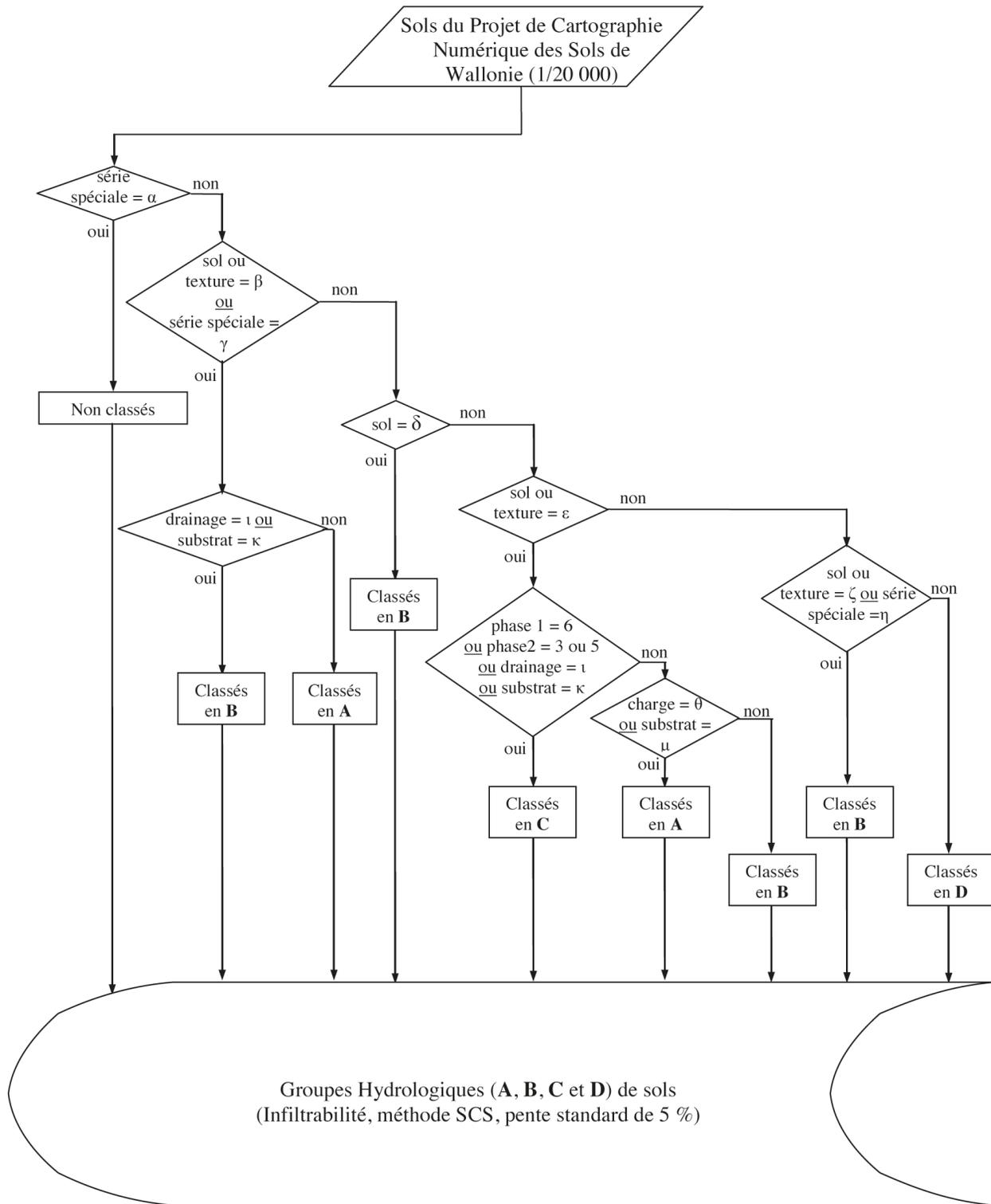
La teneur initiale en eau du sol (basée sur la somme des volumes de pluies cumulés des 5 jours précédents) peut amener à une correction du paramètre CN, qui est déterminé par défaut pour un sol à la capacité au champ mais qui peut être corrigé pour représenter des conditions initiales humides ou sèches (Chow et al., 1988).

3.2. L'organigramme de classification des sols de la CNSW

Grâce à la méthodologie SCS, les sols de la CSNW ont été reclassés en quatre groupes hydrologiques sur base de leur sigle pédologique, tout en s'inspirant de l'approche développée par le Projet CARHY précité (Laime et al., 1995) et validée au travers de modélisations hydrologiques (Sohier et al., 2009).

La **figure 1** présente l'organigramme de décision ; il permet de regrouper la plupart des 6304 sigles pédologiques présents dans la CNSW en cinq décisions principales.

Dans un premier temps, les sigles repris dans la base de données numériques CNSW comme non classés (**Figure 1**), du fait de leur caractère de remaniement anthropique, sont considérés « hors



Projet ERRUISSOL, Ir P. Demarcin, le 20/04/2007

α = B, B/o, Do, Ma, NC, OD, OE, OH, OM, ON, OT, OU, OX, R ou S ; β = A à B non (fortement) tacheté, S, V, W, Z, A-S, S-Z, P à B non morcelé ; γ = N ou G-T ; ι = d, D, e, h, f, F, i, I, g ou G ; κ = d, e, f, f-r, fp, fp-u, fu, gu, gw, h, hu, j, ju, j-w, kfu, m, mu, p, pu, pw, q, q-w, qs, r, rb, ru, tu, u, w ou xu ; δ = A à horizon B (fortement) tacheté ; ϵ = G, L à B non (fortement) tacheté, P à B morcelé, A-E, A-G, A-L, A-U, E-Z, G-L, G-Z, S-G, S-U, V-E, A-G-S, A-S-U, E-L-S ou U-L-S ; θ = n ou nx ; μ = n ; ζ = L à B (fortement) tacheté, E, U, L-E ou U-L ; η = H ou G-I.

Figure 1. Organigramme de classement des sigles pédologiques de la CNSW (2004) en groupes hydrologiques de sols — Flow chart to classify the pedological labels of the CNSW (2004) in hydrologic soil groups.

classement hydrologique ». Ces sigles font partie du non cartographié (NC) et des séries spéciales (Bah et al., 2005) suivantes :

- les zones de sources (B)³,
- les zones de sources anthropisées (B/o),
- les dolines (Do),
- les mardelles (Ma),
- les zones décapées mécaniquement (OD),
- les fosses d'extraction (OE),
- les terrils (OH),
- les marnières (OM),
- les remblais (ON),
- les terrains remaniés (OT),
- les tourbières exploitées (OU),
- les complexes non différenciés de carrières, terrils, remblais, terrains remaniés, zones bâties et industrialisées (OX),
- les ravins ou fonds de vallons rocaillieux (R),
- les fonds de vallons limoneux (S).

La deuxième décision principale concerne les sols ou les textures suivants :

- les sols limoneux (A) à horizon B non (fortement) tacheté [A.. à l'exception de A.c et A.a(b)],
- les sols sablo-limoneux légers à horizon B non morcelé (P),
- les sols limono-sableux (S),
- les tourbes (V),
- les tourbières hautes (intactes) inactives (W),
- les sols sableux (Z),
- les complexes de sols limoneux et limono-sableux (A-S),
- les complexes de sols limono-sableux et sableux (S-Z).

Les séries spéciales suivantes sont également reprises, à savoir :

- les complexes de sols crayeux (N),
- les terrasses (récentes et/ou tourbeuses) (G-T).

Les éléments repris ci-dessus (« deuxième décision ») sont classés dans le groupe hydrologique A (le plus favorable du point de vue de l'infiltrabilité de l'eau dans les sols) ; ils sortent cependant du groupe A pour rejoindre le groupe hydrologique B s'ils présentent :

- soit un drainage naturel défavorable, soit classés dans la CNSW comme sols à drainage naturel imparfait (d), à drainage naturel modéré ou imparfait (D), à drainage naturel assez pauvre sans horizon réduit (h), à drainage naturel pauvre et sans horizon réduit

- (i), à drainage naturel assez pauvre et à horizon réduit (e), à drainage naturel pauvre et à horizon réduit (f), à drainage naturel assez pauvre ou pauvre (F), à drainage naturel assez pauvre ou pauvre (I), à drainage naturel très pauvre (g) ou à drainage naturel assez pauvre à très pauvre (G),
- soit un substrat à faible profondeur (< 125 cm) : substrat arkosique (d), substrat de roche éruptive (e), substrat schisteux (f), substrat schisteux ou schisto gréseux (f-r), schisto-psammitique (fp), schisto psammitique ou argileux (fp-u), substrat d'argile d'altération de schiste (fu), substrat argilo-caillouteux (gu), argilo-sableux caillouteux (gw), substrat d'argilite (h), substrat d'argile d'altération d'argilite/substrat d'argile smectique (glaucconieuse) (hu), substrat de grès calcaire (j), substrat d'argile d'altération de grès calcaire (ju), substrat de grès calcaire, de sable et d'argile d'altération (j-w), substrat d'argile d'altération schisto-calcaire (kfu), substrat de macigno (m), substrat d'argile d'altération de macigno (mu), substrat psammitique (p), substrat d'argile d'altération de psammite (pu), substrat argilo-sableux micacé (ou d'altération de psammite) (pw), substrat gréseux (q), gréseux ou argilo-sableux (q-w), substrat de grès tertiaire (qs), substrat schisto-gréseux (r), schisto-gréseux rougeâtre (rb), substrat d'argile d'altération de roche schisto-gréseuse (ru), substrat argileux (u), argilo-sableux (w) ou substrat d'argile à silex (xu). Arbitrairement, nous considérons tout substrat comme un frein à l'infiltration profonde quel que soit le type de matériaux.

Les complexes de sols A-S et S-Z, non considérés dans le Projet CARHY, ont été classés dans la catégorie de « sols profonds ». Enfin les sols crayeux sont classés en groupe hydrologique A en raison de leur meilleure infiltrabilité apparente (Dagnelie et al., 2007), de même la série spéciale G-T.

À défaut de pouvoir définir sans ambiguïté l'origine des taches de pseudogley présentes généralement dans les sols à Bt (fortement) tacheté (phénomènes périglaciaires et/ou résultat de l'hydrodynamique actuelle), il a été décidé de classer ces types de sols en catégorie B (cfr troisième décision ci-après).

La troisième décision principale concerne les sols limoneux à horizon B (fortement) tacheté qui sont classés, quel que soit leur drainage naturel et leur substrat, en groupe hydrologique B.

La quatrième décision principale est relative aux sols ou textures suivants :

- les sols limono-caillouteux (G),
- les sols sablo-limoneux à horizon B non tacheté (L),
- les sols sablo-limoneux légers à horizon B morcelé (P),
- les complexes de sols limoneux et argileux légers (A-E),

³ Les abréviations entre parenthèses seront utilisées à la place de la définition complète dans la suite de cet article.

- les complexes de sols limoneux et limono-caillouteux (A-G),
- les complexes de sols limoneux et sablo-limoneux (A-L),
- les complexes de sols limoneux et argileux lourds (A-U),
- les complexes de sols argileux légers et sableux (E-Z),
- les complexes de sols limono-caillouteux et sablo-limoneux (G-L),
- les complexes de sols limono-caillouteux et sableux (G-Z),
- les complexes de sols limono-sableux et limono-caillouteux (S-G),
- les complexes de sols limono-sableux et argileux lourds (S-U),
- les complexes de sols tourbeux et argileux (V-E),
- les complexes de sols limoneux, limono-caillouteux et limono-sableux (A-G-S),
- les complexes de sols limoneux, limono-sableux et argileux lourds (A-S-U),
- les complexes de sols argileux légers, sablo-limoneux et limono-sableux (E-L-S),
- les complexes de sols argileux lourds, sablo-limoneux et limono-sableux (U-L-S).

Ces sols sont classés en groupe hydrologique B, sauf présence d'un drainage naturel plus défavorable (d, D, e, h, f, F, i, I, g ou G) ou d'un substrat à faible profondeur (d, e, f, f-r, fp, fp-u, fu, gu, gw, h, hu, j, ju, j-w, kfu, m, mu, p, pu, pw, q, q-w, qs, r, rb, ru, tu, u, w ou xu) ou encore d'une charge en éléments grossiers supérieure à 50 % en volume de sol (phase 1 = 6⁴ ou phase 2 = 3 ou 5), auquel cas ils se rangent dans le groupe hydrologique C.

La présence d'éléments grossiers dans un sol saturé induit une baisse de la conductivité hydraulique à saturation de ce sol, les éléments grossiers étant dans les masses le plus souvent fermées et réduisant en conséquence les voies possibles de passage de l'eau (Brakensiek et al., 1994).

Par contre, si le substrat (n) ou la charge (n ou nx) est crayeuse et que le drainage naturel, le substrat ou le pourcentage en éléments grossiers ne sont pas « défavorables » sur le plan hydrologique, ils sont « reclassés » dans le groupe hydrologique A.

La cinquième décision principale concerne les sols ou textures suivants :

- les sols argileux légers (E),
- les sols sablo-limoneux à horizon B (fortement) tacheté (L),
- les sols argileux lourds (U),
- les complexes de sols sablo-limoneux et argileux légers (L-E),
- les complexes de sols argileux lourds et sablo-limoneux (U-L),

ou les séries spéciales que sont les complexes de sols limono-caillouteux et caillouteux sur pente forte (G-I) et les complexes de sols sur fortes pentes (H).

Ces sols sont classés en groupe hydrologique C.

Les sols classés en groupe hydrologique D sont ceux qui présentent des phases à roche affleurante (phase 6 = A) ou les séries spéciales suivantes :

- les affleurements rocheux (J),
- les complexes de sols sur fortes pentes et d'affleurements rocheux (J-H).

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'application de la méthodologie du *Soil Conservation Service*, appliquée aux sols de la région wallonne fournit des résultats qui permettent d'alimenter divers modèles hydrologiques qui génèrent des hydrogrammes pouvant être confrontés aux observations de débit des cours d'eau. La **figure 2** présente, à titre exemplatif, les hydrogrammes observés et simulés au pas de temps journalier pour l'année 1995 sur la Mehaigne à Upigny au moyen du modèle EPICgrid (Sohier et al., 2009) incluant l'abstraction de la pluie infiltrée SCS. La superficie du bassin versant afférent est

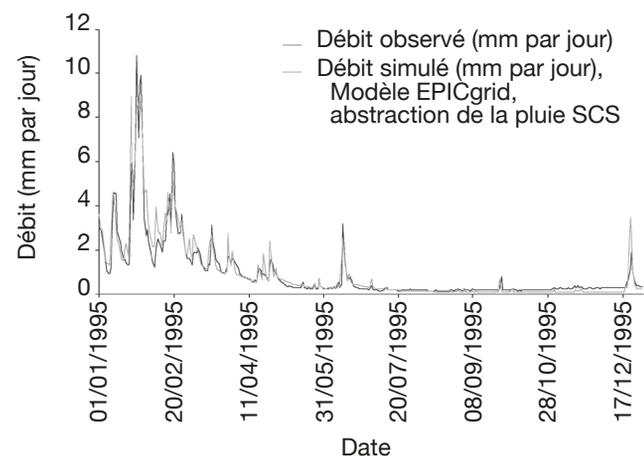


Figure 2. Série chronologique des débits journaliers observés et simulés sur la Mehaigne à Upigny pour l'année 1995 — *Chronological series of daily discharge at Upigny outlet (Mehaigne catchment) in 1995.*

⁴ Dans le cas où la phase 1 est égale à 6 (Bah et al., 2005), le substrat débute à moins de 20 cm de profondeur, soit pour des sols limono-caillouteux (charge en éléments grossiers comprise entre 15-50 % en volume), soit pour des sols limoneux très caillouteux (charge en éléments grossiers > 50 % en volume).

de 17 km². L'erreur moyenne quadratique entre simulation et observation est de 0,47 mm par jour, soit 0,09 m³·s⁻¹. D'autres comparaisons d'hydrogrammes (observés – simulés) illustrant l'intérêt notamment d'utiliser la méthode SCS dans le contexte wallon, sont disponibles dans Sohier et al. (2005).

Le résultat du classement des sols en groupes hydrologiques correspondant à l'organigramme (**Figure 1**) est la Carte de Classes d'infiltrabilité des sols de Wallonie présentée en **figure 3**. En **tableau 1**, sont indiquées les superficies du territoire wallon concernées par chaque classe d'infiltrabilité des sols.

La cartographie des groupes hydrologiques présente la même allure générale que celle issue du Projet CARHY (Laimé et al., 1995) au 1/500 000. Cependant, la méthode CSC affinée étant appliquée à plus de 6000 sigles pédologiques et non plus aux associations de sol, certains détails et différences supplémentaires apparaissent. Les associations de sol ne renseignent pas de classes de drainage pour les sols limono-caillouteux et argileux ; ils étaient donc systématiquement classés en groupe hydrologique B. Dans la présente classification, ils peuvent être classés en groupe hydrologique B ou C selon leur classe de drainage. Les sols de fond de vallée étaient classés systématiquement en C dans la carte du projet CARHY. Au 1/20 000, ces types de sol apparaissent nettement plus nombreux et se voient affecter des classes hydrologiques allant de A à C selon la clé proposée dans cet article.

La diminution de la résolution au sol permet également une analyse spatialisée de la production du ruissellement au sein de petits bassins versants agricoles à l'exutoire desquels on constate des inondations par ruissellement ou des coulées boueuses. À titre exemplatif, la **figure 4** présente un extrait de la CNSW et les classes de production de ruissellement qui découlent du classement en groupes hydrologiques des sols, du croisement avec l'occupation des sols relevée sur le terrain pour la définition du CN et du calcul de l'abstraction de la pluie. Ce type d'analyse, détaillée

Tableau 1. Superficies et superficies relatives du territoire wallon affectées à chaque groupe hydrologique — *Area and relative area of the Walloon territory affected to each hydrologic group.*

Classement d'infiltration des sols	Superficie (km ²)	Superficie (%)
Non classé	6596	39,0
Groupe A	2937	17,4
Groupe B	8960	53,0
Groupe C	3066	18,1
Groupe D	38	0,2
Superficie de la région wallonne	16901	

dans Dagnelie et al. (2007) et Demarcin et al. (2009) illustre l'intérêt de la présente cartographie pour situer au mieux les techniques d'infiltration ou les ouvrages de retenue d'eau à installer au sein d'un bassin versant sec pour réduire les risques d'inondations.

5. CONCLUSION

La méthodologie SCS a permis de classer en termes de classes de capacité d'infiltration de base des sols les 6304 sigles pédologiques de la carte numérique des sols de Wallonie à l'échelle du 1/20 000, affinant ainsi largement la cartographie CARHY basée sur l'ancienne numérisation à l'échelle du 1/500 000.

Les limites inhérentes à la CNSW et à la méthode SCS sont naturellement présentes dans la cartographie proposée. D'autre part, la méthode SCS tient compte d'un nombre restreint de paramètres hydrodynamiques du sol.

Dans cet article, nous avons montré qu'une fois couplées, la CNSW et la méthode SCS présentent de bons résultats dans le cadre d'un modèle continu journalier de la détermination des flux d'eau sur bassin versant agricole dans le contexte agro-pédo-climatique wallon.

La cartographie des classes d'infiltrabilité des sols de Wallonie constitue donc un outil opérationnel pour la modélisation hydrologique distribuée et la planification environnementale.

Bibliographie

- Avril P., 1987. *Légende de la carte des sols de Belgique*. Gembloux, Belgique : Unité Science du Sol, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux.
- Bah B., Engels P., Colinet G. & Bock L., ed., 2005. *Légende de la carte numérique des sols de Wallonie (Belgique)*. Gembloux, Belgique : Unité Sol-Écologie-Territoire, Laboratoire de Géopédologie, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux.
- Brakensiek D.L. & Rawls W.J., 1994. Soil containing rock fragments: effect on infiltration. *Catena*, **23**, 99-110.
- Chahinian N., Moussa R., Andrieux P. & Voltz M., 2005. Comparaison of infiltration models to simulate flood events at the field scale. *J. Hydrol.*, **306**, 191-214.
- Chow V.T., Maidment D.R. & Ways L.W., 1988. *Applied hydrology*. New York, USA: McGraw-Hill.
- CNSW, 2004. *Carte numérique des sols de Wallonie. D'après la carte des sols de la Belgique levée à 1/20 000 pour le compte de l'IRSIA*. Gembloux, Belgique : Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux pour le compte de la région Wallonne (DGA).
- Corradini C., Melone F. & Smith R., 1994. Modelling infiltration during complex rainfall sequences. *Water Resour. Res.*, **30**(10), 2777-2784.

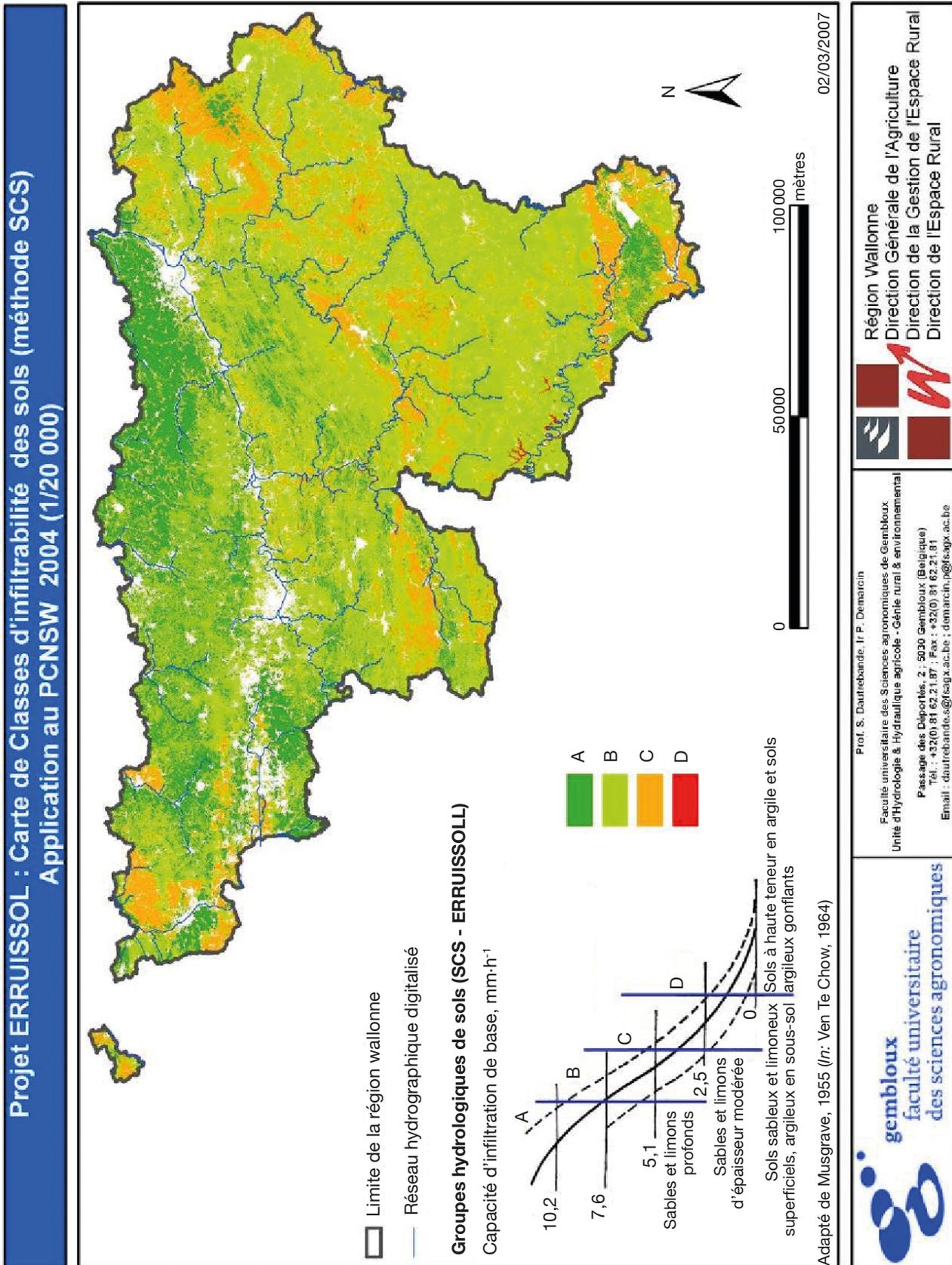


Figure 3. Groupes hydrologiques des sols de Wallonie — Hydrological soil groups in Wallonia.

Date de réalisation des cartes : 22 mai 2007

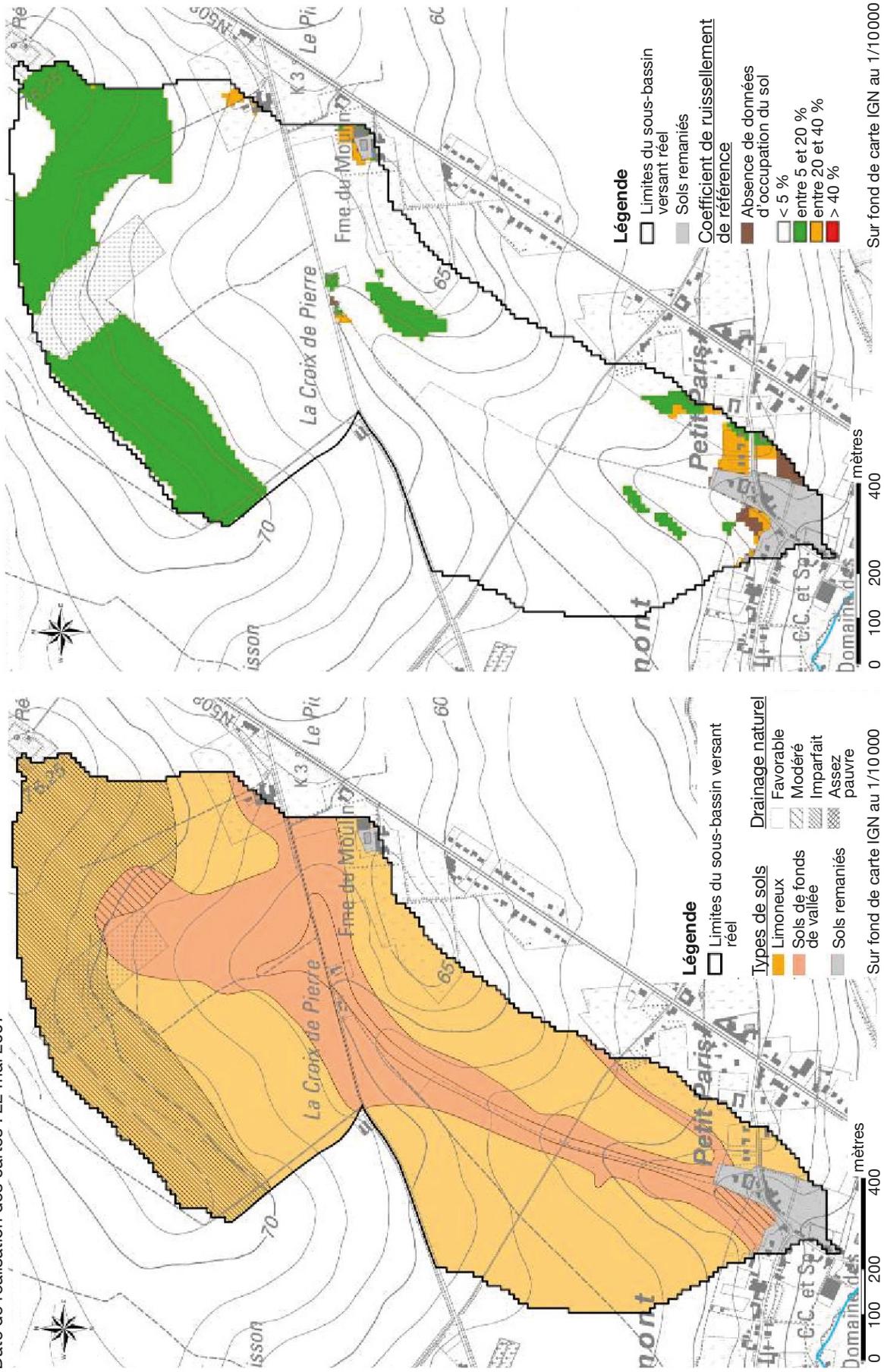


Figure 4. Extrait simplifié de la CNSW et carte des risques de ruissellement diffus dans un bassin versant sec — Simplified soil map and runoff production risk map in a dry watershed.

- Dagnelie J. et al., 2007. *Caractérisation des zones à risque d'érosion et de coulée boueuse. Bassins versants de la Trouille et de l'Anneau. Rapport d'étude, 01.08.2006-31.05.2007, Commission européenne, Programme INTERREG III, Gestion intégrée de la Haine Méridionale.*
- Demarcin P., Degré A., Smoos A. & Dautrebande S., 2009. *Projet ERRUISSOL. Cartographie numérique des zones à risque de ruissellement et d'érosion des sols en région wallonne. Rapport final de convention DGO3-FUSAGx.* Gembloux, Belgique : Unité d'hydrologie et hydraulique agricole, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux.
- Diskin M. & Nazimov N., 1995. Linear reservoir with feedback regulated inlet as a model for the infiltration process. *J. Hydrol.*, **172**, 313-330.
- Green W. & Ampt G., 1911. Studies on soil physics. Part I: the flow of air and water through soils. *J. Agric. Sci.*, **4**, 1-24.
- Haverkamp R. et al., 1990. Infiltration under ponded conditions: 3. A predictive equation based on physical parameters. *Soil Sci.*, **149**(5), 292-300.
- Holtan H., 1961. *A concept for infiltration estimates in watershed engineering.* Washington, DC, USA: US Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA, ARS).
- Horton R., 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Am. Geophys. Union Trans.*, **14**, 446-460.
- Kannan N., White S.M., Worrall F. & Whelan M.J., 2007. Sensitivity analysis and identification of the best evapotranspiration and runoff options for hydrological modelling in SWAT-2000. *J. Hydrol.*, **332**, 456-466.
- Laimé S. & Dautrebande S., 1995. *Projet pilote CARHY, rapport final (Financement BELSPO et MET-RW).* Gembloux, Belgique : Unité d'Hydrologie et Hydraulique agricole, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux.
- Maréchal R. & Tavernier R., 1971. Planche 11B : Pédologie – Associations de sols. In : Commission de l'Atlas, Comité National de Géographie, éd. *Atlas de Belgique.* Bruxelles : Institut Géographique Militaire.
- Morel-Seytoux H. et al., 1996. Parameter equivalence for the Brooks-Corey and Van Genuchten soil characteristics: preserving the effective capillary drive. *Water Resour. Res.*, **32**(5), 1251-1258.
- Musgrave G.W. & Holtan H.N., 1964. Infiltration. In: Ven Te Chow. *Handbook of applied hydrology.* New York, USA: Mc Graw-Hill Book Company, 12.1-12.30.
- Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R. & Williams J.R., 2002. *Soil and water assessment tool. Version 2000. Theoretical Documentation.* Temple, TX, USA: USDA-ARS.
- Ogrosky H.O. & Mockus V., 1964. Hydrology of agricultural lands. In: Ven Te Chow. *Handbook of applied hydrology.* New York, USA: Mc Graw-Hill Book Company, 21.1-21.97.
- Philip J., 1957. The theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Sci.*, **84**(3), 257-264.
- Ponce V.M. & Hawkins R.H., 1996. Runoff curve number: has it reached maturity? *J. Hydrol. Eng.*, **1**, 11-19.
- Rawls W.J., Ahuja L.R., Brakensiek D.L. & Shirmohammadi A., 1993. Infiltration and soil water movement. In: Maidment D.R. *Handbook of hydrology.* New York, USA: Mc Graw-Hill Book Company, 5.1-5.51.
- Richards A., 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics*, **1**, 318-333.
- SCS, 1958. *Engineering handbook. Section 4: Hydrology. Chapter 5. Travel time, time of concentration and lag.* Washington, DC, USA: Department of Agriculture, Soil Conservation Service, U.S. Government Printing Office, 4.5/1-4.5/20.
- SCS, 1972. *National engineering handbook. Section 4: Hydrology. Chapter 7: hydrologic soil groups.* Washington, DC, USA: Department of Agriculture, Soil Conservation Service, U.S. Government Printing Office, 7.1-7.5.
- Singh V.P., 1995. *Computer models of watershed hydrology.* Baton-Rouge, LA, USA: Water Ressources Publications.
- Sohier C. & Dautrebande S., 2005. *Modélisation hydrologique EPICgrid des bassins versants de la région wallonne. Rapport PIRENE, HHA.* Gembloux, Belgique : Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux.
- Sohier C., Degré A. & Dautrebande S., 2008. *Évaluation des mesures prises pour réduire les incidences de la pollution diffuse d'origine agricole et domestique sur la qualité des masses d'eau de surface et souterraines de la région wallonne à l'aide du modèle EPICgrid. Projet Qualvados. Rapport de convention DGRNE-SPGE-FUSAGx.* Gembloux, Belgique : Unité d'Hydrologie et Hydraulique agricole, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux.
- Sohier C., Degré A. & Dautrebande S., 2009. From root zone modelling to regional forecasting of nitrate concentration in recharge flows. The case of the Walloon region (Belgium). *J. Hydrol.*, **369**(3-4), 350-359.
- Woodward D.E. et al., 2002. *Curve number method: origins, applications and limitations.* Washington, USA: U.S. Department of Agriculture, 10, <ftp://ftp.wcc.nrcs.usda.gov/support/water/hydrology/Woodward.doc>, (16/04/2007).
- Zarriello P., 1998. Comparison of nine uncalibrated runoff models to observed flows in two small urban watersheds. In: *1st Federal interagency hydrologic modeling conference, Las Vegas, NV, USA*, 7.163-7.170. Reston, VA, USA: Subcommittee on hydrology of the interagency advisory committee on water data.