Interreg
MARITTIMO-IT FR-MARITIME
UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

ADAPT

16/05/2019

Solutions Grises

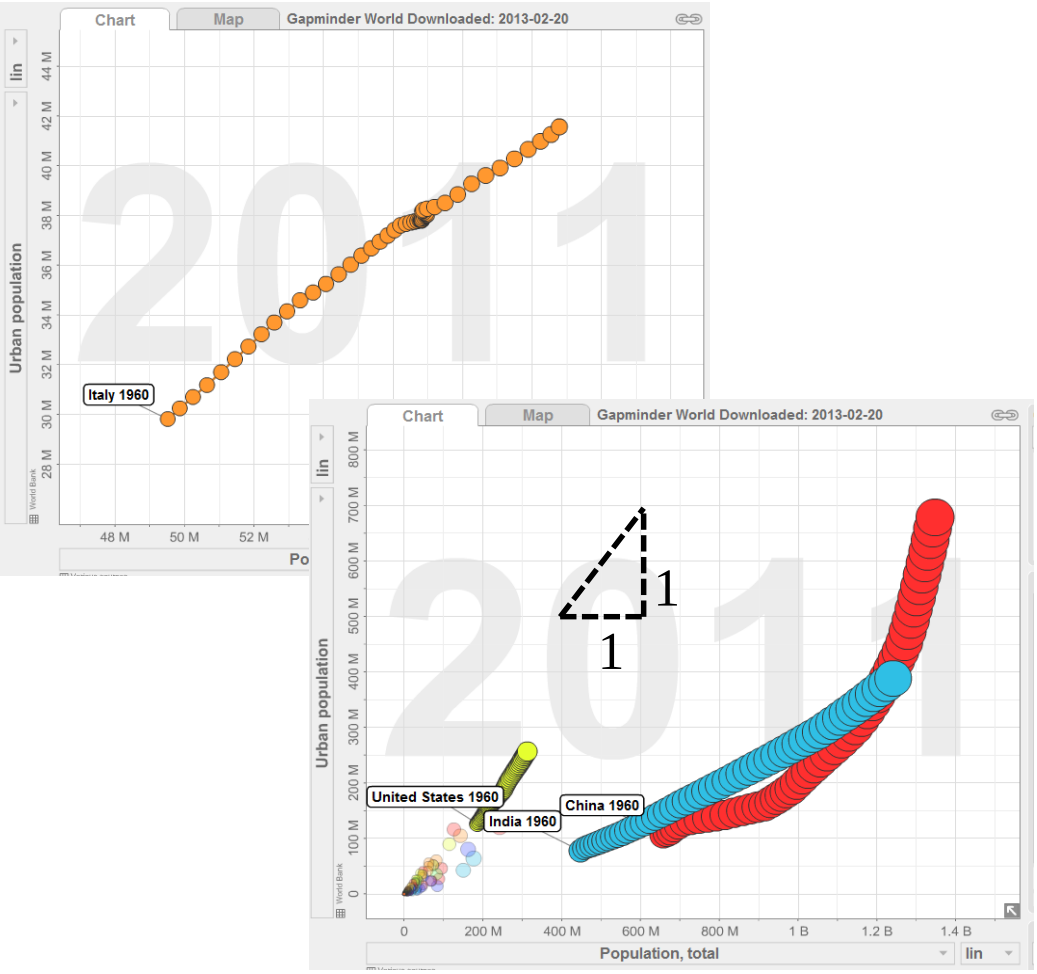
pour l'adaptation au changement climatique

Roberta Padulano, Guido Rianna, Alfredo Reder, Fabio Ciervo, Paola Mercogliano
E-mail: roberta.padulano@cmcc.it

Fondazione CMCC – Divisione REMHI (Regional Models and geo-Hydrological Impacts)
Via Maiorise, Capua (CE)

REMARQUES PRÉLIMINAIRES

Adaptation : Variation des systèmes naturels ou humains en réponse à un changement climatique actuel ou prévu ou à un effet consécutif, visant à contenir toute conséquence négative ou à mettre en œuvre des opportunités bénéfiques (GIEC 4AR, 2007).

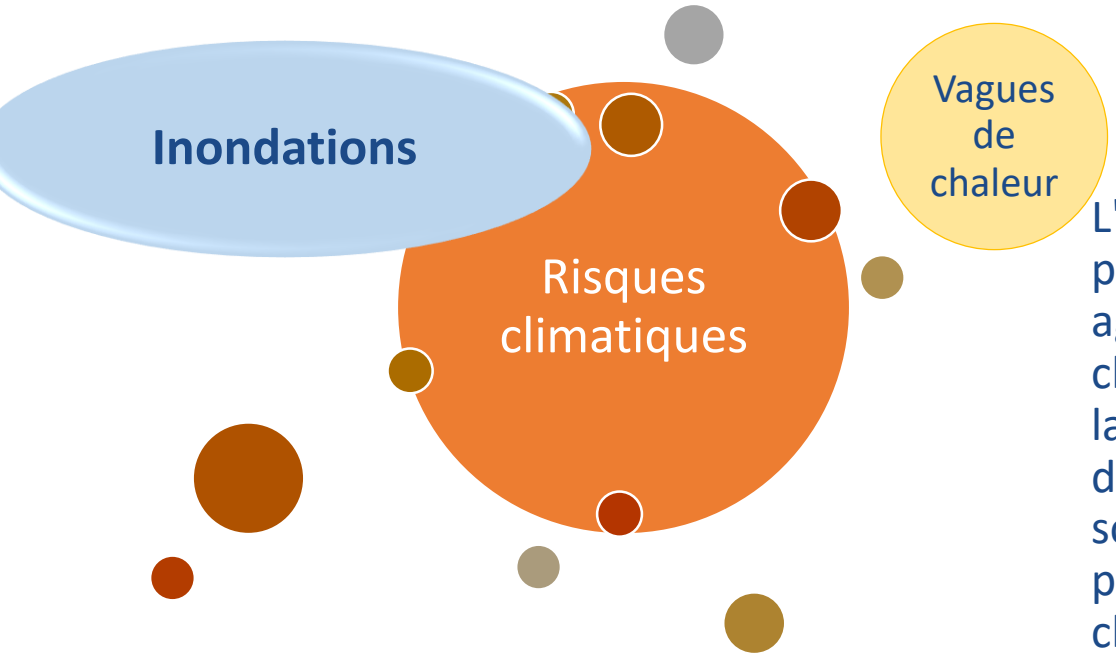


L'augmentation constante de la population vivant en milieu urbain aggrave les impacts potentiels du changement climatique. En raison de la concentration de la population et des structures économiques, les villes sont particulièrement menacées du point de vue du changement climatique (adaptation urbaine de l'AEE, 2016).

http://www.gapminder.org

REMARQUES PRÉLIMINAIRES

Adaptation : Variation des systèmes naturels ou humains en réponse à un changement climatique actuel ou prévu ou à un effet consécutif, visant à contenir toute conséquence négative ou à mettre en œuvre des opportunités bénéfiques (GIEC 4AR, 2007).



L'augmentation constante de la population vivant en milieu urbain aggrave les impacts potentiels du changement climatique. En raison de la concentration de la population et des structures économiques, les villes sont particulièrement menacées du point de vue du changement climatique (adaptation urbaine de l'AEE, 2016).

REMARQUES PRÉLIMINAIRES

Inondation : Accumulation temporaire d'eau sur des surfaces sèches dans des conditions normales (Directive européenne 60/2007 - "Directive inondation").

Solutions douces

Planification, réglementation, élaboration de politiques

Solutions grises

Solutions traditionnelles pour la gestion des ressources en eau

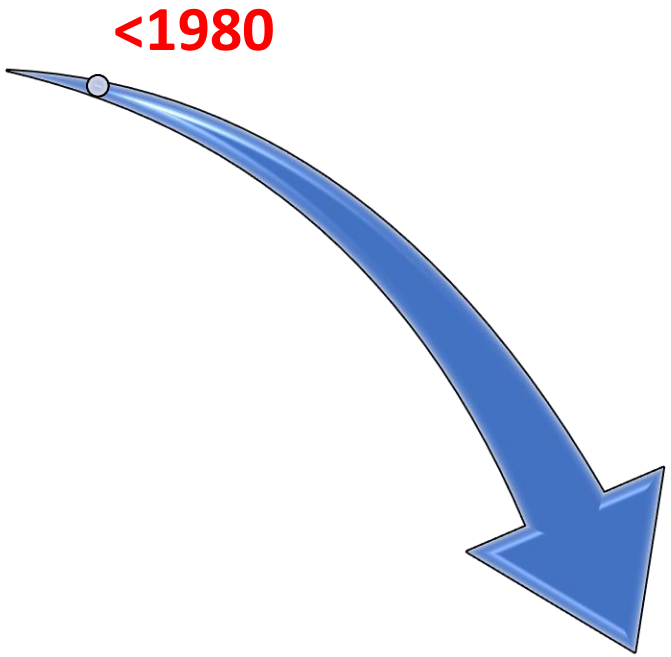
Solutions vertes

Utilisation du capital naturel

travaux de drainage

ÉVOLUTION DES OUVRAGES DE DRAINAGE

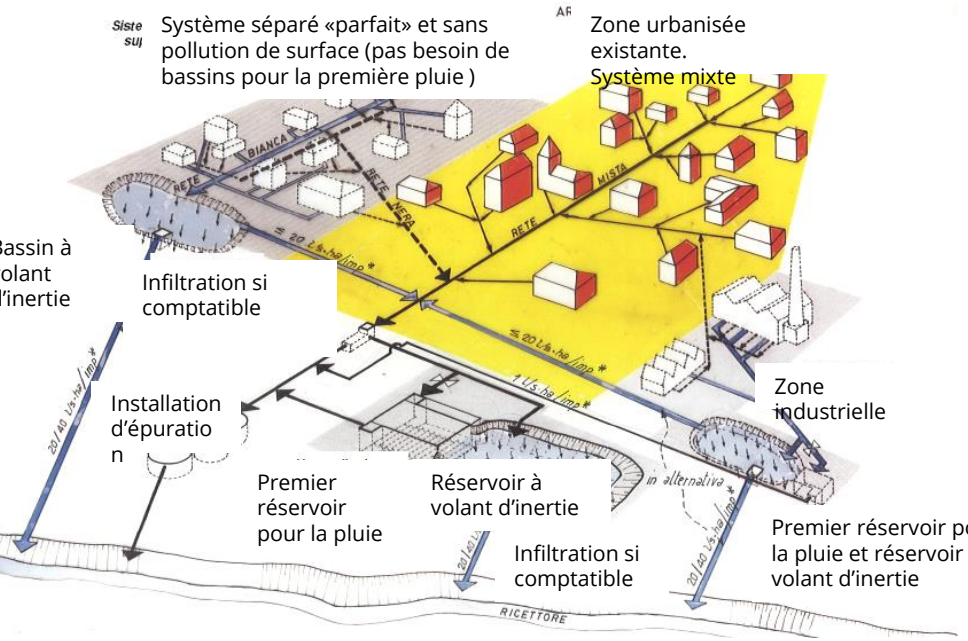
Source: *Personal Communication*

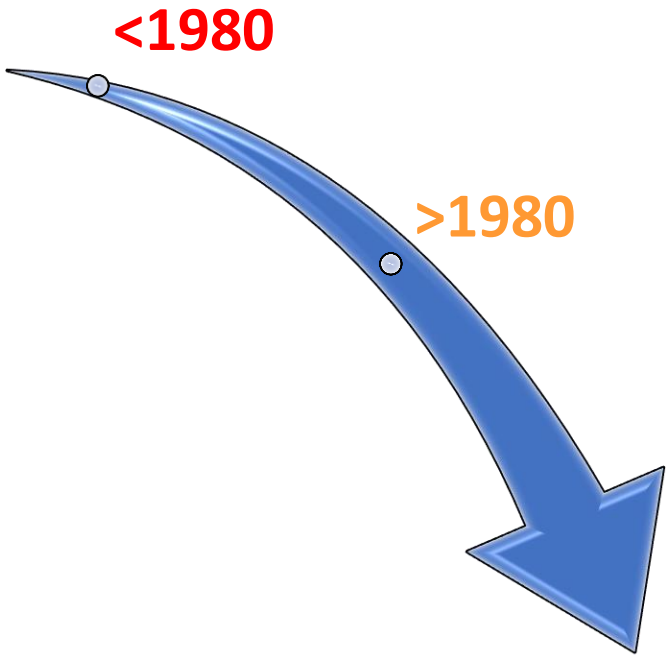


Approche traditionnelle : collecte, enlèvement rapide et élimination

Travaux typiques : caniveaux, collecteurs d'eau, canalisations, drains (solutions grises)

ÉVOLUTION DES OUVRAGES DE DRAINAGE





Source: Région Vénétie (2009) Lignes directrices pour les interventions de prévention et d'atténuation des inondations.

Approche de conservation : La gestion centralisée des crues est envisagée pour contrôler les débits volumiques des crues et améliorer la qualité de l'eau de pluie.

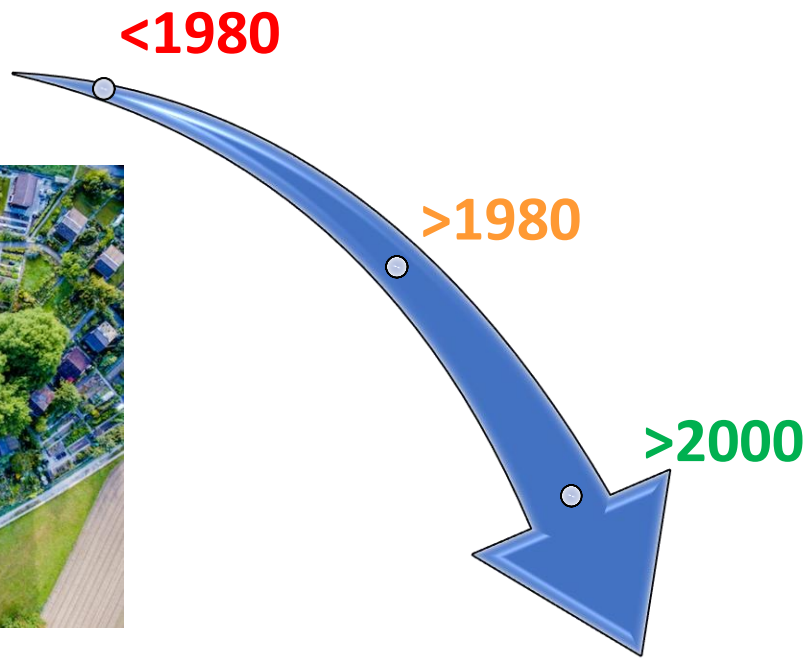
Travaux typiques : cuves de laminage, cuves de première pluie, plus en général des travaux de convoyage et de stockage temporaire des écoulements (solutions grises).

Philosophie actuelle de conception et de gestion, souvent reconnue comme insuffisante

ÉVOLUTION DES OUVRAGES DE DRAINAGE

Source: *www.edilportale.com*

Source: *www.envi.info*

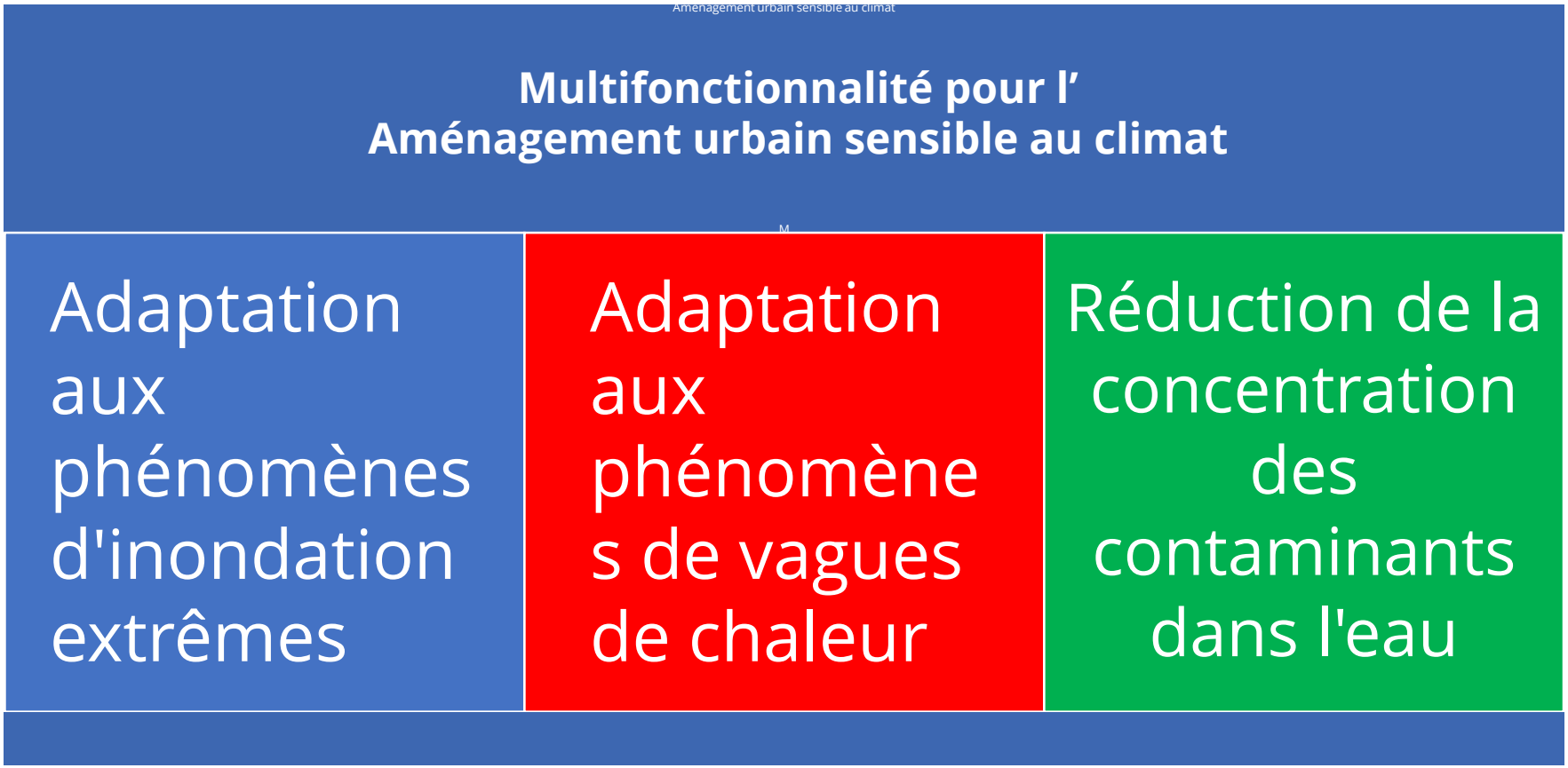


Approche durable : Une gestion diffuse des crues est envisagée pour contrôler et gérer la formation d'écoulements de surface avec réservoirs et traitement des eaux de pluie afin de réduire la formation et la dégradation de la qualité des crues.

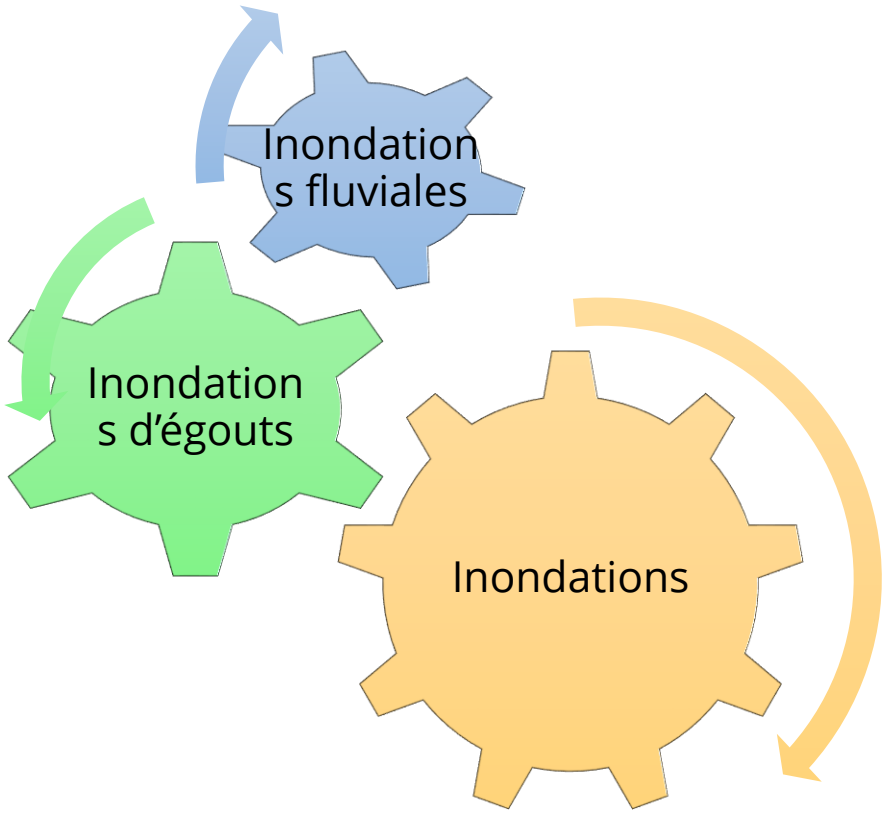
Travaux typiques : systèmes de rétention, de laminage et d'infiltration (drainage urbain durable, développement à faible impact, meilleures pratiques de gestion) (solutions grises et vertes).

Nouvelle philosophie de conception et de gestion

MULTIFONCTIONNALITÉ DES OUVRAGES DE DRAINAGE



INONDATIONS URBAINES



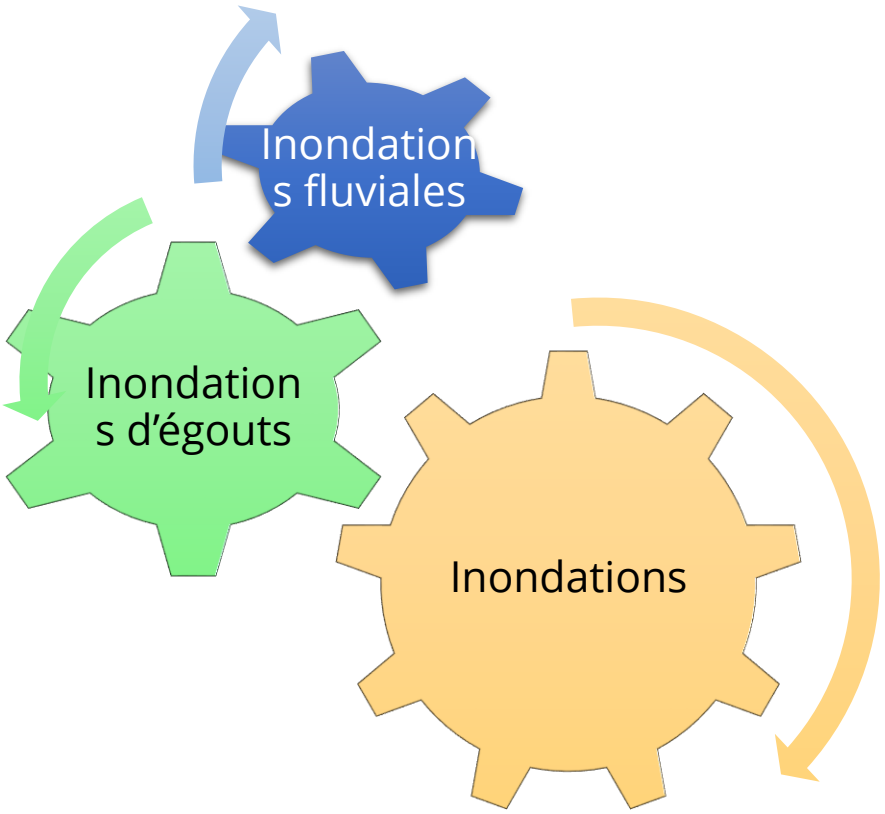
Le phénomène des inondations urbaines est réparti sur trois niveaux différents :

-Inondations de cours d'eau ;

-Crise dans le système d'égouts ;

-Inondation des surfaces.

INONDATIONS URBAINES

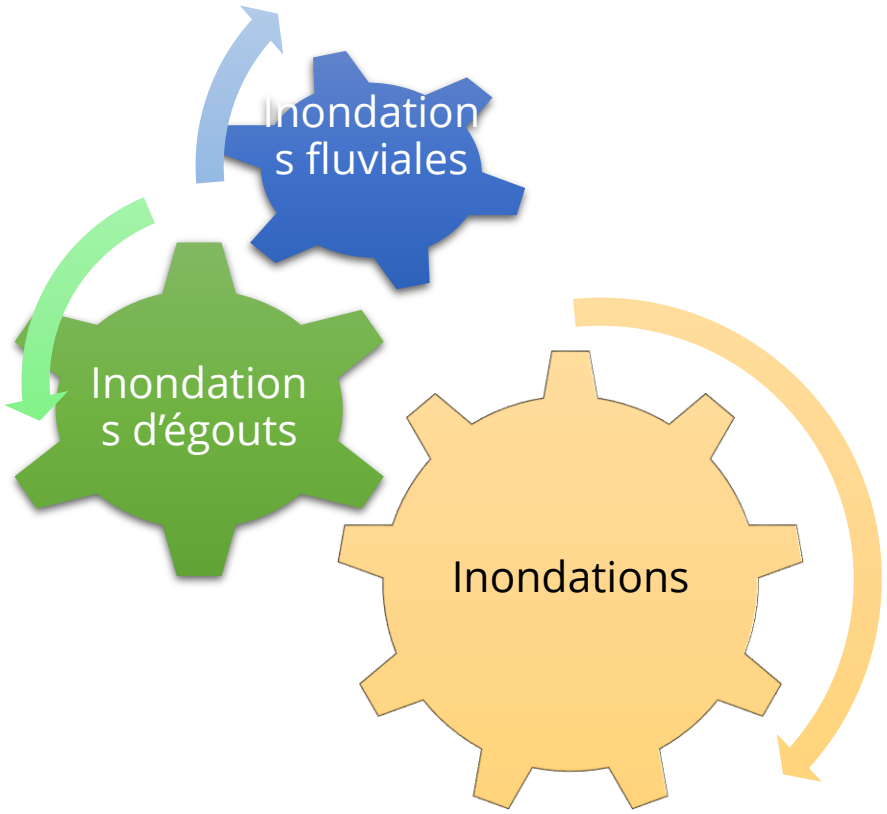


Source: *https://www.ilmessaggero.it/roma/cronaca/tevere_esondazioni-3235967.html*

Les inondations fluviales posent des risques associés à l'élévation du niveau du cours d'eau et, éventuellement, à son inondation à partir de son lit prédéterminé. Ces risques sont concentrés dans les zones situées à proximité immédiate du cours d'eau.

Les inondations fluviales ne sont pas nécessairement dues à des événements météorologiques qui se sont produits dans le contexte urbain, mais sont le résultat de perturbations qui se sont produites dans tout le bassin amont.

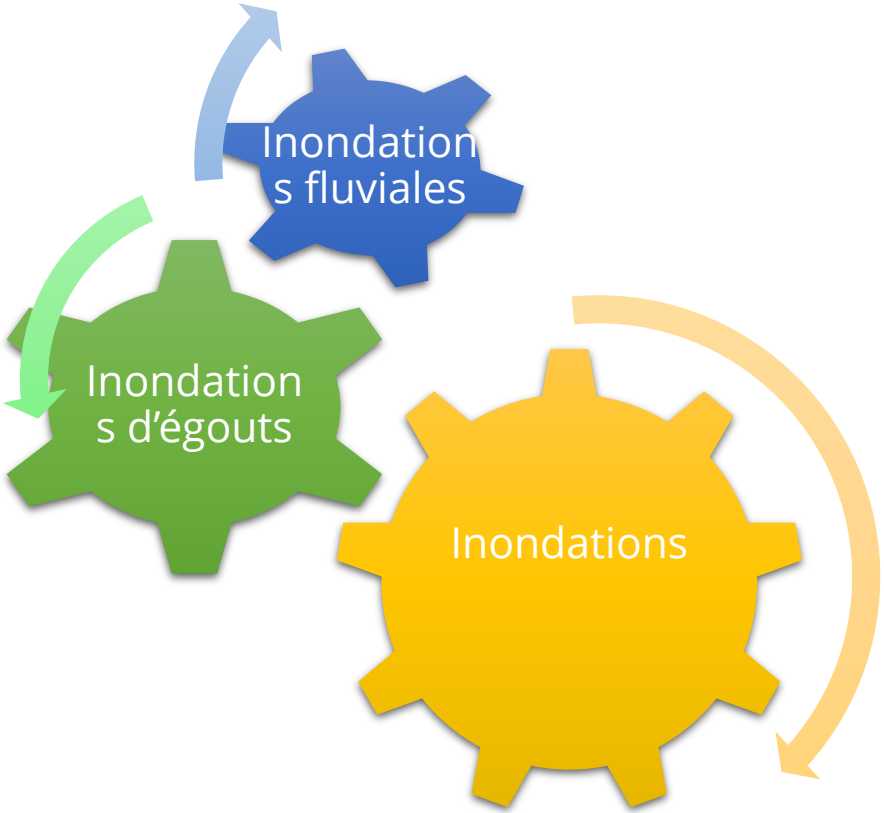
INONDATIONS URBAINES



Fonte: *Personal Communication*

L'"inondation des égouts" présente des risques liés à l'atteinte du degré maximal de remplissage des collecteurs et à l'évacuation des eaux grises des couvercles de regard. Ces risques se concentrent sur les voies de développement du réseau d'assainissement.

INONDATIONS URBAINES



Fonte: *Personal Communication*

Les inondations sont un phénomène répandu et incontrôlé, lié à la difficulté de canaliser l'eau de pluie vers le réseau de drainage. Le danger relatif est surtout lié au niveau de l'eau, même à faible vitesse de ruissellement..

APPROCHES ET MÉTHODOLOGIES POUR LA MISE EN ŒUVRE DES IG

Inondations dans les cours d'eau

Inondations dans le réseau d'égouts

Inondations

Événement extrême de pluie → Modèle hydrologique/ hydraulique → Débits sortants extrêmes

Débits, niveaux d'eau, vitesse, zones inondées

Débit, vitesse, niveaux de remplissage, points de crise

Événement extrême de pluie → Modèles simplifiés → Débits sortants extrêmes

Zones inondées, tirants d'eau, vitesse

Approches consolidées

Approches innovantes

APPROCHES ET MÉTHODOLOGIES POUR LA MISE EN ŒUVRE DES IG

La formule rationnelle est une méthode conceptuelle qui fournit une estimation rapide du débit total comme produit de trois facteurs. Il nous permet de comprendre quels sont les paramètres fondamentaux qui régissent l'inondation et sur lesquels nous pouvons agir pour modifier les valeurs de départ, lorsque celles-ci ne sont pas compatibles.

φ (coefficient d'entrée, quantifie le rôle de la couverture de surface) ;

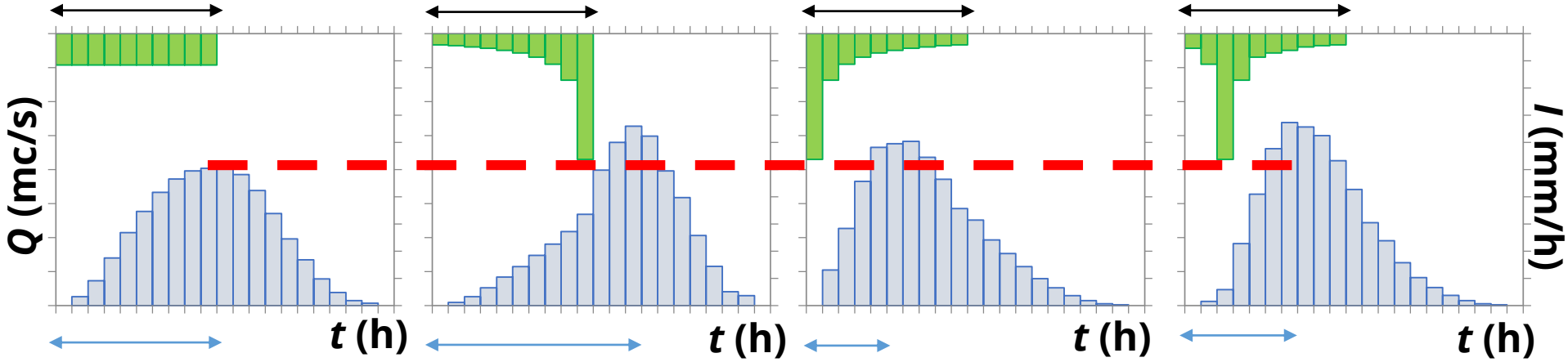
I (intensité de la pluie, quantifie l'étendue de l'événement météorique) ;

S (surface sous la section de fermeture du bassin de référence).

$$Q = \varphi \cdot I \cdot S$$

LE RÔLE DE LA PLUIE

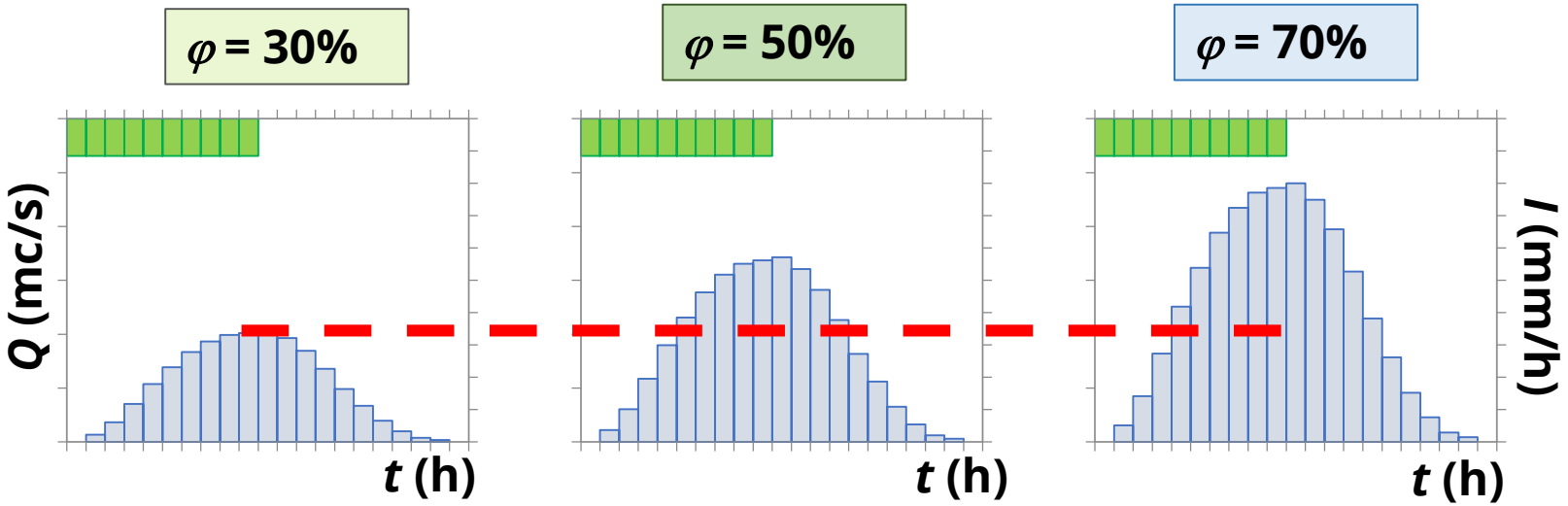
La pluie joue un rôle dans la formation des écoulements de surface non seulement en ce qui concerne son étendue, mais aussi en ce qui concerne d'autres caractéristiques (durée, forme du pluviogramme). Cela affecte la forme, l'étendue et les valeurs maximales de l'hydrogramme de crue.



Avec la même durée de pluie, le volume total accumulé de pluie, la méthode de résolution, seule la forme du pluviogramme a un effet significatif sur la valeur du débit à la hauteur de la crue, sur la forme de l'hydrogramme et sur le moment de l'arête. Cela se produit aussi bien dans les bassins naturels que dans les bassins urbains.

LE RÔLE DE LA COUVERTURE DE SURFACE

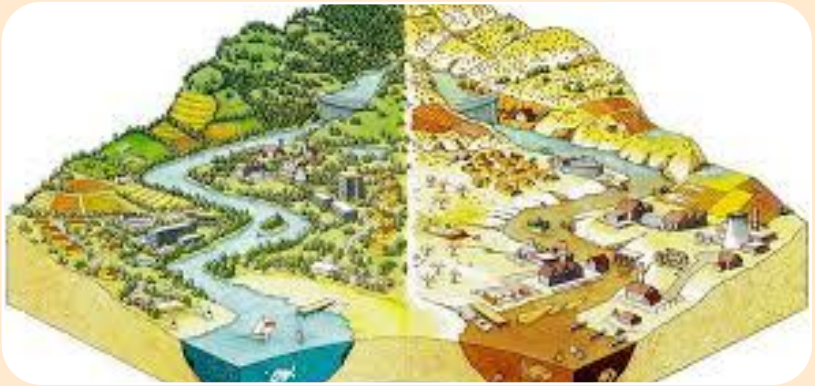
La couverture de surface joue un rôle essentiel dans la formation du ruissellement, car elle régule non seulement la capacité de la pluie à s'infiltrer dans le sous-sol (ne participant donc pas au ruissellement de surface), mais aussi la vitesse à laquelle l'eau de pluie peut s'écouler et s'infiltrer le long de la pente maximale



En fait, si le coefficient d'apport augmente d'un pourcentage donné, le débit de crue et le volume total du débit sortant augmentent.

DRAINAGE URBAIN ET CHANGEMENTS FUTURS

Source: *Georges River. Image courtesy of Waterwatch Queensland.*



Source: *www.rainews.it*

Le changement hydrologique est induit par l'urbanisation et le changement d'utilisation des terres en général ; c'est un phénomène qui se produit à l'échelle spatiale locale mais qui produit des effets à long terme :

Moins d'infiltration

Moins d'évapotranspiration

Débits sortants plus élevés

Le changement climatique est induit par l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et a des effets à la fois sur les températures (réchauffement climatique avéré) et sur les précipitations, où les effets sont plus variables, locaux et difficiles à prévoir :

Augmentation de la fréquence des précipitations extrêmes

CHANGEMENTS PRÉVUS DANS LA COUVERTURE DE SURFACE

Source: *Google Maps*

Source: *ISPRA (2011) Qualité de l'environnement urbain, Rapport VI*

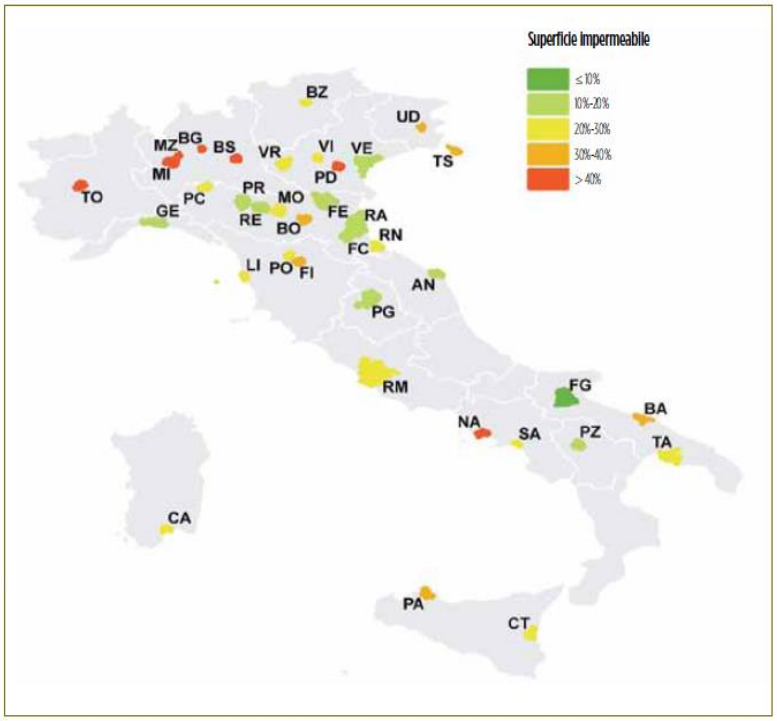


FIG.2
la consommation de sols en milieu urbain

FIG. 2
CONSUMO DI SUOLO NELLE AREE URBANE

Percentuale di superficie impermeabile sul totale dell'area comunale (2005-2008).

Fonte: Ispra, 2011 "Qualità dell'ambiente urbano, VI Rapporto", edizione 2010.

CHANGEMENTS PRÉVUS DANS LA COUVERTURE DE SURFACE

L'augmentation progressive de l'utilisation des terres est une réalité à l'échelle mondiale et locale.

Arcella (Padova) 1945-2000

(da V. Bixio, in STADIUM 2010, CSDU – Politecnico Milano)

CHANGEMENTS PRÉVUS DANS LA COUVERTURE DE SURFACE

L'augmentation progressive de l'utilisation des terres est une réalité à l'échelle mondiale et locale.

Source: *ISPRA (2010) Annuaire des données environnementales.*

Zones géographiques	Superficie [ha]	Pourcentage d'imperméabilisation			
		1956	1994	1999	2006
Italie nord-occidentale	5.792.023	3.19%	6.42%	6.72%	7.33%
Italie nord-orientale	6.2000.906	2.55%	5.59%	6.08%	6.68%
Italie centrale	5.840.863	2.20%	5.22%	5.26%	6.25%
Italie méridionale	7.379.536	2.04%	4.79%	4.86%	6.00%
Italia insulaire	4.991.924	1.91%	4.44%	4.55%	5.37%
Italie	**30.205.252**	**2.38%**	**5.30%**	**5.50%**	**6.34%**

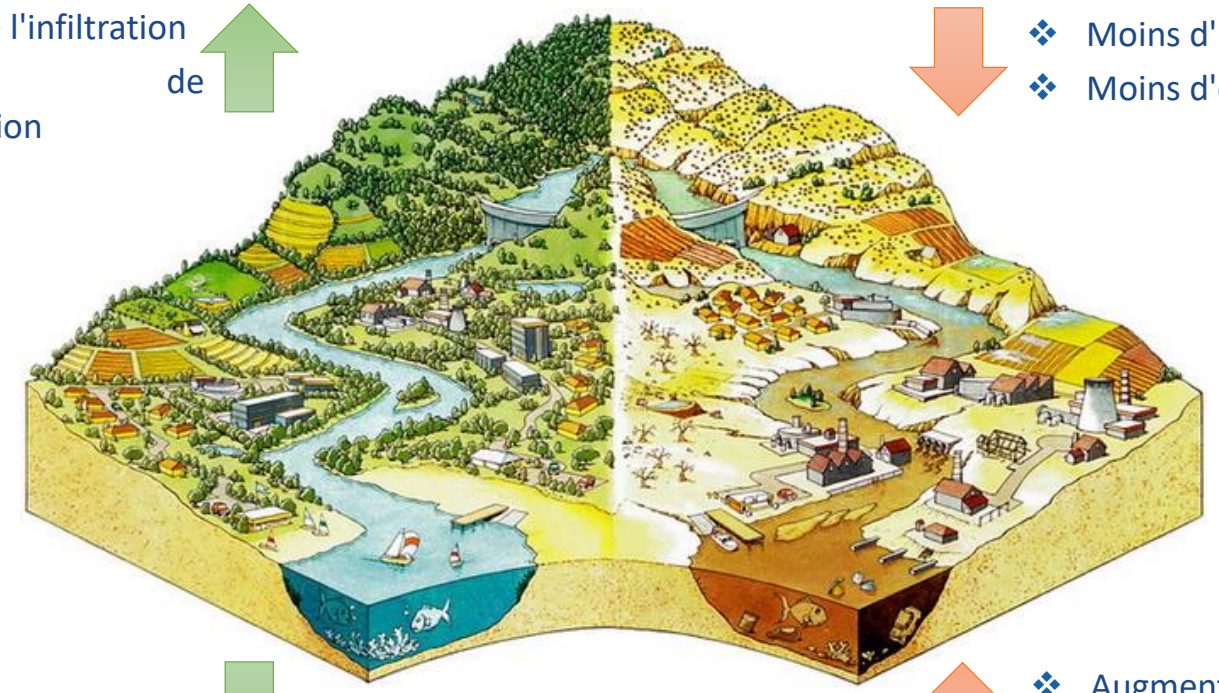
Au cours des 50 dernières années en Italie, la surface imperméable a plus que doublé, passant d'environ 7 200 km2 à près de 20 000 km2.

CHANGEMENTS PRÉVUS DANS LA COUVERTURE DE SURFACE

Les changements hydrologiques induits par l'urbanisation, le changement d'affectation des sols en général, l'occupation des zones fluviales, l'exploitation des ressources en eau, la régulation des rivières, jouent un rôle extrêmement important dans les risques géo-hydrologiques

- Augmentation de l'infiltration
- Augmentation de l'évapotranspiration

- Moins d'infiltration
- Moins d'évapotranspiration



- Moins de surface imperméable
- Moins d'écoulement de surface

- Augmentation de surface imperméable
- Augmentation de l'écoulement de surface

Source: *Georges River. Image courtesy of Waterwatch Queensland.*

LE RÔLE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le changement climatique joue un rôle tout aussi important dans les risques géo-hydrologiques ; bien que ses effets en termes de réchauffement climatique soient prouvés, l'influence des changements climatiques sur les précipitations est moins prévisible et plus difficile à évaluer, car elle dépend de facteurs locaux.

Comment évaluer ces effets ?

Niveau minimum de détail

Niveau moyen de détail

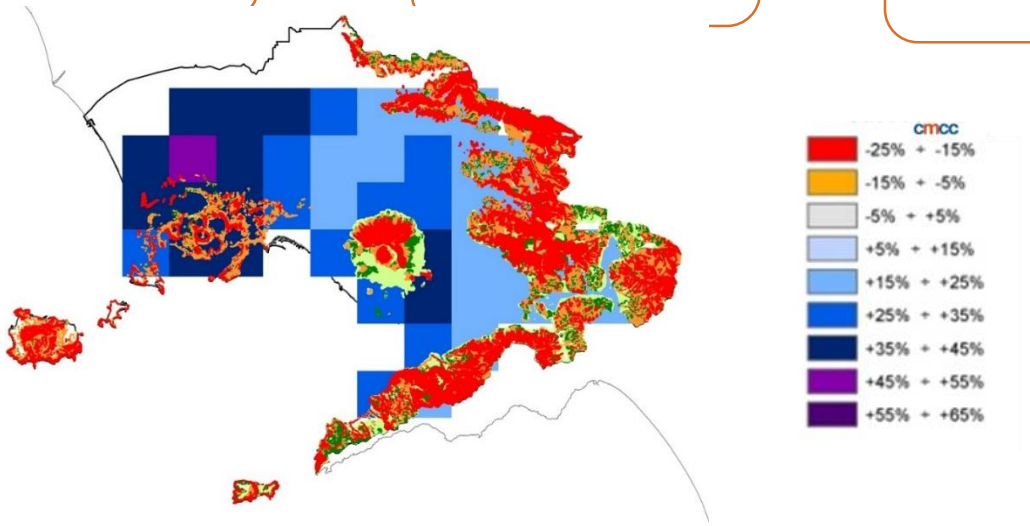
Niveau maximum de détail

LE RÔLE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Niveau minimum de détail

Utilisation d'évaluations simplifiées fondées sur les changements prévus en raison du changement climatique dans les indicateurs atmosphériques utilisés comme indicateurs indirects des phénomènes d'inondation.

Régime pluviométrique actuel → Analyse de l'anomalie → Évaluation qualitative de l'effet des CC par proxy

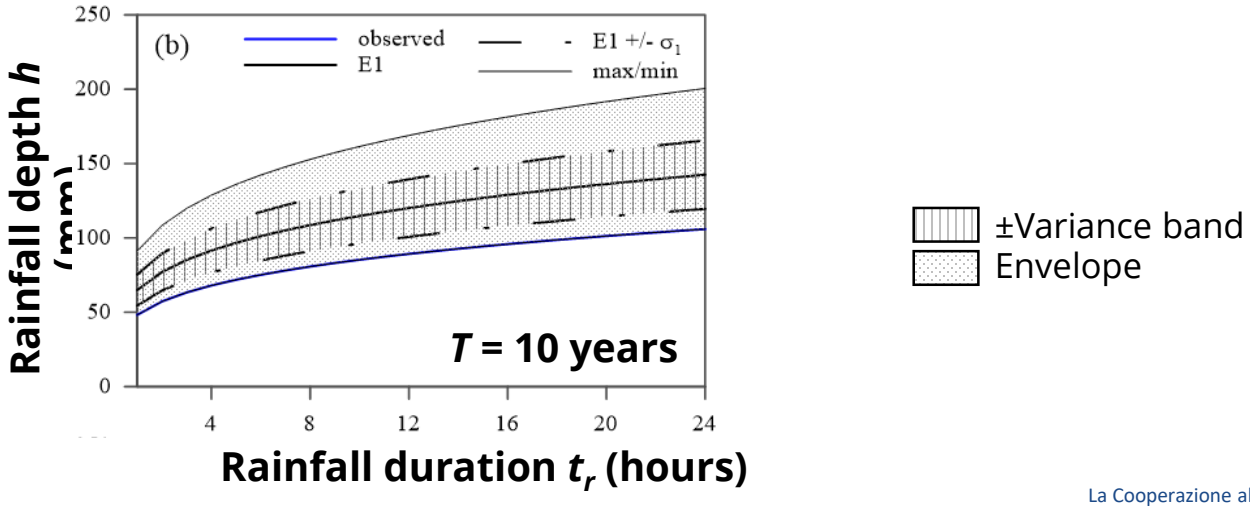


LE RÔLE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Niveau moyen de détail

Évaluation de nouvelles lois sur la pluie ou "courbes IDF". (Intensité-Durée-Fréquence) qui quantifient l'influence du changement climatique sur le régime pluviométrique extrême de la zone d'intérêt.

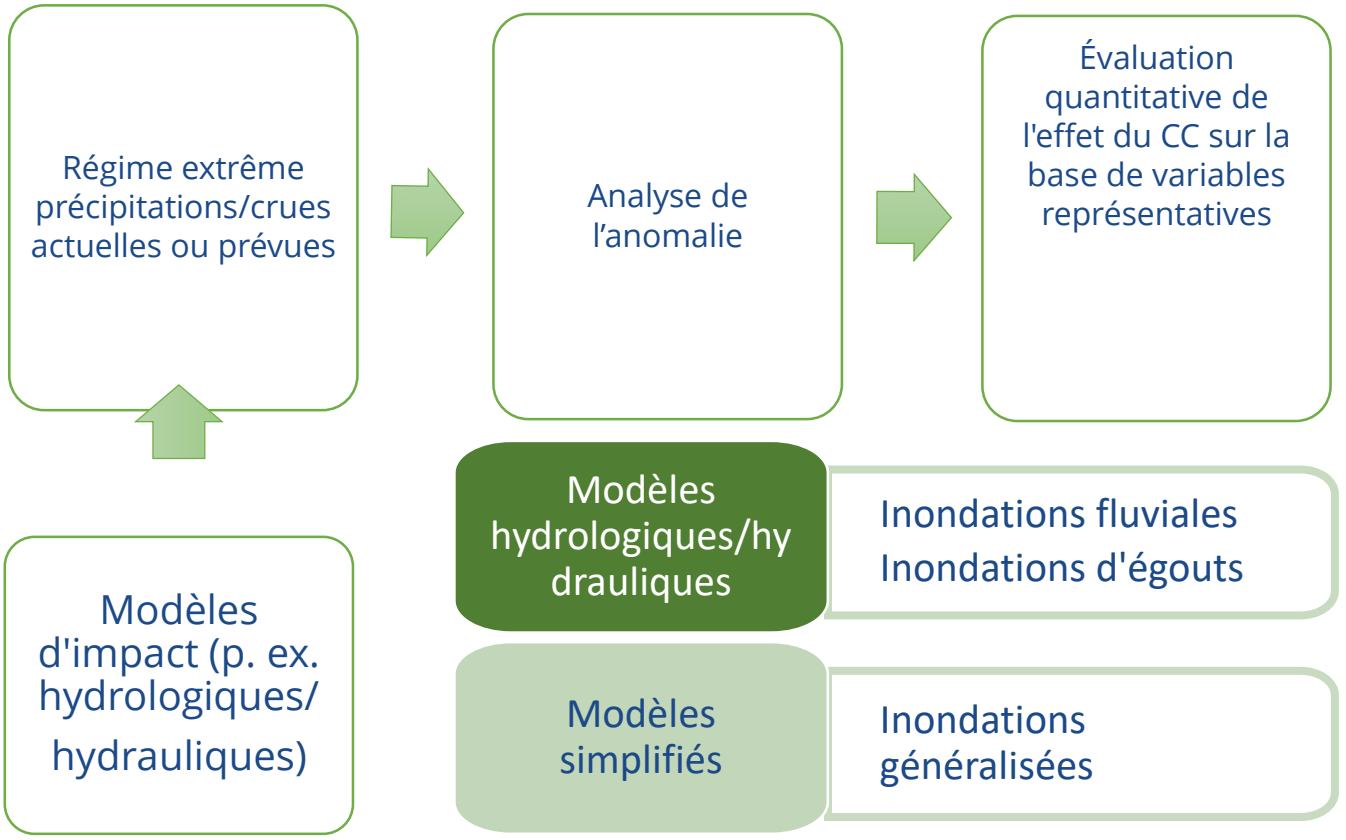
Régime pluviométrique extrême actuel → Analyse de l'anomalie → Évaluation quantitative de l'effet des CC avec proxy



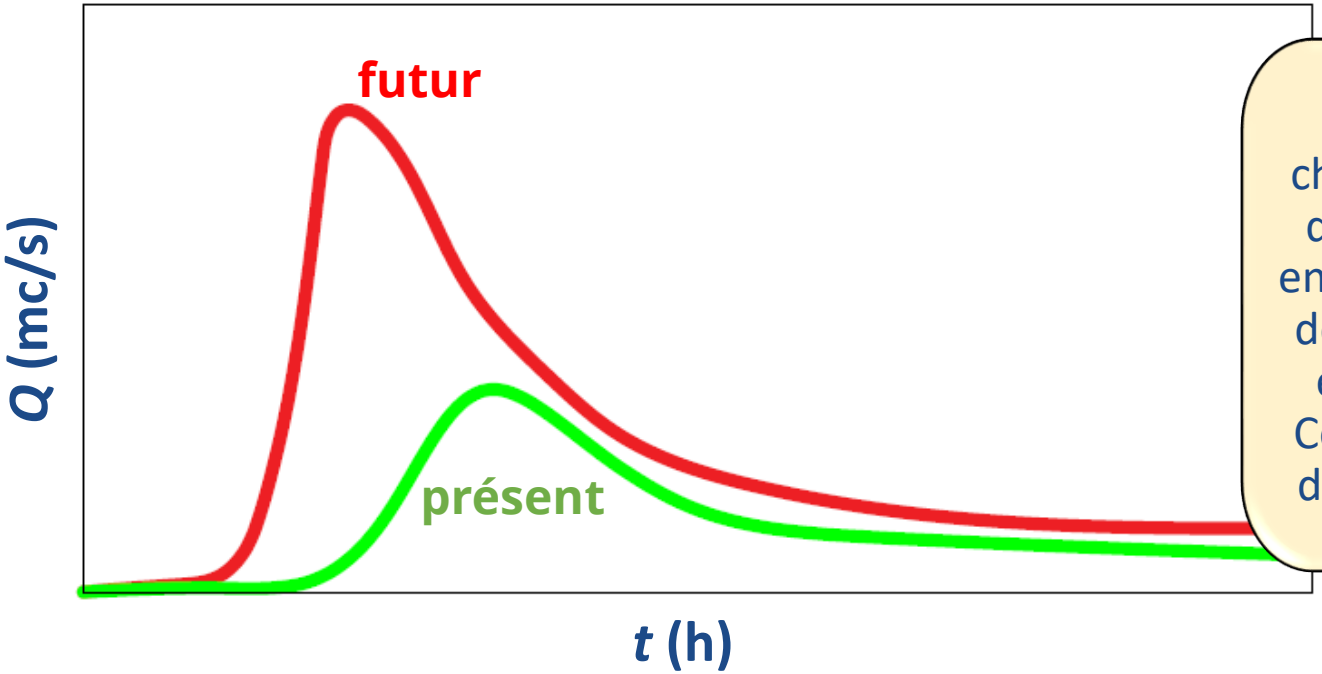
LE RÔLE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Niveau maximum de détail

Utilisation de modèles physiques capables de reproduire la propagation des effets du changement climatique sur les inondations dans les zones concernées

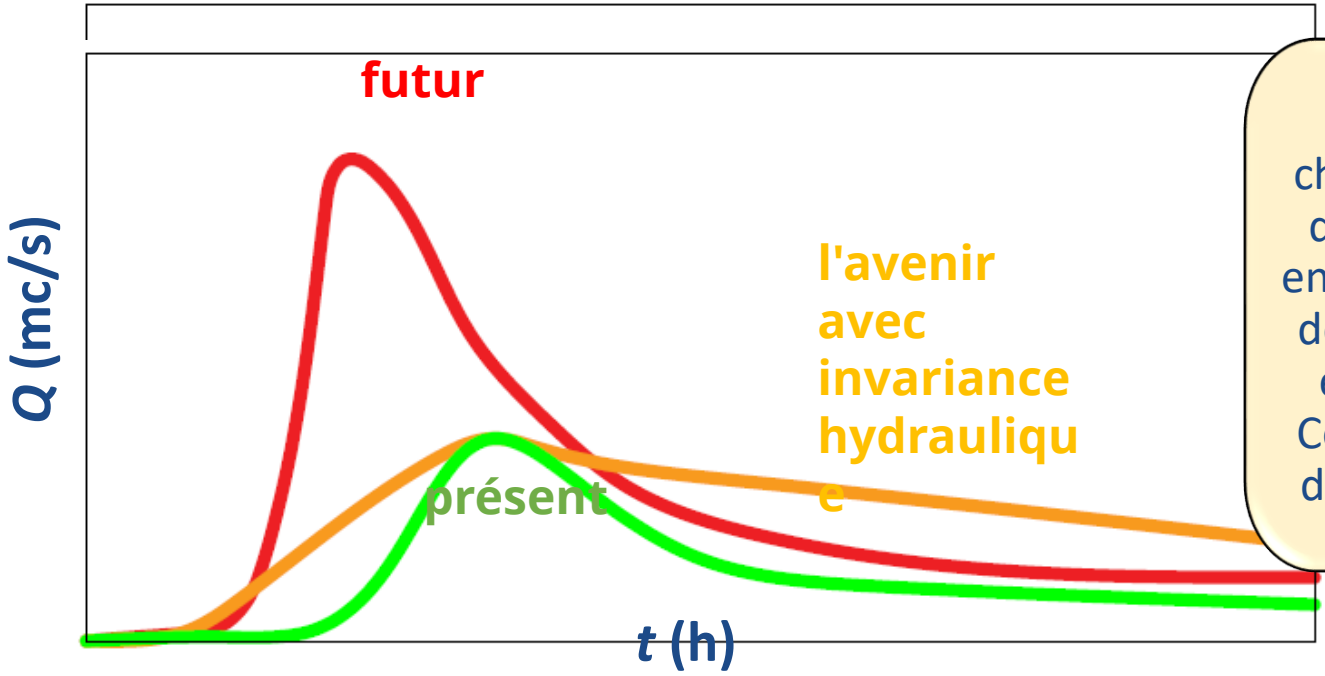


INONDATIONS URBAINES ET CHANGEMENTS FUTURS



L'effet combiné du changement climatique et de l'utilisation des terres entraîne une augmentation des volumes d'inondation et des débits de pointe. Cela implique la nécessité de mesures d'adaptation.

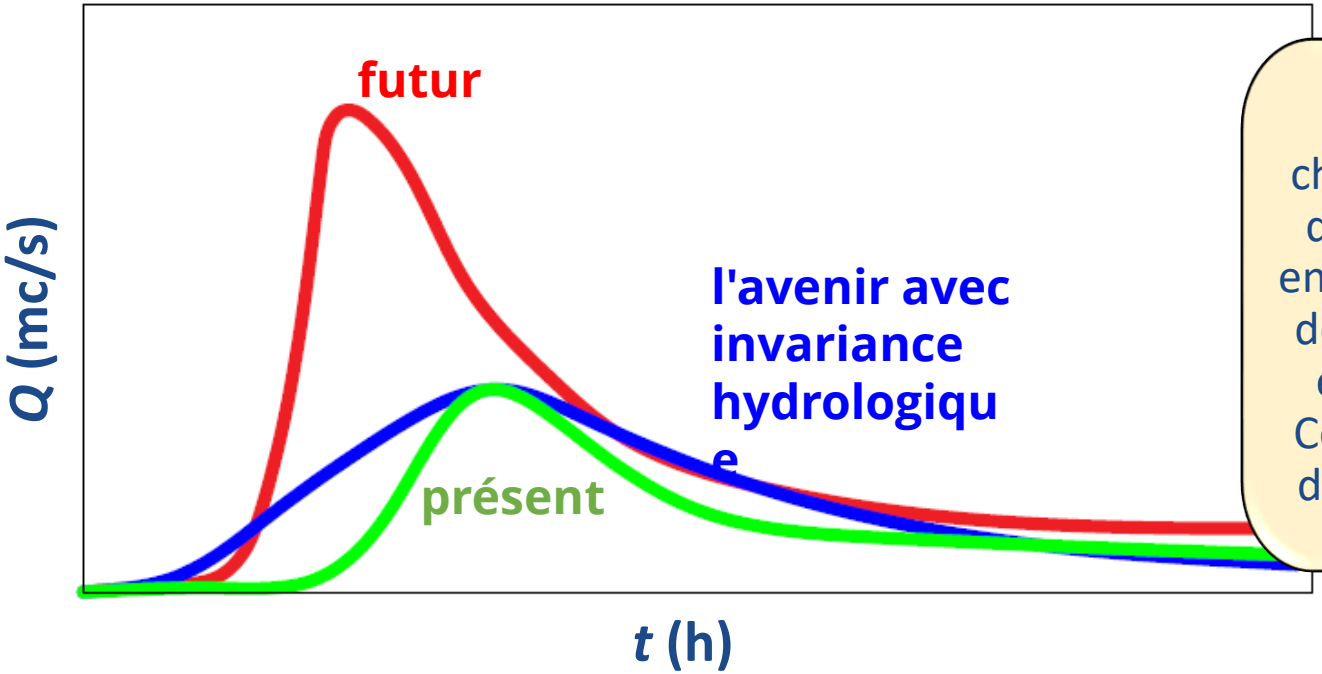
INONDATIONS URBAINES ET CHANGEMENTS FUTURS



L'effet combiné du changement climatique et de l'utilisation des terres entraîne une augmentation des volumes d'inondation et des débits de pointe. Cela implique la nécessité de mesures d'adaptation.

Invariance hydraulique : maintenir le débit au sommet d'une crue.

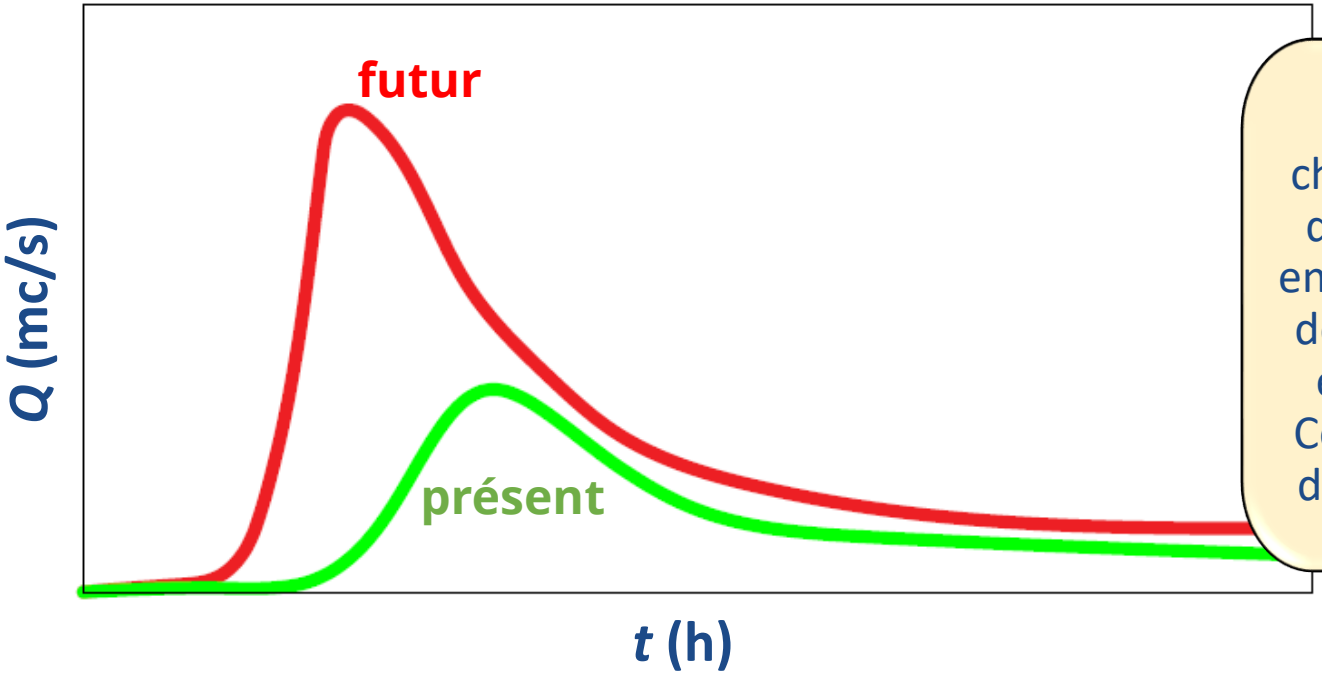
INONDATIONS URBAINES ET CHANGEMENTS FUTURS



L'effet combiné du changement climatique et de l'utilisation des terres entraîne une augmentation des volumes d'inondation et des débits de pointe. Cela implique la nécessité de mesures d'adaptation.

Invariance hydrologique : conservation du volume et de la crête d'inondation

INONDATIONS URBAINES ET CHANGEMENTS FUTURS



L'effet combiné du changement climatique et de l'utilisation des terres entraîne une augmentation des volumes d'inondation et des débits de pointe. Cela implique la nécessité de mesures d'adaptation.

LAMINATIONS

INFILTRATIONS

SOLUTIONS GRISES POUR L'ADAPTATION

EMPLACEMENT

Interventions concentrées

Les débits sortants sont gérés à l'intérieur du système de drainage (même à une distance considérable de leur point d'origine), ce qui réduit le nombre d'ouvrages de régulation situés dans le bassin.

Interventions généralisées

Les débits sortants sont stockés, traités ou dispersés près des surfaces sur lesquelles ils sont générés, avant qu'ils ne pénètrent dans le réseau de drainage.

EMPLACEMENT

Hors-ligne

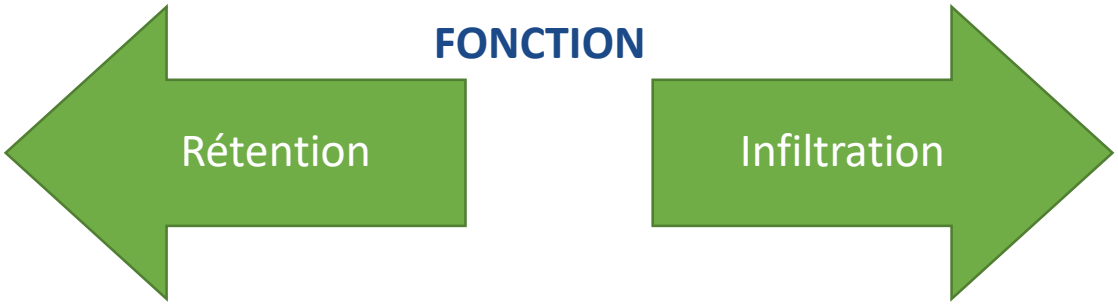
Ils interceptent une partie des débits sortants, en les excluant du système de drainage ; par temps sec, la structure n'est pas traversée par les débits.

En-ligne

Ils sont dimensionnés pour intercepter tous les débits sortants correspondant à l'événement du projet ; par temps sec, la structure est traversée par les débits

SOLUTIONS GRISES POUR L'ADAPTATION

FONCTION



Il s'agit le plus souvent de mesures concentrées, c'est-à-dire ponctuelles, qui nécessitent un espace considérable, car leur but principal est de stocker les volumes d'inondations à travers les réservoirs et les bassins artificiels.

Si les eaux sortantes sont temporairement accumulées puis progressivement rejetées dans le système de drainage, on parle de détention ; si, par contre, les eaux sortantes sont gardées pendant une longue période pour être utilisées à des fins récréatives, pour être réutilisées ou dispersées sous terre, on parle alors de rétention.

Ces interventions ont pour but principal d'enlever l'eau de ruissellement, favorisant ainsi la composante d'infiltration. Ils sont pour la plupart très répandus et d'extension variable.

SOLUTIONS GRISES POUR L'ADAPTATION

FONCTION

Rétention

Il s'agit le plus souvent de mesures concentrées, c'est-à-dire ponctuelles, qui nécessitent d'un espace considérable, car leur but principal est de stocker les volumes d'inondations à travers les réservoirs et les bassins artificiels.

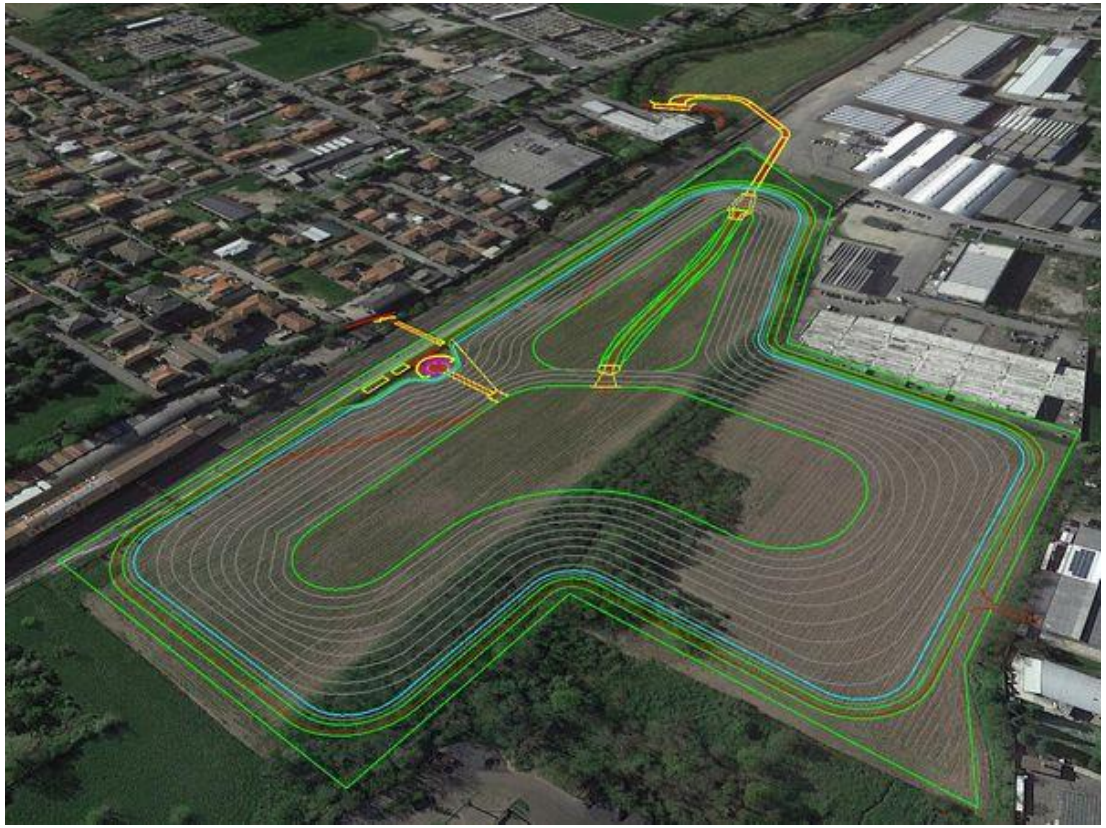
Si les eaux sortantes sont temporairement accumulées puis progressivement rejetées dans le système de drainage, on parle de détention ; si, par contre, les eaux sortantes sont gardées pendant une longue période pour être utilisées à des fins récréatives, pour être réutilisées ou dispersées sous terre, on parle alors de rétention.

Infiltration

Ces interventions ont pour but principal d'enlever l'eau de ruissellement, favorisant ainsi la composante d'infiltration. Ils sont pour la plupart très répandus et d'extension variable.

- **Cuves de rétention en surface ;**
- **Cuves de détention souterrains ;**
- **Bassins de rétention ;**
- **Sols drainants.**

BASSINS DE RÉTENTION DE SURFACE



Source: *http://www.ilnuovocantiere.it/il-caso-pilota-del-progetto-seveso/*

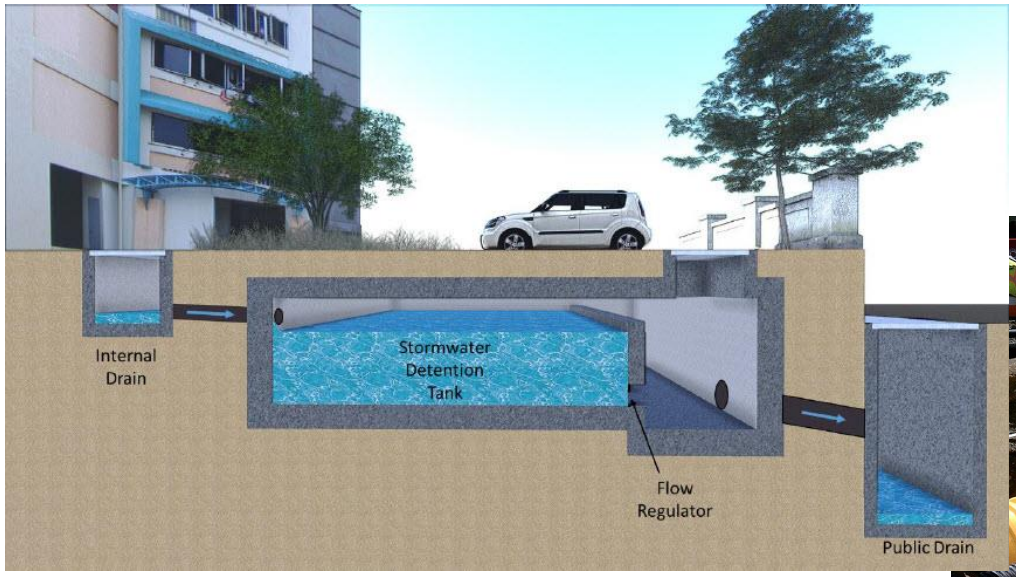
Source: *The CIRIA SuDS Manual*, 2015.
Courtesy Abertay University

BASSINS DE RÉTENTION DE SURFACE

Source: *https://www.lemoniteur.fr/article/rotterdam-watersquare-benthemplein-un-parc-urbain-qui-se-joue-de-la-pluie.1405184*

BASSINS DE RÉTENTION SOUTERRAINS

- En général, ils ne sont conçus que pour la fonction de contrôle des crues car toute sédimentation entraînerait des coûts élevés pour le nettoyage du réservoir (difficulté d'accès) ;
- S'ils sont bien conçus, ces systèmes peuvent également être installés sous les routes ou les espaces ouverts soumis à une circulation automobile intense.



Source: *http://pearl-kb.hydro.ntua.gr/*

Source: *https://bit.ly/2CIDwxA*

BASSINS DE RÉTENTION SOUTERRAINS

Il s'agit de bassins obtenus à partir d'une dépression naturelle ou artificielle du sol et de structures conçues pour intercepter d'abord l'eau de pluie, la retenir pendant de longues périodes, puis la libérer lentement par infiltration et évaporation.

Bien que, du point de vue de la durabilité, ces travaux soient généralement réalisés sous forme d'infrastructures vertes, la composante grise peut encore être importante pour la réalisation du bassin, à condition que la possibilité de dispersion des eaux collectées dans le sol soit garantie.

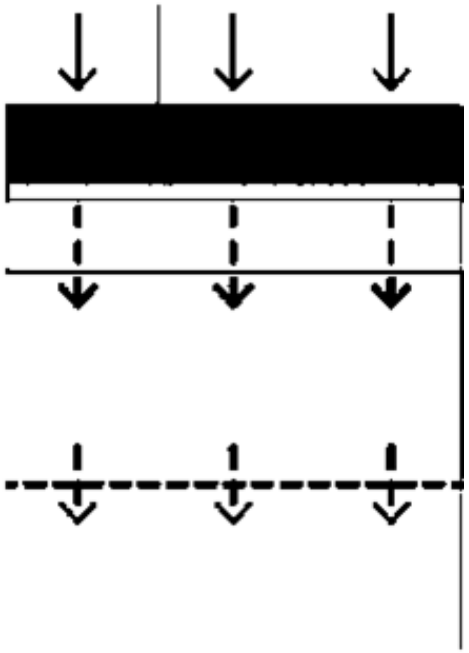
Source: *https://www.foth.com/second-street-detention-basin/*

En combinaison avec le capital naturel, les bassins de rétention sont parmi les interventions les plus efficaces pour l'élimination des contaminants des eaux des réservoirs par des processus de phytodépuration et de sédimentation.

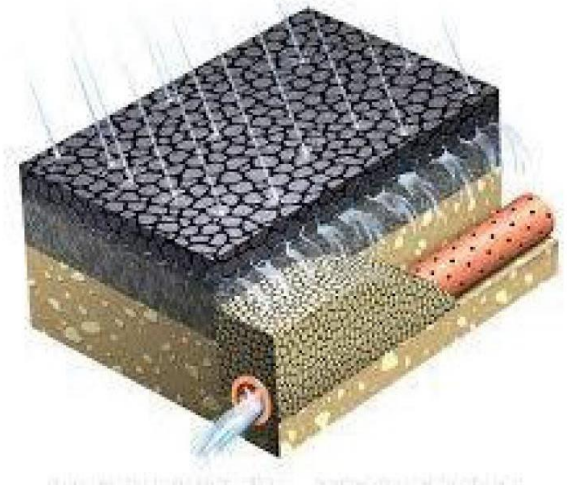
SOLS DRAINANTS

lls sont généralement limités aux routes piétonnes et/ou aux trottoirs, en raison de leur faible robustesse face à une circulation intense.

- **Sols poreux :** ils sont constitués de matériaux, généralement de l'asphalte et/ou du béton, qui permettent le passage de l'eau grâce à la présence de matériaux inertes grossiers.



Asphalte poreux



Source: *https://bit.ly/2Y9kUz7*

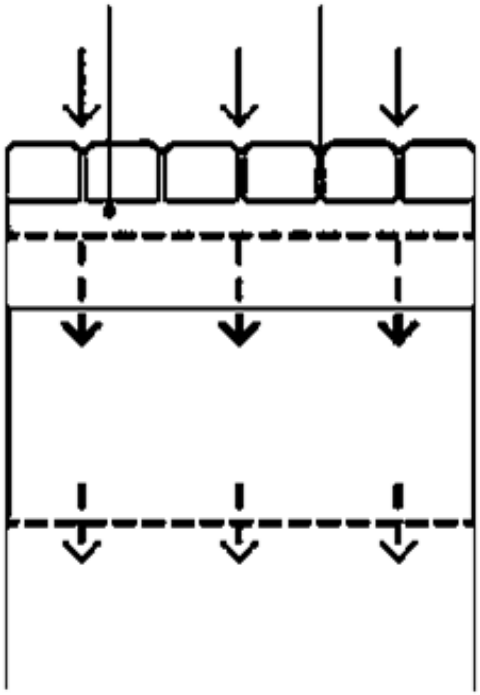
Béton poreux

Source: *www.ingenio-web.it*

SOLS DRAINANTS

lls sont généralement limités aux routes piétonnes et/ou aux trottoirs, en raison de leur faible robustesse face à une circulation intense.

- **Sols perméables :** ils sont réalisés avec des éléments préfabriqués avec des ouvertures pour le passage de l'eau ou combinés avec des joints non scellés.



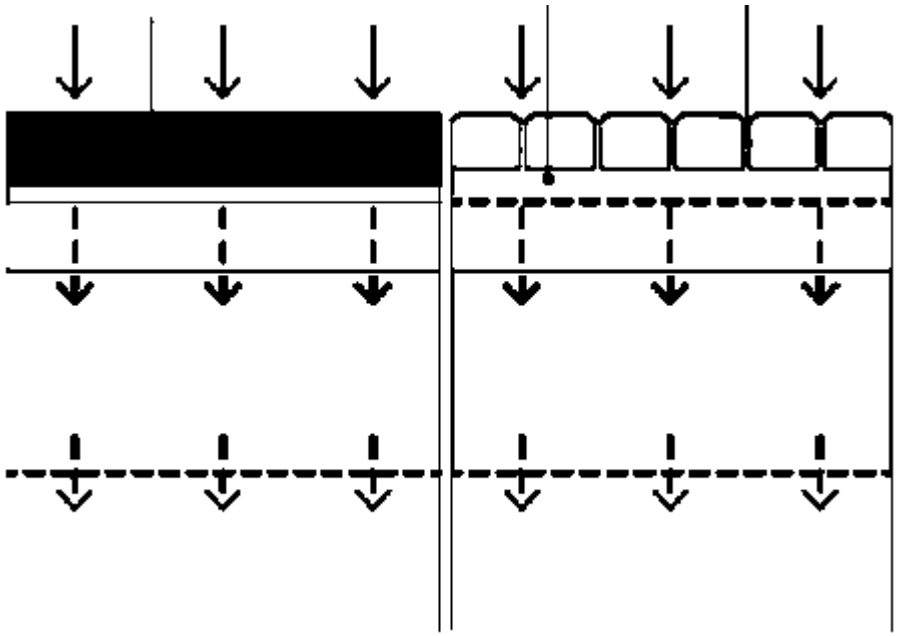
Source: *Nassau County Soil & Water Conservation District*

Source: *EPA, University of Connecticut*

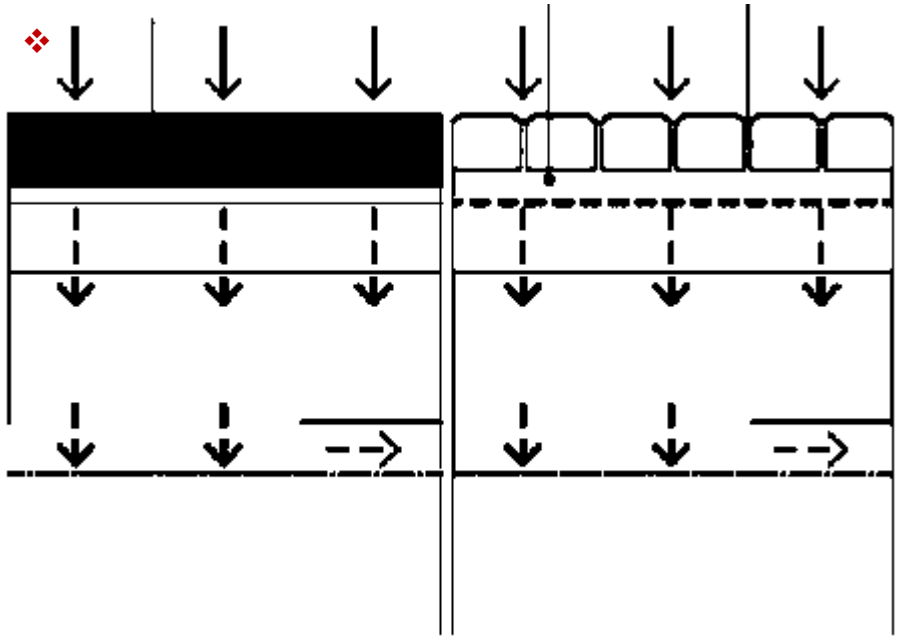
SOLS DRAINANTS

La fonction de l'infrastructure et la structure de l'ensemble dépendent des caractéristiques du terrain ci-dessous :

- **Sols perméables :** le revêtement de sol agit comme un vecteur des débits infiltrés et comme un filtre contre les polluants.
-



- **Sols peu perméables** : le revêtement de sol a pour fonction l'accumulation temporaire d'eau infiltrée, qui est ensuite retournée au système de drainage directement raccordé au réseau d'égouts ou au corps récepteur.



INFRASTRUCTURES GRISES : AVANTAGES VS INCONVÉNIENTS

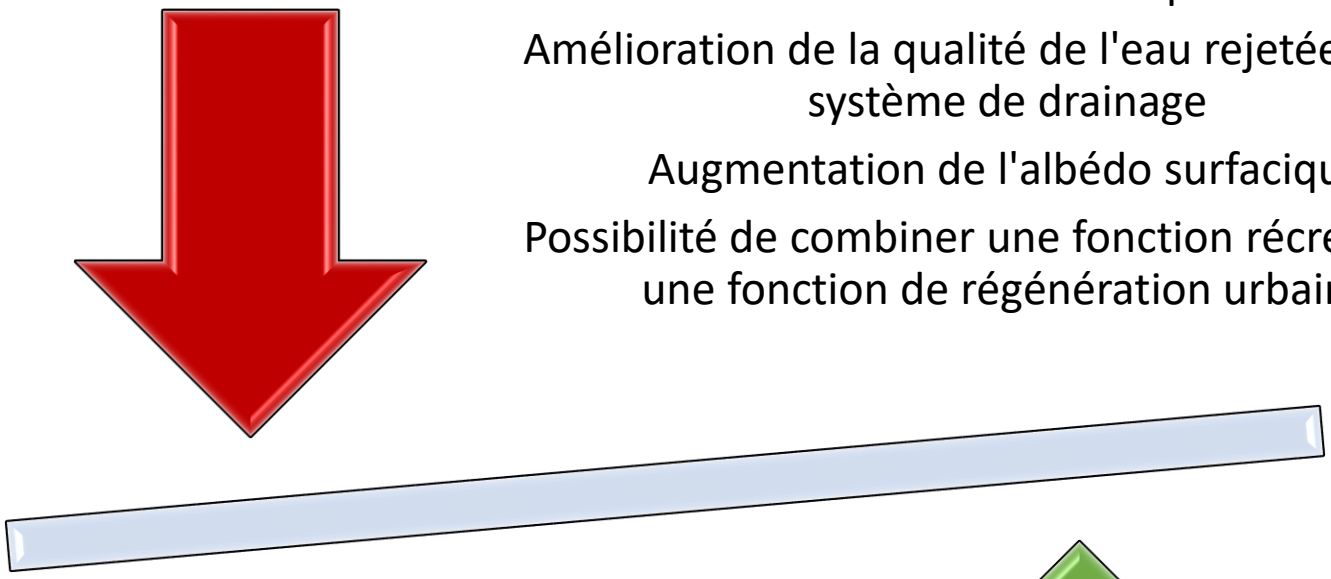
Réduction du volume de débit

Réduction du débit de pointe

Amélioration de la qualité de l'eau rejetée dans le système de drainage

Augmentation de l'albédo surfacique

Possibilité de combiner une fonction récréative et une fonction de régénération urbaine



Coûts d'installation élevés

Tendance au colmatage

Pollution possible des eaux souterraines

Nécessité de la récupération et du traitement des sédiments collectés

INFRASTRUCTURES GRISES : AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Riduzione del volume di deflusso

Riduzione della portata di picco (detenzione locale)

Miglioramento della qualità delle acque immesse

va e di

Contraintes à la réalisation :

Qualité des eaux pluviales non compatible avec la protection des eaux souterraines (eaux de ruissellement des routes) ;

Sols à faible capacité d'infiltration (si avec fond dispersant) ;

Niveaux élevés d'eau souterraine ;

Risque d'instabilité des fondations des bâtiments et des ouvrages.

Necessità di recupero e trattamento dei sedimenti raccolti

Merci pour l’attention

www.interreg-maritime.eu/adapt