

LE RÔLE DES SOLS SUR LA GÉNÈSE DES INONDATIONS

WPLYW RETENCJI GLEBOWEJ ZLEWNII NA GENEZĘ FALI POWODZIOWEJ

Résumé : L'inondation naturelle d'un territoire donné se produit lorsque l'eau tellurique est en excès et ne peut plus être évacuée. On peut distinguer quatre principaux types d'inondation : débordement direct d'un cours d'eau qui sort de son lit mineur pour occuper son lit majeur ; submersion journalière ou catastrophique des eaux marines ; débordement indirect par la remontée des nappes alluviales (effet de siphon) ; stagnation ou ruissellement des eaux pluviales par capacité insuffisante d'infiltration et de drainage des sols lors de pluies exceptionnelles. Dans ce dernier type, la nature du sol et sa distribution spatiale joue un rôle prépondérant. Deux causes principales, qui parfois se combinent, peuvent expliquer le manque d'absorption de l'eau par les sols : une intensité des pluies supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol (ruissellement « hortonien ») ; une pluie tombant sur un sol partiellement ou totalement saturée par une nappe (ruissellement « par saturation »). Le ruissellement est d'autant plus important que les sols sont plus imperméables, la couverture végétale est plus faible, la pente est plus forte et les précipitations sont plus violentes. Les sols deviennent alors très sensibles à l'érosion et d'importantes quantités de particules solides et organiques sont transférées dans les paysages au moment des inondations. Le changement d'usage des sols, des milieux agricoles ou forestiers vers des milieux urbains ou péri-urbains accentue l'imperméabilisation des sols et par voie de conséquence les phénomènes d'inondation par ruissellement (réseaux d'assainissement sous-dimensionnés). De nombreuses techniques agronomiques et hydrauliques favorisent l'infiltration et le drainage de l'eau dans les sols. Elles ont un rôle non seulement bénéfiques pour le développement de la végétation mais aussi pour la prévention des risques d'inondation par ruissellement.

Mots-clés : Sol, Infiltration, Ruissellement, Drainage, Inondation

Abstract: The Role of Soils on the Genesis of Flooding. The natural flooding of a given area occurs when the telluric water is in excess and can not be removed. There are four main types of flooding: direct overflow of a river, which comes out of its channel, to occupy its floodplain; daily or catastrophic flooding of seawater; indirect overflow by the rise of alluvial groundwaters (siphoning); stagnation or runoff of rain water by insufficient capacity of infiltration and drainage during extreme rainfalls. In the latter type, the heterogeneity and spatial distribution of soils play a major role. Two main

causes, which sometimes are combined, may explain the lack of absorption of water by soils: a rainfall intensity exceeding the soil surface infiltrability (« Hortonian » runoff); a rain falling on a soil partially or completely saturated by groundwater (« saturation » runoff). Runoff is especially important that soil is less permeable, vegetation cover is lower, slope is steeper and rainfall is more intense. The soils become highly susceptible to erosion and large amounts of solid and organic particles are transferred within the landscapes at the time of floods. The change in land use, from farmland or forest to urban or peri-urban areas, increases soil sealing and consequently the phenomena of flood runoff (undersized sewerage). Many agronomic and hydraulic techniques promote infiltration and drainage of water in soils. They have a role not only beneficial for the development of vegetation but also for the prevention of flood runoff risks.

Keywords : Soil, Infiltration, Runoff, Drainage, Inondation

Streszczenie: Naturalne powodzie na danym obszarze występują, gdy w wodzie mamy nadmiar telluru i składnik ten nie może być usunięty.

Istnieją cztery główne typy powodzi: bezpośredni wylew rzeki, gdzie poziom wody zostaje przekroczony, zajmując tereny zalewowe; codzienne lub katastrofalne powodzie na wybrzeżu morskim; pośredni wylew przez aluwialne wzbogacanie i przepływ wód podziemnych (nasączenie); zastój lub spływ wody deszczowej przy niewystarczającej zdolności infiltracji i drenażu podczas ekstremalnych opadów.

W tym drugim, niejednorodność i podział gruntów odgrywają główną rolę. Dwie główne przyczyny, które czasami są połączone, mogą być tłumaczone brakiem wchłaniania wody przez gleby: natężenie deszczu przekraczającą zdolność przenikania powierzchni gleby («Hortonian» odpływ); padający deszcz na glebie częściowo lub całkowicie nasycyony przez wody gruntowe („nasycenie”, odpływ).

Odpływ jest szczególnie ważny, gdy gleba przepuszcza mniej wody, wegetacja roślinna jest obniżona, zbocze jest namoknięte i opady deszczu są bardziej intensywne.

Gleby stają się bardzo podatne na erozję, w czasie powodzi duże ilości cząstek stałych i organicznych jest przenoszonych w teren. Zmiana użytkowania gruntów, z gruntów rolnych i leśnych na tereny miejskie lub podmiejskie, zwiększa uszczelnianie gleby a w konsekwencji zjawiska odpływu powodziowego.

Wiele agronomicznych i hydraulicznych technik sprzyja przenikaniu i odpływowi wody z gleby. Mają one korzystną rolę nie tylko dla rozwoju roślinności, ale również dla ryzyka odpływu powodziowego.

Słowa kluczowe: gleba, infiltracja, odpływ, drenaż, powódź

Introduction

Le phénomène d'inondation est en grande partie associé à la montée des eaux et au débordement direct d'un cours d'eau qui sort de son lit mineur pour occuper son lit majeur. Il peut être lent (inondation étendue), brutal (crue-éclair), saisonnier (mousson) ou exceptionnel (aléa climatique). D'autres types d'inondation se produisent par :

- la submersion quotidienne (marées), accidentelle (ruptures de digue ou écluse, tempêtes, tsunamis) ou globale (fontes de glacier), des eaux marines le long des côtes et dans les estuaires ;

- le débordement indirect par la remontée des eaux à travers les nappes alluviales ou les réseaux d'assainissement (effet de siphon) ;
- la stagnation ou le ruissellement des eaux pluviales en amont des cours d'eau, notamment dans les bassins versants cultivés.

Dans tous les cas, les inondations résultent d'apports hydriques en excès, qui ne peuvent pas être évacués normalement par gravité, avec des extensions territoriales et des durées variables. Dans le dernier type d'inondation cité, le sol va jouer un rôle prépondérant par sa nature, sa distribution spatiale et son utilisation anthropique.

Causes pédologiques des inondations par ruissellement

Le sol est un milieu poreux et triphasé (eau, air, minéraux) dans lequel vivent des micro et macro-organismes du monde végétal et animal. Il est le siège de multiples interactions entre des éléments organiques et minéraux soumis à des facteurs physiques, chimiques et biologiques. L'étude qualitative et quantitative de ces interactions est particulièrement complexe. L'utilisation agricole ou environnementale du sol permet de lui attribuer sept fonctions principales, qui sont celles de support pour les plantes et pour les constructions, banque d'éléments nutritifs pour les plantes, régulateur de température, réservoir pour l'eau, épurateur biologique, stockage de carbone et stockage de produits toxiques [1].

La fonction de « *Réservoir pour l'eau* » présente des aspects statiques et dynamiques. Le sol peut stocker de l'eau en remplissant partiellement (présence d'air) ou totalement (absence d'air) sa porosité. Cette capacité de stockage dépend de la composition granulométrique des éléments solides du sol (texture), du mode d'arrangement de ces éléments avec la matière organique (structure) et de leur nature minéralogique. Pour une masse de sol sec donné, le stock en eau d'un sol argileux et bien structuré sera plus élevé que celui d'un sol sableux et compact. Le sol constitue une réserve disponible d'eau pour le développement de tous les organismes vivants, notamment les plantes (Fig. 1).

L'eau non stockée s'écoule en profondeur (verticalement ou latéralement) pour alimenter les nappes souterraines, les lacs, les rivières et la mer. La porosité d'un sol conditionne l'infiltration verticale de l'eau depuis les parties supérieures vers les parties inférieures. Tout ralentissement de l'infiltration entraînera une stagnation et une accumulation de l'eau dans la porosité. Si ce phénomène se produit dès la surface, l'eau ne pourra pas s'infiltrer et s'écoulera par ruissellement en suivant la pente topographique. Au dessus d'une nappe phréatique plus ou moins mobile latéralement, l'eau qui s'infiltré depuis la surface remplit progressivement la porosité et sature le sol en remontant vers la surface [2].

Le manque d'absorption de l'eau par les sols est une des principales causes de la génèse des inondations. Lorsque l'intensité des pluies est supérieure à la capacité d'infiltration de la surface du sol, on parlera de ruissellement « *hortonien* ». En revanche, un sol, partiellement ou totalement saturé en eau par une nappe souterraine superficielle, générera du ruissellement « *par saturation* ». Dans des cas bien particuliers, ces deux types de ruissellement peuvent se produire en même temps et produire subitement des inondations catastrophiques [3].

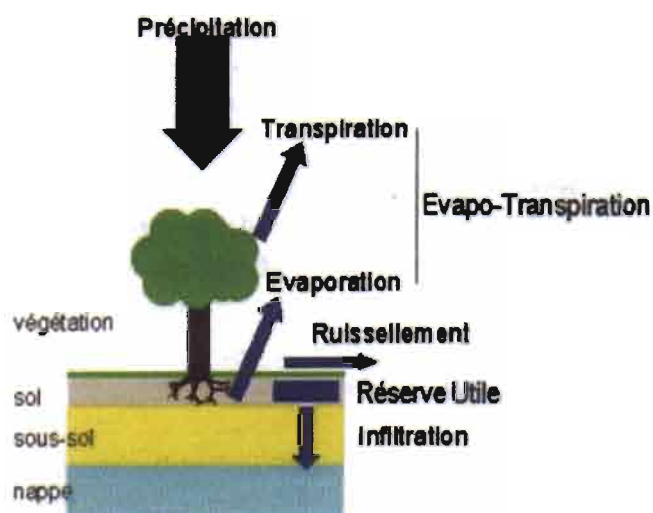


Fig. 1. Place de l'eau du sol dans le cycle de l'eau
 Fig. 1. Location of the soil water in the water cycle

Lorsque l'infiltration de l'eau dans un sol est durablement diminué, le risque de ruissellement de surface est accru. La diminution de l'infiltrabilité d'un sol est liée à son état de surface du sol et à sa morphologie interne [4].

Autres facteurs favorables au ruissellement

Au delà des facteurs pédologiques proprement dits, les facteurs climatiques, topographiques et environnementaux agissent également sur le processus de ruissellement qui modifie la morphologie et les propriétés physico-chimiques de la surface du sol.

La fréquence, le volume et l'intensité élevés, voire exceptionnels, des précipitations tombant sur un sol donné va favoriser le ruissellement dans la mesure où le sol est très rapidement saturé en eau ou bien l'est déjà. Tous les régimes climatiques offrent des conditions propices à des inondations plus ou moins catastrophiques avec une période de retour saisonnière ou aléatoire.

L'énergie des gouttes de pluie heurtant la surface du sol provoque le phénomène de « splash » qui dissocient les particules solides, minérales et organiques entre elles (désagrégation et dispersion). Les particules les plus fines colmatent l'espace poral en formant une croûte dite « *structurale* », de plus en plus imperméable à l'eau. La surface du sol passe d'un état structuré et poreux à un état dispersé et compact. Dans les flaques d'eau qui se forment au cours d'une pluie, les eaux de ruissellement déposent les particules fines en formant, après dessiccation, une croûte dite « *sédimentaire* » (Fig. 2). L'alternance des processus de dessiccation et d'humectation d'un sol favorise la formation d'une couche superficielle plus ou moins indurée en fonction des caractéristiques microtopographiques.

L'inclinaison de la pente des versants d'un bassin hydrographique agit sur la vitesse d'écoulement de l'eau tandis que sa longueur favorise des débits importants et la concentration des eaux.

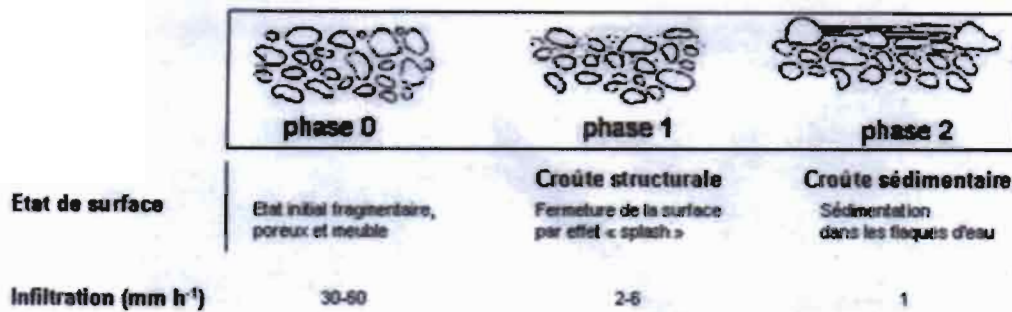


Fig. 2. Modification de la surface du sol sous l'action de la pluie [5]

Fig. 2. Change of the soil surface under the action of rain [5]

En dispersant l'énergie des gouttes de pluie, un couvert végétal continu favorise l'infiltration. Les strates arborées et arbustives interceptent efficacement les pluies avant qu'elles n'arrivent au sol. Le ruissellement est fortement accentué pour des sols nus ou présentant un couvert végétal épars (Fig. 3). La déforestation généralisée sur de grandes surfaces modifie le régime hydrologique des bassins versants en faisant remonter les eaux souterraines près de la surface et en diminuant les capacités de stockage en eau des sols [6].

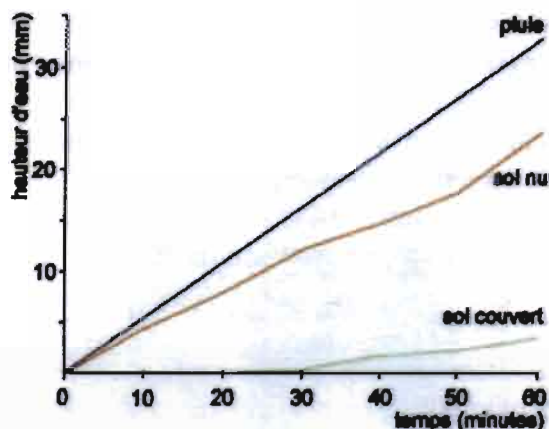


Fig. 3. Rôle de la couverture végétale sur le ruissellement [7]

Fig. 3. Role of plant cover on runoff [7]

Conséquences

L'imperméabilisation progressive des sols par manque d'infiltration accentue les processus de ruissellement dont l'énergie cinétique provoque l'arrachage des particules minérales et organiques et leur mobilisation sous des formes solide et dissoute. L'érosion des sols entraîne une modification des paysages selon un mécanisme plus ou moins diffus dépendant de la fréquence et l'intensité des événements pluvieux (Fig. 4). Ainsi, les inondations liées aux pluies sont toujours causées par une brutale montée d'eaux turbides.

Dans les cas d'extrêmes précipitations, des glissements de terrain se produisent sur les fortes pentes des massifs montagneux. Des masses conséquentes de sol sous forme de coulées boueuses charrient des matériaux aussi divers que des blocs rocheux ou des constructions humaines. Selon la configuration du relief, ces matériaux peuvent entraver l'écoulement des eaux de ruissellement en obturant les vallées et faciliter leur accumulation par inondation [8].

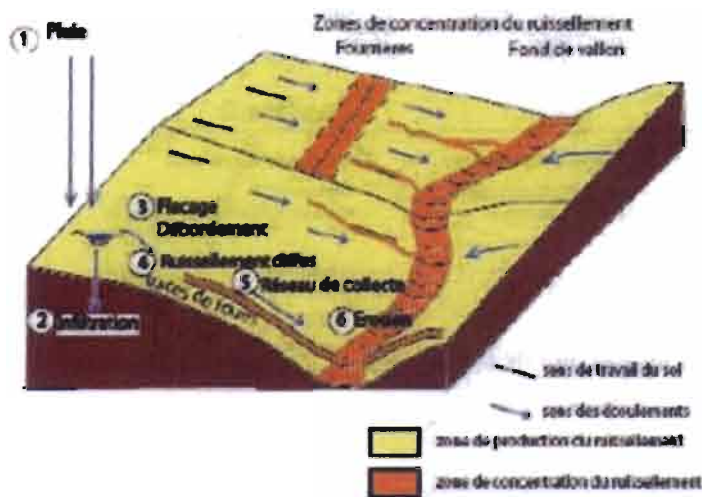


Fig. 4. Processus simplifié de l'érosion en Haute-Normandie [9]

Fig. 4. Simplified processes of erosion in Upper Normandy [9]

L'évolution des paysages associée au changement d'usage des sols a des incidences directes sur la genèse des inondations. L'exode rural des populations vers les centres urbains et péri-urbains transforme les sols agricoles et forestiers, non seulement par la construction de nouvelles infrastructures immobilières mais également par une exploitation des terres plus intensifiée. Il s'ensuit :

- une accélération de l'imperméabilisation artificielle des surfaces (routes, parkings, toitures...) nécessitant la collecte des eaux pluviales par des réseaux d'assainissement appropriés ;
- une compaction des sols par l'utilisation d'engins de plus en plus lourds et perfectionnés permettant d'augmenter les rendements et suppléer à la demande alimentaire accrue des villes.

Le sous-dimensionnement des réseaux d'assainissement lors d'événements météoriques exceptionnels provoque des inondations dévastatrices car directement liées aux activités humaines [10]. Une étude récente a été réalisée au niveau de l'Union Européenne pour établir l'état de la situation en 2006 pour chacun des 27 membres [11]. Les cas de la France (Fig. 5) et de la Pologne (Fig. 6) sont donnés à titre d'exemple.

Stratégies de lutte

Comme il y a un décalage entre la quantité d'eau à évacuer d'un système hydrologique donné et la capacité d'infiltration de ses sols, la gestion des inondations par ruissellement passe par une gestion de l'érosion des sols [12]. La mise en place d'un programme de lutte contre l'érosion implique aussi bien des acteurs du monde rural (agriculteurs, ingénieurs, décideurs, élus, experts...) que des structures administratives (Directions Départementales) et professionnelles (Chambre d'Agriculture). Les actions seront soit préventives en conservant agronomiquement une bonne porosité aux sols, notamment en surface (pratiques culturales), soit curatives en contraignant hydrauliquement le ruissellement (aménagements paysagers). Les zones émettrices du ruissellement et celles sensibilisées par des cumuls importants de précipitations seront privilégiées [13]. Le dimensionnement des ouvrages hydrauliques nécessiteront une très bonne connaissance du fonctionnement hydrique des sols à toutes les échelles spatiales et temporelles.

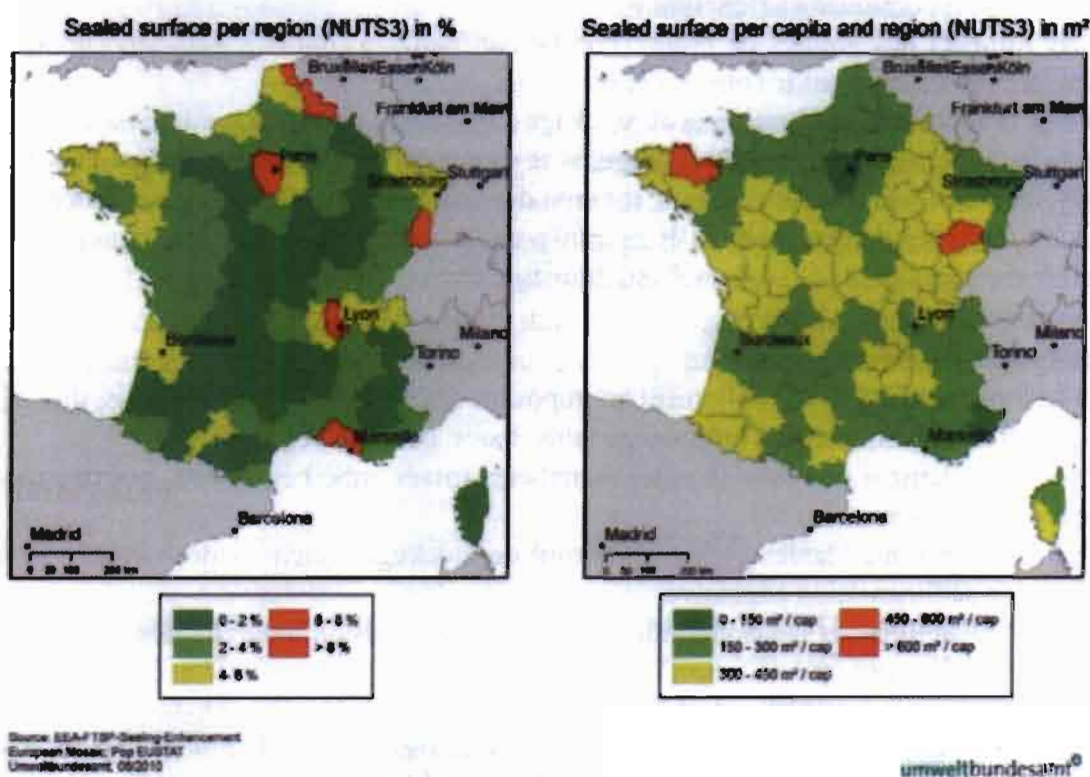


Fig. 5. Imperméabilisation des sols par région de la France en 2006 [11]

Fig. 5. Soil sealing by region of France in 2006 [11]

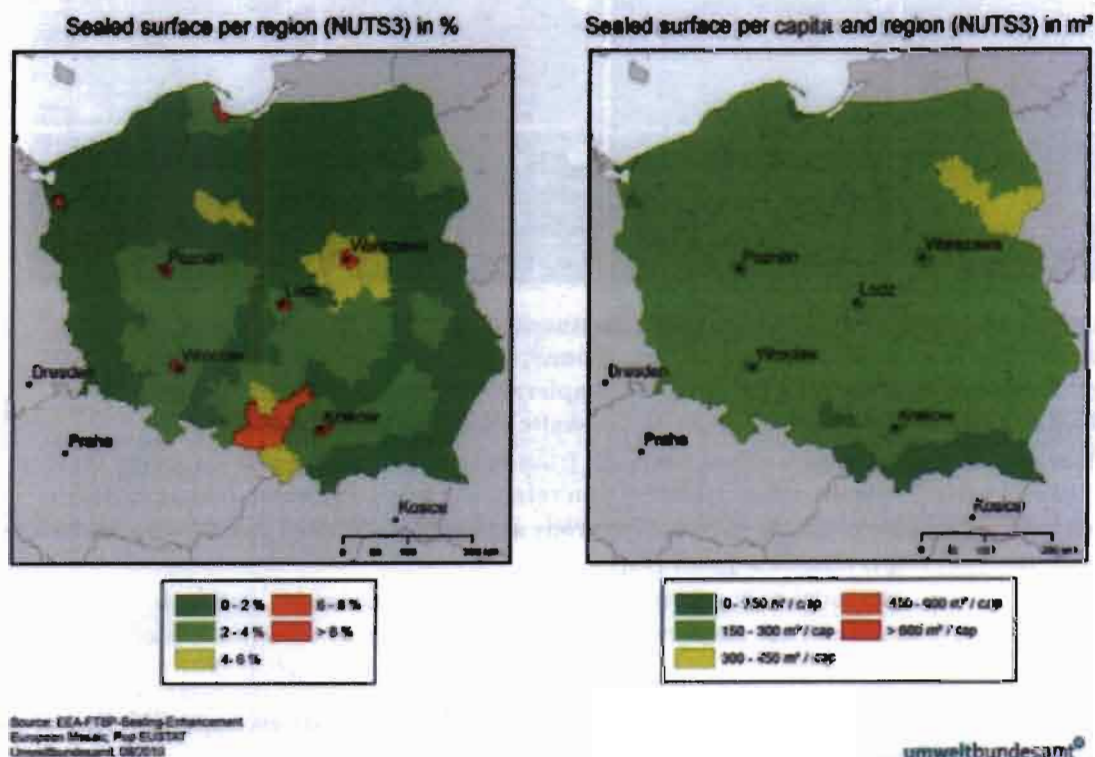


Fig. 6. Imperméabilisation des sols par région de la Pologne en 2006 [11]

Fig. 6. Soil sealing by region of Poland in 2006 [11]

Les mesures agronomiques chercheront à :

- diminuer l'impact des gouttes de pluie : non-labour, paillage (mulch), non-déchaumage, cultures intermédiaires dont les engrais verts ;
- augmenter la capacité d'infiltration et de stockage à la surface du sol : travail du sol (préparation du lit de semences en mottes, binage, sens du travail du sol, décompactage et sous-solage), entretien humifère et calcique, rotation des cultures, parcellaire et assollement ;
- réduire les capacités de détachement et de transport des particules solides et organiques en limitant le compactage du sol (obstacle au drainage, encroûtement de battance).

Les mesures hydrauliques viseront à :

- limiter la concentration du ruissellement en imposant des obstacles artificiels (plis, diguettes, banquettes, mares, retenues collinaires, talus, haies, cordons végétalisés) ;
- organiser l'écoulement des eaux (bandes enherbées, fossés enherbés, drains, prairies permanentes, murets, terrasses) ;
- protéger les zones inondables et les réservoirs de stockage (retenues de barrage, lacs, étangs) d'une sédimentation excessive ;
- préserver et réhabiliter les zones humides permettant l'expansion naturelle des crues et le piégeage des sédiments.

En milieu urbain, il importera de limiter l'extension des surfaces en béton totalement imperméabilisées, de développer des espaces verts et d'équiper les villes par des réseaux de collecte et d'évacuation des eaux pluviales performants (Fig. 7).



Fig. 7. Aperçu des surfaces urbaines les plus communes, de la plus à la moins perméable, comprenant (1) de la pelouse, (2) du gazon gravillonné, (3) des grilles en plastique enherbées, (4) des grilles en béton enherbées, (5) des allées empierrées (macadam), (6) des pavés en béton perméables, (7) de l'asphalte poreux et (8) de l'asphalte classique imperméable [13]

Fig. 7. Overview of most common urban surfaces, from most to less permeable including (1) lawn, (2) gravel turf, (3) plastic grass grids, (4) concrete grass grids, (5) water-bound surfaces (macadam), (6) permeable concrete pavers, (7) porous asphalt and (8) most common pavements, namely conventional impermeable asphalt [13]

Conclusion

Le cycle naturel de l'eau implique son transfert dans les formations superficielles et son stockage transitoire. Une déficience de ce transfert interne, marquée par la réduction de l'infiltration, induit un transfert de surface par ruissellement. En se concentrant, les eaux de ruissellement arrachent et transportent des particules minérales et organiques, prémices de processus érosifs dont l'intensité et l'étendue varie. Les crues font grossir de proche en proche les cours

d'eau si leur évacuation vers l'aval n'est pas facilitée, et d'inévitables inondations se produisent par des eaux boueuses.

Des facteurs climatiques, topographiques et environnementaux renforcent le phénomène. De nombreuses techniques agronomiques et hydrauliques sont disponibles pour limiter le ruissellement et l'érosion des sols ainsi que pour canaliser l'écoulement des eaux de surface.

La connaissance de la distribution spatiale, de l'organisation structurale et du fonctionnement hydrique des sols permet de renseigner les modèles hydrologiques à l'échelle des bassins versants. Des variables pédologiques, telles que la perméabilité, la porosité ou le coefficient de ruissellement, sont mesurables sur le terrain à diverses échelles spatiales. Ces informations sont autant de données d'entrée à prendre en compte pour affiner les modèles de prévision des crues exceptionnelles.

Références

- 1 Girard M.-C., Schwartz C., Jabiol B., 2011. Etude des sols, Description, cartographie, utilisation. Collection: Sciences Sup, Dunod, 2ème édition, Paris, 432 p.
- 2 Girard M.-C., Walter C., Rémy J.-C., Berthelin J., Morel J.L., 2011. Sols et environnement. Cours, exercices corrigés et études de cas. Collection: Sciences Sup, Dunod, 2ème édition, Paris, 896 p.
- 3 De Marsily G., 1981. Hydrogéologie quantitative. Masson, Paris.
- 4 Casenave A., Valentin C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne : influence sur l'infiltration. Didactiques. Orstom, Paris, 229 p.
- 5 Boiffin J., 1984. La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse Docteur-Ingénieur, INA Paris-Grignon, 320 p. et annexes.
- 6 Bradshaw C.J., Sodhi N.S., Peh S.H., Brook B.W., 2007. Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Global Change Biology*, 13: 2379-2395.
- 7 Derancourt F., 1995. Erosion des terres agricoles, méthodologie proposées à l'étude de bassins versants agricoles. Rapport Chambre d'Agriculture Pas-de-Calais.
- 8 Brabant P., Activités humaines et dégradation des terres. Collection Atlas Cédéroms. Indicateurs et Méthodes. IRD, Paris (consultable sur www.cartographie.ird.fr/degra_PB.html).
- 9 Bussière M., 1996. L'érosion des sols cultivés en France : manifestation, coûts, remèdes. Mémoire D.E.S.S., Université Picardie Jules Verne, 136 p.
- 10 Adeloje A., Rustum R., 2011. Lagos (Nigeria) flooding and influence of urban planning. *J Urban Design and Planning*, 164, 3:175 -187.
- 11 Prokop G., Jobstmann H., Schönbauer A., 2011. Final Report. Overview on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects in EU-27. European Commission, DG Environment, Technical Report-2011-50, 227 p. <http://ec.europa.eu/environment/soil/sealing.htm>
- 12 Le Bissonnais Y., Thorette J., Bardet C., Daroussin J., 2002. L'érosion hydrique des sols en France. Rapport IFEN/INRA, 106 p.
- 13 Ouvry J.-F., 1986. Opération régionale de lutte contre les inondations et l'érosion des sols. Volet 1 : Ruissellement et érosion des terres agricoles. Synthèse des travaux et éléments de réflexion, campagne 1985-1986. AREAS, 74 p. + annexes.



**SYMPOSIUM EUROPÉEN
PROBLEMES ACTUELS DE LA PROTECTION
CONTRE LES INONDATIONS**

**SYMPOZJUM EUROPEJSKIE
WSPÓŁCZESNE PROBLEMY OCHRONY
PRZECIWPOWODZIOWEJ**

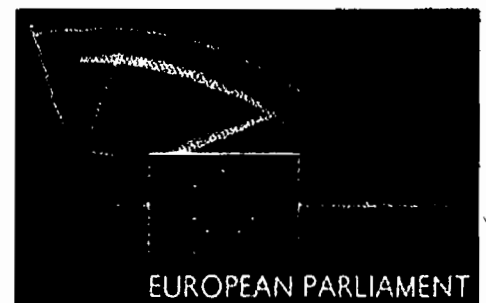
**EUROPEAN SYMPOSIUM
ANTI-FLOOD DEFENCES
- TODAY'S PROBLEMS**

Paris
28-29.03.2012
Centre Scientifique
Académie Polonaise des Sciences

**Haut Patronage du
Parlement Européen**
**Honorowy Patronat
Parlamentu Europejskiego**

**Honorary Patronage
of the European Parliament**

Orléans
30.03.2012
IRD / DREAL Centre





SYMPOZJUM EUROPEJSKIE WSPÓŁCZESNE PROBLEMY OCHRONY PRZECIWPOWODZIOWEJ

Redakcja
Czesław Szczegielniak

Paryż-Orlean, 28–30 marca 2012 r.

Wydawca:

Stacja Naukowa Polskiej Akademii Nauk w Paryżu

SYMPOZJUM EUROPEJSKIE

WSPÓŁCZESNE PROBLEMY OCHRONY PRZECIWPOWODZIOWEJ

Redakcja tematyczna

Czesław Szczegielniak

Tłumaczenia:

Monika Kołodziejczak – w zakresie języka angielskiego

Stefan Kaufman – w zakresie języka francuskiego

Copyright © 2013 Stacja Naukowa Polskiej Akademii Nauk w Paryżu

Wszelkie prawa zastrzeżone. Kopiowanie, przedrukowywanie i rozpowszechnianie całości lub fragmentów niniejszej publikacji bez zgody wydawcy zabronione.

ISBN: 978-83-927671-0-7

Adres wydawcy:

Centre Scientifique de l'Académie Polonaise des Sciences à Paris

74, rue Lauriston, 75116 Paris,

Tél. +33 (0) 1 56 90 18 34, fax +33 (0) 1 47 55 46 97

e-mail: sekretariat.parispan@free.fr

Projekt okładki:

Janusz Ptak

Przygotowanie i realizacja:

Stämpfli Polska Sp. z o.o.

www.staempfli.pl