

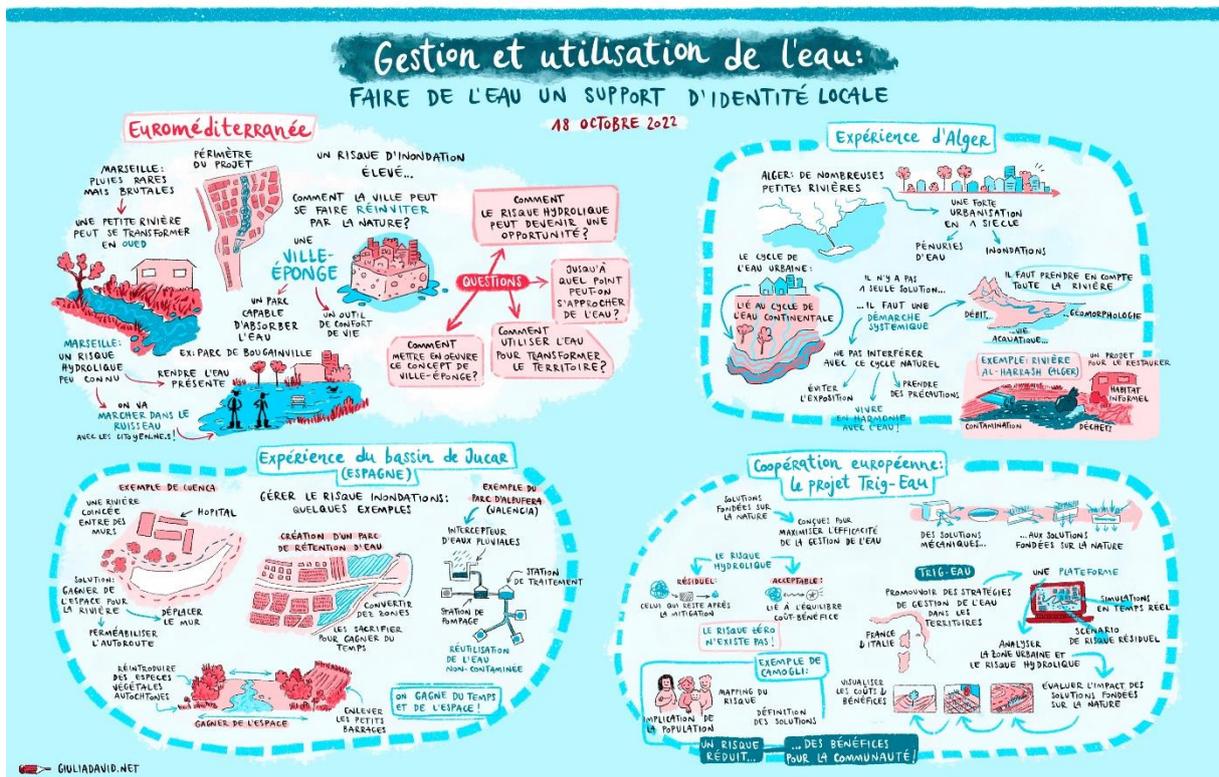
WEBINAIRES AVITEM-EUROMEDITERRANEE

#6 : Gestion et utilisation de l'eau : faire de l'eau un support d'identité locale

18 octobre 2022



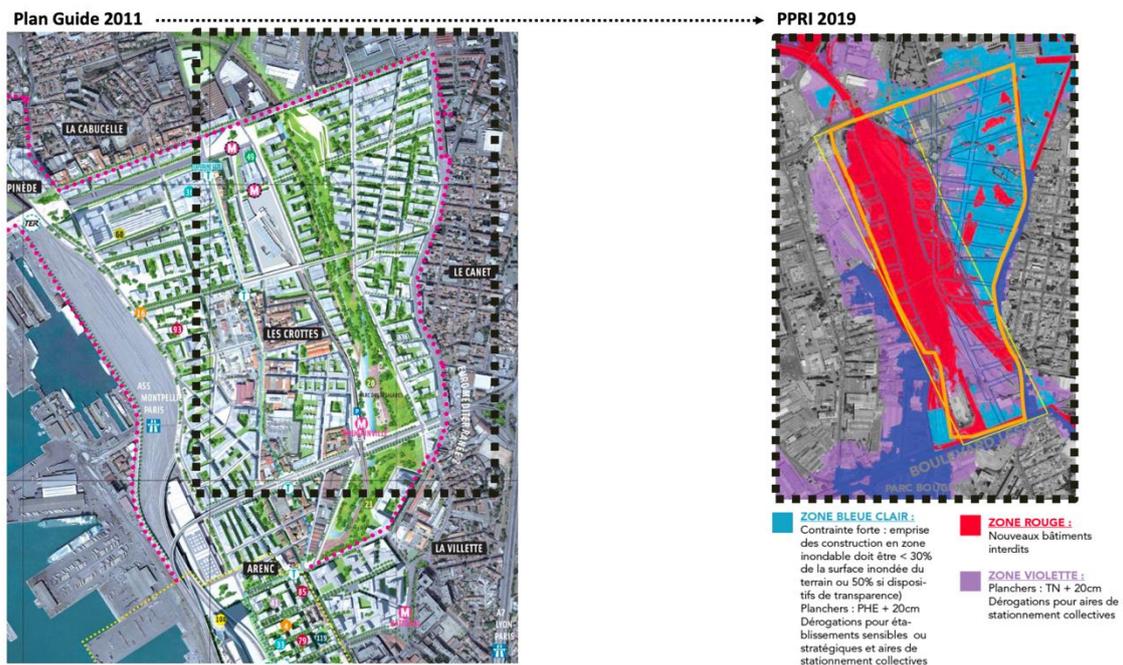
REGARDS CROISÉS ENTRE ACTEURS DE LA VILLE MÉDITERRANÉENNE



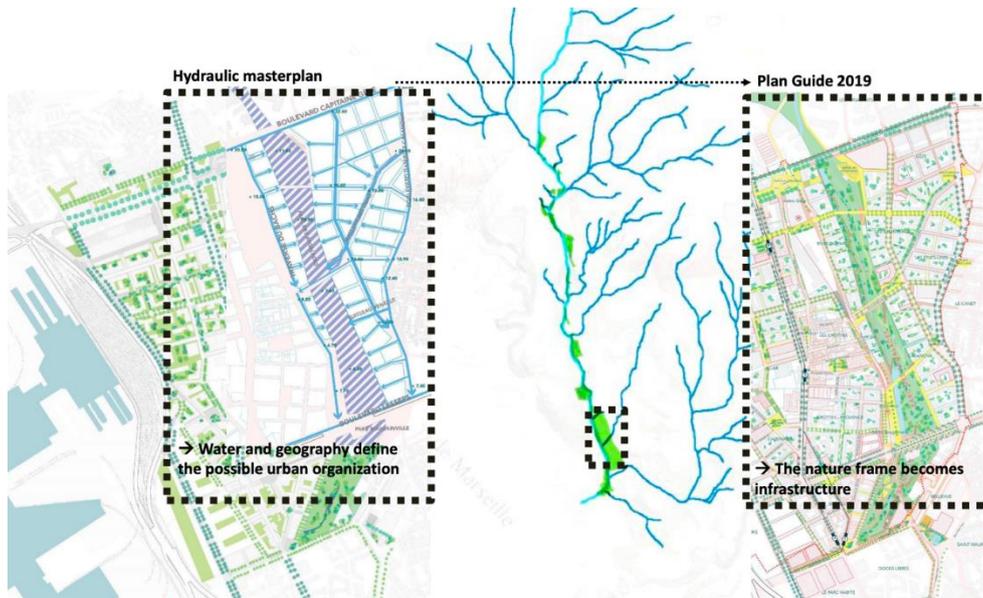
- Page 2 : Charles André – Responsable du développement urbain et de l'architecture ; EPA Euroméditerranée
- Page 7 : Marc Garcia Manzana – Secrétaire général de l'IME, Commissaire de l'eau ; Confédération hydrographique du Júcar
- Page 11 : Najet Aroua – Docteure en Architecture, Urbanisme et Environnement ; LaCoMoFa; UNIVERSITÉ DE BISKRA
- Page 17 : Ilaria Gnecco – Docteure en génie civil et environnemental ; Université de Gênes | UNIGE - Département d'ingénierie civile, chimique et environnementale (DICCA)

Charles André – Responsable du développement urbain et de l'architecture ; EPA Euroméditerranée

Faire la ville avec l'eau est une question importante sur le territoire. Euroméditerranée couvre 480 hectares de projets de rénovation urbaine à Marseille, ville où le régime climatique peut être très brutal sur de courtes périodes. S'y trouve un « risque d'oued », une petite rivière peut devenir énorme et tout arracher sur son passage.



Le Plan Guide (PG) de 2011 est un projet d'extension de la ville sur des territoires industriels arrières portuaires. Organisé dans les années 1960, le développement urbain se préoccupait alors peu des contraintes géographiques. Le PG y répond avec un développement adapté, comprenant des logements, des bureaux, un parc déjà pensé pour être légèrement inondable et toute une armature urbaine. En 2019 sont mis en place les plans de préventions des risques d'inondation (PPRI), une servitude qui s'applique aux territoires et prévaut sur tout le reste et classe le territoire en différentes zones de risque. Le schéma ci-dessus montre en rouge les zones à risque où il est impossible de construire, en bleu les territoires très contraints qui entraînent des réductions importantes voire des impossibilités pour certains programmes du type ERP (Établissement recevant du public, comme les écoles). Dès lors, comment construire une ville sur ces zones-ci ? Il n'est plus possible de la construire telle qu'elle a été imaginée. Il faut donc voir comment la ville peut se réinventer au regard des contraintes naturelles. Le risque nous contraint à reprendre conscience de notre positionnement dans notre géographie, à réintroduire des pratiques oubliées.

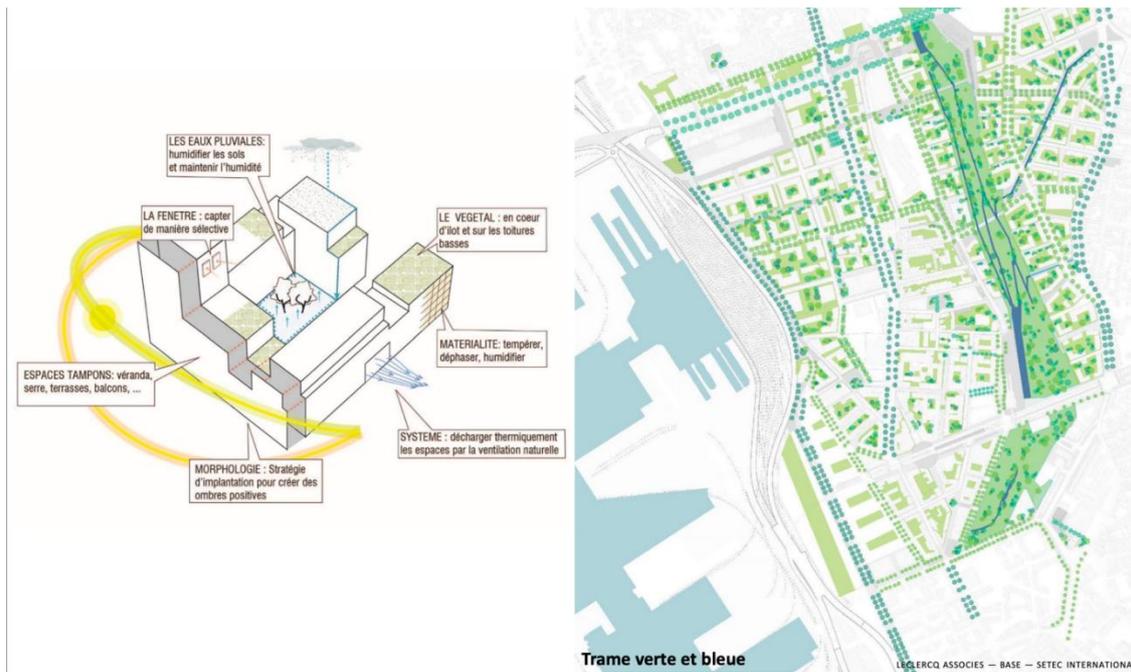


À gauche, un plan stratégique hydraulique définit les flux, avec un parc inondable -un petit ruisseau affluent a été redécouvert à cette occasion. Il a ensuite été regardé comment pouvait fonctionner le territoire par une disposition de flux, en imaginant que cette structure hydraulique puisse donner naissance à une planification de grands territoires paysagers, que ces paysages soient naturels, urbains, fait de rues sèches ou inondables...

La ville doit se faire réinviter par la nature tout en devenant un instrument. C'est une réelle confrontation idéologique. On construit en zone rouge où l'on ne devrait normalement pas y mettre les pieds. Se faire adopter par le territoire entraîne une nécessité de contribuer positivement à son fonctionnement. L'idée est donc de travailler cette ville de sorte qu'elle devienne un instrument hydraulique et que toute son épaisseur contribue à la gestion de l'eau. C'est le concept de la ville-éponge : la goutte tombe sur la ville épaisse, passe par toutes les strates de la ville, non pas pour arriver à la mer, qui est proche, mais pour être capturée et utilisée par le végétal, pour être évapotranspirée, pour être un véritable outil de confort de vie pour les habitants.

L'eau et le risque qu'elle représente insufflent toute une nouvelle dimension et un enrichissement dans le projet urbain, du point de vue de la morphologie mais aussi du point de vue des usages : que faire des espaces inondables en pleine ville, accessibles en métro ? Cela prend également en compte l'aspect social, tout le monde aura un peu d'espace vert, quitte à mettre des bottes certains jours pour sortir de chez soi.

À l'embouchure du dispositif, l'enjeu est que ce parc s'étendant sur une surface de 14 à 25 hectares puisse irradier dans la dynamique créée sur l'ensemble du bassin versant. Au-delà des limites, comment ce bassin versant, dont le schéma montre les limites administratives et les nombreux opérateurs, peut-il relier une vision collective sur le territoire au profit d'une mise en valeur de l'ensemble du vallon ?

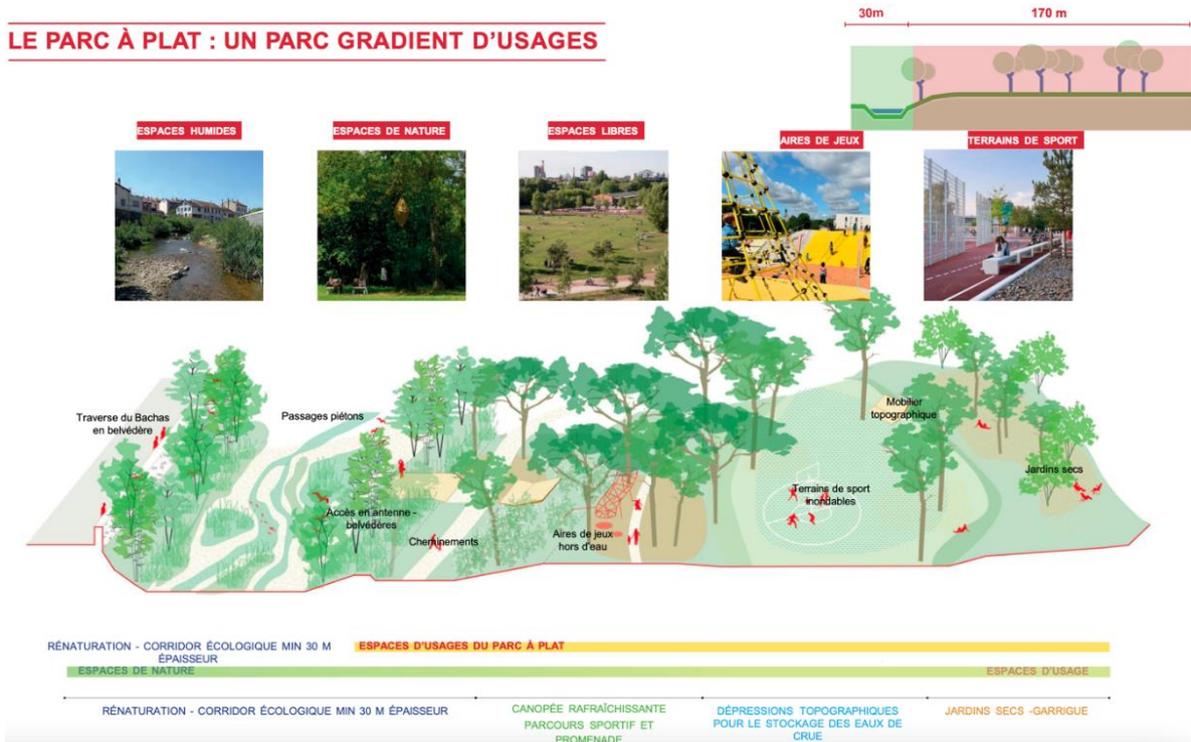


Ces plans s'enrichissent énormément. Un partenariat avec l'Agence de l'eau finance une partie des ouvrages.



Euroméditerranée travaille sur les deux exemples pour voir comment le risque hydraulique génère par lui-même une physionomie future différente du grand parc précité en fonction du type de gestion de l'eau. Ici prend place une gestion traditionnelle par écoulement avec un paysage assez infrastructuré d'un point de vue hydraulique. Il a été pris le parti de faire un parc plus plat qui utilise le débordement comme un fait géographique et urbain. Les coûts sont moindres et c'est beaucoup plus durable. Aujourd'hui, la logique hydraulique nous a fait passer d'un parc en creux assez réduit à un parc plus large. Le risque de pluie nous a poussé à agrandir le parc.

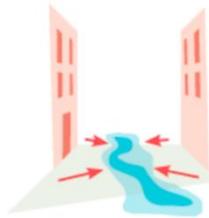
LE PARC À PLAT : UN PARC GRADIENT D'USAGES



Le schéma ci-dessus montre une coupe du parc dont la surlargeur permet d'avoir confortablement une mise en place, un retour de la nature en ville avec un corridor écologique, ainsi que des activités liées à l'homme qui, elles, prendront place dans des secteurs inondables, potentiellement des grandes-prairies inondables. Dans le parc de Bougainville, Euroméditerranée s'attache à remettre en valeur le ruisseau. Auparavant oublié, il redevient un être vivant du territoire.



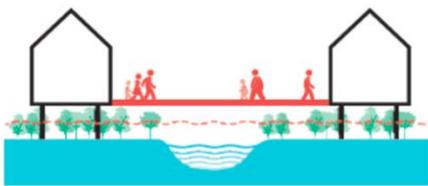
identifier un point de refuge dans le quartier



Contrôler le comportement de l'inondation dans les espaces publics



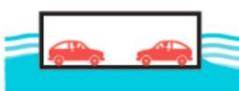
assurer les circulations douces



Construction sur pilotis



Construction sur socle remblais



étancher les parkings



des matériaux adaptés résistants à l'eau

Quelques dispositifs travaillent à contextualiser les formes urbaines, y compris des habitations sur pilotis. Comment imaginer des rez-de-chaussée inondables ? Qu'y fait-on ? Ces réflexions viennent enrichir à la fois la forme et les usages.



À travers le parc de Bougainville transparait les prémices de tout un dispositif végétal hydraulique.

Pierre Massis : Lors de la préparation du webinaire, il avait été question d'une identité de la ville face à l'eau, élément très présent notamment dans les villes côtières (eaux maritimes, flux maritimes, etc.) La Méditerranée amène des précipitations extrêmement denses, brutales et souvent inattendues. Heureusement, la météo nous en alerte. Pourrais-tu parler de cette identité hydraulique de Marseille ?

Charles André : L'eau est arrivée dans la ville de Marseille, territoire alors aride, à la fin du XIXe siècle. L'eau a été amenée et domptée par irrigation par le canal de Provence qui descend des Alpes. Cette eau a été célébrée au XIXe siècle, par exemple avec un grand palais de l'eau : le Palais Longchamp. Il y a une culture de l'eau qui est celle de l'eau d'irrigation, qui a permis au territoire de devenir agricole. Malgré quelques fontaines, il n'y a pas une culture de l'eau très forte, comme dans le reste de la Provence. La question de l'eau en tant que risque est très méconnue et peu vécue car le risque est très localisé. Il est étonnant de constater que si l'eau est un élément culturel important en Provence, il ne l'est pas tant que ça à Marseille. Euroméditerranée essaie de faire ressortir l'eau partout dans ses projets, en faisant en sorte qu'elle passe moins rapidement qu'elle n'en a l'habitude. Elle réémerge dans de nombreux dispositifs tels que des dispositifs d'arrosage aériens qui sont en train d'être mis en place dans plusieurs quartiers où les arrosages par tube vieillissent assez mal.

Concernant la captation d'eau, il va y avoir des noues paysagères implantées sur l'ensemble des nouveaux espaces publics qui vont créer des grands châtelets d'espaces verts, avec une certaine topographie. Cela permet entre autres de cheminer le long de ces noues.

L'ambition est de faire du ruisseau qui remonte le long des Ayalades jusqu'à l'Etoile le fil d'Ariane un éventuel chemin de randonnée menant jusqu'au collines. Le long de ce fil d'Ariane sont mis en place des relais nature, c'est-à-dire des petits équipements publics qui permettent de partager les enjeux de la nature pour toutes les générations, à la fois pour les enfants mais

aussi pour les parents le week-end. C'est une manière de réintroduire la question de la nature et de l'eau dans la vie des gens.

Dans une projection plus immédiate -le projet sera mené d'ici 2028- sont mis en place des concertations marchées le long du ruisseau. Chaussés de bottes, les habitants, les élus et les faiseurs de projets marchent dans le ruisseau afin de se faire une culture collective de ce ruisseau qui a été complètement rayé de la carte un temps donné, malgré sa grande valeur aussi bien paysagère qu'économique. Redécouvrir cela avec la population permet également de capter leurs avis et leurs rêves afin qu'ils puissent atterrir dans le futur parc des Aygalades, qu'on le fasse avec eux, avec notamment des phases d'aménagement provisoire. Sont mises en place des concertations partagées sur le parc, de façon à ce que la contribution collective nourrisse considérablement cet imaginaire sur l'eau et la nature dans le parc. Nous essayons de fabriquer une identité forte et de la partager avec des habitants.

Pierre Massis : Cette identité est vraiment une identité d'eau douce, pas tellement maritime en fin de compte. Il est intéressant de s'interroger sur les liens avec les agences de bassin, leur rôle, leur fonctionnement, comment elles permettent de faire réagir les paysages et de réduire le risque hydraulique tout en optimisant les ressources.



Marc Garcia Manzana – Secrétaire général de l'IME, Commissaire de l'eau ; Confédération hydrographique du Júcar

Il existe en Espagne une longue tradition avec les agences de bassin. La plus ancienne, celle de l'Èbre, est âgée de plus de 100 ans. C'est peut-être à cause de la rareté de l'eau en Espagne depuis plus d'un siècle que les gens devaient s'organiser autour de la rivière pour répartir l'eau. De nos jours, il y a plus de fonctions : celles de la police de l'eau, qui donne des droits sur l'eau, des droits pour les déversements dans la rivière après avoir traité l'eau, mais aussi sur les grands ouvrages de l'État, c'est-à-dire les canaux des grandes stations de pompage et surtout les grands barrages. Ainsi s'organise la gestion de l'eau en Espagne à travers les agences de bassin, et ce, avec un double objectif : le premier est de satisfaire la demande, tandis que le deuxième est d'accomplir les objectifs environnementaux qui déterminent la directive cadre.

La gestion moderne des inondations se fait à différentes échelles. Je parlerai ici de l'échelle étatique. Il y a également en Espagne une longue tradition concernant les inondations, de plus en plus fréquentes même en Méditerranée. Le contexte de changement climatique se traduit par un accroissement d'événements extrêmes de plus en plus sévères et fréquents. Il y a chaque fois plus d'inondations, chaque fois plus de sécheresse. L'Espagne est l'un des pays avec le plus grand nombre de barrages au monde. Ils aident à réguler les inondations grâce à l'espace vide fait pour accueillir le grand débit de l'eau avant de la relâcher doucement.

Sont recherchées de nouvelles solutions pour être résilients face aux inondations. De manière concrète, il a été constaté deux types d'expérience dans le bassin du Júcar : les deux

premières solutions sont plus ou moins dures, tandis que les deux autres sont fondées sur la nature.



La première belle prend place à Cuenca, une ville qui, bien que non-méditerranéenne, appartient à un bassin méditerranéen avec un climat méditerranéen. Sur le schéma, la zone bleue situe une inondation avec une période de retour de 25 ans. Les périodes de retour sont habituellement de 100 ou 500 ans, mais il y avait déjà un problème : la rivière était coincée entre des murs qui ont été immergés. Un hôpital, une caserne de pompiers, une boire¹ se sont retrouvés inondés. Il a fallu gagner de l'espace pour la rivière dans un milieu urbain, ce qui ne laissait que peu de mètres carrés. Le mur original a donc été déplacé, ce qui a permis de gagner beaucoup d'espace. De ce fait, les inondations suivantes ont laissé indemnes l'hôpital, la caserne des pompiers et la boire.



Cette manière de gagner de l'espace est toutefois limitée. Un deuxième problème a été rencontré avec l'autoroute qui fait office de barrage. Lorsque l'autoroute a été construite, nous ne pensions pas qu'elle produirait cet effet barrage. L'eau rentrait et ne pouvait s'écouler que par un petit pont. Alors l'eau remontait et inondait l'hôpital. En plus du déplacement du mur, a été menée la perméabilisation de l'autoroute en créant deux ouvertures. Perméabiliser des infrastructures linéaires existantes sur le terrain a permis de convertir cette zone récréative en une zone récréative inondable.

¹ Sorte de petit étang ou de grande mare (petite baie peu profonde), située dans les parties basses du lit de la Loire.

Ces aménagements nécessitent un long dialogue avec la mairie pour expliquer qu'il y a des zones qu'il faut sacrifier. En sacrifiant un parc – dont l'inondation ne représentait pas un grand coût pour la mairie, l'autoroute auparavant fermée lors des inondations peut aujourd'hui autoriser les voitures à circuler. Cette première expérience réussie qui a permis de traduire la théorie dans la pratique est en train d'être répliquée ailleurs.



Ci-dessus se trouve une petite rivière entrant dans une zone entièrement industrielle. La zone verte représente la crue décennale tandis que la zone jaune représente la crue centennale. Après un dialogue avec la mairie pour exproprier des zones et en rendre certaines sacrificables, le projet a pu être lancé.

Pour faire face à des inondations avec une période de retour de cent ans, il faut mettre des grands barrages. En passant d'un risque d'inondation de cinq à cent ans, nous gagnons beaucoup avec peu d'argent, puisqu'il s'agit surtout de convertir des zones déjà dégradées pour créer des inondations artificielles. Mais créer des barrages implique la prise en compte de coûts sociaux et environnementaux.

En revanche, pour lutter contre des inondations à court terme de 10 à 25 ans, il est possible de recourir à des solutions moins dures et plus rapides, aussi bien en milieu urbain que rural.



La philosophie est toujours la même : gagner de l'espace pour la rivière. Certaines zones sont complètement dégradées, plus encore à cause d'espèces invasives. Il est nécessaire de les enlever afin de revégétaliser avec des espèces natives méditerranéennes qui vont lutter naturellement contre les effets les plus dangereux des inondations, la vitesse.

Ont été mises en place des solutions vertes, au lieu d'en faire un canal, il a été décidé de reconverter cet ancien fleuve totalement dégradé avec des espèces naturelles luttant contre la vitesse des débits.



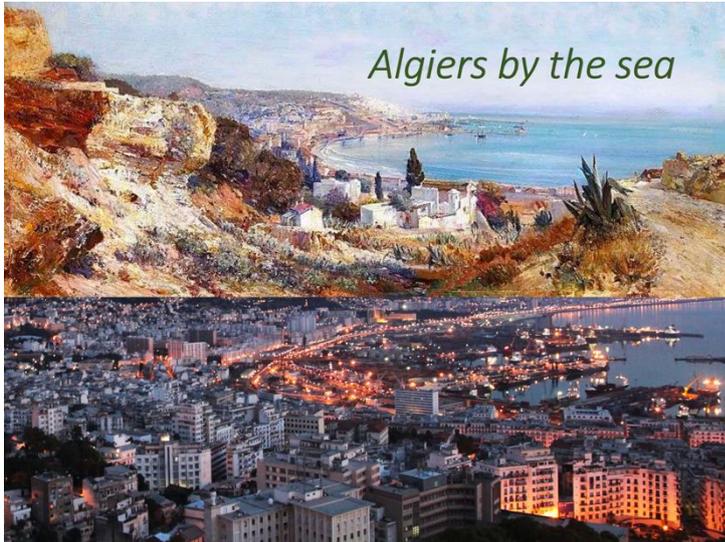
Se rencontre un autre problème dans nos rivières : les anciens barrages qui n'ont plus de fonction depuis bien longtemps. Les barrages sont bel et bien une solution contre les inondations à long terme, mais il est ici question des petits barrages, totalement colmatés. Puisqu'ils ne sont pas utilisés, ils ont été retirés afin de gagner de l'espace pour la rivière. Ce sont essentiellement des barrages pour les solides qui restent en haut du barrage et ne circulent pas dans les rivières.

De nos jours et dans un contexte de changement climatique et de sécheresse, d'autres solutions sont mises en place au regard des inondations grâce à une réutilisation de l'eau. L'eau noire et l'eau pluviale arrivent dans l'Albufera, ce qui pose de grands problèmes de contamination. Un intercepteur des eaux pluviales et eaux mélangées non traitées est donc en cours de construction. S'y ajouteront une nouvelle station de pompage et de traitement. De cette façon, le mélange des eaux pluviales et des eaux noires seront envoyées dans cette station de pompage et de traitement afin d'avoir une réutilisation de l'eau dans une zone agricole, car les agriculteurs n'ont pas suffisamment d'eau. Les rejets de bonne qualité pourraient être envoyés dans le lac de L'Albufera, tandis que les autres rejets contenant du phosphate seront envoyés par un nouveau collecteur directement dans la mer.

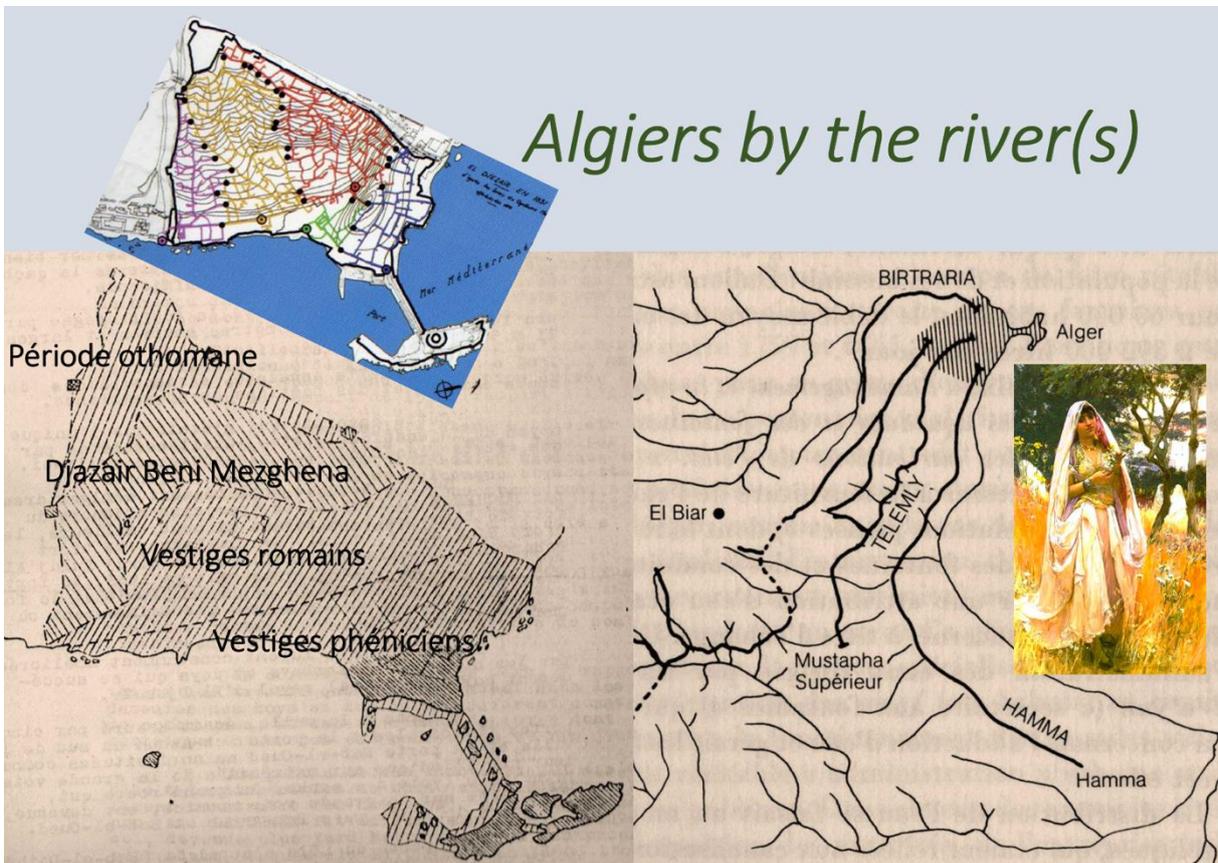
Pierre Massis : Il y a bel et bien une très ancienne expérience de l'agence de bassin d'une part, mais aussi de la ville de Valencia. Ces expériences témoignent d'une réelle capacité à gagner du temps et de l'espace face à des crues décennales et de quart de siècle. Les crues centennales sont encore très craintes, comme la crue de 1910 à Paris qui terrorise les Parisiens à l'idée d'une potentielle crue à venir. Des épisodes extrêmement brutaux, comme dans la Vallée de la Roya, surviennent encore et rien ne peut les arrêter.



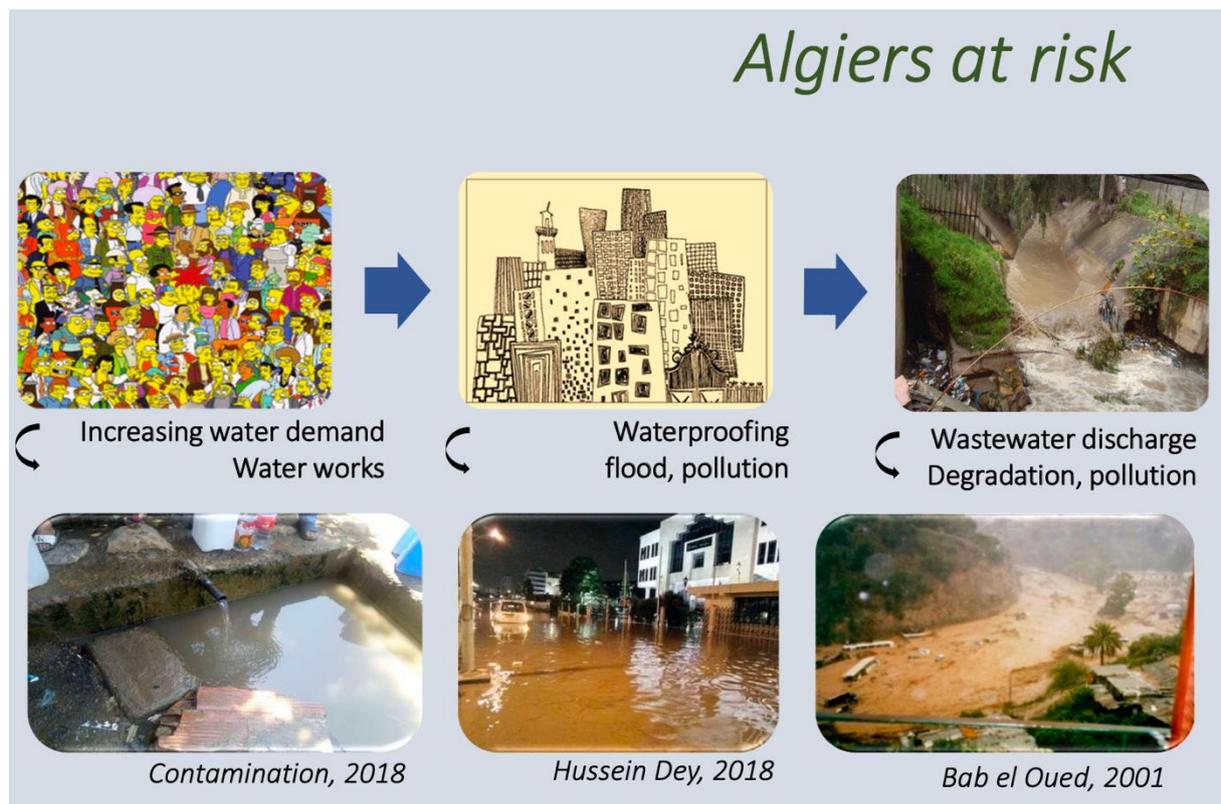
Najet Aroua – Docteure en Architecture, Urbanisme et Environnement ; LaCoMoFa; UNIVERSITÉ DE BISKRA



Bonjour à tous, je souhaiterais parler de ma ville natale, Alger, comme étude de cas de ville côtière méditerranéenne qui comptabilise de nombreux petits fleuves et rivières. Alger est souvent appelée Alger la Blanche, comme le montre ce tableau (image du haut) qui remonte au début du XIXe siècle, pas encore urbanisée, si ce n'est quelques résidences secondaires sur les collines. Un siècle plus tard, la ville est complètement urbanisée jusqu'à la plaine (image du bas).



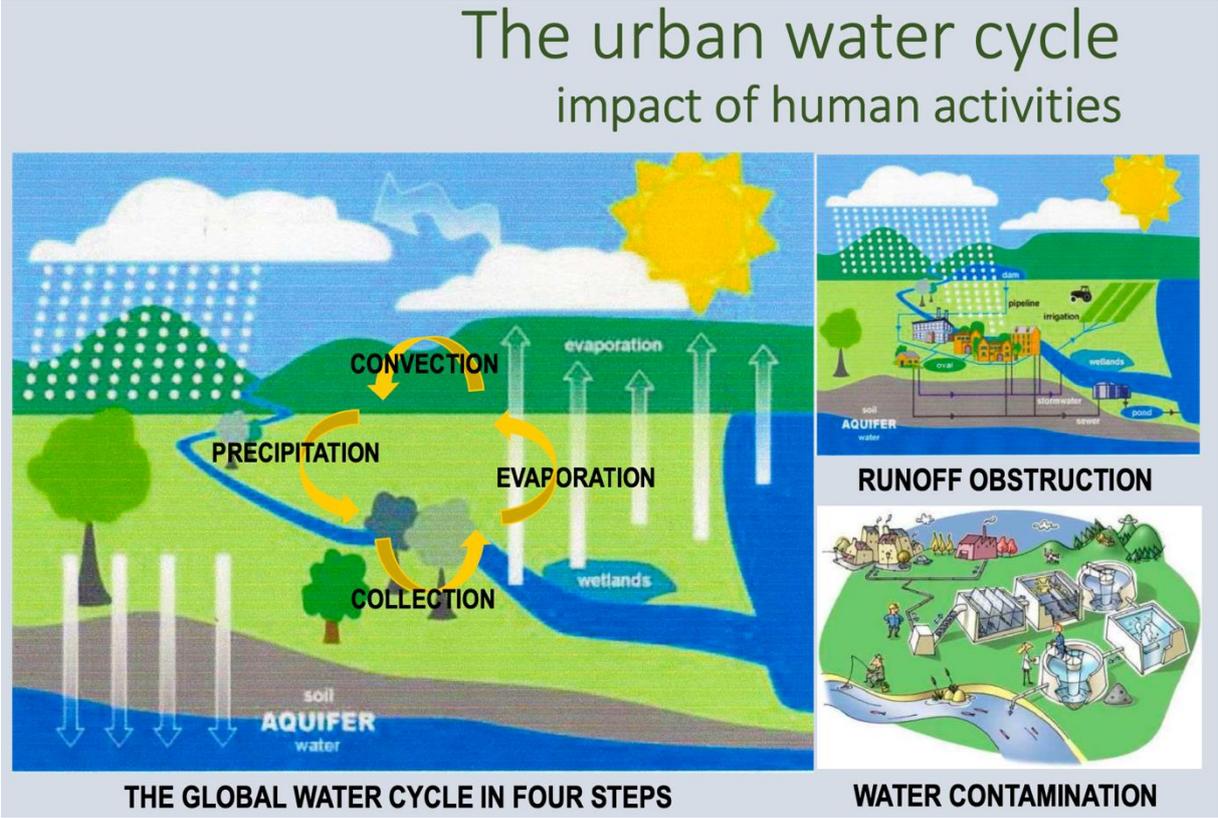
Avant le XIXe siècle, le système d’approvisionnement en eau était un système d’eau qui venait des fleuves avoisinants et des cinq aqueducs principaux. Le centre historique a grandi entre deux zones principales : le nord-est et le nord-ouest, avec différents centres. Sur la première carte, les routes sont toutes dirigées vers la mer en suivant le fleuve. Cela facilite le drainage et réduit les risques d’inondation dans un certain périmètre. Les routes sinueuses sont orientées selon la pente des petites rivières qui traversaient la ville et sont restées pendant plusieurs siècles, depuis le Xe siècle où Djazair Beni Mezghena est devenu une véritable ville, jusqu’à la période ottomane et à la veille de la colonisation française. On voit les principaux aqueducs qui alimentaient la ville, les fontaines publiques, des équipements majeurs, etc. L’eau était stockée dans de grandes citernes.



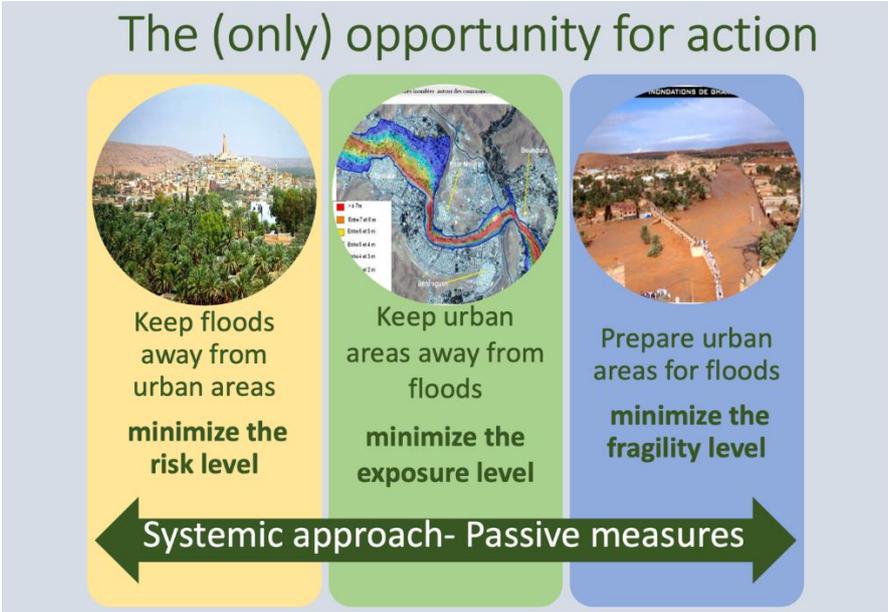
Cette évolution historique fait qu’aujourd’hui, le pays souffre de pénuries d’eau, de pollution et de sécheresse en plus de l’exposition naturelle à des risques hydro-météorologiques (pénuries d’eau et inondations). S’en trouve une augmentation de la demande en eau, potable notamment, et une urbanisation intense qui font que de très grandes surfaces sont devenues imperméables, accroissant le risque de pollution et d’inondation. Souvent, des rejets d’eaux usées mélangées aux eaux pluviales sont drainées par le système d’assainissement et augmentent le risque de dégradation environnementale. A titre d’exemples, un épisode de contamination a provoqué une épidémie de choléra en 2018; des inondations récurrentes prennent place à Hussein Dey, une commune côtière (presque au niveau 0) ; les inondations de Bab el Oued en 2001 sont restées dans la mémoire des habitants d’Alger face aux centaines de victimes et aux dégâts matériels.

Le bassin méditerranéen peut s’attendre à une vulnérabilité et à des risques hydro-météorologiques plus élevés, entraînant une augmentation des pénuries d’eau, des contaminations et des inondations urbaines.

Le cycle urbain de l'eau est connecté au cycle de l'eau global, c'est ce qu'on appelle la phase continentale du cycle de l'eau. Les quatre phases principales sont l'évaporation, la collection, les précipitations et la convection. Les activités humaines interviennent dans la phase continentale, pendant et après les précipitations. Notre action interfère avec le cycle de l'eau en créant des obstructions, en altérant le parcours naturel de l'eau et en provoquant la pollution car nous libérons des eaux usées après usage.



En urbanisme, il n'existe pas de modèle de solution, seulement des démarches qui doivent être adaptés et applicables à tous les cas grâce à des solutions atypiques.



Le respect du cycle urbain de l'eau passe par le respect des dynamiques naturelles. Ce qui a été fait en Espagne a simplement été le retour de la nature à son espace confisqué. Il ne faut pas interférer avec ce cycle en s'installant sur un territoire occupé par l'eau, un élément dynamique qui nécessite de l'espace. Les premiers habitants se sont installés loin des espaces d'eau. Il est également nécessaire de réduire l'exposition des établissements urbains aux phénomènes naturels. C'est la démarche systémique : ne pas prendre en compte uniquement une portion de la rivière ni son lit mineur mais plutôt considérer la rivière comme un hydrosystème complet. Des mesures passives, de bon sens, peuvent contribuer à renforcer notre résilience, comme s'éloigner ou se surélever.

Les mesures devraient traiter des eaux de surface et souterraines, qui vont au-delà des frontières administratives sur le bassin versant.

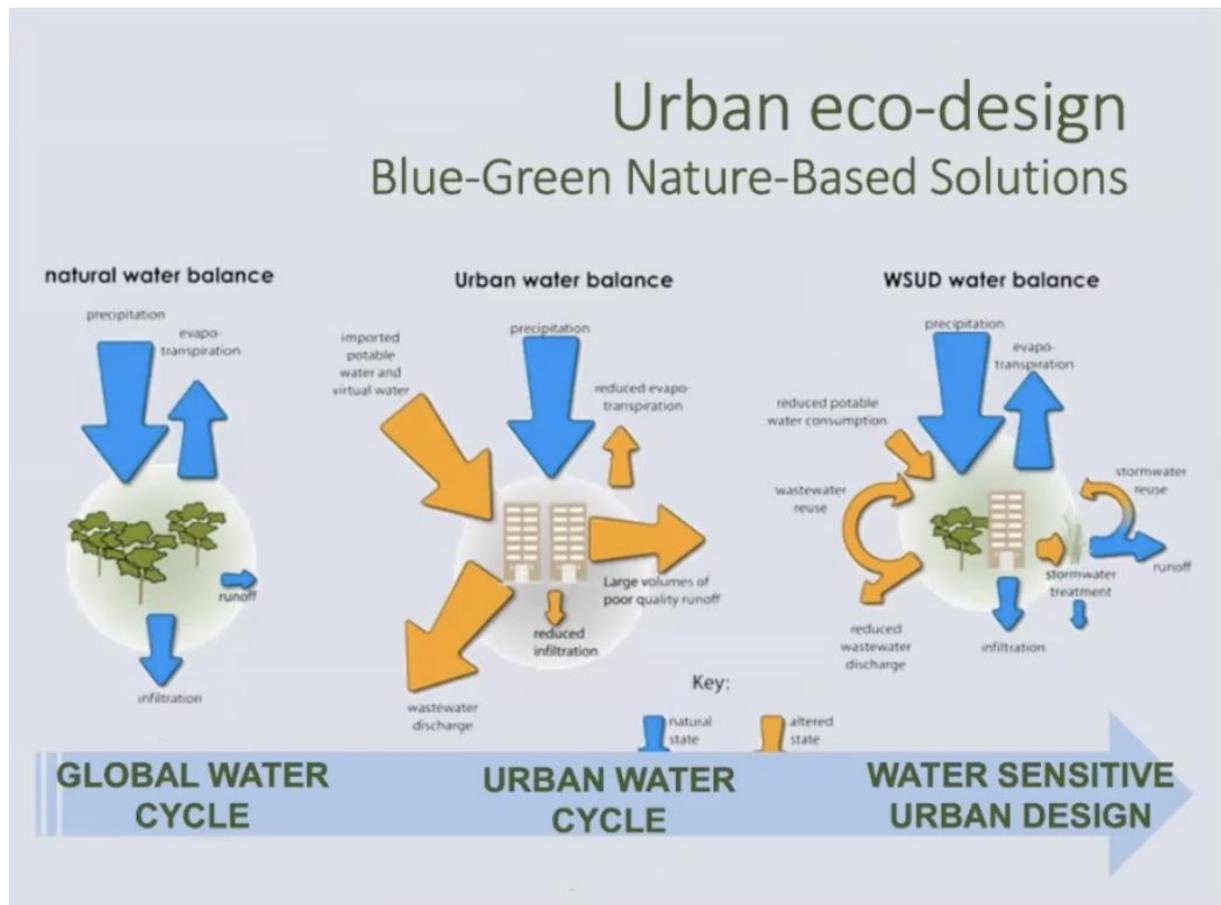


Hammam Melouane River (Algeria), photo Ahmed Aroua, 2018

Cette photographie montre un oued situé à l'extrémité de la ville d'Alger, l'Hammam Melouane. On y voit les montagnes environnantes, les collines, les implantations, les établissements qui sont nombreux à être informels et anarchiques car ils n'ont pas été planifiés ni prévus dans le cadre du PPRI. Travailler sur une rivière nécessite la prise en compte de tout le système de la rivière, de son origine jusqu'à son embouchure et toutes les zones dynamiques et inondables (lit mineur, moyen, majeur, etc.). Les différentes mesures seront hiérarchisées en fonction de la localisation.

L'objectif de tout projet urbain est de contribuer à la conservation, la protection et la restauration de tout corps d'eau : sa géomorphologie, ses dynamiques et sa biodiversité, comme cela est régulé par la convention de Ramsar de 1971 concernant les zones humides. Beaucoup de *guidelines*, c'est-à-dire d'orientations, de conseils, de recommandations concernent les zones humides dont font partie les rivières, qu'elles soient naturelles ou artificielles, y compris les zones côtières. Il faut faire en sorte de conserver ou restaurer, s'il y a lieu, le relief, la géomorphologie de la rivière en gardant à l'esprit c'est un hydrosystème dynamique, c'est-à-dire qui évolue à travers le temps.

La géomorphologie évolue aussi par l'érosion : la rivière érode les rives, il peut y avoir des mouvements de terrain, etc. Il y a également le débit de l'eau, des volumes d'étiage : certains débits fluctuent à la suite de précipitations intenses ou non. Tout cela, sans oublier la vie aquatique, doit être prise en compte lorsqu'il est question d'une rivière. Ce n'est pas uniquement le parcours de l'eau sur une portion donnée, c'est non seulement un hydrosystème mais aussi une géomorphologie, une dynamique et une biodiversité, une faune et une flore qui doivent être prises en compte.



L'éco-design urbain désigne un design sensible à l'environnement urbain pour trouver les meilleures solutions basées sur la nature afin de protéger l'action de l'eau.

Ce qui se fait aujourd'hui n'est pas nouveau, il est simplement en pleine conceptualisation et formalisation afin que cela devienne plus usuel pour les professionnels, c'est l'*Urban eco-design*, et plus spécifiquement le *water sensitive urban design* (WSUD) dans lesquels l'aménagement et la planification urbaine sont favorables à cet hydro-système. Au système naturel de l'eau se connecte le système urbain de l'eau (*urban water cycle*). C'est lorsque ces deux systèmes se croisent que le risque existe. C'est à ce moment que l'architecture et l'urbanisme peuvent agir en réduisant les risques de contamination, de pollution, d'aggravation de la vulnérabilité sociale et environnementale. Le *water sensitive urban design* permet de favoriser le retour d'un certain volume d'eau vers son cycle naturel. Évidemment, une grande quantité d'eau ne peut y retourner directement car elle est polluée ou contaminée et doit être traitée, réutilisée dans l'irrigation ou le nettoyage urbain public.

Al-Harrash River (Algiers), the days before (!)



A titre d'exemple, la rivière d'Al-Harrash traversant la ville d'Algiers subissait une importante contamination à cause des déchets jetés dans son eau. À l'époque, elle traversait la plaine d'Algier et non la ville historique qui ne fut urbanisée qu'après le XIXe siècle. Cette rivière est tristement célèbre pour ses inondations et la contamination commencée à partir des années 1960 lors de la construction d'établissements industriels. Les photos montrent l'état des lieux en 2009, avant le lancement du projet d'aménagement des rives d'Al-Harrash. On y voit les rejets bruts d'eaux usées, les habitats informels rejetant des eaux domestiques et déchets solides, les décharges sauvages. Ce magnifique projet consiste à recréer des espaces verts et restaurer la rivière et son cours d'origine. À l'origine, le problème est que le design ne prend pas en compte le système de vallée entier de la rivière qui intègre deux ville, Alger et Blida, et prend en compte uniquement les délimitations d'Alger. Cela peut conduire à des nouveaux risques ou aggraver ceux existant.

Travailler sur une rivière nécessite la prise en compte du bassin versant ou du sous-bassin versant, de sa source jusqu'à son exutoire, de sa plaine inondable jusqu'à sa plaine majeure et de plus adapté aux aménagements urbains. La planification d'un projet doit prendre en compte la dynamique de l'eau afin de vivre en harmonie et non dans un rapport de force avec la rivière. Il existe bien des solutions pour réagir aux conséquences d'un projet où une telle réflexion n'aurait pas eu sa place, mais ce sont des solutions symptomatiques. Il est important de prendre en compte la mémoire populaire. Il me semble que pour le projet d'Euroméditerranée dans le quartier des Crottes, des entrées de maisons ont été surélevées

de deux ou trois marches suite aux fréquentes inondations. Les habitants ont une mémoire de ces événements que vous avez raison de vouloir mobiliser.



**Ilaria Gnecco – Docteure en génie civil et environnemental ;
Université de Gênes | UNIGE - Département d'ingénierie civile,
chimique et environnementale (DICCA)**

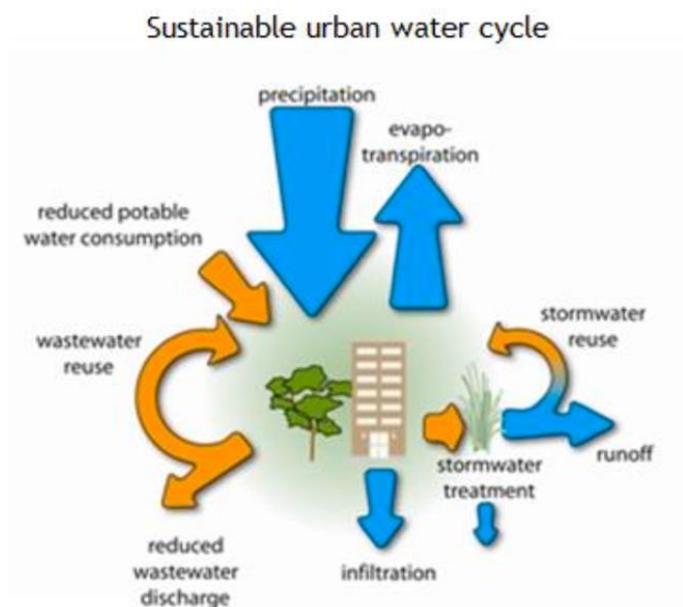
Sustainable Drainage System (SUDs) to support the urban flood resilience : the TRIG-Eau project

Merci de m'avoir invitée à ce webinaire, la promotion de l'échange des idées entre chercheurs et autorités locales afin de travailler ensemble afin d'atteindre le même objectif est très importante. Je suis professeur associée d'hydrologie et de structures hydrauliques. Je souhaiterais parler de l'expérience que nous avons organisé dans le cadre du projet TRIG-Eau qui a notamment impliqué les habitants de la région comme partenaires. Certaines questions font

l'objet de débat entre chercheurs et partenaires comme le choix des solutions techniques à mettre en œuvre pour améliorer le cycle hydrique à l'échelle urbaine résidentielle, les effets auxquels nous pouvons nous attendre suite à l'installation à large échelle de solutions fondées sur la nature, ou encore la sélection de combinaisons de différentes solutions durables pour atteindre un risque hydraulique acceptable. J'essaierai de répondre à ces questionnements par le biais de l'expérience de notre projet TRIG-Eau.

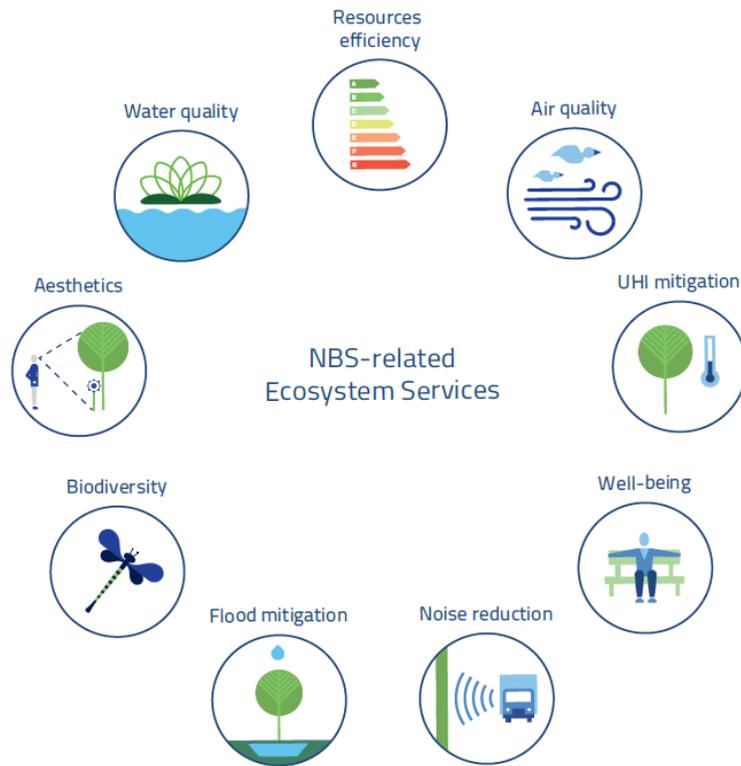
Qu'en est-il des solutions fondées sur la nature ?

Ce sont des solutions techniques inspirées et soutenues par la nature, rentables, qui offrent des services de l'écosystème et participent à renforcer la résilience. De telles solutions peuvent être introduites initialement comme solutions locales dans le cadre de solutions de système de drainage urbain. Ce type de solutions a été mis en place afin de maximiser les bénéfices du contrôle de la gestion de eaux pluviales. Le concept de drainage urbain durable a été initié et mis en œuvre en connaissance du rôle des solutions fondées sur la nature dans

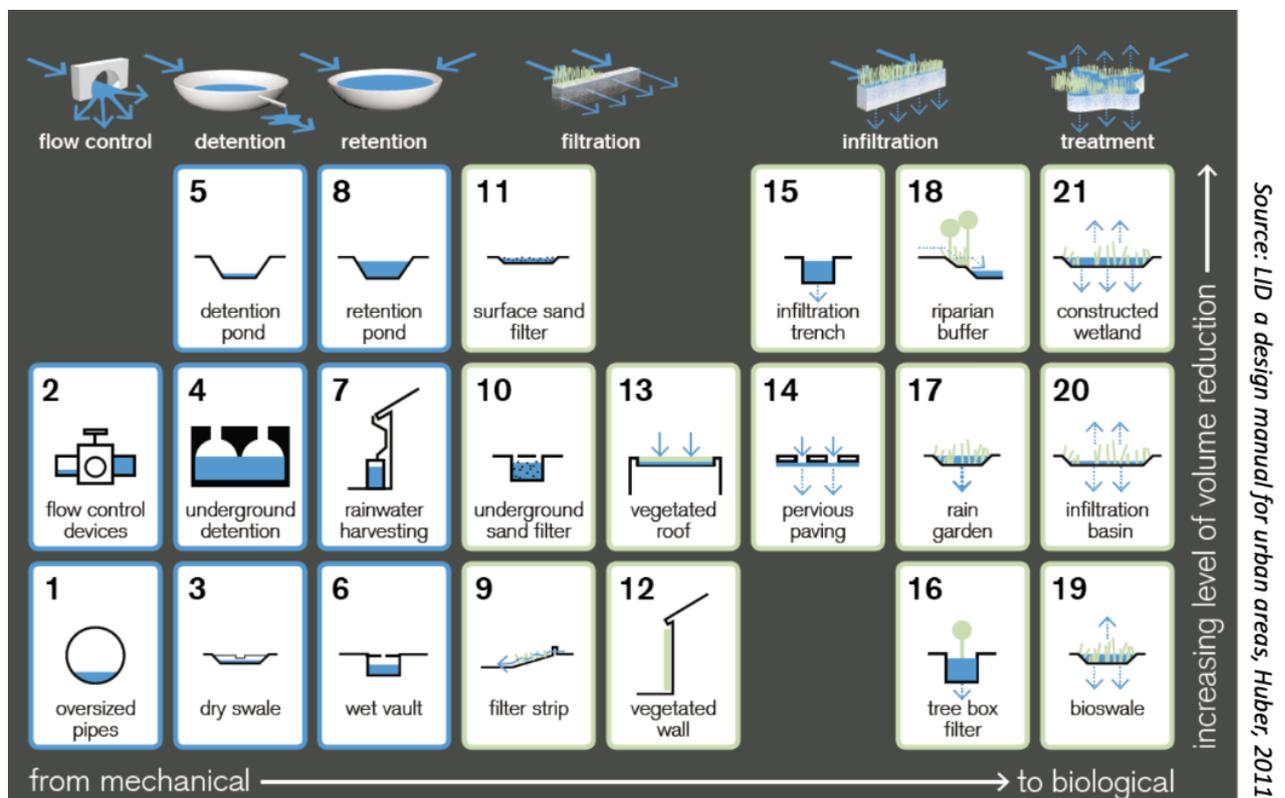


la gestion holistique des ressources eau urbaine. De fait, ces solutions ont étendu le concept de solution de drainage urbain pour produire un cadre quantitatif systématique pour l'utilisation de l'ensemble des services de l'écosystème.

Dans le contexte urbain, les services de l'écosystème offrent une manière d'atténuer les risques non seulement liés à l'eau mais également la pression de l'urbanisation comme la pollution de l'air et la rareté des ressources.



Source: The BGDGuide, 2017



Source: LID a design manual for urban areas, Huber, 2011

Mechanical solutions

Nature based solutions

Le tableau ci-dessus présente l'ensemble des solutions de contrôle des eaux pluviales pouvant être mises en œuvre dans le contexte urbain, allant des solutions les plus mécaniques promouvant le contrôle des inondations et des processus de rétention à des solutions fondées sur la nature qui se concentrent la filtration.

Comment réduire le risque hydraulique ?

Dans nos villes, nous faisons toujours face à ces deux défis. Il est défini la probabilité de conséquences désastreuses ou de pertes résultant d'interactions entre les risques naturels et les conditions vulnérables. La fragilité apparaît en multipliant trois choses : les risques, la vulnérabilité et l'exposition. Le bassin urbain possède une mesure directe du risque hydraulique en calculant la zone inondable ou la présence de zones inondables d'un point de vue historique. Il est important de définir deux autres niveaux de risques : le risque résiduel et acceptable. Le risque résiduel fait référence au risque hydraulique restant après la mise en place de mesures d'atténuation des risques, tandis que le concept de risque acceptable se fonde sur le principe de l'équilibre entre les risques et les avantages pour la solution, afin de voir dans quelle mesure le coût impliqué dans la réduction des risques serait disproportionné face aux bénéfices obtenus. Le risque zéro n'existe pas.



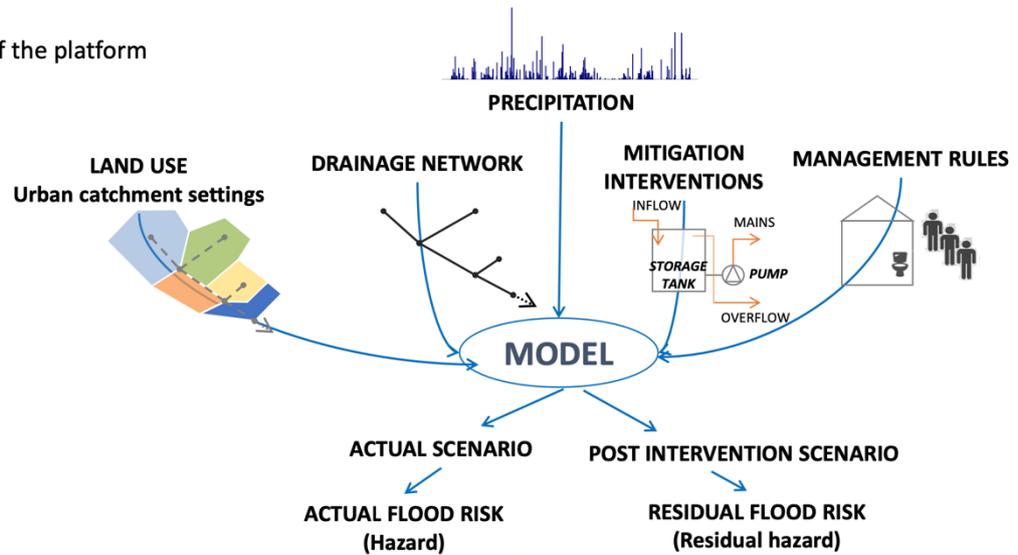
Le projet TRIG-Eau a contribué à la réponse aux questions initialement posées. Développé de 2017 jusqu'en 2020, l'objectif principal du projet était de renforcer la résilience des territoires français et italiens exposés aux risques hydrogéologiques et hydrauliques en faisant la promotion de mise en œuvre de stratégies de gestion de l'eau au niveau régional et local. L'une des composantes du projet visait à évaluer l'impact des solutions fondées sur la nature à l'échelle du bassin versant pour atténuer les risques dans les territoires concernés.

En tenant compte de ces différentes difficultés, un système destiné à évaluer l'impact potentiel de solutions fondées sur la nature sur le paysage urbain a été mis en place. Cela a été fait par le biais de la plateforme web-GIS (<http://www.trigeau.servergis.it/>) qui a pour objectif de sensibiliser à la question de la gestion des eaux pluviales, promouvoir les solutions fondées sur la nature, évaluer les conditions actuelles de risque d'inondation, définir et sélectionner les scénarios d'intervention et évaluer les conditions de risques résiduels.

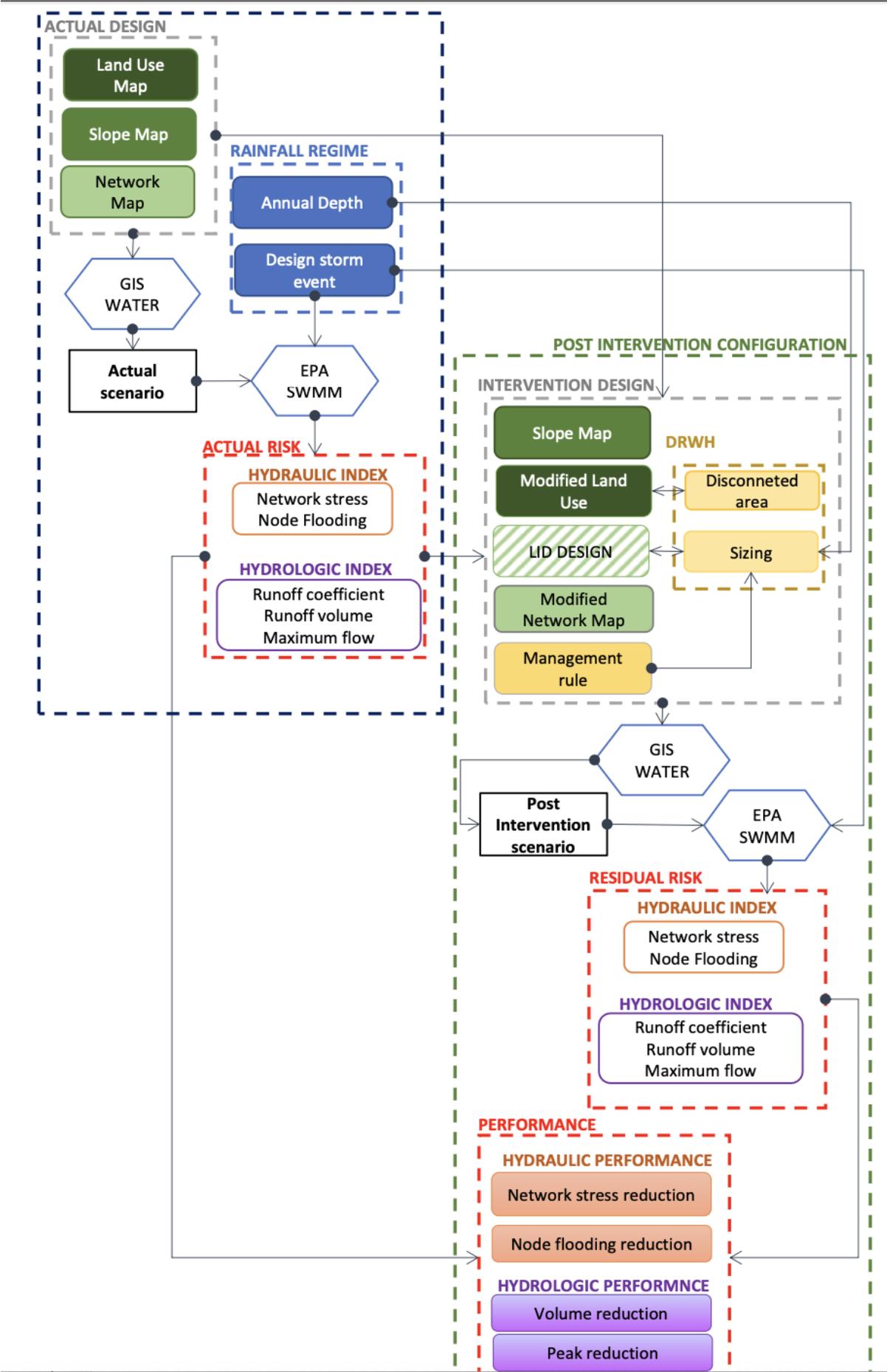
LA plateforme web-GIS a été configurée comme une application web-GIS incluant le modèle de gestion des eaux pluviales de l'EPA.

L'architecture globale de la plateforme consiste en cinq niveaux :

The architecture of the platform



Les caractéristiques principales du réseau de drainage sont les précipitations qui représentent le facteur principal du système. Y sont également portées les interventions de réductions des risques, les solutions existantes, ainsi que la création de règles de gestion spécifiques pour la gestion du système de drainage ou pour les interventions en elles-mêmes. Ces piliers soutiennent le cœur du système fondé sur le modèle hydrologique-hydraulique de l'EPA. Par le biais de ce modèle, il est possible de performer des simulations pour les scénarios actuels, d'évaluer de risque d'inondation réel et de simuler les scénarios post-intervention et donc du risque résiduel.

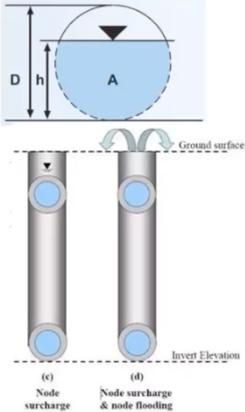


La méthodologie adoptée est brièvement décrite dans le schéma ci-dessus. Il est résumable en six étapes principales :

1. Analyse des zones urbaines et urbanisation croissante
2. Modélisation hydrologique-hydraulique
3. Analyse du risque hydraulique réel
4. Conception de l'intervention LID et modification de la zone urbaine
5. Modélisation hydrologique-hydraulique
6. Analyse des performances.

L'analyse de la zone urbaine et l'évaluation de l'urbanisation affectant le régime de précipitations sont les principaux facteurs de contribution à la modélisation hydrologique hydraulique. Sur cette base, il est possible d'évaluer et de performer une véritable analyse de risque hydraulique. La deuxième phase intègre la conception des interventions de solutions fondées la nature qui doit inclure les mêmes informations en termes d'utilisation territoriale et de régimes de précipitation. Nous pouvons à nouveau avoir une modélisation hydrologique et hydraulique des résultats finaux. Puis viennent l'analyse des performances ou résultats. Cette analyse de risque en particulier est réalisée par le biais de deux indices qui peuvent décrire les conditions de fonctionnement hydraulique naturel.

→ The risk is analysed by two indexes describing [the network hydraulic functioning conditions](#):



THE NETWORK STRESS INDEX

$$NSI = \frac{N_{cond|0.8}}{N_{cond}}$$

where :

- ✓ $N_{cond|0.8}$ is the number of conduits that show maximum fulfilment greater than 0.8;
- ✓ N_{cond} is the total number of conduits.

THE NODE FLOOD INDEX

$$NFI = \frac{N_{nodes|flooded}}{N_{nodes}}$$

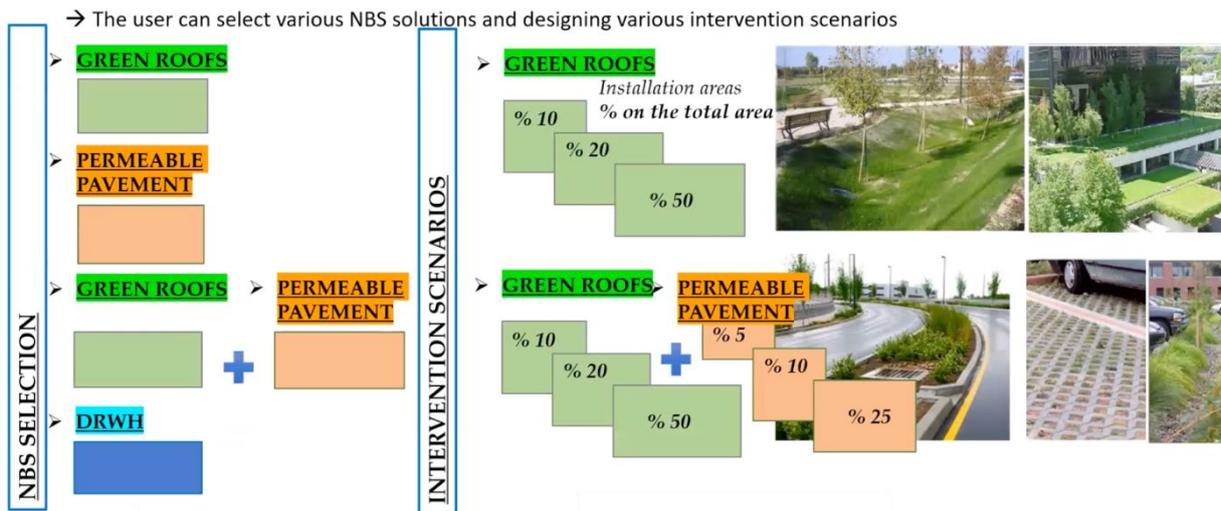
where :

- ✓ $N_{nodes|flooded}$ is the number of junctions that are flooded;
- ✓ N_{nodes} is the total number of junctions.

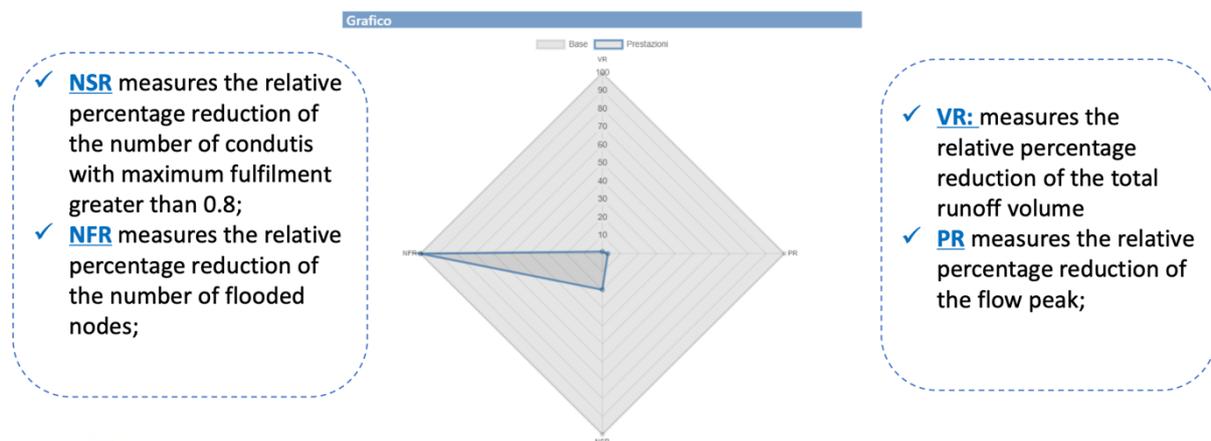
→ The analysis involves also the [hydrologic response at the catchment scale](#):

- ✓ Spatial analysis of runoff coefficient;
- ✓ Maximum flow peak and total runoff volume at the outlet section;

A gauche du schéma, une section hydraulique d'un pipeline dans des conditions optimales de surface libre et puis une représentation graphique du nœud qui est la jonction entre la surface où les inondations ont lieu et ce que l'on trouve en dessous de la surface avec le réseau de drainage. L'indice de pression sur le réseau est évalué comme le ratio entre le nombre de conduites dont le remplissage maximal est supérieur à 0,8 par rapport au nombre de conduites max total. L'indice de nœud d'inondation est évalué comme le ratio entre le nombre de jonctions qui sont inondées par rapport au nombre total de jonctions. En outre, la réaction hydrologique au niveau du bassin versant est analysée par le biais d'une analyse spatiale du coefficient de ruissellement et par le biais de l'évaluation du pic du débit maximum et du volume de ruissellement total au niveau du point de sortie.



L'utilisateur peut sélectionner plusieurs solutions (limitées car sur une plateforme) basées sur la nature. Le potentiel de ces plateformes s'élargit par une mise en œuvre actuelle qui représente un projet pouvant être capitalisé sur le projet précédent. Au sein de la version d'origine, il a été possible de mettre en œuvre des solutions de toitures vertes ainsi que de pavages perméables. Enfin, nous avons également des systèmes de recyclage de l'eau. Il est possible de définir le pourcentage d'installation par rapport à la zone totale. Les nombres d'options sont limités et dépendent de l'utilisation de ces caractéristiques et notamment du pourcentage de la phase initiale d'intervention mais dépendent aussi de la chronologie et des types de solutions d'atténuation.



En ce qui concerne l'analyse des risques résiduels, deux indices de performances peuvent être évalués et comparés les conditions du réseau en utilisant les index précédents et les réponses hydrologiques des bassins versants. Ont été mesurés les pourcents de réduction du pourcentage relatif du nombre de conduites avec un remplissage maximum. Ces représentations graphiques vous permettent d'avoir une visualisation rapide des bénéfices et des solutions sélectionnées.

✓ Analysis of specific and site-oriented design of NBS solutions

1 Camogli
Via Figari

3 Solarussa
Pilote project coLANDer



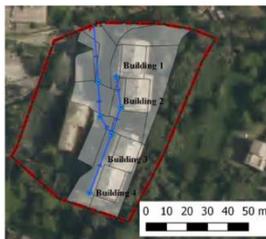
2 Campo dell'Elba
PEEP Bovalico

4 Tolone
Hyères



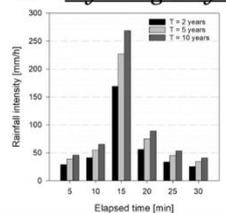
Les études de cas sont mises en œuvre au sein de cette plateforme où sont répertoriées des analyses faites sur des solutions spécifiques basées sur la nature et orientées par site. Ont été fourni des exemples pour chacun des territoires de nos partenaires qui se sont engagés dans ce projet. En voici quatre exemples ci-dessus.

1. Urban area analysis



Land use	Camogli	
	Area [ha]	Area [%]
Roof	0.0745	23%
Road and parking	0.0909	27%
Tot Impervious area	0.1655	50%
Private garden	0.0701	21%
Green areas	0.0965	29%
Permeable parking	n.a. ¹	n.a. ¹
Permeable sidewalk	n.a. ¹	n.a. ¹
Tot Pervious area	0.1665	50%
Tot area	0.3320	100%

2. Hydrologic-hydraulic modelling



Map of the urban flood risk conditions with respect to the 10 years return period event



3. Actual hydraulic risk analysis

NSI (%)	NFI (%)
16.67 %	0.00 %

Table of actual risk indexes with respect to the 10 years return period event

Voici un exemple lié à ce qui est réalisé actuellement en Ligurie ainsi que les différentes étapes mises en œuvre pour cette étude de cas, en commençant par l'analyse des zones urbaines pour laquelle nous avons défini l'utilisation des sols et toutes les caractéristiques du système de drainage et d'évacuation des eaux. Dans une deuxième étape, les précipitations ont été modélisées grâce à des graphiques concentrés sur les périodicités pendant lesquelles nous avons élaboré c'est un réseau d'évacuation des eaux. Le document 2 représente la carte des conditions de risque d'inondation basées sur une périodicité de dix ans, en dessous duquel sont établies les valeurs de stress hydraulique. Ce risque hydraulique est évalué de manière quantitative en utilisant le stress du réseau d'index par rapport à celui d'inondation.

4. LID intervention design

Results of the survey* run by means of relevant stakeholder evidence that the types of LID considered as the most interesting for system updates are **DRWH**

✓ **DRWHs** are designed for each building

Building – Case study	Q [m³]	D [m³]	S [m³]	S/Q [-]
Building 1 – Camogli	177.1	175.2	10	0.06
Building 2 – Camogli	176.2	175.2	10	0.06
Building 3 – Camogli	163.0	175.2	10	0.06
Building 4 – Camogli	166.6	175.2	10	0.06

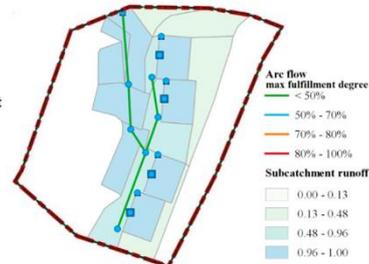
*Source: Piacentini, S.M.; Rossetto, R. Attitude and Actual Behaviour towards Water-Related Green Infrastructures and Sustainable Drainage Systems in Four North-Western Mediterranean Regions of Italy and France. *Water* 2020, 12, 1474.

5. Hydrologic-hydraulic modelling

Simulation are performed for two initial conditions of the DRWH systems corresponding to the **empty^a** or full tank hydraulic condition

^a**empty** the tanks have to be equipped with **RTC technology** that allows to pre-empty the tanks in case of a weather alert

Map of the residual urban flood risk conditions with respect to the 10 years return period event for empty tanks



Nous considérons le potentiel de l'élaboration d'intervention dans les zones concernées en prenant en compte la procédure qui part du bas vers le haut avec l'implication des citoyens dans cette approche, car elle est cruciale. La typologie imaginée la plus intéressante de l'intervention est représentée par le système d'évacuation des eaux domestiques grâce à des enquêtes auprès de toutes les parties prenantes de la zone. Les systèmes de création des eaux de pluies ont été spécifiquement élaborés pour chacun des ouvrages et des modélisations seront mises en œuvre après que ces solutions aient été mises en œuvre. Les conditions initiales, les conditions complètes et hydrauliques de la ville sont également prises en comptes puisque l'objectif est d'être préparé aux événements de pluies conséquentes et intenses. Il faut pouvoir contrôler ces réservoirs, les ouvrages hydrauliques, avec une technologie en temps réel afin d'avoir un système préparé. Les réservoirs sont vidés en cas de ce type d'événement soudain. Cela donne un exemple clair de solutions à multiservice.

Les résultats

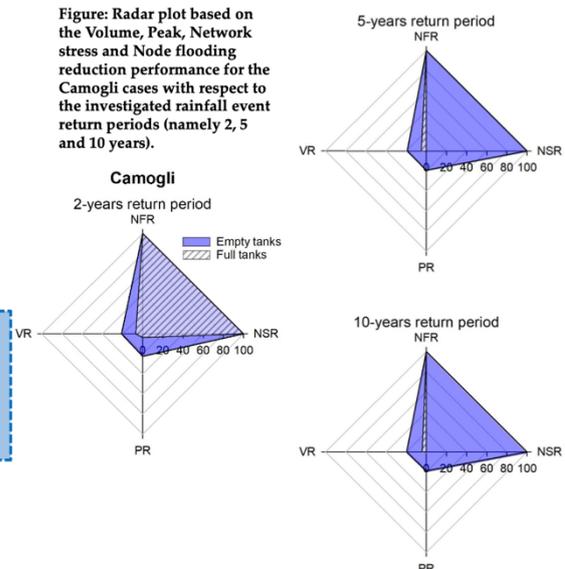
6. Performance analysis

✓ The performance analysis confirm that the DRWH systems are **able to significantly reduce the urban flooding risk** in case of **empty tank**;

✓ Similar behaviour is observed for the hydrologic performance: indeed, when **full tanks** is assumed as initial condition, the indexes concerning the hydrologic restoration are noticeable only for the 2-years return period event.

*These results can be very useful to promote **DRWH systems between decision makers**, since it introduces the **quantitative assessment of their hydraulic performance** by providing simple results which are necessary to fill the existing "gap" between **technical manuals and guidelines***

Figure: Radar plot based on the Volume, Peak, Network stress and Node flooding reduction performance for the Camogli cases with respect to the investigated rainfall event return periods (namely 2, 5 and 10 years).



L'analyse des performances est représentée par des tracés radars dont l'exemple ci-dessus confirme que les systèmes de capture des eaux domestiques ont permis de réduire de manière significative les risques d'inondations. Cela est maximisé si les réservoirs sont vides, sinon les performances sont observées sur des comportements similaires. Lorsque les réservoirs sont

pleins dans leur condition initiale, les index sur les conditions hydrologiques sont notables pour seulement une périodicité de deux années.

L'analyse des performances révèle que les systèmes de DRWH, soit le système de récupération de l'eau domestique, sont très utiles et devraient être promus au sein des décideurs afin de pouvoir introduire une évolution quantitative de la performance hydraulique de ces systèmes en fournissant des résultats simples. Ils sont nécessaires pour combler les lacunes existantes entre les manuels techniques et les orientations.

Pour conclure, les objectifs réalisés à travers le projet TRIG-Eau représentent le point de départ pour promouvoir la mise en œuvre de solutions basées sur la nature à l'échelle des bassins versants. Ces solutions ont de nombreux bénéfices pour les communautés qui doivent être prises en compte comme élément central afin de renforcer la résilience face aux inondations urbaines et d'avoir des services écosystémiques. Les effets du changement climatique ainsi que la croissance urbaine doivent être pris en compte dans l'élaboration de nos outils d'aide à la décision afin d'aider de manière efficace la conception d'une vie plus résiliente.

Pierre Massis : Le programme TRIG-Eau est développé sur plusieurs années en collaboration avec les pays frontaliers et les deux îles montréalaises. Les images de Sardaigne sont révélatrices de la vulnérabilité de tous les territoires de Méditerranée, touchés par ces inondations catastrophiques. Aujourd'hui, ce programme TRIG-Eau trouve-t-il une application de terrain sur une localité, rurale ou urbaine ? Avons-nous pu percevoir les premiers résultats du programme ?

Illaria Gnecco : Nous n'en sommes qu'à la première étape, mais cela permet d'avoir des exemples sur ces mesures directes de ce que font la mise en œuvre de solutions basées sur la nature. Le programme a un réel soutien de la part des autorités locales dans la phase de planification, car nous avons non seulement besoin d'espace pour mettre en œuvre ces solutions mais aussi d'un soutien financier. Ces solutions sont efficaces uniquement si elles sont disséminées partout dans tout le bassin versant. Il n'est pas réaliste d'imaginer changer tous nos territoires en quelques années. L'objectif est de se concentrer sur les zones où il y a des problèmes de drainage, d'évacuation des eaux qui sont plus fréquents, et donc d'essayer d'imaginer à quel goulot d'étranglement et à quel premier niveau d'intervention nous devons agir pour réduire petit à petit la pression sur ces réseaux d'évacuation des eaux. L'idée finale est d'essayer d'être résilient, notamment parce que les scénarios de précipitations sont de plus en plus importants, amenés par les changements.

Pierre Massis : Vous introduisez donc une nouvelle donnée dans l'équation : le temps et l'espace sont nécessaires, autant que les financements. Les investissements ne doivent pas être neutres. Il est nécessaire de constamment bien recalibrer les infrastructures et l'écosystème pour faire en sorte d'abord d'être plus proche des solutions fondées sur la nature et d'avoir une réduction du risque, puisque le risque zéro n'existe pas. Souligner ce différentiel entre le risque acceptable et le risque résiduel est effectivement important. Aujourd'hui, le problème reste bien que, même dans le cadre du risque acceptable, l'inondation a lieu.

Illaria Gnecco : Malheureusement, oui. La population doit être consciente de ces réalités. Ce n'est qu'en informant la population sur ce qu'impliquent les risques acceptables qu'elle saura comment y faire face. Ce type d'interventions non structurelles est très important pour réduire les risques généraux.

Pierre Massis : Finalement, les présentations des différents orateurs ont toutes cette capacité à rendre compte que la rivière restera gagnante, malgré la construction de murs qui ne sont pas une solution pour les crues centennales. Quelle que soit l'échelle du territoire, les solutions sont posées mais il faut savoir rester humble et préparer les choses. Le programme TRIG-Eau est fondamental : il est situé dans une zone qui est dans une zone menacée par ces problèmes de pollution, de sécheresse et d'inondations.

Question de Amar Amir pour Marc Manzana Garcia :

Vous avez présenté des solutions pour se protéger des inondations mais y a-t-il des solutions autre que le sacrifice d'une partie de la ville et notamment des terrains agricoles dans le deuxième projet ?

Pierre Massis : Le bon sens m'autoriserait à dire que s'il y avait d'autres solutions, elles auraient été mises en œuvre avant d'aller saisir des terrains publics. D'une certaine manière, la chance que rencontre la Confédération du Jucar est qu'il s'agisse de terrains publics qui ne nécessitent qu'un accord avec la mairie. Cela est beaucoup plus difficile avec des terrains privés.

Illaria Gnecco : Réduire les risques a un coût. Il faut se souvenir qu'au départ, la zone qui était une zone naturellement inondable a été utilisée pour le développement urbain, pour l'urbanisation. A été utilisée une zone naturelle dont le fleuve ou la rivière a besoin pour sa réaction hydrologique naturelle. Bien sûr, on ne peut pas détruire nos constructions urbaines. En Ligurie, il y a de nombreux exemples où le fleuve a été complètement recouvert et aujourd'hui cela fait malheureusement partie du système du village en termes d'eau. Parfois, il n'y a pas de bonne façon pour créer des infrastructures comme des canaux de récupération des eaux pour diminuer le risque d'inondation. L'aménagement urbain doit être repensé tout en considérant des zones multiservices qui peuvent être inondées sous certaines conditions contrôlées. Notre approche doit être changée, on doit vivre avec les inondations de manière contrôlée pour pouvoir limiter les conséquences sur les êtres humains et sur l'économie de la zone urbaine.

Marc Manzana Garcia : En Espagne, le régime d'autorisation est strict : quand on veut construire près de la rivière, il faut avoir une autorisation du Commissariat de l'eau. Le problème est que la loi date de 1985. Il n'y avait pas cette prévision auparavant. Entre temps, l'urbanisation a pris progressivement la place des rivières. Lorsque la rivière revient avec ses grandes crues, elle ne fait qu'essayer de récupérer cet espace perdu. En dehors de l'espace urbain, on essaie de récupérer ou de créer artificiellement des zones d'inondation. Il est vrai que cela semble être des solutions sur le court terme. Sur le long terme, c'est difficile. Il faut faire le bilan entre l'urbanisme existant et les inondations. Le plus difficile est de gérer les gens qui vivent près de la rivière. On pourrait gagner beaucoup de place pour la rivière mais le problème reste la disponibilité des terrains. Sans cette disponibilité, c'est impossible. La grande expérience à Cuenca était sur une place publique, l'hôpital précité était public, le parc

inondable appartenait également à la mairie... Il est plus aisé d'opérer sur les espaces publics. Dans le deuxième exemple, les usines sont situées dans des zones municipales très dégradées. Bien sûr, certaines zones ne sont pas dégradées mais c'est la mairie qui doit les exproprier.

Pierre Massis : Il faut effectivement pour cela une puissance régaliennne.

Question d'Amina Jegham à Illaria Gnecco et Najet Aroua :

Outre les solutions techniques, il y a également le volet gestion de risques. Avec les changements climatiques, il est très difficile de quantifier les averses et par conséquent les ouvrages à projeter. Pour la gestion des fleuves transfrontaliers qui traversent des villes dans des pays différents, une action de protection du tissu urbain pourrait-elle causer la sécheresse dans un autre ?

Illaria Gnecco :

Non, puisque nous travaillons à différentes échelles, principalement sur les échelles hydrauliques du système de drainage et sur les inondations pluviales. Mais nous avons aussi des expériences dans un autre projet Interreg Concepto qui se concentrait sur le fleuve de la Roya, un grand fleuve développé principalement sur le territoire français et dont la dernière intersection est en Italie. Le fleuve est également une source importante en termes de ressources en eau pour les deux régions, c'est aussi une réserve intéressante pour l'électricité hydraulique notamment. La gestion de ces fleuves, de ces bassins transnationaux est vraiment essentielle puisque nous devons bien sûr réfléchir à la réaction du système dans son ensemble. La mise en place de solutions en amont nécessite de réfléchir aux effets en aval. Il est primordial d'avoir des autorités nationales souveraines qui ont un contrôle sur la gestion de ces différentes régions puisque le problème potentiel serait de déplacer les risques d'inondation en amont ou en aval en fonction de la solution choisie dans les différentes zones. C'est une grande problématique à laquelle nous devons encore répondre.

Pierre Massis : Le programme TRIG-Eau priorise la coopération interprovinciale frontalière avant même de favoriser les échanges de savoir-faire entre les régions.