

Les Fiches du **BIOMIM' CITY LAB**

Des outils d'aide à la conception d'habitats bio-inspirés & régénératifs pour la maîtrise d'oeuvre & la maîtrise d'ouvrage.

Réinventer la ville par & pour le vivant

Notre capacité à réinventer des espaces de vie propices à la vie dépendra de notre capacité à penser, créer et agir ensemble. S'adapter au réchauffement climatique, accueillir la biodiversité, accompagner une démarche de résilience des territoires, repenser le cycle de l'eau en milieu urbain... sont des actions que souhaite porter le Biomim'City Lab.

Conçues comme des guides accessibles à tous, les fiches « thématiques » du Biomim'City Lab accompagnent MOA et MOE pour une transition écologique au sein des équipes de conception.

2026



Une série de documents du Biomim'City Lab

Édition & rédaction, Ceebios :

- Delphine Mathou
- Thibaut Houette
- Ophélie Clocet

Collaboration :

- Atelier d'architecture Ecosystème
- Ceebios - *pilote & membre co-fondateur du Biomim'City Lab*
- Cerema
- Eiffage - *membre co-fondateur du Biomim'City Lab*
- Elan-France - *membre co-fondateur du Biomim'City Lab*
- In Situ Architecture - *membre co-fondateur du Biomim'City Lab*
- Janus France
- Modulatio'
- Mu Architecture
- Nobatek - *membre co-fondateur du Biomim'City Lab*
- Pas-de-Calais Tourisme
- Rougerie+Tangram Architectes - *membre co-fondateur du Biomim'City Lab*
- STK Architecture

Mise en page :

- Mikhaël Pommier

3 REPENSER NOTRE GESTION DE L'EAU



S'inspirer du vivant pour une gestion de l'eau multi-échelle, des organismes aux biorégions afin de concevoir des infrastructures robustes prenant soin de cette ressource aux enjeux complexes.

Objectif

Explorer les stratégies du vivant et leurs applications dans des projets architecturaux et urbains pour une gestion de cette ressource vitale compatible avec le cycle naturel de l'eau.

Cette fiche commence par présenter les préconisations actuelles et les enjeux de la gestion de cette ressource pour ensuite mettre en avant l'ingéniosité de certaines stratégies du vivant pour chaque étape du cycle de l'eau. Des projets à l'échelle du composant, du bâtiment et du quartier montrent ensuite l'application concrète de l'inspiration multi-échelle du vivant, en finissant par mettre en valeur les opportunités, freins, leviers et perspectives pour la gestion de l'eau de demain.

Enjeux majeurs

L'eau douce est l'une des 7 limites planétaires – sur les 9 identifiées par le Stockholm Resilience Center – à avoir dépassé un seuil critique en 2025. L'eau verte (part de l'eau issue des précipitations atmosphériques qui est absorbée par les végétaux) est aujourd'hui plus impactée que l'eau bleue (notamment présente dans les rivières, lacs, nappes phréatiques).

Par ailleurs, l'ONU, en 2018, démontrait que la dégradation des écosystèmes est la 1^{ère} cause des enjeux croissants de la gestion de l'eau. Il est donc nécessaire de contribuer à la préservation de la quantité et de la qualité de l'eau en limitant la pression sur la ressource et sur les écosystèmes, tout en les régénérant.

Le secteur de la construction et de l'aménagement doit s'engager dans une nouvelle gestion de l'eau pour assurer la durabilité et la résilience de notre utilisation de l'eau douce tout en contribuant à sa préservation et à la réduction de l'empreinte écologique globale :

- **Gestion des eaux pluviales** : Les bâtiments peuvent capter, ralentir et diriger les eaux de pluie de manière appropriée pour réduire les inondations, la pollution des cours d'eau et l'érosion ;
- **Consommation d'eau** : Le cycle de l'eau d'un projet peut être pensé en alignement avec les typologies et quantités d'eau présentes localement. De plus, l'eau consommée tout au long du cycle de vie d'un projet doit être analysée et considérée ;
- **Durabilité et respect de l'environnement** : En valorisant des typologies d'eau non potables, en adoptant des équipements et usages plus économes en eau, et en restituant l'eau proprement (quantité et qualité) à

l'environnement, le bâtiment contribue déjà à la préservation des ressources. La gestion de l'eau dans le bâtiment contribue ainsi à préserver la ressource en eau douce, notamment face à l'assèchement des nappes, et à la réduction de l'empreinte écologique du bâti ;

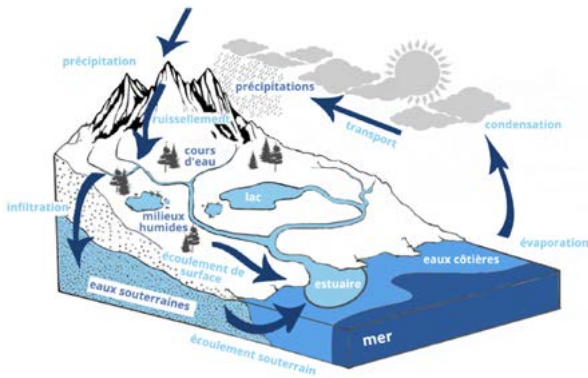
- **Résilience face au changement climatique** : des études prospectives prédisent des précipitations plus variables et extrêmes, ce qui nécessite une gestion adaptative des ressources en eau. Les bâtiments doivent être conçus et gérés de manière à être résilients face à ces changements non uniformes et à minimiser leur vulnérabilité aux événements climatiques extrêmes.

Chiffres clés

- En 2018, **3,6 milliards** de personnes dans le monde vivent dans des zones potentielles de pénurie d'eau au moins 1 mois / an (ONU, 2018)
- **2.2 milliards** de personnes manquent d'eau potable gérée en toute sécurité (ONU, 2017)
- Répartition des précipitations françaises par saison hydrologique : **48%** en hiver, **40%** en automne, **10%** au printemps, **2%** en été (SDES, 2022)
- En mars 2023 : **75 %** des nappes françaises étaient en dessous des normales mensuelles (BRGM, 2023)
- Les Européens consomment **8x plus** que leurs grand-parents pour leur usage quotidien (CNRS, 2020)
- Le « plan eau » du gouvernement, destiné à améliorer la gestion de l'eau, a pour objectif principal de réduire de **10 %** la consommation d'eau dans tous les secteurs d'ici à 2030, dont celle du bâtiment.
- Environ 12% de l'eau douce mondiale est consommée par la construction et l'exploitation des bâtiments (L'agence internationale de l'énergie, 2021)

LE CYCLE DE L'EAU

Cycle naturel de l'eau

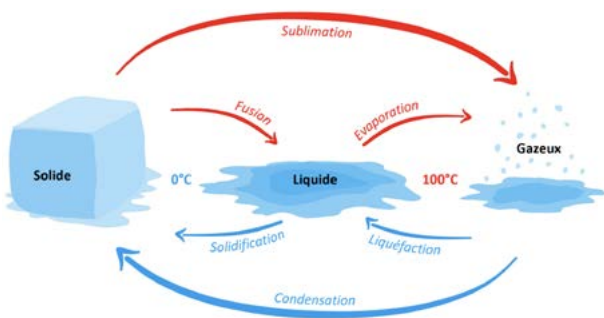


© Office international de l'eau.

L'eau est présente sous différentes formes sur Terre : dans les glaciers et l'atmosphère, dans les lacs, rivières et marais, dans les sols et la biomasse – ainsi que dans les nappes phréatiques, naturellement remplies par les précipitations ou la fonte des neiges. L'eau douce représente moins de 3% de l'eau sur Terre, dont 2/3 est sous forme de glace.

En France, la quantité totale d'eau disponible sur l'année n'est pas un enjeu majeur, mais sa fluctuation pose problème : sa surabondance (inondations) ou sa rareté (sécheresse) selon les périodes de l'année.

Les états de l'eau



Cycle artificiel de l'eau

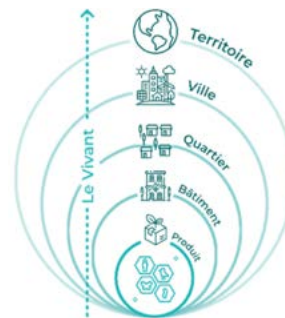


© Banque des territoires, Office français de la biodiversité.

Nos infrastructures hydriques différencient les eaux : vannes (ou noires) sortant des toilettes, grises sortant des usages domestiques autres que toilettes, pluviales issues des précipitations et de réutilisation des eaux traitées ayant des applications spécifiques (irrigation, nettoyage, ...). Dans les milieux naturels, l'eau liquide est présente dans le sol et les plantes (eau verte) et dans les cours d'eau, nappes et mers (eau bleue).

Pour pallier aux fluctuations de la disponibilité de la ressource face à des besoins presque constants, la réutilisation des eaux traitées "REUT" est cruciale.

Emboîtement des échelles



Penser le chemin de l'eau au delà des limites administratives, dans une approche biogéographique : de la goutte sur son site au bassin versant (amont et aval).

Difficultés dans la conception

- Infrastructures grises vieillissantes, inappropriées ou insuffisantes
- Anticipation, détection et maintenance des problèmes techniques
- Remise en question de l'acceptabilité sociale et de la réglementation associée à certains types d'eau et leurs usages (e.g., eau potable pour les toilettes)

- Manque de prise de conscience de l'évolution du climat et des restrictions environnementales
- Nécessité d'anticipation et d'intégration systématique des extrêmes dans la gestion : érosion, inondations et sécheresse
- Besoin d'être robuste et de considérer l'impact sur les services rendus par les écosystèmes vivants

Stratégies décrites dans les labels



Living Building Challenge (LBC)

- Utilisation responsable de l'eau => Considérer l'eau comme une ressource précieuse
 - Gérer les eaux pluviales en fonction de l'hydrologie et des conditions écologiques actuelles avec l'expertise de professionnel·les qualifié·es
 - Collecter et traiter les eaux pluviales sur site sans produits chimiques
 - Minimiser les déchets et l'utilisation de l'eau potable
 - Ne pas rejeter d'eau polluée et éviter les impacts en aval
- Eau positive nette : Utiliser et rejeter l'eau en harmonie avec les cycles naturels
 - Récupérer les eaux pluviales, penser les systèmes naturels en circuit fermé et/ou recyclant l'eau du projet pour répondre à 100% des besoins en eau
 - Purifier l'eau en fonction des besoins sans produits chimiques
 - Ne pas utiliser l'eau potable à des fins non potables
 - Traiter les eaux grises et vannes sur site et les réutiliser ou les infiltrer
 - Stocker sur site l'équivalent d'une semaine d'eau potable pour les occupant·es régulier·es du bâtiment.



LEED

Leadership in Energy & Environmental Design (LEED)

- Réduire le volume des eaux de ruissellement et améliorer la qualité de l'eau en reproduisant l'hydrologie naturelle et l'équilibre hydrologique du site
- Réduire la consommation d'eau potable à l'intérieur et à l'extérieur et préserver les ressources en eau potable gratuites ou peu coûteuses

- Optimiser l'utilisation de l'eau pour les processus mécaniques en contrôlant la corrosion et le tartre dans le système d'eau d'un condensateur
- Suivre la consommation d'eau avec des compteurs
- Protéger les fonctions des plaines d'inondation
- Conserver et restaurer les écosystèmes aquatiques
- Gérer les précipitations sur site
- Réduire la consommation d'eau pour l'irrigation
- Concevoir des aménagements fonctionnels pour les eaux pluviales en tant qu'équipements collectifs



Haute Qualité Environnementale (HQE)

- Maintenir la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine
- Valoriser les dispositions techniques permettant des économies d'eau tout en gardant un confort souhaitable
- Utiliser des surfaces perméables au sol pour l'infiltration et la rétention d'eau
- Réduire les consommations d'eau du chantier pendant la construction
- Gérer des eaux pluviales usées et valoriser la récupération
- Contrôler la température et la composition physico-chimique et bactériologique de l'eau



Démarche Quartiers et Bâtiments Durables (QBD)

- Réduire les consommations et les prélèvements d'eau
- Valoriser les eaux de récupération
- Gérer les eaux usées
- Limiter l'imperméabilisation des sols
- Gérer des eaux pluviales au plus près et réduire les pollutions
- Prévenir des pathologies liées à l'eau
- Accompagner et responsabiliser les usager·es

Grandes stratégies du vivant

*Pourquoi s'inspirer du vivant pour la gestion de l'eau ?
De quels systèmes vivants s'inspirer ?*

- L'eau est vitale à tout système vivant. Ainsi, cela fait 3,8 milliards d'années que l'évolution rend les stratégies du vivant plus robustes et adaptables à notre environnement commun fluctuant.
- Au sein des organismes vivants, l'eau est la plupart du temps sous forme de gel pour permettre une conservation, un transport et un espace de réactions chimiques servant à l'homéostasie (maintient constant des conditions internes).
- Des écosystèmes aux organismes, les stratégies observées sont :
 - S'adapter aux conditions environnementales : adapter ses propres mécanismes au type d'eau présent dans l'écosystème, adapter la manière de répondre à nos besoins

- Développer des systèmes robustes et résilients : subvenir à un besoin de diverses façons, anticiper les événements extrêmes pour rebondir
 - Appréhender la complexité du maillage
 - Tirer partie de la diversité de la ressource en eau
 - Lier les échelles dans la gestion de la ressource
 - Élargir l'échelle de l'auto-suffisance en partageant les ressources entre les entités du système
 - Hiérarchiser la matière pour concevoir des structures multi-échelles
- Les organismes vivants ont développé de nombreuses stratégies pour guider cette ressource afin de pallier leurs besoins vitaux, jonglant entre :
 - Accélérer / Ralentir
 - Disperser / Agglomérer
 - Descendre / Monter
 - Contenir / Relâcher
 - Être adapté / Adaptable

RÉCOLTER L'EAU

Difficultés dans la conception

- Variabilité de la topographie et des quantités et types d'eaux disponibles
- Adaptation nécessaire des systèmes de récolte à d'autres types d'eau que les eaux pluviales
 - Anticipation et adaptabilité nécessaire aux conditions environnementales
 - Extraction adaptée aux besoins fluctuants des usager-es et de l'environnement
 - Guidage de l'eau pour le stockage ou l'infiltration selon les quantités variables récoltées

Stratégies existantes

- Gérer les surfaces de captation/infiltration (ex : jardins de pluie pour récolter, stocker et traiter naturellement)
- Récupérer l'eau sous ses différents états
- Réintroduire des eaux usées traitées (REUT)
- Faire le lien entre les terrains mitoyens

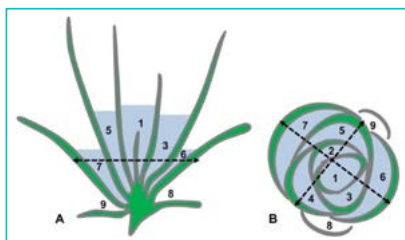
Stratégies inspirantes du vivant

Broméliacées à réservoirs

- Climat tropical et sub-tropical : originaire d'Amérique
- Les broméliacées épiphytes vivent dans les arbres sans accès à l'eau par le sol. Leurs feuilles hydrophobes (grâce à des trichomes, petits poils entourés de cristaux de cire hydrophobes) s'écartent dans toutes les directions par phyllotaxie pour augmenter la surface de récolte de l'eau de pluie et de l'humidité ambiante pour ensuite la guider vers le centre de la plante par gravité. La section concave de la feuille facilite le transport de l'eau vers ce centre formé de feuilles concaves, qui sert également de réservoir pour conserver l'eau sur le long terme.



Broméliacées
© Molly Marquand



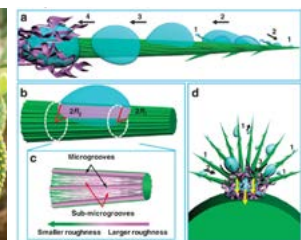
© Petit et al., 2014

Les épines du cactus

- Climat aride : originaire du centre et nord du Mexique
- Les cactus vivent majoritairement dans des climats sans source d'eau continue. Ce cactus (*Opuntia microdasys*) est recouvert de touffes d'épines, orientées dans toutes les directions permettant d'augmenter la surface de récolte de l'humidité ambiante.
- À l'échelle de l'épine, l'humidité ambiante se condense sur la pointe (composée de barbules, des micro épines). Les gouttelettes sont progressivement transportées passivement vers la base de l'épine (plus large et plus lisse que la pointe), par les principes physiques de gradient de Laplace et de gradient d'énergie de surface. Une fois arrivée à la base de l'épine, l'eau est répartie sur l'entièreté de la base de cette touffe d'épines pour absorption par les trichomes.



Cactus / © Gardenia.net



© Ju et al., 2012

Applications envisagées

- Captation des eaux pluviales en façade
- Captation de la brume/rosée sur toute l'enveloppe du bâtiment

TRANSPORTER L'EAU

Difficultés dans la conception

- Mise en réseau de systèmes divers
- Optimisation de la structuration du réseau d'eau selon les besoins et conditions fluctuantes
- Restructuration d'un réseau existant et rendre modulable un nouveau réseau
- Défaillance du réseau, notamment détection de fuites
- Transport passif de la ressource en eau

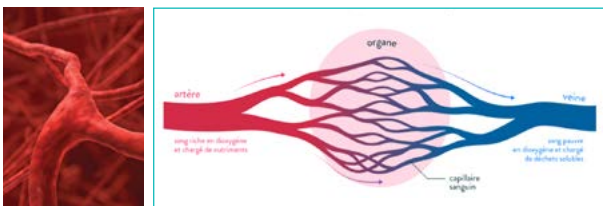
Stratégies existantes

- Favoriser la proximité entre production et usage
- Générer un parcours de l'eau
- Permettre la continuité des espaces végétalisés
- Identifier les fuites
- Faciliter l'accessibilité des systèmes pour la maintenance

Stratégies inspirantes du vivant

Système sanguin (humain, lapin, éléphant)

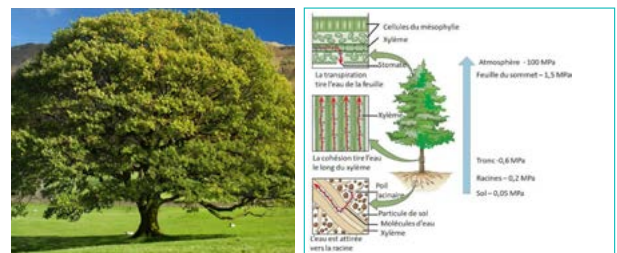
- Les vaisseaux des systèmes cardiovasculaires des mammifères sont organisés en structures ramifiées hiérarchiques. L'arrangement de ces derniers minimise la quantité d'énergie nécessaire pour faire fonctionner et entretenir le système. La loi de Murray démontre les proportions optimales entre le diamètre du vaisseau mère et celui du vaisseau fille d'un réseau de transport de masse : "le cube du diamètre d'une cuve mère est égal à la somme des cubes des diamètres des cuves filles". (Barber et Emerson 2008)
- De plus, des fibres élastiques présentes dans la paroi des artères les rendent élastiques et permettent le lissage de la pression et du flux sanguin très discontinu délivrés par le cœur. Pour les vaisseaux lymphatiques, le fluide circule à faible coût énergétique grâce à une combinaison de différences de pression, de contractions musculaires et de valves à sens unique.



Système sanguin © Schoolmouv
© Spanteldotru

Arbre

- Climat : grande variabilité (espèces adaptées à de nombreuses conditions environnementales)
- Les arbres récoltent l'eau par osmose grâce à leurs racines distribuées dans le sol. Cette récolte peut être augmentée par 10 000 avec une collaboration avec des champignons (mycorhize) pour augmenter la surface de captation. L'eau est ensuite transportée verticalement contre la gravité grâce à des mécanismes de capillarité dans les xylèmes et d'évapotranspiration par les stomates au niveau des feuilles. Cette évapotranspiration permet de restituer l'eau à son environnement tout en rafraîchissant la feuille (réchauffée par le rayonnement solaire nécessaire à la photosynthèse).
- A l'échelle d'un territoire, la restitution de l'eau à l'environnement par évapotranspiration est cruciale pour le cycle de l'eau, notamment au niveau des littoraux afin de prolonger le cycle de l'eau vers l'intérieur des terres.



Arbre / © Getty - Travelpix Ltd

© Encyclopédie de l'environnement

Applications envisagées

- Transport passif directionnel en espace ouvert ou en canalisation
- Canalisations flexibles adaptables aux flux

STOCKER L'EAU

Difficultés dans la conception

- Détérioration de la ressource dans le temps (question sanitaire)
- Stockage en sous-sol : nécessitant l'artificialisation des sols
- Détection des fuites pour les réservoirs difficiles d'accès
- Contenance des réservoirs adaptable aux besoins et disponibilités
- Stockage à température ambiante pour éviter le gel (solidification)

Stratégies existantes

- Ralentir les flux d'eau et créer des espaces inondables
- Développer des toitures et façades végétalisées
- Ombrager les espaces avec des plantations adaptées et de hauteurs variables
- Prévoir divers espaces de stockages pour différentes typologies d'eau

Stratégies inspirantes du vivant

Cactus à nervures verticales

- Climat aride : originaire du nord du Mexique
- Le cactus à nervures verticales conserve l'eau dans une tige épaisse à paroi dure et succulente sans générer d'excroissances. L'absence de feuilles, en tant que structures aériennes fines, limite la perte d'eau par évapotranspiration. La paroi interne de la tige spongieuse est recouverte de mucilage, une substance polysidique (composée de glucides) présente chez de nombreux végétaux. Cette substance gonfle au contact de l'eau et forme une solution visqueuse (gel), empêchant l'eau contenue dans le cactus de s'échapper. De plus, les nervures permettent de créer de l'ombre et de conserver la fraîcheur du cactus en limitant le renouvellement d'air.
- Chez une autre espèce de cactus vivant dans des sols rocheux (*Ariocarpus fissuratus*) : ce principe de gonflement hydraulique a été observé dans les racines qui se contractent pour tirer la plante dans le sol, les aidant ainsi à survivre à des chaleurs extrêmes. Cette stratégie ne semble pas être efficace dans un sol sableux.



Cactus à nervures verticales
© plantsforallseasons



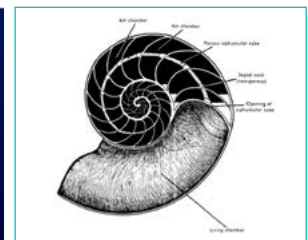
Ariocarpus fissuratus
© Matt Buckingham

Nautilite

- Animal marin vivant dans le bassin Indo-Pacifique à plusieurs centaines de mètres de profondeur.
- Le nautilite est un mollusque dont la coquille est formée de plusieurs chambres étanches (environ 28 pour un nautilite adulte). Un cordon (le siphon) parcourt toutes les chambres et les connecte à l'organisme vivant. Le nautilite contrôle par osmose (en ajustant la quantité d'ions) la quantité d'eau dans les différentes chambres afin de réguler sa flottabilité.
- Au moment de la formation d'une nouvelle chambre, elle est remplie de liquide organique et se videra au cours de la vie du nautilite. Étant la plus grande (croissance en spirale) et la plus accessible, elle est toujours la plus remplie et permet au mieux de contrôler la flottabilité.



Nautilite vivant
© Le Mag des Animaux



© Denton et al., 1966

Applications envisagées

- Réservoirs/cuves à contenance variable, adaptable aux disponibilités et besoins
- Stockage résistant au gel et à la sécheresse

TRAITER L'EAU

Difficultés dans la conception

- Production d'eau utilisable à partir de sources non potables
- Maintenance et adaptabilité à l'évolution des types d'eau et des contaminants
- Séparation des flux et contaminants
- Centralisation ou décentralisation du traitement selon les applications

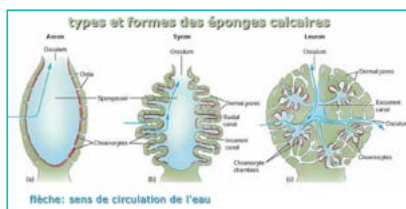
Stratégies existantes

- Séparer les types d'eau
- Combiner les systèmes de filtration naturels et artificiels, tout en s'alliant au vivant pour traiter l'eau sur les espaces du site
- Prendre en compte l'impact des produits de traitement

Stratégies inspirantes du vivant

Éponges marines

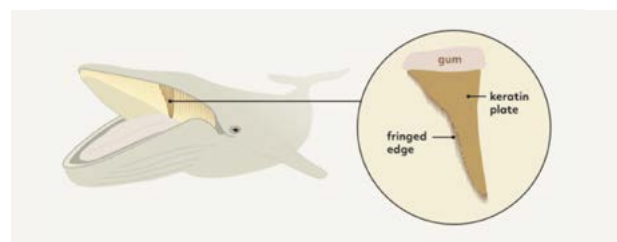
- Animal marin vivant dans tous les océans et mers. Premiers animaux apparus sur Terre il y a plus de 600 millions d'années (Museum national d'Histoire naturelle), avec certaines espèces présentes dans les eaux douces.
- Organisme filtreur à squelette souple, le corps entier d'une éponge marine est structuré pour augmenter la longueur du trajet de l'eau en son sein afin de maximiser la surface en contact avec cette eau et donc la quantité de nutriments absorbée, à l'inverse d'autres animaux filtreurs comme les moules et baleines par exemple, qui filtrent l'eau grâce à certains organes dédiés à cette fonction.
- L'eau y est aspirée par de petits orifices, puis circule dans les canaux de l'éponge au sein d'un réseau inhalant.
- Ce système concerne tout le corps et pas seulement un organe, le rendant très performant en termes d'efficacité de rétention des particules et de volume filtré (équivalent de son propre volume en 10 à 20 secondes)
- Le rôle écologique des éponges marines est reconnu car, en grand nombre, elles ont une action de premier plan dans la qualité de l'eau et sa clarté.



Éponges marines © D. Sabo, Shutterstock © aquaportail.com

Baleine bleue

- Animal marin vivant présent dans presque tous les océans.
- Les baleines à fanons, telles que la baleine bleue, se nourrissent en ouvrant leur bouche pour y engloutir le krill avec l'eau de mer l'entourant. Cette quantité d'eau serait suffisante pour doubler son poids à chaque bouchée. En fermant partiellement sa bouche, elle l'expulse à travers ses fanons. Les fanons, composés de kératine, servent à piéger le krill jusqu'à une taille d'environ 0,5 mm. Les fanons sont formés d'environ 100 à 400 plaques parallèles entre elles et perpendiculaires à l'axe de la mâchoire.
- Chez la baleine boréale (*Balaena mysticetus*), en plus de servir de filtre, il a été observé que ces structures dirigent le krill vers l'arrière de sa gorge pour limiter l'obstruction des fanons.



© asknature

Applications envisagées

- Filtration mécanique sans produits chimiques
- Systèmes de filtration continue intégrés aux canalisations

UTILISER L'EAU POUR D'AUTRES FONCTIONS

Difficultés dans la conception

- Réduction du gâchis d'eau (quantité et qualité)
- Différenciation et séparation des types d'eau
- Difficulté à utiliser l'eau "recyclée" (même pour des raisons sanitaires, le recyclage des eaux grises, encore interdit, est soumis à une dérogation ARS)

Stratégies existantes

- Adapter l'utilisation à la qualité et quantité d'eau disponible
- Réutiliser les eaux pluviales pour l'arrosage, l'entretien et les sanitaires
- Rendre visible la consommation et les ressources disponibles

Stratégies inspirantes du vivant

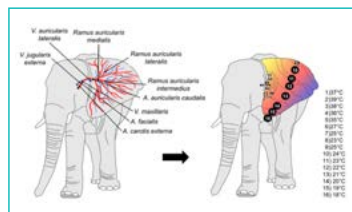
Oreilles d'éléphant

Loxodonta africana : Climat aride : Originaire d'Afrique centrale et de l'Ouest

Elephas maximus : Climat tropical : Originaire d'Asie du Sud-est

Les éléphants guident leur flux sanguin vers leurs oreilles pour libérer de la chaleur par convection. Les oreilles servent en effet d'échangeurs thermiques avec le sang comme fluide caloporteur. La large vascularisation et la faible épaisseur de ces structures permettent d'augmenter la dissipation énergétique. Les oreilles des éléphants d'Afrique (*Loxodonta africana*) sont environ 3 fois plus larges que celles des éléphants d'Asie (*Elephas maximus*).

Chez les éléphants d'Asie (*Elephas maximus*), il a été observé que le battement des oreilles d'éléphants augmente avec la température ambiante. Ainsi, quand l'air autour de l'oreille est trop chaud, réduisant l'efficacité du transfert thermique, l'éléphant renouvelle l'air à proximité en battant des oreilles.



Oreilles d'éléphant
© Robert Hardholt

© Dominguez-Oliva et al., 2022

Pomme de pin de conifères

Présents dans plusieurs types de forêt : boréale, tempérée, subtropicale et subalpine.

De manière passive, les variations d'humidité génèrent un changement de morphologie dans la pomme de pin de conifères. Ces pommes de pin sont composées d'écailles s'ouvrant et se fermant en fonction des conditions ambiantes (température et humidité) pour libérer les graines au moment opportun. La pomme de pin se ferme en conditions environnementales humides pour protéger les graines et s'ouvre en conditions sèches pour les disséminer. La zone charnière de ces écailles est composée de deux types de tissus, l'un avec une hygroexpansion (expansion liée à l'humidité) beaucoup plus importante que l'autre. Sachant que ces tissus sont collés entre eux, en augmentant l'humidité ambiante, la différence de capacité à emmagasiner de l'eau dans ces tissus va générer une courbure de l'écaille.



Pomme de pin
© AdobeStock - Mark Ross

© Achim Menges

Applications envisagées

- Morphologie de canalisation adaptée aux besoins d'échanges thermiques par un fluide caloporteur
- Système de stockage temporaire pour refroidir
- Actuation passive adaptée à la météorologie
- Eau conservée sous d'autres formes pour l'utiliser

REJETER L'EAU

Difficultés dans la conception

Impact environnemental :

- Quantité d'eau rejetée à un instant t
- Qualité de l'eau rejetée (chimie, température, pression, ...)
- Localisation du rejet
- Température
- Manque de diversité de rejet du fait des fortes quantités à un endroit donné

Stratégies existantes

- Favoriser la perméabilité des sols
- Créer des espaces tampons multifonctionnels
- Augmenter les surfaces de rejet
- Intégrer des espaces d'évapotranspiration (artificiellement/naturellement)

Stratégies inspirantes du vivant

Latex du figuier

Climat tempéré : Originaire d'Asie

Quand l'écorce du ficus (*Ficus elastica*) est endommagée (perforée ou déchirée), du latex, préformé au sein de cellules présentes sous l'écorce, est relâché passivement par gradient de pression. En effet, la pression étant plus forte à l'intérieur de l'arbre qu'à l'extérieur, le latex est expulsé par l'ouverture générée. En sortant, le latex entraîne avec lui les potentiels contaminants apportés par la blessure. Une fois exposé à l'air, le latex coagule en un bouchon élastique, scellant ainsi la plaie avec un matériau résistant à la traction pour empêcher toute nouvelle déchirure.



Latex du figuier / © B. Navez



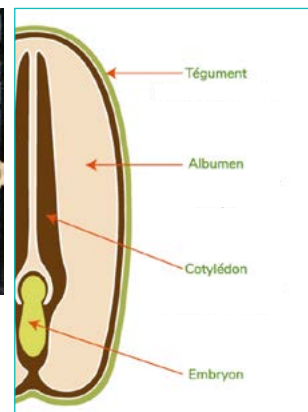
© Thawisak/stock.adobe.com

Graines de plantes

Climat : grande variabilité (espèces adaptées à de nombreuses conditions environnementales)
Le tégument (enveloppe d'une graine) de certaines plantes désertiques ajuste sa perméabilité à l'eau grâce à une valve sensible à l'humidité. Les graines restent en dormance jusqu'aux conditions propices à la germination. L'enveloppe de la graine est imperméable, sauf cette valve permettant de maintenir un niveau d'humidité interne satisfaisant. La valve s'ouvre et se ferme passivement grâce à des cellules hygroscopiques (absorbent les molécules d'eau présentes dans l'air) situées de part et d'autre de cette dernière. L'eau sous forme liquide est bloquée afin de ne pas réagir à chaque événement hydrique temporaire.



Graines de plantes
© Matthew Staver



© La Vie Saine

Applications envisagées

- Système de rejet progressif dans l'atmosphère
- Système hydrophobe pour le rejet de l'eau
- Système de dispersion d'eau

PROJETS DE RECHERCHE

Échelle urbaine

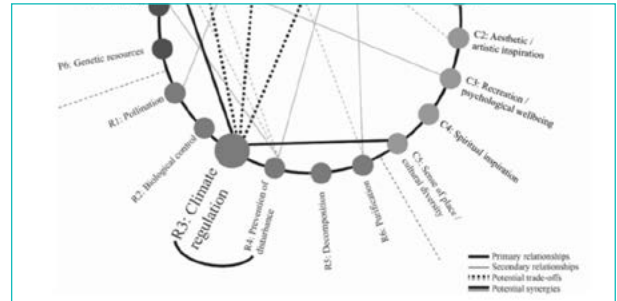
E. Blanco, 2022



- Cadre de conception urbaine basé sur le biomimétisme des écosystèmes et la conception régénérative pour aménager des bénéfices pour la nature et la société
 - Identification de 18 stratégies et de 26 indicateurs pour inciter à la production de services écosystémiques :
 - Réduire la consommation d'eau
 - Gérer les eaux pluviales localement (gestion des eaux pluviales & développement de surfaces perméables)
 - Gérer les eaux usées de manière durable sur site.

Échelle de l'écosystème

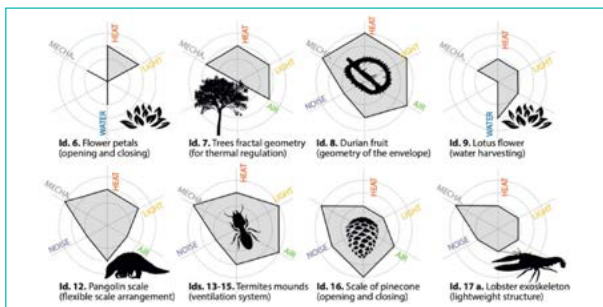
M. Pedersen Zari, 2017



- Outil d'analyse des services écosystémiques d'approvisionnement mesurables sur un site donné : avant urbanisation et situation actuelle, pour déterminer des objectifs de développement durable fondés sur la réalité écologique spécifique du site
 - Prise en compte de la ressource en eau sur le site et des évolutions du climat (dont l'augmentation/diminution des précipitations) pour une adaptation future au changement climatique.
 - Étude des stratégies prioritaires d'utilisation de technologies efficaces et de changement de comportement réalisées à Wellington, Nouvelle-Zélande.

Échelle du bâtiment

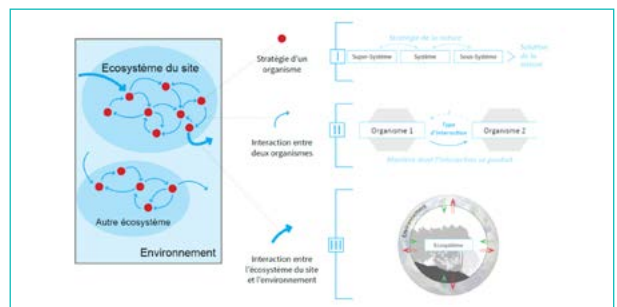
L. Badarnah, E. Cruz, T. Hubert, 2016-2022



- Identification des grandes stratégies du vivant, exploration d'enveloppes biologiques d'intérêt et abstraction des principes fonctionnels vers des concepts
 - Gain d'eau : par condensation / diffusion
 - Transport : par gravité / action capillaire
 - Perte : par différence de pression / débit d'air / température / surface et orientation
 - Conservation : par réduction de l'évaporation / réduction de l'exposition aux rayonnements
 - Étanchéité : par construction en dôme, matrices de fibres, structures externes, membranes étanches, gradients de pression

Multi-échelles

T. Houette, 2017



- Analyse de la gestion de l'eau dans le vivant et des méthodes d'abstraction vers l'architecture de l'échelle des écosystèmes à celle des matériaux :
 - Échelle écosystémique avec les mesures de pré-développement
 - Échelle de la communauté avec l'analyse des interactions biologiques
 - Échelle de l'organisme et de ses organes avec l'approche de BioTRIZ en sous-système-système-super système
- Exploration biologique et développement d'outils de méthodologie d'abstraction

PROJETS BIO-INSPIRÉS



© Mithun Architects

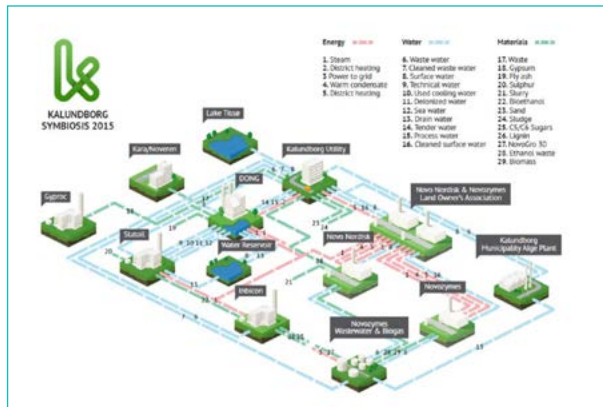
Lloyd Crossing Project

L'écoquartier Lloyd Crossing, situé à Portland (USA), est un projet de réhabilitation sur 45 ans. Ce projet de 35 îlots bâtis répartis sur 800 ha doit tendre vers une autonomie en eau, énergie et neutralité carbone.

Ce projet vise à reproduire les services écosystémiques originellement produits par la forêt présente avant urbanisation. Les équipes de Mithun Architects et de GreenWorks Landscape Architecture Consultants ont effectué une étude approfondie de l'écosystème naturel préexistant sur le site avant son développement urbain grâce à l'outil « Pre-development Metrics ». Ces données ont permis de fixer les objectifs de performance écologique du site, de qualité de services écosystémiques, afin d'augmenter ainsi la résilience du site. Des évaluations régulières ont été mises en place pour s'assurer que les objectifs seraient atteints d'ici 2050.

Plusieurs stratégies ont été mises en place pour tendre vers l'autonomie en eau :

- Favoriser l'accueil de plus de biodiversité (augmentation des surfaces végétalisées et réduction des minérales)
- S'approcher des pourcentages originels en termes d'eau infiltrée, évaporée, transpirée et ruisselée.
- Conserver plus de 60% de l'eau du site grâce à une gestion plus efficace (stockage, infiltration dans les sols, ...).



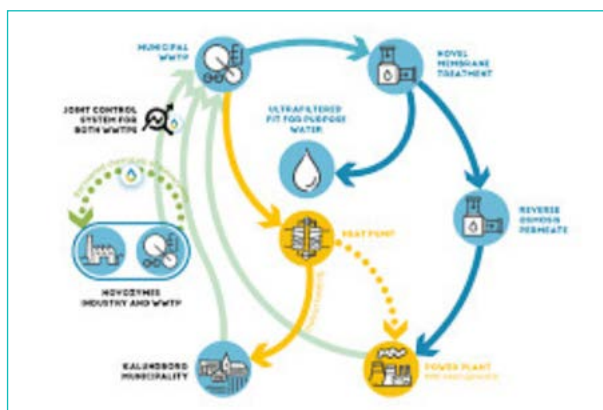
Kalundborg Symbiosis

Le projet Kalundborg Symbiosis a été lancé dans les années 70 au Danemark et est toujours en fonctionnement. Il repose sur la collaboration entre 18 structures publiques et privées pour créer un réseau interconnecté où les déchets et sous-produits d'une entreprise deviennent les ressources d'une autre. Pour la ressource en eau, 11 typologies d'eau sont échangées au sein de ce réseau. Cette différenciation permet de valoriser les déchets d'une structure en ressources pour une autre sans ou avec un minimum d'étapes intermédiaires.

Plus de 30 flux différents de ressources énergétiques et de matières circulent entre les acteurs.

- Économies directes : 24 millions d'euros
- Réductions environnementales annuelles :
 - Émissions de CO₂ évitées : 635 000 tonnes.
 - Économies d'eau : 3,6 millions de m³.
 - Économies d'énergie : 100 GWh.
 - Matériaux réutilisés : 87 000 tonnes.

Cette symbiose crée plus de résilience, réduit les impacts environnementaux ainsi que les coûts de production des entreprises du parc. Depuis 2015, le parc industriel a réduit de 80% ses émissions de carbone.



© Symbiosis Center

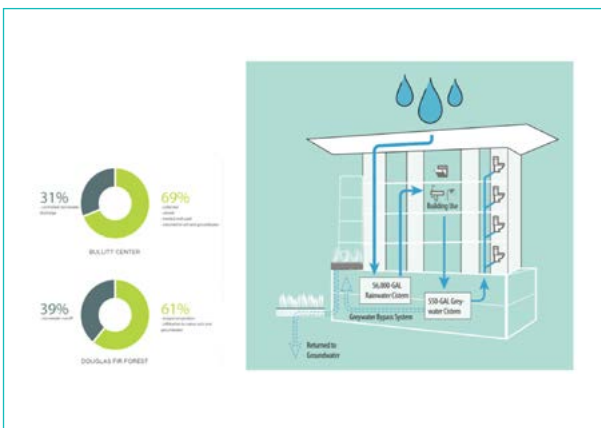
PROJETS BIO-INSPIRÉS



Bullitt Center

Le Bullitt Center est un immeuble de bureaux de plus de 4500 m² sur 6 étages réalisé par Miller Hull Partnership, inauguré en 2013 à Seattle. Il a été conçu pour durer 250 ans. En s'inspirant des processus écologiques du Pin de Douglas et des forêts du territoire, le Bullitt Center tente de restaurer les services écosystémiques préalablement existants sur le site du projet. Les stratégies suivantes lui permettent d'être autosuffisant en eau :

- L'eau pluviale est stockée dans une citerne d'une contenance de plus de 200 000 litres et collectée à la surface des 1300 m² de panneaux solaires,
 - Des systèmes de filtration par céramique, charbon actif et petite dose de chlore pour potabiliser l'eau sur site.
 - Une des 5 pompes à chaleur (énergie issue des 26 puits de géothermie) est dédiée au chauffage de l'eau des robinets et douches.
 - Les toilettes consomment très peu d'eau et s'inspirent des toilettes sèches.
 - Les eaux usées sont biologiquement traitées par phytoépuration et traitement UV (grises), ou compostées (noires) avant d'être réintégrées dans l'environnement.
 - Il est estimé que le système de toilettes génère 2,7 tonnes de compost par an et économise 1,4 millions de litres d'eau par an. Au long du cycle de vie du bâtiment, 680 000 \$ d'externalités environnementales pour le traitement des eaux noires seraient évitées.
- Ce bâtiment est certifié LBC.



© <https://bullittcenter.org/>



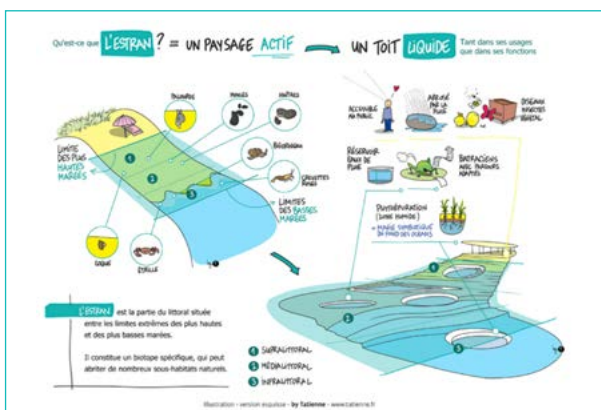
L'Estran

L'Estran est un projet porté par l'agence Bechu&Associés en partenariat avec le bureau d'études Elan. Le projet de Pôle d'Excellence en biomimétisme marin a l'ambition de construire un « système vivant » et régénératif à Biarritz. Les objectifs majeurs de ce projet sont de créer un écosystème, de s'adapter au changement climatique, de s'inscrire dans le paysage et de générer un bâtiment cadré par le monde scientifique.

Les certifications Living Building Challenge et Haute Qualité Environnementale ont servi de cadre de conception.

Dans ce cadre, les concepteurs ont mis en avant les services écosystémiques que le projet produirait après 1 et 25 ans, comparé à la situation avant projet. Le projet est couvert d'une toiture biomimétique active composée d'une zone humide servant de réservoir d'eau pluviale, de système de phytoépuration et d'habitat pour la biodiversité tout en étant un élément paysager accessible.

Ayant pour objectif de devenir autosuffisant en eau, le projet récolte l'eau pluviale, traite les eaux grises et noires pour les réutiliser en boucle fermée.



© Béchu & Associés

PROJETS BIO-INSPIRÉS



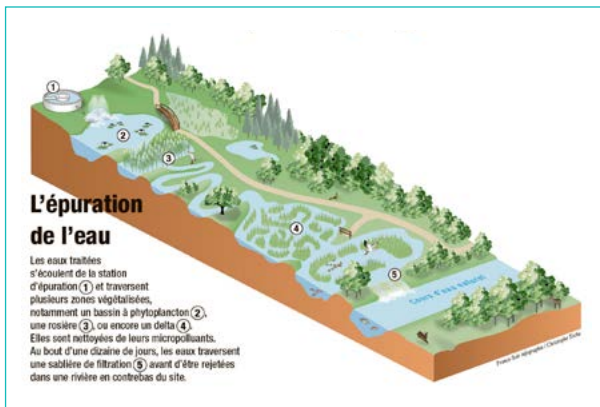
© CL Architecture - JS CERES

Siège Nord Midi-Pyrénées du Crédit Agricole

Ce projet est un bâtiment de bureaux situé à Montrozier en Aveyron destiné à accueillir 300 collaborateur·ices sur une emprise au sol de 3 000 m², réduisant ainsi l'empreinte par rapport aux 9 500 m² du bâtiment existant. Une équipe de conception pluridisciplinaire a été mise en place pour répondre aux enjeux du projet piloté par CL Architecture et Bédrune Architecte avec Nobatek sur l'environnement, un écologue, Exen et un bureau d'études dédié à la gestion de l'eau ARKITURRIA. Le bâtiment a été conçu en s'inspirant des dolines, forme caractéristique de ce territoire calcaire.

Les principales caractéristiques du projet en faveur de la gestion de l'eau sont :

- Les toitures végétalisées serviront de refuges à la biodiversité et participeront à la récupération et retenue des eaux pluviales pour alimenter le biotope du bâtiment.
- Le parti pris architectural est de créer un bâtiment « source » où l'eau et sa gestion sont optimisées (arrosage des espaces verts, entretien, alimentation des sanitaires, etc.). Pour compléter la récupération des eaux pluviales et leur usage pour alimenter la végétation du patio, les sanitaires et l'arrosage des espaces verts, un cycle de l'eau sera mis en place pour également phytoépurer les eaux grises et ainsi augmenter la résilience du bâtiment vis à vis des épisodes de sécheresse.
- Un espace aquatique asséché à côté du bâtiment se remplit et se vide selon les utilisations de l'eau dans le bâtiment. Cette stratégie pédagogique sert à informer les usager·es du stress hydrique du bâtiment et fonction de l'eau disponible. Si ces espaces s'assèchent, les usager·es sont donc invité·es à limiter leur consommation car elles proviennent des réserves. Pour les utilisations non conventionnelles, le bâtiment a une autonomie en eau de 2 mois pour trois usages (chasses d'eau, irrigation, entretien). À l'année, le projet est positif en eau et recharge les nappes par infiltration, au niveau des dolines notamment.



© Christophe Tèche / Nature = futur !

Zone libellule

Les Zones Libellule développées par Suez Environnement sont des espaces aménagés en aval des stations de traitement des eaux usées et constitués de différents compartiments qui reproduisent le fonctionnement des zones naturelles humides (biogéochimique, hydrologique, biodiversité).

Elles permettent d'éliminer 80% des micropolluants déversés dans les cours d'eau et contribuent également à lisser les débits et favoriser l'accueil de biodiversité. Les effluents s'écoulent par gravité dans plusieurs compartiments végétalisés successifs pendant une dizaine de jours. Cela permet de combiner différentes voies d'élimination des polluants (décantation, photolyse, biodégradation). Plusieurs centaines d'espèces végétales sont choisies en fonction de leurs capacités épuratoires et de leur intérêt écologique. Ces zones peuvent aller d'une centaine de m² à plusieurs hectares.

PROJETS BIO-INSPIRÉS

Cactile



© Cactile

Cactile s'inspire du cactus pour créer un système de tuiles récupérant l'eau de pluie, adapté aux bâtiments neufs ou à rénover. Installé sur les toitures ou façades, il permet de stocker jusqu'à 40 litres d'eau par m², sans emprise au sol, ni consommation d'énergie. Le système repose sur trois couches : collecte, réservoirs interconnectés, et tuiles métalliques. Il ralentit l'écoulement de l'eau, soulage les réseaux en cas de fortes pluies et permet une réutilisation domestique ou municipale.

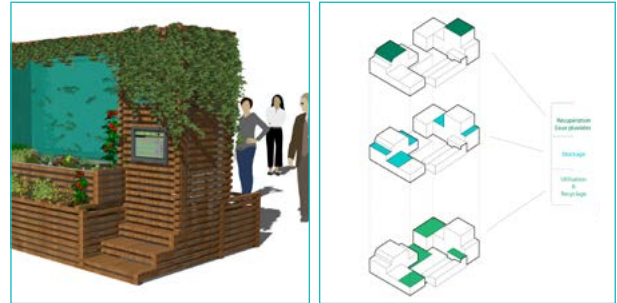
Solargate



Crédit photo : ICD/IntCDC Université de Stuttgart

Le fonctionnement du Solar Gate est inspiré par les pommes de pin : ces dernières ouvrent ou ferment leurs écailles en fonction de l'humidité (principe hygromorphe). Pour reproduire ce comportement, les chercheur·euses ont créé des structures bimatières : une couche active qui se dilate avec l'humidité et une couche restrictive qui limite cette dilatation, mimant la microstructure des écailles de pin. Le matériau utilisé est la cellulose, un biomatériau abondant et renouvelable, dont la structure anisotrope (orientation des fibres) permet cette déformation hygromorphe. La technique de 4D-impression (impression 3D + capacité à évoluer dans le temps) est utilisée pour programmer la forme initiale plate des modules, qui se transforment ensuite de manière autonome selon les conditions climatiques. Le design biomimétique est co-conçu par des biologistes, des architectes et des scientifiques des matériaux, ce qui montre un fort croisement disciplinaire.

Arkiturria



© Arkiturria

Arkiturria a pour ambition de valoriser, d'économiser et de réutiliser l'eau et de réinsérer la biodiversité au sein du bâtiment. Leur objectif est de repenser la gestion de l'eau en ramenant le petit cycle hydrologique à l'échelle du bâtiment ou du quartier, en portant l'idée d'un micro-cycle de l'eau. Un micro-cycle qui a la vertu de capter, d'utiliser, de purifier et de réutiliser chaque goutte d'eau. Ainsi, sont proposés des systèmes de traitement et de recyclage des eaux de pluies, toitures végétalisées, aquaponie, climatisation naturelle, des systèmes de visualisation de la consommation d'eau du bâtiment.

Lotusan

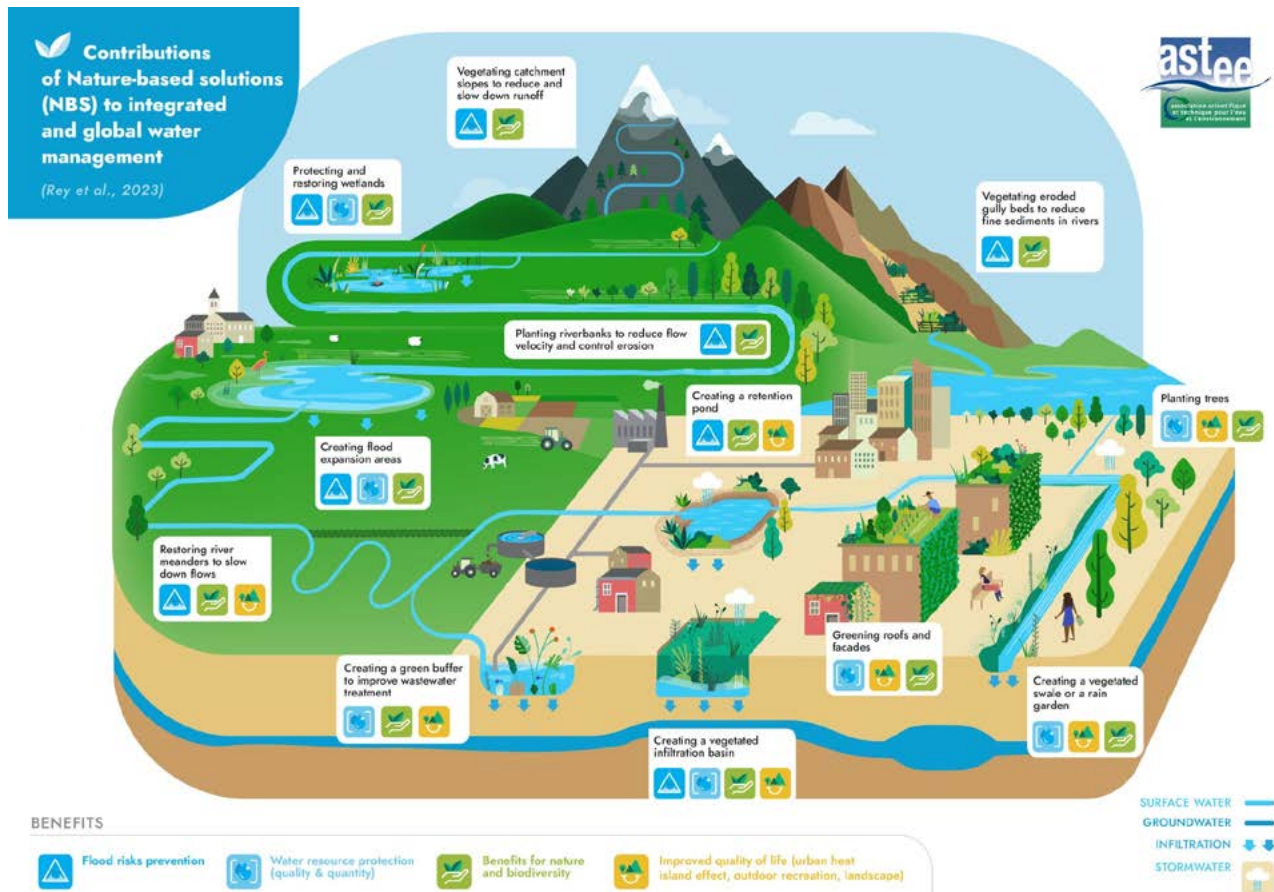


© Lotusan

La peinture Lotusan, s'appuyant sur la technologie Lotus-Effect®, permet aux façades de rester propres plus longtemps. Grâce à sa surface microtexturée et hydrophobe inspirée du lotus, la rosée, la pluie et le brouillard ne peuvent pas adhérer à la façade et s'écoulent simplement en gouttelettes, entraînant avec elles les particules de saleté qui adhèrent librement à la surface. Les algues et les champignons sont privés des nutriments dont ils ont besoin pour se développer, ce qui permet à la façade de rester propre et attrayante plus longtemps. La capacité d'auto-nettoyage garantit une protection active contre les intempéries et la régulation de l'humidité. Elle est disponible en option avec un bouclier thermique contre l'échauffement solaire (technologie X-black) et également sous forme d'enduit.

LES SOLUTIONS FONDEES SUR LA NATURE

Les Solutions fondées sur la Nature (SfN) sont définies par l'UICN comme : « les actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité. » Elles constituent une réponse aux défis actuels liés au changement climatique en matière de gestion de l'eau.



Nature-based solutions for water management: Pluridisciplinary state-of-the-art and research needs <https://hal.inrae.fr/hal-05458449>

Dans le cadre du projet LIFE ARTISAN, l'Office français de la Biodiversité (OFB) lance le MOOC « S'adapter au changement climatique avec les Solutions fondées sur la Nature », dont la diffusion est prévue en septembre 2026. Cette formation en ligne, 100% gratuite, a pour objectif de faire comprendre, agir et transformer les pratiques grâce aux Solutions fondées sur la Nature.

Rodriguez-Ramirez N., Parelle A., Rharbaoui S., Bouffard C., Mathou D., Orduña Correcher C., Chekchak T., Gilbert P., et al. (2026). MOOC « S'adapter au changement climatique avec les Solutions fondées sur la Nature ». OFB - Office français de la biodiversité

POUR ALLER PLUS LOIN

Freins

- Systèmes majoritairement difficiles d'accès (souterrain, derrière des composants, ...)
- Ressources en eau très variables entre la localisation (présence de nappes phréatiques, rivières, barrages, ...)
- Acceptation (de la part des usager-es et des réglementations) des systèmes non-traditionnels
- Faible considération pour cette ressource relativement peu chère et disponible
- Législation peu connue et variable selon les régions et dans le temps

Opportunités

- Penser en bassin versant
- Comprendre l'environnement d'insertion par le biais d'un diagnostic multi-enjeux multi-échelle exhaustif
- S'appuyer sur les solutions fondées sur la nature
- Développer des solutions adaptées aux variations climatiques
- Former les équipes sur les systèmes non-traditionnels
- Penser la multifonctionnalité : utilisation de l'eau pour d'autres fonctions et inversement, permettre des fonctions qui aujourd'hui nécessitent de l'eau autrement
- Emboîter les échelles
- S'appuyer sur les low-techs adaptées aux villes développées et zones rurales
- Suivre les performances pour comparer les systèmes et mettre en valeur les bonnes pratiques
- Intégrer l'écosystème de la ville aux écosystèmes naturels pour les régénérer
- Améliorer la résilience des systèmes humains face aux événements climatiques
- Éduquer les usager-es en plus des concepteur-ices
- Faire des fluctuations environnementales des opportunités

Perspectives

- Vers une gestion de l'eau régénérative, autonome à l'échelle des villes
- Émergence de projets collaboratifs, tels que la plateforme d'études dédiée à la gestion durable de l'eau dans le bâtiment du CSTB «Aquasim» (<https://www.cstb.fr/plateformes-essais/gestion-durable-eau-aquasim/>)

Évolution des métiers

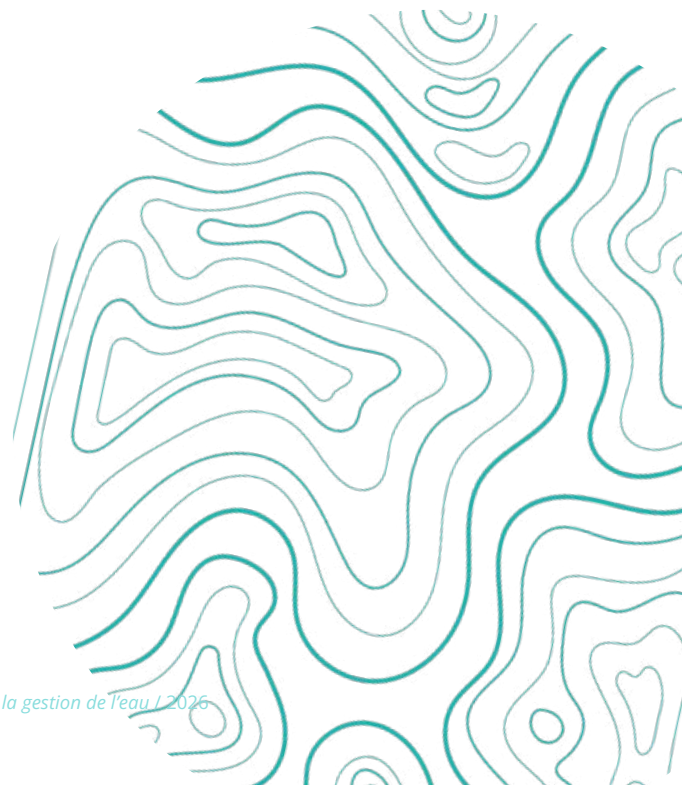
- Nouvelles compétences et métiers à développer : génie écologique, hydrologie régénérative, etc.
 - Nouvelles formations (ex: https://www.francetvinfo.fr/replay-radio/au-fil-de-l-eau/a-l-heure-des-choix-d-orientation-quelles-sont-les-formations-aux-metiers-de-l-eau_5071105.html)
- Collaborations interdisciplinaires
- Potentiels appels à projet pour des nouvelles façons de gérer l'eau

Ouverture sur l'approche biorégionale

La biorégion est un territoire délimité par des caractéristiques écologiques relativement homogènes et autonomes « en cohérence avec la population, sa culture et son histoire » (Latouche, 2019).

L'approche biorégionale appliquée à la gestion de l'eau invite à :

- Penser à l'échelle de la biorégion hydrologique : bassin versant, climat, sols et géologie, interconnexion des écosystèmes
- Penser le cycle de l'eau comme un métabolisme à l'échelle du territoire et dans le temps long
- Hiérarchiser les usages de l'eau en fonction des limites écologiques
- Organiser la gouvernance à cette échelle et considérer l'eau comme un bien commun



RÉFÉRENCES PRINCIPALES

Badarnah Kadri, L., 2012. Towards the living envelope biomimetics for building envelope adaptation. Delft University of Technology.

Blanco, E., 2022. Producing Benefits for Nature and Society: an Urban Design Framework Based on Ecosystem-level Biomimicry and Regenerative Design. Muséum National d'Histoire Naturelle.

Bourré, P., 2023. Biorégions bio-inspirées, en quoi le Vivant inspire-t-il l'approche biorégionale ? ENSCI Les Ateliers.

CNRS, 2020. L'eau, Dossiers thématiques du CNRS

Cruz, E., 2021. Multi-criteria characterization of biological interfaces: towards the development of multi-functional biomimetic building envelopes.

Houette, T., 2017. La gestion de l'eau en architecture : une approche biomimétique vers la durabilité. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris La Villette, Paris.

INRAE, 2023. Gestion de la ressource en eau, FAQ de la presse

Hubert, T., 2022. Bio-inspiration et enveloppe du bâtiment : proposition d'une méthode de conception et application expérimentale.

ONU-Eau & WWAP, 2018. Les solutions fondées sur la nature pour la gestion de l'eau

Planetary Boundaries Science, 2025. Planetary Health Check 2025. Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Potsdam, Germany

SDES & OFB, 2020. Eau et milieux aquatiques – Les chiffres clés – Edition 2020, Data lab

SDES, 2022. L'eau en France : ressource et utilisation – Synthèse des connaissances

Zari, M.P., 2017. Biomimetic urban design: Ecosystem service provision of water and energy. Buildings 7, 21. <https://doi.org/10.3390/buildings7010021>



**Biomim'
CITY
LAB**



**INTÉRESSÉ
PAR LA
DÉMARCHE ?**

Qui sommes-nous ? Le Biomim' City Lab

Nous sommes un collectif créé en 2019 et coordonné par Ceebios, engagé pour le développement de la ville régénérative par le biomimétisme. Nous sommes +10 acteur-ices de la ville, architectes, maîtres d'ouvrage, bureaux d'études, promoteur-ices...

Nos contributions

- Manifeste du Biomim'City Lab
 - *État des lieux des projets urbains bio-inspirés français*
- Guide *Évaluer la qualité technique d'opérations bio-inspirées*

Des formations

Ceebios propose une formation de deux jours pour initier la maîtrise d'oeuvre et la maîtrise d'ouvrage à la conception d'un projet urbain bio-inspiré et régénératif.

<https://ceebios.com/2022/11/04/formation-projet-urbain-bio-inspire-regeneratif/>

Le grand défi

Notre capacité à réinventer des espaces de vie propices au vivant dépendra de notre capacité à penser, créer et agir ensemble, à mêler nos savoirs et passions, à nous écouter, à animer cette confluence des talents, finalement à stimuler notre intelligence collective au service de notre communauté de destins.

Nos engagements

- Faciliter le partage de bonnes pratiques
- Développer ensemble de nos outils
 - Faire évoluer les pratiques
 - Partager notre expertise

En savoir plus

Site internet Ceebios

<https://ceebios.com>

Merci aux membres du Biomim'City Lab



Participez ! Rejoignez-nous !

contact@ceebios.com

