

Un éclairage de la réflexion « low-tech » pour la gestion de l'eau en milieu domestique

**Rapport de stage TFE
au Syndicat mixte des gorges du Gardon
du 08/04/24 au 27/09/24**

Sébastien MARÉCAUX

Référent ECN

Jean-Marc BENGUIGUI

Responsable de l'option-projet LOWTEC

Tuteur de stage

Daniel MUNCK

*Chargé de mission pierre sèche
et attractivité territoriale*

Remerciements

Avec ce Travail de Fin d'Etude (TFE) et ce rapport s'annonce la fin de ma scolarité à Centrale Nantes. Ce sont 6 ans d'études supérieures qui se terminent pour moi et qui furent d'une richesse incommensurable en termes de connaissance, de compréhension du monde qui m'entoure et de rencontres inspirantes. Ce dernier stage m'a permis de voir tout le chemin parcouru depuis le bac.

Tout d'abord, j'aimerais remercier chaleureusement toute l'équipe du SMGG pour leur accueil, spécialement **Séverine** pour avoir partagé le bureau avec moi pendant 6 mois, mais aussi celles et ceux qui m'ont permis de les accompagner sur des missions autres pour me faire découvrir leur travail : **Guillaume** pour la découverte des placettes, **Marie** pour le tout-terrain et l'« escalade-randonnée » pour aller observer des rapaces, **Daniel** pour la découverte du patrimoine pierre sèche et **Mélissa** pour la découverte des suivis de perdrix et de la conduite tout-terrain qui va avec. Un grand merci aux stagiaires et services civiques présents cette année : **Juliette, Baptiste**, et particulièrement **Amélie** et **Amandine** pour m'avoir emmené sur le terrain découvrir la chasse aux papillons et les plus belles plages des gorges.

Je tiens à remercier l'équipe du GT Low-Tech qui m'a accompagné pour la construction de la fiche-action : **Régis, Lydie, Daniel, Jean-Marie** et **Constance**. Les échanges ont été très enrichissants pour moi, tant professionnellement que personnellement. Merci tout particulièrement à **Constance** pour son aide et sa disponibilité sans faille malgré un rôle de coordinatrice de candidature très prenant.

De manière générale, je tiens à remercier **Daniel**, mon tuteur de stage, pour sa disponibilité, son écoute, les nombreux échanges fructueux que nous avons eu, les conseils et globalement son suivi de mon stage.

Mes remerciements et ma gratitude vont également à **Jean-Marc BENGUIGUI**, responsable de l'option Ingénierie des low-tech 2023-2024 pour tout le travail acharné qu'il réalise pour diffuser la low-tech à Centrale Nantes et au-delà et pour nous avoir permis d'avoir l'enseignement exceptionnel que l'on a eu cette année, tant du point de vue du format que du fond. A cela se rajoute mes remerciements à mes **camarades de la promotion WELOW 2023-24** pour ce début d'année mémorable et les expériences et échanges riches que l'on a pu avoir.

Enfin, je tiens à remercier **Kaspar**, du potager partagé de Collias, et **Gwenn**, du jardin partagé de Remoulins, que j'ai rencontré au cours de mon stage qui m'ont beaucoup aidé dans ma compréhension de ce que la low-tech peut apporter en termes d'utilisation de l'eau pour l'arrosage. J'en profite également pour remercier plus généralement toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à enrichir le contenu de ce rapport au travers d'échanges et de rencontres.

Sommaire

Résumé du rapport.....	1
0. Introduction.....	2
1. L'eau et la low-tech.....	3
1.1. Plus que des systèmes, une réflexion et une démarche low-tech.....	3
Définition.....	3
Le contexte local : un élément clé en matière de ressource en eau.....	4
Les systèmes low-tech n'économisent pas vraiment l'eau.....	4
1.2. Le croisement de l'hydrosphère et de la socio-technosphère.....	5
1.3. Revenir aux processus physiques.....	5
1.4. Des points d'attention à garder en tête dans l'évaluation des solutions « low-tech » pour l'économie d'eau.....	6
2. Etat de l'art de systèmes et techniques low-tech pour la gestion de l'eau en milieu domestique.....	8
2.1. Collecte.....	9
Récupération des eaux de pluie.....	9
Récupération de l'humidité atmosphérique.....	9
Récupération des eaux domestiques peu sales.....	10
Désalinisation de l'eau de mer.....	10
2.2. Stockage.....	11
Stockage naturel.....	11
Stockage « artificiel ».....	12
2.3. Distribution.....	13
Déplacement gravitaire.....	13
Pompage.....	13
Techniques de régulation de débit.....	15
2.4. Usages.....	16
Sanitaires.....	16
Hygiène corporelle.....	20
Arrosage.....	22
Lavage du linge.....	25
2.5. Traitement.....	25
Filtration.....	25
Assainissement.....	27
Réutilisation des eaux grises.....	28

3. Enseignements et perspectives.....	30
3.1. La prépondérance du comportement par rapport à la technique.....	30
3.2. Les principes de la gestion économe de l'eau low-tech.....	30
3.3. Des ambivalences flagrantes et antagonistes.....	31
4. Conclusion.....	33
Annexes.....	I
Annexe 1 : Réglementation sur l'utilisation d'eaux impropres à la consommation humaine dans les habitations.....	I
Annexe 2 : Les oyas : un exemple qui montre la complexité de l'approche low-tech.....	V
Annexe 3 : Système de remplissage automatique d'oyas par le principe des vases communicants.....	VI
Annexe 4 : Arbres de décisions pour les sanitaires.....	VIII
Annexe 5 : Arbres de décisions pour les douches.....	X

Crédit

Les illustrations de ce document ont été réalisées par l'auteur. Elles sont réutilisables, tant que l'auteur est mentionné, et disponibles sur demande.

Les marques et produits commerciaux évoqués dans ce document n'ont fait l'objet d'aucune rémunération pour l'auteur. Ils ne sont là que pour illustrer l'existence concrète de solutions techniques et non dans une logique de promotion commerciale.

Résumé du rapport

Ce rapport s'inscrit dans le cadre de mon Travail de Fin d'Etude achevant mon cursus d'ingénieur généraliste de Centrale Nantes et effectué auprès du Syndicat mixte des gorges du Gardon dans le Gard d'avril à septembre 2024. Il repose sur mon travail d'inventaire des systèmes et techniques « low-tech » qui existent pour la gestion de l'eau en milieu domestique, notamment dans une optique de réduction des consommations. L'objectif est de présenter l'étendue des systèmes et techniques trouvés ainsi que les enseignements auxquels j'ai abouti après 6 mois passés sur ce sujet.

Malgré des travaux récents essayant de le définir, le terme « low-tech » reste abstrait et s'applique aussi bien à des systèmes-objets qu'à une démarche, une réflexion générale dans notre rapport à la technique. Il apparaît que l'économie d'énergie est l'axe principal des systèmes-objets low-tech et que les économies d'eau ne sont que secondaires ; voire même qu'elles nécessitent une augmentation de la complexité technique (exemple de la vaisselle à la main *vs.* un lave-vaisselle).

Le cycle de l'eau domestique peut être découpé en 5 grandes étapes : la collecte, le stockage, la distribution/le transport, l'usage, et le traitement/l'épuration. De nombreux principes physiques et processus naturels en lien avec l'eau peuvent jouer un rôle dans la conception de systèmes low-tech pour la gestion et l'économie d'eau en milieu domestique. Dans une approche low-tech, il est à noter que la recherche d'économie d'eau ne doit pas se faire au détriment d'autres considérations (complexité technique, coût financier, consommations énergétiques, effets rebonds, acceptabilité sociale, ...). Des arbitrages doivent donc se faire entre les enjeux ambivalents et antagonistes.

Pour la phase de Collecte, différentes sources alternatives aux eaux souterraines et de surface peuvent être trouvées dans une approche low-tech. Il y a notamment la collecte et récupération des eaux de pluie, la précipitation de l'humidité de l'air, la récupération de certaines eaux usées peu sales ou encore la désalinisation de l'eau de mer. Le contexte local joue beaucoup dans la pertinence des différentes solutions évoquées.

Le Stockage peut se faire soit de manière naturelle avec une eau stockée qui s'inscrit dans l'écosystème naturel environnant (mare, bassin naturel, jardin de pluie), soit de manière artificielle avec une eau stockée déconnectée de l'environnement. Les cuves peuvent être enterrées ou en surface et avec des contenances allant de quelques centaines de litres à plusieurs dizaines de m³.

Le transport de l'eau dans la phase Distribution passe par le déplacement de la ressource, qui peut se faire naturellement (par gravité), ou artificiellement (par du pompage : éolien, solaire électrique, manuel à main ou à pédales), ou par régulation du débit en diminuant la surface d'écoulement, notamment par de la compression, ou en obstruant la conduite d'eau (mousseurs, interrupteurs flotteurs).

Parmi les Usages de l'eau en milieu domestique, trois ressortent du lot : les sanitaires et l'hygiène corporelle, les deux plus gros postes de consommation, ainsi que l'arrosage. De nombreux systèmes et techniques existent suivant l'usage : différents modèles de toilettes sèches et l'utilisation d'eau de pluie pour les WC, et des pommeaux hydroéconomiques, réducteurs de débit, buses de brumisation et douches de camping pour l'hygiène corporelle. Pour l'arrosage, les techniques apportent l'eau soit en surface, soit en profondeur pour toucher directement les racines.

Une fois l'eau « usée », elle doit être épurée et traitée. Différents processus correspondent à cette phase : la filtration – et notamment les techniques d'infiltration –, l'assainissement – dont la phytoépuration – et la réutilisation des eaux grises (dans le respect de la nouvelle réglementation sur l'utilisation des eaux impropres à la consommation humaine).

Bien que différents systèmes techniques existent pour réduire la consommation d'eau domestique, sa gestion économe passe essentiellement par le comportement. Les économies d'eau dans une approche low-tech reposent sur 2 piliers principaux : la sobriété et l'efficacité. Une hiérarchie de principes peut également être donnée pour aiguiller une gestion « low-tech » de l'eau domestique : Renoncer, Réduire, Récupérer/Réemployer/Réutiliser, Recycler, Rendre à l'environnement. Auxquels s'ajoutent deux autres complémentaires : utiliser des énergies Renouvelables et Revenir aux processus naturels et physiques.

0. Introduction

Ces dernières années, en France, le sujet de la ressource en eau et des tensions apparentes, notamment du fait du changement climatique, a pris de plus en plus de place médiatique et dans les enjeux stratégiques d'adaptation. Cela est particulièrement le cas du sud de la France hexagonale qui connaît une aridification croissante avec des sécheresses de plus en plus sévères l'été. Le manque d'eau se fait ressentir de plus en plus fort et des arbitrages, accompagnés parfois de tensions, doivent se faire entre activités économiques, alimentation en eau potable de la population et préservation du milieu naturel.

Le mouvement low-tech a grandi en France ces dernières années mais s'est encore assez peu tourné vers la question de la gestion et de l'économie d'eau – en dehors de la phytoépuration et des toilettes sèches. Généralement, les économies d'eau étaient obtenues par la recherche de l'économie d'énergie (économiser l'eau chaude notamment). De nombreuses initiatives existent et sont parfois documentées, mais elles se limitent aux solutions elles-mêmes ou à des usages spécifiques. Il manque souvent, d'une part, d'une approche de synthèse à l'échelle du « système eau » domestique, que constitue le réseau d'eau d'une habitation et les objets et machines utilisant l'eau, et, d'autre part, d'une capitalisation des différentes idées et retours d'expérience, visant le plus possible l'exhaustivité.

En tant que gestionnaire d'espaces à fort enjeux de biodiversité, le Syndicat Mixte des Gorges du Gardon (SMGG) a lancé en 2022 le montage d'un projet LIFE visant à adapter le territoire autour des gorges du Gardon à la raréfaction de la ressource en eau à venir. Le projet porte à la fois sur l'eau et sur le sol et cherche à accompagner les efforts auprès des différents acteurs du territoire pour une action globale (structures actrices du tourisme, agriculteurs et agricultrices, communes, particuliers).

Pour la cible des ménages, l'approche par la low-tech – vu comme l'ensemble des solutions peu techniques, faciles à mettre en place, accessibles financièrement, facilement duplicables et massifiables – a été choisie pour son côté innovant. Cela a permis de dépasser les programmes traditionnels de réduction de la consommation d'eau des ménages (distribution de « kits hydroéconomiques » avec mousseurs, réducteurs de débit et pommeaux hydroéconomiques) pour proposer une action plus ambitieuse visant l'accompagnement de foyers vers la construction, l'installation et l'utilisation de systèmes techniques low-tech et l'adoption de certaines bonnes pratiques, avec une quantification des réductions que cela pourra engendrer.

Le SMGG a donc eu besoin d'un renfort via mon stage pour : réaliser un état de l'art des solutions techniques low-tech, regroupant les ressources et initiatives déjà existantes ; rencontrer les acteurs et actrices du territoire qui pourraient participer à la dynamique de déploiement des solutions ; et rédiger la fiche-action pour la candidature LIFE visant les économies d'eau chez les particuliers, notamment par l'adoption de systèmes techniques low-tech.

Quelles sont les solutions techniques low-tech existantes en matière de gestion de l'eau chez les particuliers, notamment dans un objectif d'économie d'eau ? Comment l'étude de leurs points communs, et de leurs caractéristiques permettent d'éclairer une réflexion low-tech sur le sujet ? Nous essaierons d'y répondre avec ce rapport qui est le fruit de 6 mois passés à se questionner sur les opportunités que peut apporter la réflexion et la philosophie low-tech dans notre approche de la gestion de l'eau en milieu domestique.

Ce rapport a donc deux objectifs principaux : d'une part, présenter le fruit de mon état de l'art des solutions low-tech en lien avec la gestion de l'eau, particulièrement en milieu domestique ; et d'autre part présenter les quelques conclusions auxquelles j'ai pu aboutir en matière de gestion low-tech de l'eau domestique, particulièrement dans une optique d'économie de la ressource.

Dans un premier temps, nous aborderons quelques éléments généraux sur la ressource en eau et l'approche low-tech. Cela donnera les préliminaires nécessaires pour aborder ensuite, de manière éclairée, mon état de l'art des systèmes et techniques low-tech pour la gestion de l'eau. Enfin, une troisième partie reprendra les différents enseignements que j'ai pu retirer de cette recherche avant que quelques perspectives sur le sujet ne soient données en conclusion.

1. L'eau et la low-tech

1.1. Plus que des systèmes, une réflexion et une démarche low-tech

DÉFINITION

Avant toute chose, il convient de revenir rapidement sur ce que j'entends par la dénomination « low-tech ». En effet, bien que ce terme ait gagné en notoriété ces dernières années avec certains ouvrages et le travail remarquable du Low-Tech Lab, il reste encore difficile à cerner, avec une définition mouvante et subjective. Il prolonge et se nourrit de plusieurs courants de pensées sur la technique et les technologies : « technologies douces », « technologies appropriées », « technologies intermédiaires », « technologies démocratiques », « innovation frugale », *etc.* [1], [2].

L'ADEME a réalisé un rapport pour synthétiser les travaux de définition sur la démarche « low-tech » et essayer de faire ressortir les points communs des définitions portées par les différentes structures du mouvement. Il en ressort notamment que le terme **dépasse l'idée de « système »¹ au sens d'objet et s'inscrit plutôt dans une démarche**. Pour les systèmes-objets, il en ressort l'importance : de l'**utilité** et du questionnement du **besoin** ; de l'**accessibilité** (tant financière, qu'en termes de compréhensibilité et d'appropriation par l'utilisateur) ; de la **durabilité** (tant d'un point de vue des impacts environnementaux que de la longévité) ; de l'**autonomisation** des individus ; de l'**intégration locale** en matière de ressources et d'adaptation aux contextes et contraintes. Pour la démarche, celle-ci repose sur certaines caractéristiques : le questionnement du **besoin** ; la recherche du **bien-être** et de la **convivialité** (au sens d'Illich) ; une **réflexion critique** sachant notamment remettre en cause la neutralité de la technique et questionner la technique, la technologie et le discours du progrès ; ainsi que l'**innovation** et l'**inventivité** – notamment organisationnelle et sociale [3].

Pour ma part, nourri par mes lectures, notamment le travail de l'ADEME, et mon passage dans l'option Ingénierie des low-tech de Centrale Nantes, je considère que le concept et la réflexion qu'amène l'idée de low-tech s'inscrit dans un mouvement de **questionnement profond de notre rapport à la technologie et aux techniques ainsi que de leur impact socio-technique sur nos sociétés**. Dans une approche low-tech j'estime qu'il y a une recherche d'une **rationalisation de l'usage de la technique** et de la **complexité technique des systèmes** (systèmes-objets et systèmes-infrastructures), notamment via la forte substitution du capital technique par le capital humain et social et/ou biologique. L'image de la low-tech comme curseur qui se déplace sur un axe entre la « no-tech » et la « high-tech », suivant le contexte et le besoin, me semble pertinente et éclairante dans l'utilisation de ce terme.

Enfin, au cours de mes recherches, j'ai réalisé que certains principes, mouvements, concepts, distincts du qualificatif low-tech initialement, présentent des solutions techniques qui peuvent s'inscrire dans une réflexion low-tech en matière de gestion d'eau d'un point de vue plus global. Cela valait notamment pour le mouvement des **technologies appropriées** et l'**aide humanitaire** qui ont de nombreuses ressources en lien avec l'approvisionnement en eau (pompage) et l'hygiène par l'apport d'eau potable et l'assainissement. Le **mouvement autonomiste** apporte également des idées intéressantes pour la collecte et le traitement de la ressource d'un point de vue local. D'autres pratiques comme l'**hydrologie régénérative** (ou *keyline design*) et la **construction en pierres sèches** permettent une gestion de l'eau d'un point de vue territorial, et, en matière d'agriculture, l'**agroforesterie**, la **permaculture**, la **culture sur sol vivant**, la **syntropie** proposent des pratiques qui s'inscrivent dans l'esprit low-tech à mes yeux.

1 Dans ce document, le terme de « système » sera fréquemment utilisé. Il peut à la fois désigner un objet technique qu'une infrastructure plus globale. Ce terme permet de faire ressortir la dynamique et les interactions avec l'environnement (flux entrants et sortants de matière, ressources, informations) que les termes neutres et passifs d'objet et d'infrastructure cachent. J'essaierai de préciser dans le texte lorsque la distinction est importante.

LE CONTEXTE LOCAL : UN ÉLÉMENT CLÉ EN MATIÈRE DE RESSOURCE EN EAU

La dimension locale est centrale dans la réflexion low-tech sur plusieurs points (approvisionnement des ressources matérielles et humaines, compétences et savoirs-faire, contexte socio-culturel, *etc.*). Dans le cas de cette étude, cette dimension est d'autant plus vraie que la ressource en eau est très liée au contexte local. En effet, celle-ci dépend des contextes hydrologique, géographique, hydraulique, hydrogéologique, climatique, *etc.* qui sont des données locales. L'approche en biorégion, voire en bassin versant pour l'eau, semble donc pertinente pour bien appréhender les enjeux et caractériser les réponses.

Dans le cadre de mon stage, le contexte local a apporté des caractérisations et des arbitrages sur certains systèmes qui seraient différents sur d'autres territoires. Le territoire du projet LIFE portait sur une région de climat méditerranéen, tendant à se désertifier, présentant des épisodes cévenoles² marqués. Les périodes pluvieuses sont l'automne et un peu le printemps, et l'hiver et l'été sont des périodes sèches. En comparaison avec les Pyrénées-Orientales où le manque d'eau est chronique, même si les périodes sèches estivales sont de plus en plus sèches et longues [4], la problématique n'est pas un déficit d'eau mais une pluviométrie très inégale dans l'année. La question du stockage et de la redistribution décalée est donc cruciale dans notre cas, mais l'économie de la ressource lors des usages, notamment lors de la période estivale, est également au coeur des enjeux d'adaptation du territoire au changement climatique.

De manière générale, la temporalité des précipitations (fréquences, durée, saisonnalité), les quantités et intensités, l'évolution du climat et des précipitations, ainsi que l'environnement local et sa dépendance à la ressource sont à considérer en amont pour orienter la pertinence des différents systèmes et techniques low-tech à employer.

LES SYSTÈMES LOW-TECH N'ÉCONOMISENT PAS VRAIMENT L'EAU...

En passant en revue ce qui existait sur les systèmes low-tech en lien avec l'eau, je me suis rendu compte que la plupart des systèmes qui ont le vent en poupe avec la montée en puissance du mouvement low-tech en France sont en réalité des objets qui visent des économies d'énergie (d'une manière ou d'une autre). En effet, les chauffe-eau solaires, pompes manuelles, éoliennes ou bélier hydraulique, visent principalement l'utilisation d'énergies renouvelables. Les économies d'eau (selon le dimensionnement et l'usage) qui peuvent avoir lieu sont alors le fait d'une limitation de la disponibilité d'énergie renouvelable.

Parce que justement c'est un fluide vital, utilisé pour de multiples usages (alimentation et boisson, hygiène, récréatif), physiquement visible (en comparaison à l'énergie) et présent en plutôt grande quantité dans notre pays, les économies d'eau ne sont pas la priorité. Il est même en réalité plutôt difficile d'économiser l'eau autrement qu'en réduisant les usages inutiles, ou alors il faut généralement augmenter la complexité technique pour gagner en efficacité. Par exemple, l'utilisation d'un lave-vaisselle plutôt qu'une vaisselle à la main permet, certes, des économies d'eau, mais avec un « coût technique » bien plus important et s'éloignant d'un rationnement du développement technique. Or selon moi la démarche low-tech vise justement à questionner l'apport de technique toujours plus grand et promeut parfois d'accepter une efficacité moindre au bénéfice d'une robustesse et d'une durabilité plus importante.

Cette idée d'accepter une inefficacité est parfaitement illustrée par le principe de la pompe à bélier qui ne permet le transfert que d'une partie du flux d'un cours d'eau. A l'inverse, l'exemple de la douche circulaire est pour moi un très bon exemple de non-sens technique et environnemental³ : pour chercher à maintenir un confort questionnable – réaliser des douches longues –, de l'énergie et

² Episodes de pluies, très forts en intensité et rapides.

³ Le retour d'expérience du Low-Tech Lab lors de l'expérimentation d'habitat low-tech en 2019 a bien montré la faible pertinence d'un tel mécanisme (même si conçu dans une démarche low-tech [5]) dans une *tiny-house* lorsqu'il y a des comportements d'hygiène sobres (douches très courtes) [6].

une complexité technique relativement importante sont utilisées pour faire circuler l'eau (pompage) et l'épurer (filtration) plutôt que d'utiliser les pouvoirs grandioses – et économes en énergie – de la nature et du grand cycle naturel de l'eau.

1.2. Le croisement de l'hydrosphère et de la socio-technosphère

Lorsque l'on considère la ressource en eau et son utilisation domestique, on se retrouve forcément à avoir en tête l'imbrication de 3 cycles différents :

- le **grand cycle de l'eau** : cycle naturel de la ressource sur Terre entre les sols, rivières, océans, nuages, glaciers, *etc.* ;
- le **petite cycle de l'eau** : prélèvement de la ressource du milieu naturel pour un usage anthropique, utilisation puis restitution au milieu naturel ; et
- le **cycle domestique** : détaillé ci-dessous, qui peut être vu comme une déclinaison du petit cycle de l'eau à l'échelle d'une habitation.

Dans une approche systémique du sujet, le premier cycle s'inscrit dans l'**hydrosphère** au sens utilisé par Arthur Keller [7] tandis que les deux autres jouent un rôle avec l'anthroposphère et plus particulièrement ce que je nommerai la « **socio-technosphère** ». En effet, nos habitudes socio-culturelles et les technologies et systèmes techniques que nous utilisons caractérisent la manière dont nous, humains, interagissons avec la ressource en eau. Cette socio-technosphère correspond donc à nos comportements et nos « machines artefacts » (technologies utilisées comme outils par la « méga-machine anthropo-sociale » au sens d'Edgar Morin [8]) ainsi que la manière dont on les utilise.

Pour pouvoir structurer mon état de l'art des systèmes low-tech pour la gestion de l'eau en milieu domestique, j'ai décomposé, conceptuellement, le cycle de l'eau domestique en 5 grandes étapes : la **Collecte**, le **Stockage**, la **Distribution/le Transport**, l'**Usage**, et enfin le **Traitement/l'Épuration**. Dans une approche systémique, cela permet de faire apparaître les interactions entre hydrosphère et socio-technosphère.

Les deux premières étapes correspondent à l'**interface entrante** entre les deux sphères, tournée de l'hydrosphère vers la socio-technosphère. Lors de la **Collecte**, la ressource est prélevée du milieu naturel et l'étape de **Stockage** est utilisée pour s'affranchir des limites environnementales, notamment d'intermittence, pour pouvoir satisfaire les besoins de consommation d'eau.

Les phases de **Distribution/Transport** et d'**Usage** sont, elles, au cœur de la socio-technosphère. La première correspond à la canalisation par l'humain du flux pour l'utiliser ensuite, avec notamment sa régulation. La seconde correspond à la phase où le flux réalise l'action attendue pour répondre au besoin concerné (lavage corporel, évacuation d'excreta, arrosage, *etc.*). Dans ces deux étapes, des systèmes techniques plus ou moins complexes sont utilisés et des comportements sociaux particuliers influent sur les volumes d'eau consommés.

La phase de **Traitement/Épuration** correspond à l'**interface sortante** de la socio-technosphère vers l'hydrosphère. L'eau qui y sort a sa qualité dégradée, suite aux usages qui en ont été faits, et l'utilisation de certains processus naturels va permettre de retrouver une « meilleure » qualité d'eau par son épuration et son traitement.

1.3. Revenir aux processus physiques

En analysant – avec une vision assez puriste/radicale – ce qui caractérise les systèmes techniques low-tech, on observe qu'il y a généralement une utilisation astucieuse des processus naturels pour répondre à des besoins et venir à rebours des processus artificiels créés par les machines inventées par l'humain avec la révolution industrielle. Par exemple, le chauffe-eau solaire utilise le phénomène d'albédo et l'effet de serre, le vélo utilise la force musculaire, les toilettes sèches utilisent le principe de la dégradation naturelle des excréments via le compostage, les oyas utilisent la porosité de l'argile cuite, ...

Lorsque l'on décide de prendre en considération cet aspect dans la conception d'un système technique, on se rend très vite compte de l'ingéniosité de la nature et on comprend la magie du rôle de l'eau dans notre écosystème. En effet, de nombreuses propriétés de l'eau ou phénomènes physiques sont en réalité déjà utilisés dans l'environnement. On retrouve là **l'influence que peut jouer le biomimétisme dans la conception de systèmes techniques low-tech**. Considérer la ressource avec des « lunettes » de dynamique des fluides et de thermodynamique permet de faire émerger des aspects intéressants dans la conception d'un système-objet technique dans le cadre du « système-eau »⁴ d'une habitation. En voici une petite liste (non exhaustive) avec des idées d'utilisation/de fonction qui peuvent y être assimilées :

- **Evaporation et condensation** : par le changement de phase de l'eau une épuration et des mouvements ascensionnels sont envisageables (particulièrement le mouvement ascendant pour l'évaporation).
- **Liquidité** : le caractère liquide donne à l'eau une capacité de déformabilité suivant les formes du récipient et des principes comme les vases communicants et les surverses qui jouent sur la surface et la hauteur de celle-ci.
- **Densité** : flottaison de tout corps qui a une densité plus faible que l'eau et à l'inverse tout corps plus dense coule.
- **Écoulement et tension de surface** : du fait de la gravité et, dans l'état liquide, il peut y avoir déplacement de l'eau, plus ou moins rapide suivant la tension de surface.
- **Gouttes** : liées à la tension de surface, les gouttes permettent un déplacement « saccadé » de l'eau et correspond à un flux ralenti.
- **Perméabilité/étanchéité** : certains matériaux laissent passer ou non l'eau (par le principe de capillarité).
- **Capillarité** : permet de faire passer l'eau et de retenir les gros éléments et permet de remonter des petits volumes d'eau le long d'un tissu ou de tout objet avec des tailles de cavités très petites.
- **Expansion thermique** : cela permet d'avoir des mouvements de faible amplitude, pilotés par la température de l'eau.
- **Stockage** : par ses caractéristiques physiques, l'eau se stocke assez facilement dans tout contenant étanche. En cas de stockage longue durée, la fonction de support de vie induit que l'eau risque de voir la prolifération de micro-organismes, bactéries, insectes, *etc.* dégradant d'autant sa qualité, sa pureté.
- **Pression et débit** : l'énergie hydraulique est liée à ces deux composantes. Une pression naturelle peut être obtenue par la hauteur hydraulique (pour chaque mètre de dénivelé il y a 0,1 bar de pression en plus).
- **Effet siphon** : ce phénomène permet une succion de l'eau d'un réservoir de manière séquentielle, une fois un certain niveau d'eau dépassé. Le débit est malheureusement limité car la conduite d'évacuation doit être suffisamment fine.

1.4. Des points d'attention à garder en tête dans l'évaluation des solutions « low-tech » pour l'économie d'eau

En faisant des recherches sur la gestion de l'eau, et surtout sur les économies d'eau, on se perd vite dans un mélange de solutions présentant des profils de durabilité plus ou moins forte. Quelques points d'attention me sont apparus nécessaires à bien garder en tête pour l'évaluation des solutions low-tech pour la gestion et l'économie d'eau :

- **Quel est le coût financier de la solution ? L'acceptabilité financière est-elle suffisante ?** Si une solution coûte trop chère elle ne sera pas adoptée par une large part de la population, freinant

⁴ J'entends par là l'ensemble des infrastructures, aménagements et technologies installés dans une habitation jouant un rôle dans l'acheminement, l'utilisation et l'évacuation du flux de la ressource en eau.

ainsi son développement et le déploiement de solutions d'économie d'eau. Le taux de retour sur investissement est encore souvent regardé pour juger de la pertinence d'une solution. Bien que cela soit effectivement important à prendre en compte, le prix de l'eau relativement faible, en France hexagonale, est souvent un frein pour cet aspect.

- **Quelle complexité technique/technologique pour quelle économie d'eau ?** La question d'accepter l'inefficacité d'un système qui n'en a pas forcément besoin est centrale selon moi pour éviter une fuite en avant technosolutionniste.
- **Quelle est la consommation énergétique pour quelle économie d'eau ?** Dans certains contextes l'eau est tellement rare qu'utiliser beaucoup d'énergie pour l'économiser est cohérent. Cependant, dans beaucoup d'autres situations, l'eau étant présente en abondance, il me semble absurde de dépenser excessivement de l'énergie pour gérer et économiser une ressource suffisamment présente. L'économie d'eau ne doit pas se faire au détriment d'une sobriété énergétique.
- **La mise en place du système pourrait-elle entraîner un ou des effets rebonds ?** L'effort nécessaire pour l'économie ne devrait pas induire l'envie d'une compensation en se disant qu'on économise l'eau quelque part et donc qu'on peut se permettre d'en utiliser plus ailleurs (ex : prendre des douches plus longues car on a mis son arrosage de jardin sur de l'eau de pluie, bien que cet exemple soit simplement psychologique et comportemental).
- **Quel impact l'utilisation du système low-tech a sur le mode de vie ?** L'acceptabilité sociale est nécessaire pour l'adoption du système. Le système n'a donc aucune chance s'il induit un investissement individuel trop important dans la vie quotidienne pour sa mise en place et sa gestion⁵. La question du confort – sujet sensible de la bifurcation écologique – prend toute sa place ici dans l'adoption et donc le déploiement des solutions évoquées.

⁵ Cet aspect fait émerger la question de notre rapport à notre mode de vie et d'à quel point la bifurcation écologique va demander des modifications profondes dans nos habitudes de vie quotidienne – question des plus difficiles à répondre qu'elle dépendra des capacités et facultés de chacune et chacun (physique, cognitive, mentale, etc.).

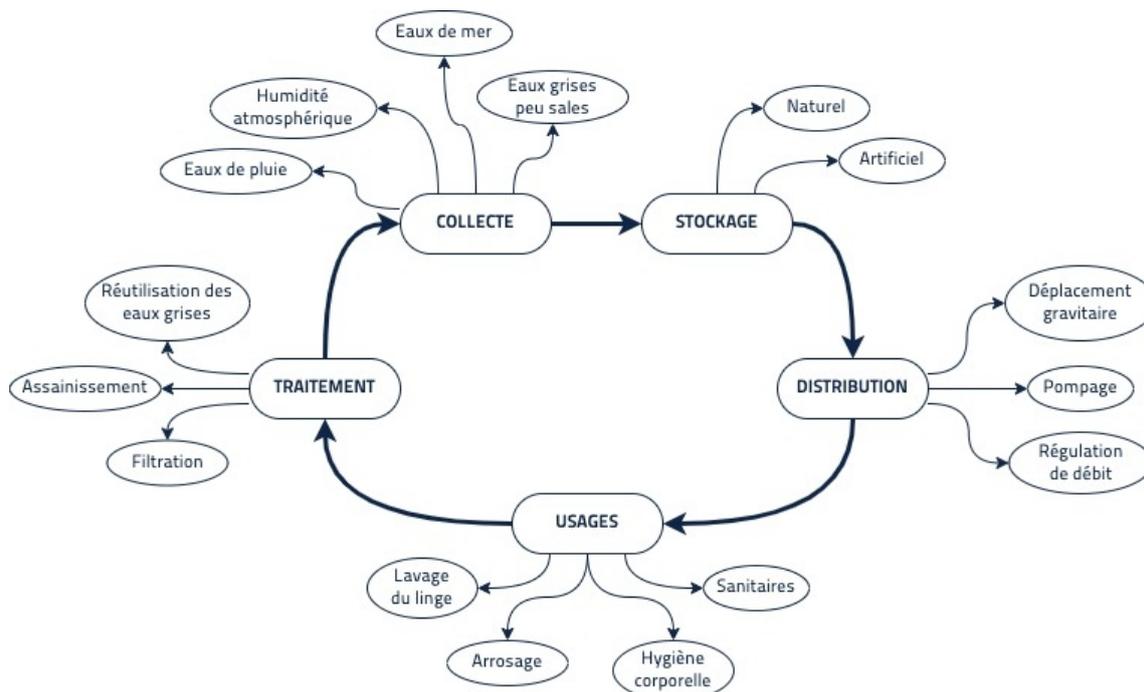
2. Etat de l'art de systèmes et techniques low-tech pour la gestion de l'eau en milieu domestique

L'idée n'est pas de faire un catalogue exhaustif de solutions qui donne un tampon « low-tech » pour valider, légitimer et promouvoir la solution. Au contraire, avec cet état de l'art, j'ai cherché à regrouper différents systèmes et principes techniques qui peuvent jouer un rôle, selon moi, dans la conception du système-eau d'une maison dans une approche que l'on pourrait qualifier de low-tech.

Comme il a été vu précédemment, le terme est une notion relative. C'est pourquoi j'ai cherché à présenter différentes solutions pour chaque étape du cycle domestique de l'eau et chaque usage. Elles présentent chacune une approche différente en matière d'adéquation entre : les impacts environnementaux, l'efficacité, la réparabilité, la facilité à se l'approprier, l'acceptabilité sociale, le coût, etc. Je laisse toute liberté au lecteur ou à la lectrice de faire son « tri » dans les solutions évoquées selon sa vision du concept de low-tech.

Ma volonté, ici, avec ce travail, est de permettre de faire un pas de côté sur la conception que l'on a sur nos usages de l'eau en milieu domestique et les techniques liées ainsi que de mettre en lumière certaines solutions qu'il pourrait être judicieux de remettre au goût du jour dans un monde en contraction énergétique et avec des tensions grandissantes sur la ressource en eau.

Pour chaque phase du cycle de l'eau domestique, les solutions et techniques identifiées ont été rassemblées en catégorie pour faciliter la lecture. Différentes références agrémentent le propos et sont regroupées en fin de document.



Etapes du cycle de l'eau domestique et les catégories de solutions et techniques qui vont être présentées pour chaque phase

Il aurait été possible d'ajouter une analyse pour caractériser les systèmes et techniques présentés sous le spectre des valeurs de la low-tech, mais cela aurait demandé plus de temps – que je n'avais pas étant donné que ce travail n'était que la première partie de mon stage – et des données que je n'aurais pas forcément pu trouver pour certaines des solutions présentées.

2.1. Collecte

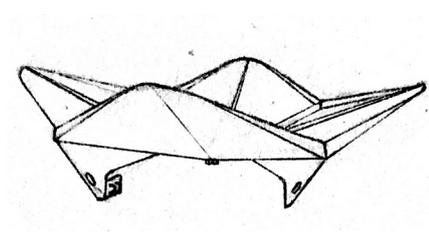
La collecte est la première étape pour apporter de l'eau dans notre quotidien et pouvoir l'utiliser pour nos usages domestiques. Elle correspond au prélèvement de la ressource dans le cycle naturel (hydrosphère). Globalement, en dehors du prélèvement dans les eaux souterraines et de surface, il est possible de collecter de l'eau avec la récupération des eaux de pluie, la précipitation de l'humidité atmosphérique, la récupération des eaux usées⁶ et la désalinisation de l'eau de mer.

Les trois catégories développées dans cette partie correspondent à des ressources complémentaires à l'arrivée d'eau potable traditionnelle et l'objectif est de les utiliser en substitution de l'eau potable lorsque cela est possible afin de gagner en indépendance et économiser l'eau des prélèvements traditionnels.

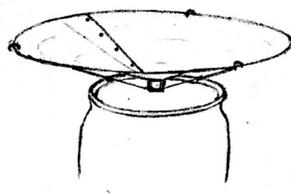
RÉCUPÉRATION DES EAUX DE PLUIE

L'eau la plus abondante après les eaux souterraines et les eaux de surface sont les précipitations atmosphériques, qui ont l'avantage d'être locales et de ne pas nécessiter d'infrastructures pour l'acheminer (ou alors uniquement pour l'évacuer). Toute surface de toiture (maison, garage, abri de jardin, ...) peut servir à la collecte d'eau pluviale. Le système de collecte, à proprement parler, va être très lié au système de stockage choisi. La version la plus répandue actuellement est la récupération d'eau via des gouttières avant transmission dans une cuve de stockage, aérienne ou enterrée.

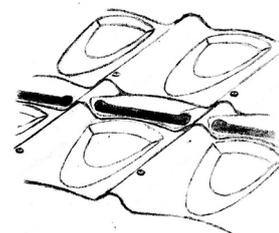
Pour augmenter les surfaces de collecte, des systèmes en forme de **soucoupe** (ex : RainSaucer®) ou de **parapluie inversé** (ex : Rosiluv®) peuvent être installés directement sur les cuves de stockage, achetés ou à fabriquer soi-même [10], [11]. En milieu urbain, la collecte peut se faire directement au niveau des toitures, comme dans le cas du système **Cactile**, un système innovant de tuiles qui permet la captation, la filtration et le stockage des eaux pluviales directement au niveau de la toiture [12], [13]. Encore à l'état de preuve de concept, le système est en train d'être homologué par le CSTB et les premiers chantiers démonstrateurs seront mis en place fin 2024.



Rosiluv®



RainSaucer®



Cactile®

Différents systèmes de **raccords** au niveau des gouttières existent, relativement simples à installer chez soi et peu coûteux [14], [15], [16]. Certaines fonctionnalités comme la filtration et le système de trop-plein sont importantes pour avoir une infrastructure de récupération d'eau de pluie efficace.

RÉCUPÉRATION DE L'HUMIDITÉ ATMOSPHÉRIQUE

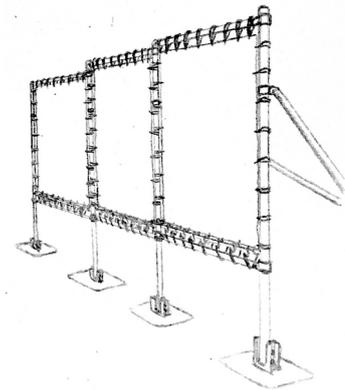
Dans les zones où les précipitations atmosphériques sont rares, l'humidité de l'air peut devenir une source d'eau alternative. De nombreuses plantes en milieux arides utilisent la rosée du matin comme source principale d'eau pendant les saisons sèches. En effet, l'humidité évapotranspirée par la

⁶ Les eaux grises sont principalement celles qui peuvent être réutilisées. Cette partie se concentrera sur les eaux qui ne demandent pas de traitement, les autres seront abordées dans la partie TRAITEMENT.

⁷ Il est à noter que dans la législation sur l'utilisation des eaux pluviales, le terme « eau de pluie » désigne celles « issues des précipitations atmosphériques, exclusivement collectées à l'aval de surfaces inaccessibles aux personnes en dehors des opérations d'entretien ou de maintenance » (Art. R. 1322-90 du Code de l'Environnement suite à la modification du Décret n° 2024-796 du 12 juillet 2024 [9])

végétation au cours d'une journée chaude condensera sur les différents éléments de surfaces présents au sol pendant la nuit froide, ce qui créera des gouttelettes le matin.

Dans une logique biomimétique, des systèmes de collecte de l'humidité nocturne ont été conçus, notamment pour permettre à des populations de zones arides d'avoir une source supplémentaire d'eau. Parfois appelés « **attrape-nuages** » ou « **collecteurs de brouillards** » (*fog/dew collectors* en anglais), ils consistent généralement en des toits inclinés ou des filets tendus, placés en haut de collines pour bénéficier des courants d'air, qui vont faire précipiter la vapeur d'eau.



"Attrape-nuages"

Pour être efficaces, ces systèmes nécessitent d'avoir une assez grande différence de température entre le jour et la nuit et une importante évaporation diurne [2, p. 315]. Son développement en France hexagonale est donc ralenti par ces contraintes climatiques de fonctionnement. L'Organisation Pour l'Utilisation de la Rosée (OPUR) a développé et testé différents systèmes, notamment en Croatie, au Maroc et en Corse. Différents textes de l'anthologie de Clément Gaillard, datant de plusieurs décennies déjà, montrent l'intérêt de scientifiques à ce principe de condensation de l'humidité notamment via les puits aériens [2]. Au cours de leur périple pour découvrir des systèmes low-tech en Amérique latine et Amérique du sud, L'Atelier Low-Tech a pu documenter la conception d'un tel système pour le Wiki du Low-Tech Lab [17].

RÉCUPÉRATION DES EAUX DOMESTIQUES PEU SALES

Pour récupérer et réutiliser les eaux domestiques peu sales, des systèmes peuvent être installés dans les habitations. La solution la plus simple pour récupérer les eaux peu à pas sales (eau de préchauffage de la douche, nettoyage des légumes, etc.) est d'utiliser un **réceptacle** (bassine dans l'évier, seau ou arrosoir dans la douche) au dessus duquel on fera couler l'eau. Le choix du contenant est souvent fait en fonction de l'espace disponible et de sa maniabilité pour l'usage ou le transvasement prévu après.

Pour l'eau de la cuisine, la réflexion peut aller un peu plus loin. Dans un premier temps, s'il y a deux éviers, l'un peut être raccordé aux eaux usées, et collecter toutes les eaux sales, tandis que l'autre peut être raccordé à un robinet extérieur ou à un bidon pour une réutilisation ultérieure. A moins d'être dans le cas d'une construction comme par exemple à Geckologis avec le concept d'« **évier à deux trous** » proposé par Yves Perret [18], cette solution peut nécessiter des travaux importants et dépend assez fortement de la disposition des lieux. Une alternative plus simple peut être l'installation d'un siphon à deux sorties sous l'évier, comme le système proposé par **Recò Water** [19]. Il permet ainsi de choisir par l'actionnement d'une manette au niveau de l'évacuation si le flux évacué va vers le réseau des eaux usées ou vers un usage domestique (stockage dans un bidon ou raccordement à un tuyau pour un usage extérieur).

DÉSALINISATION DE L'EAU DE MER

Utiliser dans le cadre de l'expérience Biosphère du Désert de Biosphère Expérience, le **désalinisateur** consiste à retirer le sel de l'eau de mer pour pouvoir utiliser l'eau pour des usages domestiques. Le système se base sur la propriété d'évaporation et de condensation des liquides : le soleil chauffe au travers d'une vitre un tissu imbibé d'eau salée qui s'évapore et se condense sur la vitre, légèrement inclinée et conduisant l'eau condensée vers une rigole puis vers un récipient de collecte. En sortie du désalinisateur, du fait de l'évaporation, l'eau est déminéralisée ce qui la rend non potable. Pour pouvoir l'utiliser pour la boisson, l'équipe du Low-Tech Lab a utilisé des filtres de charbon actifs pour reminéraliser l'eau [20].

D'autres modèles de désalinisateurs existent : certains visant une production en gros volume d'eau potable à partir d'eau de mer avec le projet **HelioWater** [21] ou l'aide à l'autonomie pour l'accès à l'eau

potable dans les pays en voie de développement avec l'**Eliodomestico**, un désalinisateur à fabriquer soi-même [22].

Cette technique est pertinente principalement à proximité des côtes et, actuellement, elle semble difficilement rentable en France étant donné la relative abondance de la ressource en eau douce et les infrastructures actuellement existantes.

2.2. Stockage

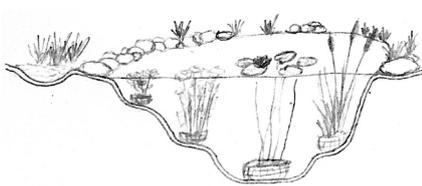
À moins de supposer que l'on adapte son mode de vie pour réaliser les usages qui consomment de l'eau aux moments où il y en a (par exemple, faire sa douche et laver son linge sous la pluie – avec toutes les limites que cela occasionne étant donné la saisonnalité de certaines sources d'eau), la question du stockage de l'eau est primordiale pour une utilisation domestique de l'eau.

On peut séparer en deux grandes catégories les stockages : une que l'on pourrait qualifier de « naturelle », dans la mesure où l'eau stockée s'inscrit dans l'écosystème naturel environnant ; et, à l'inverse, l'autre que l'on pourrait qualifier d'« artificielle », dans la mesure où le stock d'eau est déconnecté de l'environnement.

STOCKAGE NATUREL

Dans l'environnement, l'eau est naturellement stockée en surface dans les étangs, mares et autres points d'eau. Ceux-ci sont des espaces de valeur pour les écosystèmes et la biodiversité. Recréer ces types de stockage naturel sur un terrain dans une logique de gestion « low-tech » de la ressource en eau permet ainsi d'ajouter des co-bénéfices écologiques à la réserve d'eau. Différentes techniques peuvent être envisagées :

- La **mare naturelle**, pour laquelle l'étanchéité est primordiale pour éviter un assèchement en période sèche. Il est possible de l'assurer naturellement si elle est creusée sur une couche de marne ou dans une zone avec beaucoup d'argile⁸ ou bien de manière plus artificielle avec une couche d'EPDM⁹ [24], [25].
- Le **bassin en ferro-ciment**, une technique de construction réalisable sous forme de chantier participatif, utilisant des barres de fer pour créer et tenir la structure et le ciment pour l'étanchéité [26]. Utilisant des matériaux peu écologiques, cette technique favorise cependant la réappropriation de l'outil de construction par l'individu et permet de créer un bassin qui dure dans le temps, avec une liberté importante quant à sa géométrie.
- Le **jardin de pluie**, qui consiste en un aménagement d'un jardin visant à recueillir les eaux pluviales et permettre leur gestion avec un lit de pierres et des plantes palustres ou aquatiques [27].



Mare naturelle



Bassin ferro-ciment



Jardin de pluie

8 Avec le temps, l'étanchéité assurée par l'argile tendra cependant à se dégrader. Historiquement, les points d'eau qui étaient étanchéifiés à l'argile devaient être damés fréquemment pour éviter les infiltrations d'eau.

9 Une bâche polymère utilisée fréquemment pour sa capacité d'étanchéité. Elle est une bien meilleure alternative à l'autre solution qu'est le vinyle (toile PVC) du fait de sa plus grande résistance dans le temps, à la chaleur et aux UV et de sa recyclabilité en fin de vie annoncée [23].

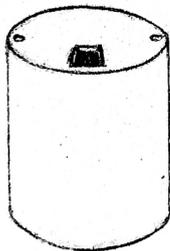
Bien que ces techniques permettent de stocker l'eau dans un endroit, elles sont cependant bien souvent peu appliquées dans l'idée d'une réutilisation de l'eau stockée derrière. Un projet de **Bassin-Mare d'Irrigation** a été lancé par la ferme Etika Mundo dans les Cévennes visant à stocker les eaux des épisodes cévenoles pour les utiliser ensuite pour de l'arrosage lors des périodes de sécheresses [28]. Il devrait être créé d'ici 2025.

Ces différentes techniques se limitent au stockage en surface. Celui-ci est utile lorsque l'on souhaite réutiliser l'eau en elle-même, mais pour tous les usages qui consistent en de l'irrigation ou de l'arrosage d'espaces naturels extérieurs, le stockage naturel dans les sols est un autre levier très intéressant. En effet, le sol, lorsqu'il est bien constitué, peut devenir une véritable éponge, permettant de stocker l'eau pour ensuite la restituer aux plantes lorsqu'elles en ont besoin. De nombreuses ressources sur le rôle du sol et de la vie du sol dans le cycle de l'eau mettent en lumière cet aspect-là. J'invite donc toute personne intéressée par le sujet à aller creuser cette thématique, très en lien avec la pédologie et pour laquelle la permaculture, l'agroforesterie, la culture sur sol vivant montrent des pratiques concrètes d'application de cette vision à l'agriculture et l'arrosage de plantes.

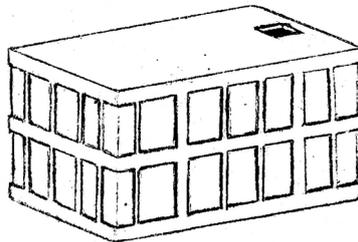
STOCKAGE « ARTIFICIEL »

L'eau étant de la matière, elle est donc extensive ; ce qui veut dire qu'un grand volume d'eau stocké va nécessiter un grand espace de stockage. Pour des raisons de praticité, d'esthétique et d'espace, le stockage enterré est souvent plébiscité pour les gros volumes (plusieurs m³ à plusieurs dizaines de m³) [29]. Il existe deux types de **cuves enterrées** :

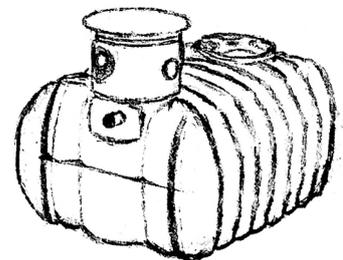
- celles en **béton**, de forme circulaire ou rectangulaire, qui ont l'avantage de neutraliser l'acidité naturelle de l'eau de pluie ;
- celles en **plastique PEHD**, qui ont l'avantage d'être plus légères à transporter et souvent moins chères.



Cuve béton circulaire



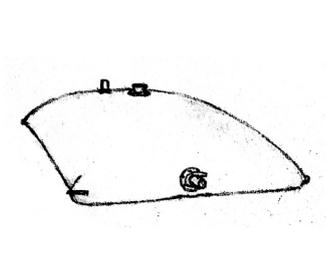
Cuve béton rectangulaire



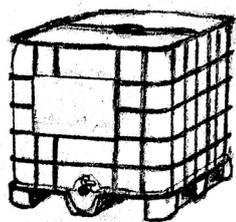
Cuve PEHD

Lorsqu'il n'est pas possible de creuser pour enterrer la réserve d'eau, d'autres systèmes en surface existent :

- les **cuves en plastique souple**, utilisées pour différents types de liquides et notamment pour les réserves incendies, elles permettent de stocker des volumes assez importants, dans des endroits peu accessibles (vide sanitaires par exemple) ;
- les **tonnes à eau**, à géométrie variable pour une meilleure intégration esthétique et dont le modèle commun est un cube en plastique d'environ 1 m de côté (contenant donc 1 m³ d'eau, d'où le nom), qui doit être opaque pour éviter la prolifération d'algues ;
- les **bidons**, généralement en plastique, avec le modèle classique des « blues barrels » [30] pour lesquels des montages variés sont envisageables, selon la créativité des individus [31] ;
- la **réutilisation de récipients à grosse contenance**, comme par exemple des poubelles (exemple avec le tutoriel du Wiki du Low-Tech Lab [32]) ou encore des baignoires, des cuves de stockage de liquides, etc.



Cuve en plastique souple



Tonne à eau (cube)



Bidons
(type Blue barrels®)



Poubelle transformée en
récupérateur d'eau

Pour ces différents systèmes, l'eau qui y est stockée est donc relativement stagnante. Une **vigilance particulière** doit donc être exercée pour éviter qu'ils ne servent à la **propagation de moustiques**. Cela passe par l'assurance d'une bonne étanchéité au niveau des entrées et l'utilisation de moustiquaires au niveau des trous à l'air libre [33].

2.3. Distribution

La phase de distribution – ou transport – correspond aux différents systèmes et techniques qui permettent l'acheminement de l'eau de sa source (stockage ou autre) à son usage. La distribution de l'eau s'appuie sur différents principes physiques, certains naturels et d'autres « forcés » (pompage par exemple).

DÉPLACEMENT GRAVITAIRE

L'eau s'écoulant naturellement par gravité, le premier des leviers pour une gestion de l'eau low-tech est donc de **concevoir astucieusement** son réseau d'eau, avec une **logique « amont/aval » associée aux postes sources/usages/évacuations**. Par exemple, dans l'habitation, cela passe par le fait de privilégier le raccordement des WC du rez-de-chaussée à l'eau des laves mains de l'étage pour éviter l'utilisation d'une pompe, et au jardin mettre son réservoir d'eau sur un point haut pour bénéficier de l'écoulement gravitaire¹⁰ pour l'irrigation. De même, un jardin peut être agencé en cherchant à optimiser l'utilisation de la **gravité** pour le transport de l'eau et l'arrosage, notamment via des **rigoles** (*swales* en anglais) [34], [35].

Au niveau des bâtiments, ce principe est utilisé depuis longtemps dans le système des gouttières. Une alternative est née au Japon avec les « **chaînes de pluie** » : l'eau est dirigée vers le bas le long d'une chaîne, agrémentée d'une succession d'éléments ralentissant l'eau (seaux miniatures, galets, etc.). De nombreux agencement existent suivant l'esprit que l'on cherche à donner à la réalisation [36], [37]. Bien que cette technique n'économise en rien l'eau – et risque même d'en éparpiller – elle a l'avantage de rendre visible l'écoulement de l'eau – à rebours du « tout-tuyaux » traditionnel, favorisant ainsi un meilleur rapport à la ressource – et présente en plus un côté méditatif souvent mis en avant.

Les **puisards** sont utilisés pour l'infiltration de l'eau de pluie dans les sols. Ils servent notamment à éviter des désagréments d'infiltration ou d'humidité des murs enterrés suivant l'état du terrain à proximité de la maison [38], [39]. Des tutoriels existent pour les fabriquer soi-même [40].

POMPAGE

Éléments centraux dans beaucoup d'infrastructures liées à l'eau, les systèmes de pompage existent depuis longtemps et ont été fortement améliorés avec les progrès des connaissances scientifiques et techniques. Ces systèmes ingénieux permettent de contrer l'écoulement naturel, irréversible,

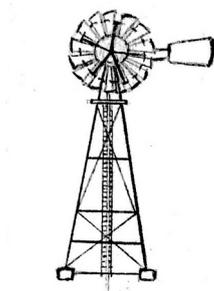
¹⁰ À noter qu'en cas d'utilisation d'un système d'arrosage gravitaire, la pression est bien souvent très réduite puisque 1 m d'altitude permet de gagner seulement 0,1 bar de pression dans les tuyaux.

gravitaire, ainsi que de mettre en mouvement des volumes d'eau en créant de la pression dans les réseaux lorsqu'il n'y en a pas, assurant ainsi un accès facile à l'eau depuis à peu près n'importe où.

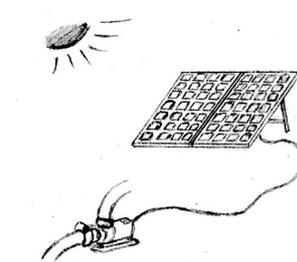
Dans cette catégorie de systèmes, on retrouve le lien fort qu'a la réflexion low-tech avec la consommation énergétique. Différentes solutions existent donc pour actionner les pompes :

- La force éolienne, très utilisée dans le passé. Des éoliennes étaient placées au dessus d'un puits et le mouvement rotatif axial de la **pompe éolienne** était transmis pour actionner les éléments de pompage [41], [42], [43]. Il en existe 4 types principaux : celles à vis, celles à piston, celles centrifuge et celles électriques [44].
- Le **solaire électrique**, c'est-à-dire une pompe électrique alimentée par un panneau solaire photovoltaïque, avec éventuellement une batterie pour pouvoir assurer un pompage en absence de luminosité suffisante (de nuit notamment).
- La force hydraulique et gravitaire, avec le très célèbre **bélier hydraulique**. Celui-ci utilise l'énergie cinétique du cours d'eau pour extraire une partie de l'eau et l'envoyer dans le réseau d'eau pour un usage éloigné [45]. Les deux inconvénients majeurs de ce système sont la nécessité d'un dénivelé important au niveau du cours d'eau et la présence d'un cliquetis continu lors de son fonctionnement pouvant engendrer des nuisances sonores à proximité.
- La force manuelle avec des **pompes à main**, historiquement très utilisées. Elles refont leur apparition en mode « vintage » [46]. Différentes technologies de pompage existent pour les pompes manuelles. La version la plus simple est basée sur le principe du piston et nécessite peu de moyen pour sa fabrication [47], [48]. Une autre, très couramment utilisée pour remonter l'eau des puits, est la **pompe à chapelet/à corde**¹¹ (*rope pump* en anglais) [50], [51], [52], [53], [54].
- La force musculaire des jambes avec les **pompes à pieds**. La **pompe à pédale** est notamment mise en avant dans certains pays en voie de développement pour l'irrigation, même si ces systèmes présentent des limites en matière de hauteur à laquelle l'eau peut être envoyée – ne dépassant pas 7 mètres la plupart du temps [55]. Elle utilise le même principe que la pompe manuelle simple mais avec deux cylindres – au lieu d'un – et des pédales reliées à un point fixe qui actionnent les pistons dans les cylindres [56], [57], [58]. En France, on peut retrouver des systèmes à pédale développés notamment pour l'usage en **camping-car** ou dans les bateaux [59]. Une pompe à pieds peut tout à fait être utilisée pour un lavabo [60].

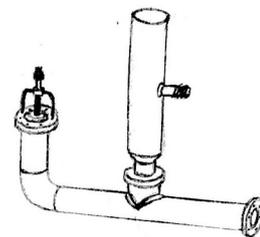
Dans la plupart des systèmes précédents, on retrouve une tolérance d'une efficacité plus faible que les systèmes de pompage modernes, notamment du fait qu'ils utilisent les énergies renouvelables. De plus, ils nécessitent parfois des efforts importants de la part de l'utilisateur (notamment les pompes manuelle et à pédale). Leur utilisation va donc de paire avec une réduction des volumes consommés.



Pompe éolienne

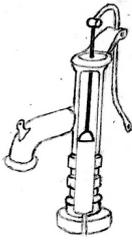


Pompe électrique solaire

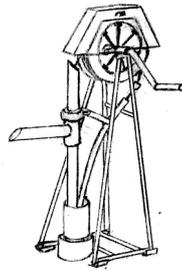


Bélier hydraulique

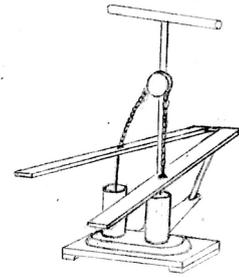
11 J'ai eu la chance de découvrir une variante de ce système au Potager Partagé de Collias (Gard). Ils ont installé un **pédalier d'un vélo d'appartement** pour produire le mouvement rotatif, permettant ainsi d'envoyer l'eau plus haut que l'endroit où l'on pompe, sur le même modèle que cette installation de Carlos Marroquin [49]. Des essais ont montré qu'il était possible de remplir la cuve de 1000 litres en 15 minutes environ pour le plus rapide.



Pompe manuelle à piston



Pompe à corde (rope pump)



Pompe à pédale (treadle pump)

TECHNIQUES DE RÉGULATION DE DÉBIT

Dans la distribution, une des fonctions du réseau d'eau est la régulation du passage de l'eau, en jouant notamment sur la quantité d'eau qui s'écoule (de temps en temps, un peu, beaucoup, pas du tout).

L'intermittence du flux peut être réalisée astucieusement avec une cuve qui se remplit doucement et se vidant par « **effet siphon** ». Cela correspond à un goutte-à-goutte qui remplit un récipient assimilé à une « coupe de tantale » ou « coupe de Pythagore ». Ce procédé peut être envisagé dans le cadre d'un système d'arrosage [61].

Réduire le débit revient à réduire la pression¹². Cette réduction peut être réalisée principalement par obstruction et par réduction de la surface d'écoulement. La première méthode est utilisée au niveau des **mousseurs** et **réducteurs de débit** (éléments à installer dans sa maison sur son réseau d'eau intérieur et réduisant le débit par rapport à la pression du réseau public). La seconde se retrouve dans l'idée d'un tuyau pincé : si le plastique est suffisamment mou, un pincement entre deux plaques peut permettre d'avoir une régulation du débit facile à mettre en place, et réglable par un simple tour de vis [62]. Les impacts de la dilatation par la chaleur et le vieillissement de ce système sont discutables et peuvent dégrader la pertinence de cette solution.

Concernant l'arrêt de l'écoulement, il est difficile d'envisager une variété d'alternatives aux robinets traditionnels. Certains systèmes peuvent cependant être mis en lumière dans la conception d'un système d'arrosage ou d'irrigation, notamment dans le cas d'un réseau de remplissage d'oyas. Le flux de remplissage peut être arrêté par différents moyens :

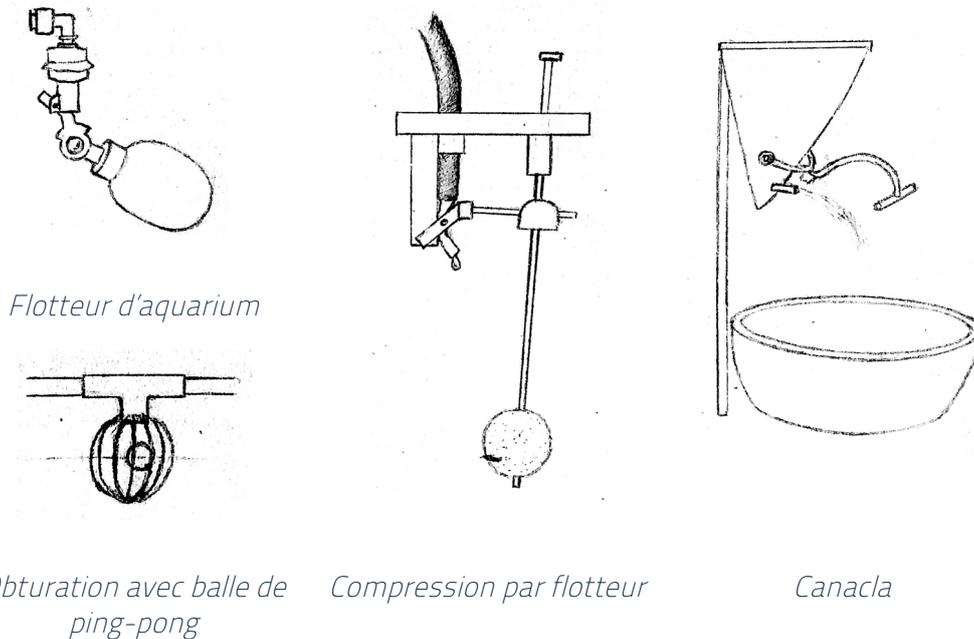
- **Obstruction de l'arrivée d'eau par un élément flottant** : cela correspond au principe d'un flotteur de chasse-d'eau et d'aquarium, mais une version « fabrication maison » peut être envisagée avec une balle de ping-pong¹³ par exemple [62].
- **Compression de l'arrivée d'eau** : un flotteur active un balancier qui vient pincer un tuyau souple servant d'arrivée d'eau, coupant le débit à partir d'une certaine hauteur d'eau [63]. Ce système se retrouve dans le point d'eau économe du Wiki du Low-Tech Lab [64] qui reprend le principe du Canacla, un système traditionnel développé pour l'hygiène, remis au goût du jour au Sénégal avec l'épidémie de Covid-19 notamment [65], [66].
- Utilisation du **phénomène des vases communicants**¹⁴.

12 Cela vaut essentiellement lorsque l'eau provient du réseau d'eau potable. Il est en effet déjà particulièrement challengeant de réussir à avoir une pression convenable dans les systèmes uniquement gravitaires.

13 Cette solution est assez peu fiable en matière d'étanchéité. Il est à noter que la force d'obstruction fournie par la balle est proportionnelle à la poussée d'Archimède qu'elle subie et donc notamment de si elle est en surface ou totalement immergée.

14 Ce principe a émergé dans ma conception d'un système de remplissage automatique d'oyas dans le cadre d'un atelier que j'ai organisé lors de mon stage. Plus de détails en Annexe 3.

Cette partie est en réalité très liée avec la phase d'usage aussi bien dans la maison ou au jardin en matière d'arrosage. Les systèmes évoqués seront donc repris et parfois développés suivant l'usage.



2.4. Usages

La relation d'usage avec la ressource en eau se traduit particulièrement bien je trouve dans l'expression de la « consommation d'eau ». On retrouve dans cette partie la place centrale qu'occupe l'eau dans la vie d'un foyer au regard des nombreux usages qui y sont faits : évacuation des excréta, hygiène corporelle, arrosage, récréatif, etc. Décortiquer ces différents usages et questionner les solutions techniques envisagées sont au coeur d'une réflexion low-tech sur l'eau en milieu domestique étant donné l'association qu'il y a entre usages et besoins.

SANITAIRES

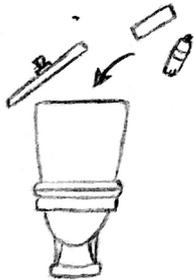
De manière générale, les sanitaires (WC) sont actuellement un poste principal de consommation d'eau chez les ménages français. Bien que pouvant varier d'un ménage à un autre, le Centre d'Information sur l'Eau (C.I.Eau) évalue à 20 % la consommation d'eau liée aux toilettes [67]. Pour économiser l'eau de ce poste de consommation, trois stratégies sont envisageables : réduire le volume d'eau potable consommée, substituer l'eau potable par une source impropre à la consommation humaine (eau de pluie, eaux grises), ou supprimer purement et simplement l'utilisation d'eau pour l'évacuation des excréta.

En matière de réduction des consommations d'eau, plusieurs leviers sont possibles, certains étant complémentaires :

- **Réduire le volume de la chasse d'eau** en plaçant un objet (brique, bouteille fermée remplie d'eau, sac WC rempli d'eau) qui viendra prendre la place d'une partie de l'eau du réservoir.
- Utiliser un système de **chasse d'eau à double flux**.
- Adapter des **WC de bateaux avec une chasse d'eau par pompe manuelle** [68]. A bord, pour assurer l'évacuation des excréta même sous le niveau d'eau, des systèmes ingénieux basés sur des pompes manuelles à eaux noires ont été créés. Le contexte étant différent à terre, ce système devrait cependant être adapté pour ensuite être rattaché au réseau d'évacuation des eaux usées. On retrouve cependant là l'adoption d'une plus grande complexité technique pour

économiser l'eau et venir à rebours du système gravitaire traditionnel utilisé à terre pour les réseaux d'eaux usées.

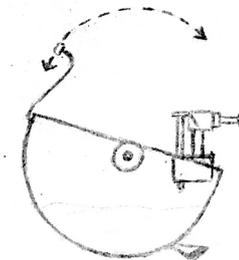
- Utiliser une **chasse d'eau à volume variable**, comme le modèle innovant Waterflush® proposé par Econeves [69]. Ce système se base sur un système d'auget astucieux, qui gagne en plus en robustesse en maintenant les pièces du mécanisme de basculement hors d'eau et le joint simplifié, diminuant le risque de fuite.



Réduction du volume de la chasse



Chasse d'eau double-flux



Chasse d'eau à volume variable (modèle Waterflush®)

Depuis quelques années, la réglementation autorise l'utilisation de **l'eau de pluie pour l'évacuation des excréta**¹⁵. Cette solution permet notamment de contourner les problèmes de calcaires dans les WC dans les régions fortement touchées par cette problématique. Des systèmes sous forme de kit existent pour raccorder une cuve d'eau de pluie à des WC, comme par exemple le KIT'O de Jetly [70], [71]. Ils comportent généralement une pompe, un système de filtration, des raccords ainsi que des éléments de signalétique, conformément à la réglementation. Barnabé Chaillot, youtubeur bricoleur, promeut, lui, un système plus simpliste, facile à fabriquer chez soi à partir d'une petite pompe 12V activée par un interrupteur flotteur et alimentée par un panneau solaire PV et une batterie¹⁶ [72], [73].

Afin d'assurer une continuité d'utilisation des sanitaires même dans le cas où la cuve de stockage est vide, un système de vanne relié à un flotteur est souvent installé pour remplir un minimum la cuve avec l'eau du réseau public en cas de niveau très bas. Idéalement, ce mécanisme se place au niveau de la cuve de stockage et non pas au niveau de chaque WC, notamment pour respecter la réglementation vis-à-vis du risque de pollution du réseau public, mais aussi pour éviter une multiplication de ces systèmes si plusieurs infrastructures sont raccordées à la cuve de récupération des eaux de pluie. C'est d'ailleurs une préconisation réglementaire apparue, grâce au décret du 12 juillet 2024, dans le Code de la santé publique, article R. 1322-108.

Dans une logique d'intensification du cycle de l'eau domestique, la **réutilisation des eaux grises** peut être envisagée **dans les chasses d'eau**, dans le respect de la réglementation en vigueur¹⁷. Les eaux grises peuvent venir de plusieurs sources (généralement lavabo, lave-linge, douche, baignoire) qui nécessiteront plus ou moins de traitement suivant la qualité de l'eau.

La version la plus simple est la collecte d'**eau de préchauffage de douche et de lavage de légumes** à l'aide d'une bassine qu'on vient ensuite vider dans le réservoir de la chasse d'eau ou directement dans la cuvette en remplacement d'un tirage de chasse d'eau (exemple du tutoriel simpliste du Wiki du Low-Tech Lab [74]). Bien que cette solution soit relativement simple à mettre en place, elle est contraignante, freinant ainsi son adoption. D'autant plus qu'elle requiert une certaine logistique – et

¹⁵ Cf. Annexe 1 : Réglementation sur l'utilisation d'eaux impropres à la consommation humaine dans les habitations

¹⁶ Il est à noter qu'il n'y a pas de filtration dans le système qu'il présente.

¹⁷ Cf. Annexe 1 : Réglementation sur l'utilisation d'eaux impropres à la consommation humaine dans les habitations

même une certaine adresse si l'on choisit de ne pas verser dans le réservoir mais directement dans la cuvette.

L'**eau des lave-mains** est ensuite généralement envisagée puisqu'elle est peu sale et qu'un lave-main est souvent installé dans les sanitaires ou à proximité. Des modèles clés en main ou à installer sur son réservoir existent [75], [76]. Ils restent cependant peu pratiques selon moi : très faible taille, emplacement peu accessible – voire inaccessible pour certains publics (personnes à mobilité réduite, enfants et personnes de petite taille). A cela s'ajoute selon moi l'effet rebond sur la quantité d'eau du lavage de main. En effet, étant donné qu'une certaine quantité d'eau est nécessaire après chaque tirage de chasse pour remplir le réservoir à nouveau, l'usager ne cherchera pas à être économe pendant son lavage de main.

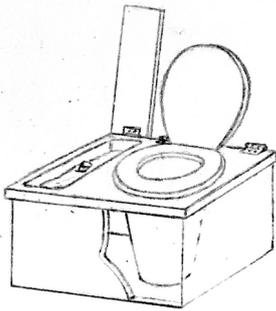
Pour la réutilisation des **autres eaux grises** (notamment l'**eau de douche**), des initiatives individuelles de personnes bricoleuses existent, mais sont souvent peu alignées avec la réglementation qui est très stricte. La difficulté réside dans le besoin de stocker l'eau entre la sortie de son usage primaire et sa réutilisation, tout en veillant à ne pas dégrader la qualité de l'eau. Des systèmes homologués existent cependant et seront évoqués dans la partie TRAITEMENT, page 25.

Supprimer l'eau pour l'évacuation des excréta revient à adopter des **toilettes sèches**¹⁸. Depuis quelques décennies, l'habitude d'utiliser l'eau potable pour l'évacuation des excréta en France a été pointée du doigt et largement remise en question [77], [78], [79]. Il en existe plusieurs types [80], [81], [82], [83] :

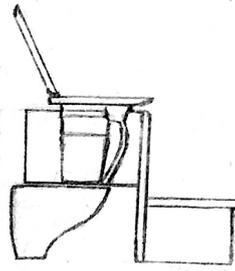
- **Toilettes à Litière Bio-maîtrisée** : ce système est le plus simple à mettre en place et consiste à collecter urine et fèces et d'ajouter de la matière sèche pour absorber l'humidité, et notamment l'urine, et éviter le dégagement d'odeurs désagréables. Il peut être installé en intérieur ou en extérieur (pour faciliter la ventilation notamment). Ces toilettes requièrent d'avoir un compost en extérieur pour gérer les déjections humaines. Il est possible d'acheter des modèles tout faits ou de les construire par soi-même ; de nombreuses ressources existent pour celles et ceux qui voudraient s'y lancer [84], [85], [86], [87]. A noter qu'il est recommandé d'avoir des seaux en plastique alimentaire ou en inox pour faciliter l'entretien et éviter toute incrustation.
- **Toilettes sèches à séparation** : afin de réduire les odeurs ainsi que le volume, et donc la fréquence, des seaux à vider, il est possible de séparer « à la source » l'urine des selles en installant un séparateur d'urine sous la lunette des toilettes. Différents types de séparateurs existent : en plastique [88], en céramique [89] ou à fabriquer soi-même [90], [91]. L'urine peut être collectée dans un bidon pour une utilisation ultérieure ou sinon renvoyée directement vers le réseau des eaux usées domestiques. En termes d'utilisation des toilettes, cette solution requiert quelques changements de pratiques, notamment l'impossibilité d'uriner debout.
- **Toilettes sèches amovibles** : elles présentent l'avantage de s'installer directement sur des WC existants sans avoir besoin de les retirer (elles nécessitent cependant un peu de place du fait du rajout) [92]. Étant à séparation, elles bénéficient de la connexion déjà existante aux eaux usées pour l'évacuation de l'urine.
- **Toilettes à compostage** : dans le cas de ce système, les déjections humaines sont directement déposées dans une fosse de compostage, limitant ainsi la manutention des excréta. L'avantage de ce système est de ne pas avoir à sortir et vider constamment un seau [78], [82], [83], [87].
- « **Toilettes vivantes** » : mise en avant dans le cadre de l'expérimentation Biosphère Urbaine en 2024, l'idée est d'avoir une toilette sèche à séparation et de réduire le volume des matières sèches par l'utilisation de larves de mouches soldat noir [93]. Une variante peut se trouver avec le concept des **toilettes à vermicompost** [94].

18 Les toilettes chimiques sont aussi envisageables mais, même si elles permettent en effet d'économiser de l'eau, elles semblent moins écologiques au regard des produits qu'elles utilisent.

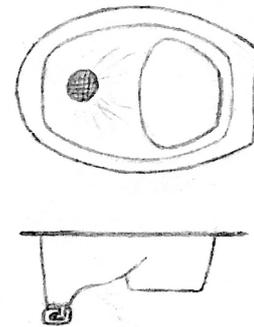
- **Toilettes sèches à déshydratation** : Kazuba [95] propose un modèle de toilettes sèches avec déshydratation de fèces et de l'urine à partir d'un système astucieux basé sur l'utilisation d'énergie éolienne et thermique solaire, permettant ainsi de réduire grandement les volumes.



Toilettes sèches



Toilettes sèches amovibles



*Séparateur d'urine
(modèle Trobolo)*

Au regard des implications sanitaires de ce genre de système, l'adoption de toilettes sèches doit bien entendu se faire dans le respect de la **réglementation** notamment concernant le compostage des déjections [77], [79], [81], [87], [96], [97], [98], [99], [100]. Celle-ci a tardé à se mettre en place mais depuis une dizaine d'années des textes régissent l'installation de ces systèmes pour des habitations avec une charge de pollution inférieure à 20 équivalent-habitant¹⁹ [102], [103], [104]. Globalement ils autorisent l'installation de toilettes sèches tant qu'il n'y a pas de nuisances pour le voisinage et que le compostage et l'utilisation du compost se fait sur la parcelle (en limitant l'usage du compost aux espaces non potagers). L'obligation d'avoir une aire de compostage étanchéifiée au niveau du sol pour éviter les ruissellements est cependant remise en question sur sa pertinence écosystémique [105]. Des recommandations ont d'ailleurs été faites pour nourrir le travail réglementaire et favoriser une législation qui encouragerait le déploiement des toilettes sèches [78], [106].

Pour les différents systèmes présentés, des problématiques, points de vigilance et recommandations communs se retrouvent, avec certains relativement bien documentés. Le choix du papier toilette et de la matière sèche employée, le risque d'odeur désagréable, la question du confort sont des points sur lesquels quelques éléments doivent être donnés.

Etant donné que les toilettes sèches visent un compostage, il est recommandé de toujours utiliser un **papier toilette** le plus naturel possible, c'est-à-dire en évitant ceux teints ou avec des produits de synthèse (parfum, *etc.*). Naturellement, tout comme pour les toilettes à eau, seul le papier toilette doit aller dans la cuvette et le reste doit se jeter dans une poubelle autre (mouchoirs, serviettes hygiéniques, tampons, *etc.*).

La plupart des systèmes nécessitent d'avoir de la matière sèche à ajouter aux excréta pour absorber l'humidité. Il y a donc une vigilance à avoir sur la **disponibilité en matière sèche**. Il est possible d'acheter des mélanges tout prêt mais des ressources locales peuvent sinon être utilisées. Généralement, de la sciure est récupérée auprès de scieries qui la mettent à disposition de particuliers gratuitement ou pour relativement peu cher (si elles ne l'utilisent pas comme ressource financière avec la production de granulés de bois). Il faut alors veiller à ce qu'il n'y ait pas eu de traitement spécifique du bois et éviter les essences tropicales pour garantir un compostage optimal. Il n'y a cependant aucune obligation que cela soit de la sciure, cela peut être des feuilles mortes sèches, de la paille, des broyats de bois, des ressources très locales (par exemple, dans les régions

¹⁹ Il est intéressant de noter qu'encore à ce jour, à ma connaissance, aucun document réglementaire ne régit l'installation de toilettes sèches pour les autres types d'établissements, notamment ceux recevant du public. Seule une note du Réseau d'Echange en Santé Environnementale et du Ministère de la Santé de 2010 est utilisée comme référence de recommandations pour l'installation de toilettes sèches collectives [101].

productrices de riz, de la balle de riz, un sous-produit dérivé du décorticage) ou bien même un mélange de tout ça [107].

L'**odeur** désagréable est un des principaux arguments limitant l'adoption de ces types de sanitaires. Certains avis estiment que la **séparation des urines à la source** permet de contourner cet argument²⁰ [108] tandis que d'autres jugent à l'inverse nécessaire de conserver l'urine pour utiliser son pouvoir accélérateur pour la dégradation des matières sèches [109]. L'adoption de certains gestes ou réflexes permet cependant de réduire les risques, comme par exemple appliquer un traitement protecteur au bois de l'assise de la cuvette, utiliser une bavette pour éviter les fuites entre le seau et l'assise, ou encore **choisir une matière sèche avec une granularité suffisamment élevée pour limiter les conditions anaérobiques** favorables au dégagement d'odeurs nauséabondes [110]. La **ventilation, naturelle ou forcée** (avec un petit ventilateur électrique ou un chapeau extracteur d'aération) permet également de réduire les nuisances possibles. L'installation en extérieur permet d'ailleurs de faciliter cet aspect-là. À noter que dans les retours généralement faits, lorsque les recommandations précédentes sont adoptées, l'odeur dans les toilettes n'est pas différente des toilettes à eau classiques, voire même l'odeur de sous-bois induite par la sciure peut être agréable.

Enfin, de manière générale, la question du **confort** doit bien être pensée lorsque l'on considère ce système, notamment dans le cas de toilettes extérieures. Cela passe par la recherche d'une certaine intimité – notamment sonore –, tout en restant dans une zone accessible pour ne pas décourager son utilisation ; avec suffisamment de ventilation, sans pour autant créer de courants d'air désagréables ; et avec suffisamment d'éclairage, sans pour autant attirer trop les regards.

L'annexe 4 reprend les différentes solutions présentées ci-dessus. Elle présente deux arbres de décisions que j'ai réalisés et qui servent d'aides pour orienter dans la sélection d'une des solutions présentées, suivant les besoins, les contraintes tolérées ou non et les efforts consentis pour une économie d'eau en matière de sanitaires.

HYGIÈNE CORPORELLE

L'hygiène corporelle est le deuxième gros poste de consommation d'eau chez les ménages français (près de 40 % en moyenne selon les estimations du C.I.Eau [67]). Un des gestes les plus couramment évoqués pour réduire la consommation d'eau dans la salle de bain est d'éviter les bains et de préférer des douches²¹, mais d'autres leviers sont encore possibles. La consommation de l'eau de la douche étant le produit du débit de distribution par le temps d'écoulement de l'eau, on retrouve là les deux paramètres principaux sur lesquels il est possible de jouer pour réduire le volume d'eau consommé.

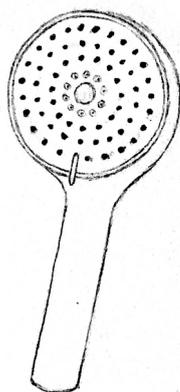
Pour jouer sur le débit de distribution, il existe, depuis quelques années déjà, des pommeaux de douche qui permettent de réduire les 10-12 L/min d'un pommeau traditionnel à 3-5 L/min, suivant les modèles [111]. Certains modèles de **pommeaux hydroéconomes** présentent même la capacité à filtrer et améliorer la qualité de l'eau comme le modèle Eco2 douche [112]. Sans devoir forcément changer le pommeau, des éléments peuvent également simplement s'ajouter au niveau de la connexion entre le pommeau et le flexible pour réduire le débit distribué au pommeau. Ces systèmes présentent cependant le désavantage d'être peu réparables et dépendant d'une entreprise et d'une industrie. Tout comme pour les mitigeurs, on retrouve quand même là l'avantage des économies d'échelles de l'industrie, élément soulevé par Philippe Bihoux dans son approche de définition du concept de « low-tech » [113].

Une alternative très bricolée est envisageable pour réduire très simplement le débit de sa douchette : utiliser une simple **pièce de 2 centimes trouée** d'environ 2-3 mm de diamètre (suivant le débit que l'on a initialement) et la placer entre les raccords du pommeau et du flexible de la douche [114]. Des questions, voire des doutes, peuvent quand même se poser sur la pérennité de la solution en matière d'étanchéité et de qualité de l'eau suite à l'oxydation de la pièce avec le temps.

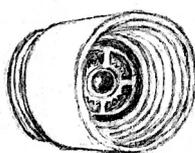
²⁰ Le Low-Tech Lab dans les commentaires de son tutoriel des toilettes sèches familiales [85] semble aller dans ce sens.

²¹ Sachant que cette affirmation peut quand même être fautive suivant le débit du pommeau de douche et la durée qu'on passe dessous.

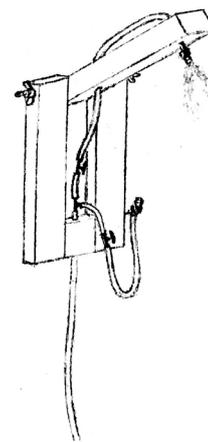
Une diminution du débit peut être encore plus poussée si on change le processus physique de distribution de l'eau : passer de l'aspersion (avec une douchette) à la brumisation (avec des buses). La **douche à brumisation**, pensée notamment par la NASA, permet d'avoir un débit d'eau très faible. Suivant le nombre de buses que l'on installe (entre 1 et 6), il est possible de réduire considérablement le débit : Kris de Decker a mesuré un débit de 2L/min avec 5 buses [115]. Dans son expérimentation Biosphère Urbaine, l'équipe de Biosphère Expérience a fait le choix d'un système avec 2 buses : une qui asperge par au-dessus et une autre manoeuvrable par l'utilisateur [116]. L'un des arguments de cette technique est le maintien du confort de la douche longue sans utiliser excessivement d'eau. Des points d'attention sont cependant mis en avant par certaines critiques en attendant de plus nombreux retours d'expériences. Permis ceux-ci, il y a notamment la difficulté de laver des cheveux longs et le risque d'un effet rebond sur la température de consigne si l'atmosphère de la salle de bain est peu humide²².



Pommeau hydroéconomique



Réducteurs de débit



*Douche à brumisation
(modèle Biosphère Expérience)*

Concernant le temps où l'eau coule, cela porte essentiellement sur le comportement et assez peu sur la technologie. Cependant certaines techniques ou astuces peuvent être envisagées pour aider à **raccourcir les douches**, en dehors du traditionnel « coupez l'eau quand vous vous savonnez » : chercher à être **pleinement conscient** de l'eau qui coule pendant sa douche et vouloir ne pas s'éterniser²³ ; installer un **sablier de douche** qui permet de voir le temps s'écouler et incite à relever le défi de la douche courte ; chercher à faire sa douche le temps de sa **chanson préférée** (en choisissant une de 3 à 4 minutes maximum) ; prendre sa **douche froide** (avec en plus des bienfaits pour la santé) ; utiliser un volume limité et prédéfini d'eau chaude²⁴.

La technique peut cependant quand même inciter à raccourcir les douches, notamment avec les **douches à temporisation** (comme on en trouve souvent dans les lieux accueillant du public, notamment les vestiaires de sport). Le fait que l'eau se coupe après un certain temps (quelques dizaines de secondes) permet d'inciter à prendre des douches courtes. Un petit effet rebond peut cependant être trouvé si la durée de la temporisation est mal réglée (trop courte elle dérangera l'utilisateurice qui en viendra à rester appuyer constamment dessus ; trop longue, elle gaspillera de l'eau « non rentabilisée »). Une déclinaison de ce mécanisme peut se retrouver aussi pour les robinets (mais là encore l'effet rebond peut arriver suivant le réglage choisi).

22 En effet, si l'atmosphère est peu humide, les particules d'eau qui se déposeront sur la peau, étant plus fines, s'évaporeront plus vite que les gouttelettes qui se forment lors d'une douche avec douchette, créant un rafraîchissement de la peau pouvant être désagréable pour les utilisateuices.

23 Cela se retrouve dans le concept de la douche Navy évoqué par Kris de Decker dans son article sur la douche à brumisation dans lequel il revient sur l'histoire de l'hygiène corporelle notamment concernant la douche [115]. C'est une douche où l'on se mouille pendant 30 sec, on se savonne puis on se rince en 30 sec.

24 Cette astuce est utilisée dans la conception de la douche à brumisation de Biosphère Expérience dans le cadre de son expérience Biosphère Urbaine [116].

Utiliser un **volume limité d'eau** est un moyen ultime pour s'assurer d'une consommation limitée lorsque l'on prend sa douche. Cela peut se faire par exemple en utilisant des **douches de camping**. Elles ont en plus l'avantage de pouvoir être solaire, économisant ainsi l'énergie de chauffage (mais influant fortement sur le moment de la journée où l'on prend la douche). Lorsqu'il n'y a pas de soleil, l'utilisation d'une bouilloire ou d'un poêle à bois pour le chauffage du volume d'eau peut se faire²⁵. Il est même possible de fabriquer soi-même une douche de camping à gravité [118] ou à pression (notamment à partir d'un pulvérisateur) [119], [120].

Lorsque les douches sont prises avec de l'eau chaude, il y a souvent des pertes d'eau « simples » dans les moments de recherche de la température d'eau idéale : au début de la douche en attendant que l'eau chaude arrive et, dans le cas où il y a deux robinets, après la pause savon lorsqu'il faut retrouver les réglages optimaux. Pour le premier cas, comme il a déjà été évoqué, il est possible de **collecter et de réutiliser cette eau froide initiale** (pouvant représenter une bonne dizaine de litres suivant la configuration de la tuyauterie) pour l'arrosage de plantes, le lavage de légumes, les WC, *etc.* Pour le deuxième cas, des systèmes de **pommeaux avec bouton coupe-jet** existent, permettant de stopper la douche tout en conservant les réglages de température d'eau lorsqu'on se savonne [121].

L'annexe 5 reprend les différentes solutions présentées ci-dessus. Elle présente deux arbres de décisions que j'ai réalisés et qui servent d'aides pour orienter dans la sélection d'une des solutions présentées, suivant les besoins, les contraintes tolérées ou non et les efforts consentis pour une économie d'eau en matière de douche et d'hygiène corporelle.

Le dernier et le plus radical des leviers pour réduire l'eau consommée pour la douche est de **questionner la manière dont on réalise son hygiène corporelle**. A-t-on en effet besoin de se mettre sous l'eau tous les jours comme on en a pris l'habitude ? Revenir au principe initial de la douche – à savoir enlever la sueur, l'excès de sébum, *etc.* – peut sembler pertinent dans une démarche low-tech engagée. L'article de Kris de Decker sur la douche à brumisation [115] questionne pertinemment et en profondeur le besoin qu'on associe au fait de prendre une douche, et remet en lumière son ancêtre, à savoir la toilette au lavabo. C'est, en effet, avec de telles techniques – que l'on retrouve parfois dans les témoignages de personnes qui font du trek ou de la randonnée – que les plus grandes économies d'eau liées à une toilette sont possibles.

De manière globale, en matière d'économie d'eau chaude, l'**agencement du réseau d'eau de l'habitation** est important. Il est en effet primordiale de **réduire au maximum les distances entre le ballon d'eau chaude et les points de soutirage** (évier de la cuisine pour la vaisselle et douches) et d'isoler les conduites d'eau chaude qui existent. Dans certains cas, il peut être vu comme un avantage, énergétiquement parlant, de placer un deuxième chauffe-eau instantané à côté d'un point de soutirage éloigné pour raccourcir le temps d'arrivée de l'eau chaude – cela pouvant donc aussi jouer sur l'économie d'eau en évitant de laisser couler l'eau froide inutilement²⁶.

ARROSAGE

Le principe d'arrosage consiste à apporter l'eau à des plantes lorsque le milieu naturel ne lui permet pas d'en avoir assez. On retrouve là l'idée de transport/distribution d'eau mais dans un but précis. Le moyen d'arroser qui demande le moins de technologie est d'avoir l'eau déjà présente dans le sol. Cela passe par un travail sur la texture et la porosité du sol ainsi que sa teneur en matière organique, trois paramètres influençant fortement la capacité de rétention d'eau dans le sol. Cependant, dans certains cas, la réserve utile du sol ne suffit pas pour apporter l'eau nécessaire aux plantes, un arrosage est alors nécessaire. Il peut se faire de deux manières : en surface ou en sous-terrain. Dans le premier cas, une plus forte évaporation aura lieu mais la complexité d'installation est généralement plus faible, alors que dans le deuxième cas, les infrastructures peuvent apporter des contraintes pour

²⁵ C'est notamment la solution utilisée par Pierre Delorme, évoqué dans un post LinkedIn en juillet 2024 [117].

²⁶ Cette approche peut néanmoins être vue comme à rebours d'une approche low-tech qui éviterait la multiplication des systèmes techniques complexes comme les chaudières et chauffe-eau.

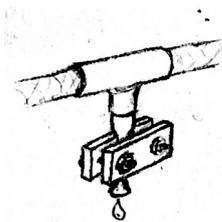
être installées mais permettent d'assurer un apport d'eau plus pertinent car directement au niveau des racines et avec moins de pertes par évaporation.

Pour l'arrosage en surface, l'**arrosage gravitaire** (par simple écoulement de l'eau le long de petites tranchées ou canaux) est la version la moins technologique mais induisant une forte perte par évaporation et une difficulté de gestion. Pour des parcelles de jardin, cela peut cependant être suffisant (même si peu économe en eau). L'arrosage par **tuyaux poreux** ou par **goutte-à-goutte**²⁷ est ce qu'il y a de plus simple techniquement pour un arrosage très économe, mais il induit une quantité très importante de plastique et nécessite une eau filtrée car les petites impuretés peuvent venir bloquer les pores et buses de goutte-à-goutte. De plus ce système favorise peu l'autonomie puisqu'ils ne sont pas réparables, seulement peu chers et facilement remplaçables.

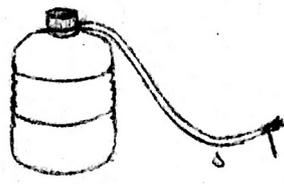
Des systèmes de goutte-à-goutte « DIY » existent. Ils utilisent principalement des bouteilles plastiques et des objets qui ralentissent très fortement le débit qu'on peut placer à leur embouchure (bouchon percé, bouchon de liège enfoncé, valve de chambre à air de vélo, coton-tige, *etc.*). La formation de gouttes peut également être réalisée à partir :

- d'un **tuyau pincé** [62] ;
- d'une **corde ou une mèche** plongée à une extrémité dans un volume d'eau et transmettant par capillarité l'eau vers le point bas [123], [124], [125] ;
- d'une **cloche** posée au dessus d'un réservoir d'eau, visant à évaporer puis condenser sur les parois de la cloche l'eau [126], [127].

Ces différents systèmes sont souvent très bricolés et leur tenue dans le temps n'est pas facilement assurée. Cela est notamment dû aux dégradations du plastique par l'effet des UV du soleil.



Tuyau pincé



Capillarité par mèche



Evaporation solaire

Pour permettre à l'eau d'atteindre les racines en profondeur et favoriser le développement du réseau racinaire profond, il est possible d'installer des **conduites verticales percées** pour acheminer l'eau. Des modèles **semi-rigides** [128] et **rigides** [129], [130], [131] existent, à acheter ou fabriquer soi-même. Ces systèmes permettent d'améliorer la prise des plantes lors de leur plantation dans les régions arides [132] et peuvent représenter des économies d'eau s'ils viennent en remplacement d'un arrosage en surface abondant. Ces systèmes peuvent être bricolés avec des bouteilles trouées enterrées mais avec une faible pérennité et le risque d'une pollution plastique inquiétante [133], [134].

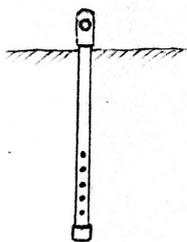
Pour les espaces urbanisés ou avec des sols impropres à la culture, il est possible de réaliser des « **jardinières autonomes en eau** » (*wicking bed* en anglais) [135]. L'idée est de créer une jardinière avec un fond constitué d'une couche servant de réserve d'eau et alimentant la terre et les plantes par capillarité. Le remplissage se fait avec une conduite qui permet d'envoyer l'eau directement à la zone de stockage. Au Zimbabwe, le concept a été adapté pour être réalisé à même le sol en créant une butte sur une couche très perméable servant de réseau d'eau [136]. On retrouve d'ailleurs le principe de la culture sur butte avec cette idée.

En matière d'arrosage souterrain par capillarité, une diversité de solutions existent, dont la principale et la plus connue : les **oyas**²⁸ (ou ollas) [137], [138]. On en trouve de différentes contenances

²⁷ Le système Iriso® est d'ailleurs très ingénieux puisqu'il permet de régler « mécaniquement » le débit du goutteur et comporte un adaptateur permettant de l'utiliser à partir d'une bouteille d'eau [122].

²⁸ L'Annexe 2 présente plus en détails les ambivalences autour de la solution low-tech que sont les oyas.

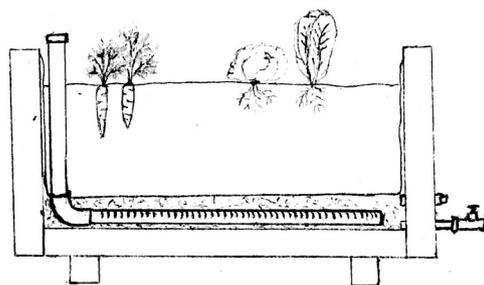
et géométries [139], [140], [141], manufacturées par des potiers ou à fabriquer chez soi avec des pots de fleurs²⁹ (attention à bien vérifier la porosité des pots [142]). Pour se simplifier le remplissage, un réseau de tuyaux peut être installé avec des flotteurs ou d'autres mécanismes (tels que ceux évoqués dans la partie Distribution) [143], [144]. On parle d'oyas lorsqu'elles sont remplies individuellement depuis la surface. Une variante consiste en un réseau de **capsules poreuses** constituées d'argile cuite, reliées entre elles par un système étanche et à une réserve d'eau en surface permettant l'alimentation de ce système. L'idée peut aller plus loin en réalisant des **tuyaux de terre cuite** formés par assemblage de sections de tuyau en argile poreuse, scellées ensemble, et permettant une irrigation en longueur³⁰. Ces différents systèmes ont pu être testés notamment dans les régions arides pour économiser l'eau lors des opérations d'irrigation [145]. Pour ces différents systèmes, l'étanchéité pour les parties non poreuses et la qualité de la porosité pour la partie en argile cuite sont déterminantes de la qualité du système et de son efficacité.



Conduite verticale rigide



Conduite verticale semi-rigide



Jardinière autonome en eau (wicking bed)



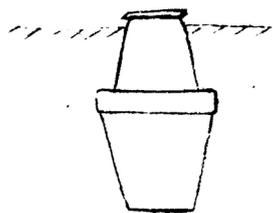
Oya



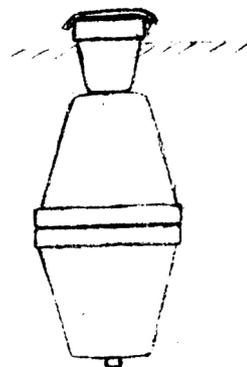
Oya pour pot intérieur



Oya pot de fleur simple



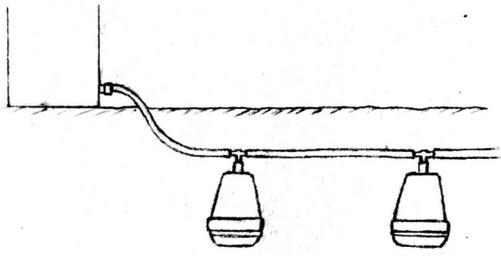
Oya pot de fleur double



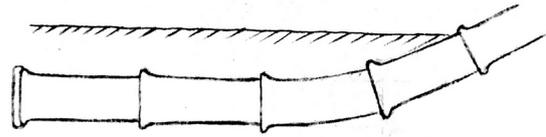
Oya pot de fleur triple

29 Pour cette solution, différents moyens sont possibles pour assurer l'étanchéité des pots : utilisation de ciment ou de mortier, avec ou sans morceaux de carrelage ou tesson de terre cuite, de colle, de silicone, de rondelles de métal, de bouchons de liège, etc. Ces différentes solutions présentent des impacts environnementaux différents qu'il convient d'évaluer lors du choix.

30 Permettant d'apporter une alternative à l'arrosage localisé des solutions d'oyas. En effet, la zone d'irrigation de ces dernières est une zone circulaire autour de l'oya dont le diamètre globale est estimé généralement à environ 3 diamètres de l'oya centrale.



Réseau de capsules poreuses



Tuyaux de terre cuite

LAVAGE DU LINGE

Le lavage du linge est aussi un poste consommateur d'eau. Bien que ces systèmes se concentrent principalement sur la réduction de la consommation d'énergie plutôt que sur les économies d'eau, des **machines à laver à pédale** existent. Il est possible de la fabriquer soi-même, à partir d'un pédalier de vélo généralement [146], ou il est possible d'acheter Drumi, le modèle américain proposé par Yirego, mais avec de nombreuses critiques sur la qualité du service après-vente et de la réparabilité du modèle [147].

Pour réduire sa consommation d'énergie liée à son lavage de linge, un petit boîtier, l'Obiwash®, a été créé pour envoyer de l'eau chaude pendant le lavage et de l'eau froide pendant le rinçage, même s'il n'y a qu'une entrée d'eau sur la machine [148]. Bien qu'utilisant un peu d'électronique pour son côté « intelligent » il permet des économies d'énergie relativement simples avec un taux de retour sur investissement assez rapide.

2.5. Traitement

Hormis pour la boisson et la consommation alimentaire, l'usage de l'eau repose sur le fait que c'est un flux donc l'eau n'aura pas « disparu » après l'usage. Elle ne sera que dégradée et donc inapte pour un usage suivant (on retrouve cette idée dans l'expression « eaux usées »). Initialement, le cycle naturel de l'eau joue le rôle de purification et de traitement de l'eau mais, avec l'asservissement du flux naturel pour l'intégrer à notre infrastructure socio-technique et les niveaux toujours plus importants de pollution (au sens large) qu'on lui ajoute, il devient nécessaire d'élaborer des systèmes qui vont traiter au mieux les eaux usées avant de la restituer au milieu naturel, ou pour pouvoir la réutiliser.

La phase de traitement vise donc principalement à contrer la dégradation de la qualité de l'eau, soit en limitant celle-ci (filtration), soit en y remédiant complètement (assainissement, distillation, traitement pour réutilisation).

De nombreuses solutions low-tech liées à cette phase se retrouvent dans la littérature documentant les systèmes techniques mis en place pour favoriser l'hygiène et la potabilité de l'eau dans les pays en développement.

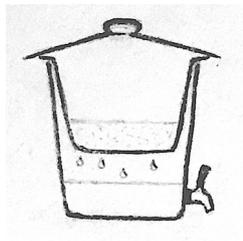
FILTRATION

Le principe de la filtration est de faire passer un fluide dans quelque chose ayant des orifices de taille suffisamment petite pour éviter le passage des éléments qui ne conviennent pas (généralement tout ce qui n'est pas de l'eau).

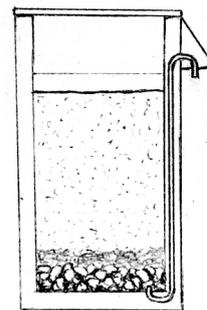
Les **filtres en céramique** sont un moyen astucieux d'utiliser les micro-pores naturels de l'argile cuite à une certaine température (recherche de la vitrification de l'argile) pour faire passer l'eau tout en retenant les particules non désirables. Ils peuvent être achetés ou fabriqués assez simplement

lorsqu'il y a les ressources locales et les infrastructures adéquates [149], [150]. Ces systèmes sont généralement utilisés pour la potabilisation de l'eau, c'est pourquoi des traitements additionnels peuvent être ajoutés pour détruire les bactéries comme l'ajout sur les parois d'argent colloïdal.

Par sa constitution physique, le sable est souvent utilisé pour filtrer, avec la possibilité de choisir le degré de filtration selon la taille des grains. Les **filtres à sable** sont donc une solution pour filtrer l'eau assez simplement et ils peuvent être « facilement » nettoyés en réalisant un contre-lavage (faire passer l'eau dans l'autre sens pour faire ressortir les impuretés qui se sont accumulées). Ces filtres sont notamment utilisés pour les piscines privées. Une variante a été promue par le Low-Tech Lab avec sa version du **Filtre bio-sable** [151], expérimentée dans le cadre de l'aventure du Nomade des mers qui utilise le pouvoir assainissant de certains micro-organismes et bactéries sur la partie supérieure du filtre. Des questions se posent cependant vis-à-vis de la ressource primaire quant à son approvisionnement et son impact écologique.



Filtre céramique



Filtre bio-sable

Pour la production d'eau potable, l'utilisation de **filtres à charbon actif ou biochar** est souvent mise en avant. C'est notamment le cas des modèles Berkey [152], dont il est possible de fabriquer soi-même le contenant pour n'avoir que les cartouches à acheter, réduisant ainsi les coûts [153]. Le passage dans des filtres à charbon permet par ailleurs de reminéraliser l'eau, comme cela a été évoqué dans la partie sur les désalinisateurs (p. 10) [20].

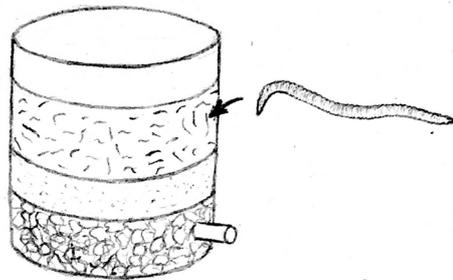
Dans un registre humanitaire, un système ingénieux a été inventé pour faciliter l'accès à l'eau potable dans les pays en développement. Le **Filter caps** est imprimé en 3D, repose sur de la filtration avec du charbon actif, et utilise deux bouteilles plastique comme contenants [154]. Un autre système de purificateur d'eau douce, **Orysa®**, construit en France, a été conçu par Fonto de Vivo. Il repose sur un système de pompage avec l'utilisation d'une membrane d'ultrafiltration [155].

Pour la restitution de l'eau dans le milieu naturel, différentes techniques – en partie liées à l'assainissement – existent pour la partie d'infiltration :

- Le **filtre à broyat de bois**, pour lequel une expérimentation a lieu actuellement en France pour l'infiltration d'eaux grises via ce concept [82].
- Le **lombrifiltre**, reprend le concept filtrant du sol en recréant un environnement similaire constitué d'une première couche composée de d'écorces et des vers de compost, puis d'une couche de sciure pour la filtration avant une couche drainante remplie de gravier. Un système est en place à Combaillaux depuis quelques décennies déjà [156], [157].



Filtre à broyat de bois



Lombrifiltre

ASSAINISSEMENT

L'assainissement en France est très réglementé, avec une législation spécifique. Il y a globalement deux types d'assainissement : l'assainissement collectif (AC) et l'assainissement non collectif (ANC). Dans le deuxième cas, le système d'assainissement a l'obligation d'être homologué pour assurer une qualité des eaux épurées et éviter ou limiter les risques de pollutions. En France, des zonages urbanistiques sont réalisés pour définir les habitations qui sont dans l'obligation d'être raccordées au réseau d'eaux usées et celles qui ne le sont pas. Il est interdit par la réglementation de cumuler un raccord de tout-à-l'égout et une solution d'ANC.

Un des systèmes les plus low-tech à mes yeux pour l'assainissement est la **phytoépuration** (ou filtre planté) [158], [159]. Cette installation d'ANC se base sur un processus qui repose sur l'utilisation de bacs ou bassins avec des plantes dans lesquels l'eau passe, se filtre et s'épure. En réalité, ce ne sont pas les plantes qui épurent : elles ne servent que de support, avec leur système racinaire, à tout un ensemble de micro-organismes qui se développent et dégradent les polluants de l'eau (en aérobie et anaérobie). L'aération permise par les plantes permet également l'oxydo-réduction de certains éléments chimiques.

L'eau passe au départ dans un filtre à graisse pour retirer le gros des matières grasses. Ensuite, elle s'écoule dans deux types de bacs (le nombre pouvant varier suivant les quantités et les qualités d'eau à traiter) : ceux verticaux qui jouent un premier rôle de filtration en permettant notamment de retenir les particules en suspension puis ceux horizontaux qui permettent un passage prolongé des eaux au milieu des micro-organismes. Enfin, l'eau épurée est soit rejetée en surface dans un cours d'eau ou un point d'eau, soit infiltrée dans le sol si le rejet en surface n'est techniquement ou réglementairement³¹ pas possible [160].

Bien qu'elle demande bien souvent des moyens conséquents en matière de terrassement, cette solution présente la particularité de pouvoir être faite en quasi-autonomie (l'organisme de contrôle des ANC, le SPANC, doit quand même passer valider certains étapes de construction) [26], [161], [162], [163], [164], [165]. Pour le dimensionnement de l'installation, le fait d'avoir des toilettes sèches peut, en théorie, réduire la capacité de traitement nécessaire – et donc réduire le coût – mais les SPANC sont souvent réticents à réduire étant donné le risque que l'installation d'ANC devienne insuffisante si à la prochaine utilisation du lieu des toilettes à eau sont installées. Comme évoqué par David Mercereau sur son blog, les SPANC peuvent cependant parfois faire des exceptions localement [166].

A noter qu'en cas d'utilisation de toilettes sèches, la suppression des eaux vannes pourraient induire un manque de matière organique pour les plantes de l'installation de phytoépuration (source : échange avec C. Chabot). Pour pallier cela, un rajout de matière organique via du compost peut être envisagé.

³¹ Dans les zones à fort enjeu en matière de moustiques, des arrêtés préfectoraux peuvent interdire le rejet d'eau en surface et obliger l'infiltration.

Le **système TRAISELECT** promu par József ORSZÁGH dans sa méthodologie Eautarcie cherche l'indépendance vis-à-vis du réseau public d'eaux usées [167]. C'est une autre solution d'assainissement dont le fonctionnement diffère de celui de la phytoépuration.

Dans ce système, les eaux grises rejoignent une fosse à eaux grises (sans passer par un bac dégraisseur pour avoir un chapeau antioxydant) permettant une première épuration anaérobie. S'ensuit un passage dans un bac d'aération pour une épuration aérobie dont l'aérateur permet notamment de réduire l'odeur des eaux usées. L'eau se dirige ensuite dans la tranchée végétale filtrante, bénéficiant du pouvoir purifiant du substrat et des microorganismes en symbiose avec le réseau des racines des plantes. Elle s'accumule dans un puit de collecte qui se déversera ensuite dans l'étang de finissage (constitué d'une bâche en plastique pour l'étanchéité et de plantes aquatiques décoratives ajoutées en surface). L'épuration se fait par la lumière du jour qui fait coaguler les résidus de savon et les bactéries se déposent au fond de l'étang formant de la boue qui sera prise en charge par d'autres bactéries pour former de l'eau et du CO₂ [168], [169].

Dans le cas où l'habitation est raccordée au réseau d'eaux usées, le côté collectif de la **Station de Traitement des Eaux Usées (STEU)** peut également amener à considérer cette option comme une solution low-tech, dans la mesure où elle utilise des infrastructures déjà existantes. Certaines petites STEU utilisent d'ailleurs le principe des filtres plantés comme solution d'assainissement.

Enfin, étant donné le rôle que peut jouer le biomimétisme dans la réflexion low-tech, il est intéressant de noter deux découvertes scientifiques récentes. Bien qu'encore à l'état de recherche, elles pourraient à l'avenir jouer un rôle dans une conception de traitement d'eau low-tech. Cela porte notamment sur la constitution d'**agents floculants** à partir de végétaux. C'est le cas des **graines de Moringa** (*Moringa oleifera*) ainsi que du **figuier de Barbarie** (*Opuntia ficus-indica*) qui ont été étudiées et la découverte que certaines substances qui les composent donnent des résultats intéressants de floculation pour le traitement de l'eau en vue d'une potabilisation [170], [171].

RÉUTILISATION DES EAUX GRISES

La réutilisation des eaux grises est encore balbutiante en France, notamment car elle obligeait jusqu'à récemment d'avoir un traitement de l'eau grise quasiment équivalent à celui d'une eau potable pour l'utiliser sur des usages comme le lavage du linge ou les WC. Des entreprises ont donc lancé des produits ces dernières années. Elles restent très technologiques et consomment de l'énergie (à rebours de l'épuration naturelle possible) mais dans leur esprit de raccourcir le cycle de l'eau domestique, et ainsi d'économiser la ressource en eau, elle sont intéressantes à mentionner dans cet état de l'art. Cela vaut d'autant plus que chacune repose sur un principe de traitement de l'eau différent :

- **Spareau**, utilise un processus de filtration avec des filtres de différentes tailles pour de la réutilisation d'eaux grises pour les WC [172], [173], [174].
- **R-CUP-03**, de Ozoneo, qui traite les eaux grises par un processus d'ozonation, pour une utilisation ultérieure au niveau des WC [175].
- **HydraLoop**, solution hollandaise récemment importée en France. Elle traite des eaux grises pour les WC et le lave-linge à partir d'un processus basé sur la gravité et un bioréacteur (donc sans filtre ni produit chimique) [176].

Pour la réutilisation des eaux grises pour des besoins d'arrosage, un certain flou réglementaire a permis à Aquatiris de lancer ces dernières années leur produit **PhytoReut** qui permet la collecte, le stockage avec micro-traitement et l'utilisation pour l'arrosage des eaux grises de douches et lave-mains [177]. Lors de l'acquisition, il est possible de choisir uniquement le matériel et le monter soi-même ou d'opter pour l'offre « clé en main » avec installation comprise. Une version à bricoler soi-même pourrait tout à fait être envisagée selon moi, notamment en combinant les ressources en libre accès concernant la phytoépuration et les indications de la réglementation du 12 juillet 2024 concernant les systèmes d'utilisation des eaux impropres à la consommation humaine.

Il est possible d'envisager un **recyclage des eaux grises pour de l'arrosage via de la phytoépuration** puisqu'en sortie de l'installation d'assainissement l'eau peut être facilement redirigée vers un stockage et distribuée [178].

Enfin, si des produits naturels sont utilisés pour la douche et que l'eau est donc peu sale, il est éventuellement possible d'**utiliser directement cette eau de douche pour l'arrosage au jardin**, bien que cela ne soit pas clairement autorisé réglementairement (attention tout de même à évaluer le taux d'acceptation de savon pour les plantes et éviter les cultures potagères). Suivant l'agencement de la maison, cela peut se faire assez simplement par introduction d'une vanne en Y sur la conduite de sortie de l'eau de la douche qui redirige l'eau grise directement à un tuyau d'arrosage par simple action du mécanisme par l'utilisateur avant sa prise de douche.

Dans le cadre de mes recherches pour cet état de l'art, j'ai pu aussi explorer quelques systèmes et techniques autres qui jouent un rôle dans la gestion de l'eau en milieu agricole ou en termes d'aménagement du territoire. Ces solutions sont souvent issues de certains courants de pratiques qui – à mes yeux – rentrent dans la philosophie low-tech : numérique open-source pour des capteurs agricoles, agroécologie, permaculture, hydrologie régénérative/hydrologie douce/ *keyline design*, construction en pierre sèche. J'invite le lecteur ou la lectrice à aller creuser ces disciplines si ces domaines l'intéressent.

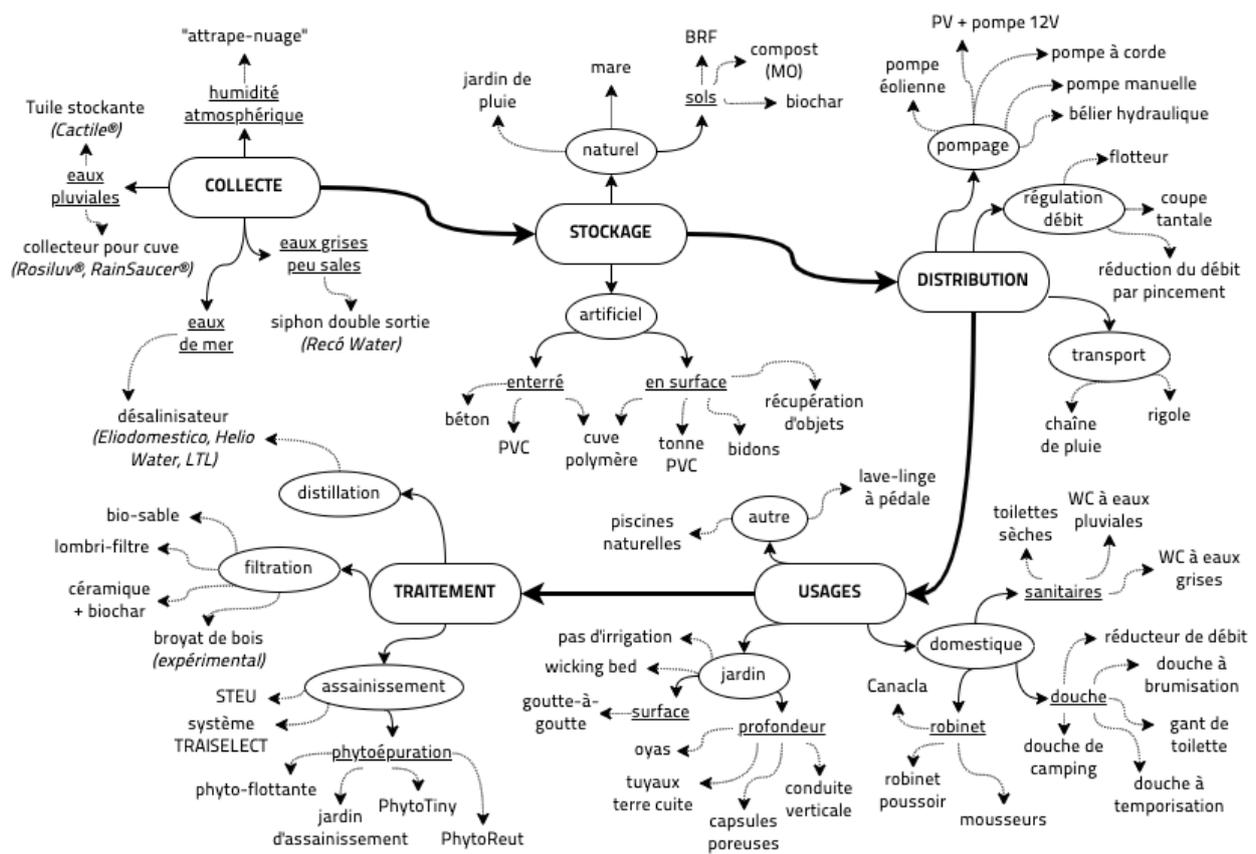


Schéma récapitulatif des phases du cycle de l'eau domestique et des principales solutions et techniques évoquées dans ce document

3. Enseignements et perspectives

Au travers de cette mission, plusieurs éléments me sont apparus dans ma réflexion sur le déploiement de systèmes et solutions low-tech pour la gestion de l'eau et son économie, pour des usages domestiques.

3.1. La prépondérance du comportement par rapport à la technique

Dans notre rapport aux technologies et outils techniques, il y a toujours deux pans qui jouent sur la consommation de la ressource utilisée (énergie, eau, *etc.*) : notre comportement dans l'utilisation et l'efficacité technique de l'objet, de l'outil. Dans une approche low-tech, l'effort sur le comportement par la sobriété sera naturellement précédent à tout effort sur la technicité. En matière d'énergie, la sobriété est certes le premier levier pour réduire la consommation de ressources mais l'efficacité technique garde un rôle important d'autant que des améliorations peuvent être réalisées sur les systèmes actuels grâce à l'accumulation de connaissance scientifique.

En matière d'eau, à l'inverse, il me semble qu'une certaine limite dans l'efficacité a été atteinte depuis un certain temps : il devient difficile de vraiment économiser l'eau pour un certain service sans avoir recours à un niveau de complexité technique élevé. Il apparaît donc que **l'effort sur le comportement est largement prépondérant dans une approche low-tech d'économie d'eau**. En tout cas, cela doit être le premier levier à actionner et, dans la majeure partie des cas, cela est déjà suffisant pour apporter de grandes économies d'eau.

Pour économiser l'eau d'un point de vue technique, il n'y a pas pléthore de solutions :

- soit on **réduit le débit** (par exemple en changeant les embouts de diffusion des robinets, douchettes, solutions d'arrosage),
- soit on **trouve des ressources d'eau de substitution** dans une approche autonomiste,
- soit on **questionne la nécessité d'utiliser de l'eau et réduit le temps où l'eau coule** – et on retrouve là l'aspect comportemental, mais qui peut être aussi incité par la technique (exemple du volume d'eau chaude limité pour inciter aux douches courtes dans l'expérimentation de la douche à brumisation de Biosphère Expérience).

Dans une optique de rationalisation de la complexité technique, le levier comportemental semble donc le plus simple à mettre en place (bien que la question du confort – notion très subjective – vienne contrecarrer la simplicité apparente d'action). Cela vaut d'autant plus qu'en France hexagonale, la question du manque d'eau n'a jamais trop été pressante, n'incitant pas les gens à adopter des habitudes économes en eau et favorisant le développement d'infrastructures techniques reposant sur l'abondance de la ressource (réseaux d'eaux usées, WC avec de l'eau potable, *etc.*).

3.2. Les principes de la gestion économe de l'eau low-tech

À mes yeux, la démarche low-tech en matière d'économie de la ressource en eau repose donc sur 2 piliers principaux :

1. **Sobriété** : la réduction de la consommation d'eau dans les usages.
2. **Efficacité** : la recherche d'un cycle de l'eau domestique qui dure le plus possible avant restitution à l'environnement.

On retrouve les 3 piliers de la démarche NégaWatt si on considère l'utilisation de ressources d'eau alternatives (eaux de pluie, eaux grises) comme la déclinaison de leur pilier Energies renouvelables.

De manière plus globale concernant une gestion « low-tech » de l'eau en milieu domestique, j'en suis venu à une hiérarchie en 5+2 « Rs » sur le modèle de la démarche « zéro déchet ». Par ordre d'importance on a la hiérarchie suivante, avec des exemples associés :

RENONCER

*ne plus prendre de bain / prendre des douches au gant de toilette
utiliser des toilettes sèches
avoir un jardin sans arrosage*

RÉDUIRE

*réduire le volume d'eau de la douche
réduire le temps de la douche
réduire le débit des douche et robinets
chasse d'eau double-flux ou à flux variable*

RÉCUPÉRER / RÉEMPLOYER / RÉUTILISER

*collecter l'eau de pluie
arroser avec de l'eau de pluie
utiliser des WC à eau de pluie
récupération des eaux « perdues » (préchauffage, lavage de légume)*

RECYCLER

*réutilisation des eaux grises avec traitement pour les usages intérieurs (WC, lave-linge)
réutilisation des eaux grises pour l'arrosage*

RENDRE À L'ENVIRONNEMENT

*phytoépuration
STEU
infiltration sur broyats de bois
lombrifiltre*

Utiliser des énergies RENEUVELABLES

*solaire (PV)
éolien
manuel (pieds/mains)*

REVENIR AUX PROCESSUS NATURELS ET PHYSIQUES

*évaporation / condensation
flottaison / ressorts / balanciers mécaniques
effet siphon / vases communicants
rétention d'eau naturelle dans les sols*

3.3. Des ambivalences flagrantes et antagonistes

Au travers des différents systèmes et techniques low-tech de gestion de l'eau en milieu domestique évoqués dans cet inventaire, il apparaît des ambivalences suivant les caractéristiques de l'esprit qui sont recherchées en priorité. Des enjeux sanitaires, environnementaux, énergétiques, d'autonomisation buttent les uns sur les autres.

La recherche de solutions simples à fabriquer et utilisant des ressources abondantes, peu chères et facilement accessibles conduit à proposer des solutions à partir de bouteilles plastiques pour l'arrosage ou l'utilisation de pièces de 2 centimes comme réducteur de débit. Cela s'accompagne malheureusement d'**effets environnementaux** (et éventuellement sanitaires) qui peuvent être non négligeables par la dégradation du plastique notamment, et donc une pérennité des systèmes-objets installés discutable. À l'inverse, pour pouvoir assurer leur longévité et parfois faciliter l'entretien, certaines solutions nécessitent des **matériaux énergivores ou avec un impact environnemental important** (béton, acier, inox, certains plastiques).

La **sobriété énergétique** est souvent recherchée mais certaines installations nécessitent des apports énergétiques supplémentaires pour faciliter leur adoption et leur utilisation. Par exemple une ventilation électrique pour des toilettes sèches, une pompe électrique pour acheminer l'eau de pluie de la cuve aux WC, etc. La **recherche d'autonomie** va inciter à installer panneaux photovoltaïques et

batteries pour assurer l'approvisionnement électrique, mais il pourrait sembler absurde de s'y obliger si de toute façon l'habitation est raccordée au réseau électrique public. En effet, cela mobiliserait des ressources qui pourraient plus judicieusement être utilisées ailleurs.

De même, la mise en place de certaines solutions requiert des travaux conséquents (cuves de stockage enterrées, bassins, installations de phytoépuration) et donc des moyens pouvant aller à rebours de l'esprit low-tech, comme l'utilisation de pelles mécaniques. Le **coût environnemental de ces travaux** est alors à mettre en perspective avec les résultats que cela permettra d'avoir.

Concernant l'utilisation d'eaux impropres à la consommation humaine (eaux de pluie et eaux grises), les **enjeux sanitaires pour l'humain et l'environnement** viennent ralentir le déploiement et la facilité d'installation d'infrastructures pour favoriser l'autonomie des individus. Une certaine complexité technique et une consommation énergétique supplémentaire peuvent également venir s'ajouter, s'éloignant d'une certaine manière de l'esprit radical de la low-tech.

Face à ces conflits d'enjeux, j'ai essayé de proposer une variété de solutions pour chaque usage, présentant des avantages et inconvénients sur différents enjeux. Pour pouvoir assurer un déploiement et une adoption la plus large possible, il sera donc nécessaire de réaliser des arbitrages localement pour estimer quelle est la meilleure solution au regard du contexte.

Par ailleurs, lorsque l'on considère la question des économies d'eau domestique, il est bon de penser à regarder les conséquences qu'aura l'adoption de certaines solutions. En effet, si le volume d'eau « propre » réduit, la charge de polluants des eaux usées restante va donc augmenter, rendant plus difficile le traitement. Cela invite donc également à chercher à réduire la quantité de polluants (au sens général, donc graisses et savons compris) que l'on rejette dans les eaux usées.

Également, certains réseaux d'eau domestique ont été pensés pour des usages qui consomment beaucoup d'eau et la réduction de volumes peut parfois amener à des problèmes d'obstruction. Cela est notamment le cas pour les WC lorsque sont installées des chasses d'eau double-flux dans des habitations avec un réseau d'eaux usées ancien. Le manque d'eau peut alors amener à des obstructions de canalisations par formation de bouchons lors de l'évacuation des excréta.

4. Conclusion

Bien qu'initialement la recherche de l'économie d'énergie semble avoir été le fil conducteur de l'invention et de l'adoption de la plupart des systèmes low-tech, ce mode de pensée a du sens pour appréhender la gestion et l'économie de l'eau en milieu domestique. En partant d'une conception systémique du système-eau d'une maison, il est possible d'envisager des pistes d'améliorations et de solutions pour faire face aux enjeux liés à l'eau, notamment ceux quantitatifs.

Que ce soit au travers des phases de Collecte, de Stockage, de Distribution/Transport, d'Usage et de Traitement/Épuration, de nombreux systèmes et techniques existent et peuvent être rattachés à la réflexion low-tech. Pour répondre à un même besoin, différentes solutions sont disponibles suivant les caractéristiques de l'approche low-tech qui sont privilégiées (autonomie, faible impact environnemental, réparabilité, accessibilité, adaptation locale, ...). Cela fait cependant apparaître des ambivalences annonçant des arbitrages nécessaires qu'il conviendra d'adapter au contexte local.

De manière générale, s'attaquer au comportement semble être le principal levier pour réduire les volumes consommés dans une approche low-tech de la gestion et de l'économie d'eau en milieu domestique. A cela s'ajoute la substitution de l'eau potable par de l'eau impropre à la consommation humaine pour certains usages et sinon l'amélioration technique visant à réduire le débit d'eau pour un usage donné.

Bien qu'il n'y ait pas de solution unique et qu'il faut adapter les propositions aux exigences locales, si je devais dépeindre grossièrement un habitat low-tech en matière de gestion de l'eau, je dirais ceci :

L'eau potable n'est utilisée que pour les usages alimentaires et d'hygiène. Les toilettes sont sèches avec séparation d'urine. La douche est équipée d'un pommeau hydroéconome et les individus prennent des douches courtes (format 2 fois 1 min maximum) pouvant se permettre d'en faire des plus longues occasionnellement. L'été, les eaux de douche – celles-ci étant réalisées avec des produits d'hygiène naturelles – sont évacuées vers un arrosoir et elles servent à l'arrosage des plantes extérieures. Un bidon sous l'évier permet de récupérer les eaux peu sales (lavage de légumes, vaisselle peu sale et sans produit). Si l'habitation est installée en zone ANC, une phytoépuration gère l'assainissement. Une cuve de récupération d'eau de pluie de gros volume est enterrée si les besoins d'arrosage sont conséquents.

De manière transverse aux solutions proposées, le besoin d'étanchéité dans les travaux nécessaires pour l'installation et la maintenance du système-eau d'une habitation est une difficulté importante pour la réalisation de travaux par soi-même, freinant le déploiement de solutions « *Do It Yourself* ». Il apparaît que **la sensibilisation des professionnels de la plomberie et des entrepreneurs multi-services, et la promotion de ces types de solutions auprès de ce public, pourrait être un levier intéressant et prometteur pour la diffusion et l'adoption des solutions le plus techniques évoquées dans cet état de l'art.**

Bien que de nombreuses solutions aient été trouvées au cours de cet inventaire, **l'intégration de systèmes low-tech et l'application d'une démarche low-tech pour la gestion de l'eau en milieu domestique semble être un champs d'innovation prometteur pour l'avenir.** Le contexte mouvant concernant la ressource en eau va amener à repenser plus radicalement certains usages, faisant émerger des opportunités pour de la Recherche et Développement (R&D) et de l'innovation dans ce domaine dans les années à venir.

Références

- [1]« Low-tech », *Wikipédia*. 19 septembre 2024. Consulté le: 19 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Low-tech&oldid=218755168>
- [2]C. Gaillard, *Une anthologie pour comprendre les Low-Tech*, T&P Publishing. 2023.
- [3]M. Bloquel *et al.*, « Démarches "Low Tech" - Etat des lieux et perspectives », ADEME, Angers, Rapport Final, mars 2022. Consulté le: 19 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://librairie.ademe.fr/consommer-autrement/5421-demarches-low-tech.html>
- [4]République française, « Climat HD », Météo France. Consulté le: 6 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://meteofrance.com/climathd>
- [5]« Showerloop - en français », Showloop. Consulté le: 22 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://showerloop.org/quick-intro-fr>
- [6]P.-A. L'Evêque et C. Chabot, « Habitat Low-Tech », Low-Tech Lab, Concarneau, France, Rapport d'expérimentation, 2020. Consulté le: 16 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://lowtechlab.org/assets/files/rapport-experimentation-habitat-low-tech-low-tech-lab.pdf>
- [7]CentraleSupélec, *Arthur Keller – Les défis de notre temps: caractérisation systémique et stratégie systémique*, (6 janvier 2022). Consulté le: 16 septembre 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=FoCN8vFPMz4>
- [8]E. Morin, *La Méthode - I. La Nature de la Nature*. in Points, no. 123. Editions du Seuil, 1977.
- [9]République française, *Décret n° 2024-796 du 12 juillet 2024 relatif à des utilisations d'eaux impropres à la consommation humaine*. 2024.
- [10]R. S. Tiana, « Rosiluv: un parapluie inversé pour récupérer l'eau de pluie (sans gouttière) avec un réservoir IBC », NeozOne. Consulté le: 22 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.neozone.org/innovation/rosiluv-un-parapluie-inverse-pour-recuperer-leau-de-pluie-sans-gouttiere-avec-un-reservoir-ibc/>
- [11]M. Kleczinski, « RainSaucer, l'invention d'un parapluie inversé en forme d'entonnoir pour faciliter la récupération d'eau de pluie », NeozOne. Consulté le: 22 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.neozone.org/innovation/rainsaucer-linvention-dun-parapluie-entonnoir-inverse-pour-faciliter-la-recuperation-deau-de-pluie/>
- [12]Cactile, « Cactile, la tuile qui stocke et gère l'eau de pluie ». Consulté le: 20 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://cactile.fr/>
- [13]R. S. Tiana, « Cactile, une tuile innovante dédiée à la récupération, le filtrage et au stockage de l'eau de pluie (40 litres/m²) », NeozOne. Consulté le: 22 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.neozone.org/innovation/cactile-une-tuile-innovante-dediee-a-la-recuperation-le-filtrage-et-au-stockage-de-leau-de-pluie-40-litres-m2/>
- [14]Olivier, « Choisir le meilleur collecteur d'eau de pluie : guide d'achat complet », Récupérateur d'eau de pluie. Consulté le: 23 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.recupérateurdeaudepluie.net/collecteur-deau-de-pluie/>
- [15]« Collecteur d'eau de pluie PREMIER TECH AQUA GmbH », Bricolou. Consulté le: 5 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://bricolou.com/review/collecteur-deau-de-pluie-premier-tech-aqua-gmbh/?fbclid=IwAR3Bxj-OC6MJFFKZ-nSczvHvsAVUj2WLgXocF8x1jhECjhs5YmJyZy3UGA4>

- [16]Commercial BABAZ INOV, *Collecteur d'eau de pluie CAPT'EAU*, par BABAZ'INOV, (19 septembre 2018). Consulté le: 23 mai 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: https://www.youtube.com/watch?v=wh_6WcDyNVk
- [17]L'Atelier Low-Tech, « Attrape Nuages — Low-tech Lab », Wiki Low-Tech Lab. Consulté le: 11 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Attrape_Nuages
- [18]« Habitat Participatif Geckologis - Atelier Inextenso ». Consulté le: 3 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.atelier-inextenso.com/projets-archi/geckologis/>
- [19]« Drain pour la récupération d'eau | Recò ». Consulté le: 10 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://recowater.com/fr/>
- [20]*Biosphère du désert, Produire et économiser l'eau (3/5)*, (2023). Consulté le: 14 août 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.arte.tv/fr/videos/110232-003-A/biosphere-du-desert-la-prepa-d-une-mission-low-tech-3-5/>
- [21]Helio Water, « HELIO - Solution innovante de transformation d'eau en eau potable sûre », HELIO WATER. Consulté le: 23 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.heliowater.fr/helio>
- [22]« L'Eliodomestico, un «dessalinisateur» solaire à fabriquer soi-même », eau-nature.fr. Consulté le: 29 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.eau-nature.fr/leliodomestico-un-dessalinisateur-solaire-a-fabriquer-soi-meme/>
- [23]« L'EPDM et l'ÉCOLOGIE », flexirub. Consulté le: 23 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.flexirub.com/blog-flexirub/l-epdm-et-l-ecologie>
- [24]Permaculture Design, « Mare naturelle, comment la réussir? », Permaculture Design. Consulté le: 5 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.permaculturedesign.fr/reussir-mare-bassin-naturel-permaculture/>
- [25]« Quelle étanchéité pour un bassin d'extérieur? — FOUDEBASSIN.COM ». Consulté le: 5 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.foudebassin.com/blogs/conseils/quelle-etancheite-pour-un-bassin-dexterieur>
- [26]Alter'Eco 30, « Technique du ferro-ciment », Manuel de construction, 2020. Consulté le: 16 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.altereco30.com/uploads/e392/Manuel%20ferro-ciment%202020%20V4.pdf>
- [27]Aquatiris, « Jardin de Pluie », Aquatiris. Consulté le: 29 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.aquatiris.fr/nos-produits/jardins-de-pluie/>
- [28]ETIKA MONDO, *1er Bassin-Mare d'Irrigation en Cévennes*, (28 décembre 2023). Consulté le: 26 avril 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=o0873fB8QzI>
- [29]« éc'eau-logis - Le stockage ». Consulté le: 23 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.ec-eau-logis.info/articles.php?lng=fr&pg=195&mnu_modacol=L
- [30]BlueBarrel, « Online Store - BlueBarrel », BlueBarrel Rainwater. Consulté le: 6 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.bluebarrelsystems.com/online-store/>
- [31]« Pin de Fatima Mo en things to know | Captacion de agua de lluvia, Barriles de lluvia, Agua de lluvia », Pinterest. Consulté le: 22 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.pinterest.com/pin/68737880789/>
- [32]« Transformer une poubelle en récupérateur d'eau de pluie — Low-tech Lab ». Consulté le: 29 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Transformer_une_poubelle_en_r%C3%A9cup%C3%A9rateur_d%27eau_de_pluie

- [33]Bordeaux Métropole, *TUTOS CONTRE LES MOUSTIQUES - Installer un récupérateur d'eau pluviale*, (27 juin 2023). Consulté le: 23 mai 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=hP9fs7z5eeU>
- [34]Canberra Environment Centre, *The Self Watering garden: How to Create a Passive Rainwater System with Dr Cally Brennan*, (8 février 2023). Consulté le: 6 mai 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=zDWS6NYbbUU>
- [35]« What is a swale? An introduction to permaculture water harvesting swales - Living Permaculture ». Consulté le: 7 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://livingpermaculturepnw.com/what-is-a-swale-an-introduction-to-permaculture-water-harvesting/>
- [36]L. Hör, « 12 idées pour faire une chaîne de pluie », 18h39. Consulté le: 30 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.18h39.fr/inspiration-maison/plantes-fleurs-animaux/12-idees-chaine-de-pluie.html>
- [37]Y. Lass, « Mini Bucket Rain Chain », Instructables. Consulté le: 15 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.instructables.com/Mini-Bucket-Rain-Chain/>
- [38]C. Diedrichs, « Qu'est-ce qu'un puisard : utilité, fonction, prix de construction », Binette & Jardin. Consulté le: 28 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-2250-puisard.html>
- [39]« Le puisard : quel est son rôle ? Est-il indispensable à la maison ? », Bricoleur Pro. Consulté le: 28 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://bricoleurpro.ouest-france.fr/dossier-2021-puisard.html>
- [40]« Evacuation des eaux pluviales : construire un puisard », SystèmeD.fr. Consulté le: 28 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.systemed.fr/eau-jardin/comment-realiser-puisard-pour-drainer-eaux-pluie,9224.html>
- [41]« Windmill Water Pumping: How Does It Work - Windmills Tech ». Consulté le: 11 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://windmillstech.com/windmill-water-pumping-how-does-it-work/>
- [42]Akshay Dafade, *Wind pump Mechanism*, (7 janvier 2015). Consulté le: 17 avril 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=BugXmDxCOWM>
- [43]« Les éoliennes de pompage, une autre manière de profiter du vent! » Consulté le: 11 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.eolienne-particulier.info/eolienne-pompage/>
- [44]« EOLIENNE POMPAGE », Heliciel. Consulté le: 6 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://heliciel.com/helice/eolienne%20hydrolienne/eolienne-pompage.htm>
- [45]« Béliet hydraulique — Low-tech Lab », Wiki Low-Tech Lab. Consulté le: 10 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: http://wiki.lowtechlab.org/wiki/B%C3%A9liet_hydraulique
- [46]Pompes Grillot, « Pompes à eau manuelle », Pompes Grillot. Consulté le: 29 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.pompesgrillot.fr/13-pompes-a-eau>
- [47]B. Faure, « Pompe manuelle (verticale) — Low-tech Lab », Wiki Low-Tech Lab. Consulté le: 11 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: [https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Pompe_manuelle_\(verticale\)](https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Pompe_manuelle_(verticale))
- [48]« Comment fabriquer une pompe à main », Howtopedia. Consulté le: 16 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: http://fr.howtopedia.org/wiki/Comment_fabriquer_une_pompe_%C3%A0_main
- [49]C. Marroquin, « Pedal Powered Water Pump », Maya Pedal, 2010. Consulté le: 3 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.mayapedal.org/waterpump.pdf>

- [50]« E38 - Les pompes à corde », Wikiwater. Consulté le: 29 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://wikiwater.fr/E38-Les-pompes-a-corde>
- [51]K. Erpf, « Le Concept de la Pompe à Corde », Rural Water Supply Network, 2005. Consulté le: 3 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.rural-water-supply.net/_ressources/documents/default/296.pdf
- [52]J. Nederstigt et A. van der Wal, « Manuel de formation technique sur la fabrication, l'installation et la maintenance de la pompe à corde », Fondation PRACTICA, Pays-Bas, août 2011. Consulté le: 3 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.pseau.org/outils/ouvrages/practica_foundation_manuel_de_la_pompe_a_corde_2011.pdf
- [53]The SMART Centre Group, « Rope pump Model 1 », The SMART Centre Group, 2016. Consulté le: 29 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://smartcentregroup.com/wp-content/uploads/2022/10/SHIPO-Rope-pump-Model-1_merged_2016_cover.pdf
- [54]« Pompes à chapelets », Constructions d'antan. Consulté le: 27 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.constructions-dantan.fr/pompes-a-chapelets/>
- [55]M. Smith, G. Muñoz, et J. Sanz Alvarez, « Irrigation Techniques for Small-scale Farmers: Key Practices for DRR Implementers », Food and Agriculture Organization, 2014. Consulté le: 17 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/7ff68d8c-23c7-4ad9-b8ad-5fc513224c93/content>
- [56]« E58 - Low-cost treadle pumps for irrigation - Wikiwater ». Consulté le: 17 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://wikiwater.fr/e58-low-cost-pumps-twin-treadle>
- [57]International Development Enterprises, « Treadle Pump -- Pedaling Out of Poverty ». Consulté le: 17 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.doc-developpement-durable.org/file/eau/pompes/pompes-a-pedales/Treadle%20Pump-1.pdf>
- [58]« Treadle Pump », Technology Exchange Lab. Consulté le: 17 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://techxlab.org/solutions/treadle-pump/>
- [59]Waveinn, « Plastimo Pompe à Pied Double Action | Waveinn ». Consulté le: 17 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.tradeinn.com/waveinn/fr/plastimo-pompe-a-pied-double-action/136655372/p>
- [60]Karine & Henry, « Meuble lavabo autonome — Low-tech Lab », Wiki Low-Tech Lab. Consulté le: 14 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Meuble_lavabo_autonome
- [61]V. Guerineau, A. Legris, F. Ravet, L. Ringrave, M. Tijou, et S. Wang, « L'Eautomatech - Arrosage Autonome », Centrale Nantes, Nantes, France, Rapport Final, 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://cloud.apala.fr/index.php/s/t6m8nxDkTeYd3yx>
- [62]V. Guerineau, A. Legris, F. Ravet, L. Ringrave, M. Tijou, et S. Wang, « L'Eautomatech - Etat de l'art - Manuel des solutions », Centrale Nantes, Nantes, France, Rendu intermédiaire de projet, déc. 2023.
- [63]Imu34, « DIY Low Cost Floating Valve for Low Tech Irrigation Automation With Ollas », Instructables. Consulté le: 16 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.instructables.com/DIY-Low-Cost-Floating-Valve-for-Low-Tech-Irrigatio/>
- [64]BricoLowtech, « Point d'eau économe et autonome — Low-tech Lab », Wiki Low-Tech Lab. Consulté le: 11 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Point_d%27eau_%C3%A9conome_et_autonome

- [65]« Le canacla, outil révolutionnaire pour économiser l'eau ? », Basta! Consulté le: 11 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://basta.media/le-canacla-outil-revolutionnaire-pour-economiser-l-eau>
- [66]Y. P. Tastevin, « Chronique d'une conception: expérimenter en temps de crise. », *Azimuts*, n° 52, p. 41-77, janv. 2021.
- [67]Centre d'information sur l'eau, « Les bonnes pratiques pour une consommation d'eau responsable et économique », Centre d'information sur l'eau. Consulté le: 17 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/usages-consommation-conseils/bonnes-pratiques-consommation-responsable/>
- [68]« Tout ce qu'il faut savoir sur les WC marins et les pompes à eaux noires | SVB ». Consulté le: 14 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.svb-marine.fr/fr/guide/tout-ce-qu-il-faut-savoir-sur-les-wc-marins-et-les-pompes-a-eaux-noires.html>
- [69]« WaterFlush par EcoNeves | Réservoir WC écologique et innovant ». Consulté le: 14 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.waterflush.fr/fr/>
- [70]Jetly, « KIT'O - Kit alimentation WC + lave-linge pour cuve de récupération pluviale ». Consulté le: 30 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.jetly.com/fr/kit-o-kit-alimentation-wc-plus-lave-linge-pour-cuve-de-recuperation-pluviale.html>
- [71]ECO et LOGIS, *Récupération d'eau de pluie pour WC / machine à laver (Jetly Kit'O)*, (22 septembre 2023). Consulté le: 18 avril 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: https://www.youtube.com/watch?v=hELCtCW_twk
- [72]B. Chaillot, *Eau de pluie dans les WC*, (4 mai 2018). Consulté le: 18 avril 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=kXVqazu-12g>
- [73]A. DELEBECQ, *eau de pluie dans les WC ou comment faire des économies*, (24 mars 2020). Consulté le: 29 avril 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=pnVUzZnXxq4>
- [74]Low-Tech Bordeaux, « Tirer la chasse avec l'eau de la douche — Low-tech Lab », Wiki Low-Tech Lab. Consulté le: 11 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Tirer_la_chasse_avec_l'eau_de_la_douche
- [75]« WC avec lave main intégré | WiCi Concept ». Consulté le: 10 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.wici-concept.com/wc-avec-lave-main-integre.php>
- [76]Leroy Merlin, « Réservoir bas WC Avec lave mains », Leroy Merlin - Bricolage, déco, maison, jardin. Consulté le: 16 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.leroymerlin.fr/produits/salle-de-bains/wc/wc-a-poser/reservoir-wc-a-poser/reservoir-bas-wc-avec-lave-mains-82379789.html>
- [77]J. Orzagh, « Eautarcie - Compostage des déjections humaines », Eautarcie. Consulté le: 23 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.eautarcie.org/05f.html>
- [78]Toilettes du monde, « Les toilettes sèches familiales. Etat de l'art, état des lieux dans plusieurs pays et propositions pour un accompagnement en France », 2010. Consulté le: 11 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://reseau-assainissement-ecologique.org/wp-content/uploads/2020/04/toilettes-seches-familiales-rapport.pdf>
- [79]J. Jenkins, « SYSTÈME DE TOILETTE ET COMPOSTAGE DE FUMIER HUMAIN (OU FUMAIN) », 2017. [En ligne]. Disponible sur: https://humanurehandbook.com/downloads/Humanure_Manual_French_2017.pdf
- [80]Atelier Fertile, *Les toilettes sèches de A à Z (webinaire)*, (11 juin 2022). Consulté le: 17 avril 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=kcSahiMOHHE>

- [81]À Petits PAS et Empreinte, *Toilettes sèches les comprendre, les construire et les utiliser*, 2e édition. 2010. Consulté le: 23 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://empreinte.asso.fr/wp-content/uploads/2021/01/GuideToilettesSe%CC%80ches.pdf>
- [82]Ecocentre Pierre et Terre, « L'assainissement écologique - Toilettes sèches et filtres à broyat de bois », Riscle, France, 2023. Consulté le: 16 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://reseau-assainissement-ecologique.org/wp-content/uploads/2023/01/Guide-Assainissement-Ecologique-2023-1.pdf>
- [83]GAPS, « Recherche de solutions Options d'Assainissement », Aide à l'animation d'atelier. Consulté le: 25 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://reseau-assainissement-ecologique.org/wp-content/uploads/2020/05/Recherche-de-solutions.pdf>
- [84]Fabulous Toilettes, « Fabrication d'une toilette sèche | Fabulous Toilettes ». Consulté le: 24 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.fabuloustoilettes.com/fabrication-toilette-seche/>
- [85]Low-Tech Lab, « Tutoriel Toilettes sèches familiales — Low-tech Lab », Wiki Low-Tech Lab. Consulté le: 10 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: http://wiki.lowtechlab.org/wiki/Toilettes_s%C3%A8ches_familiales
- [86]« EXEMPLE DE PLAN DE TOILETTES SECHES ». Consulté le: 24 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <http://toilettes-seches.lesdigales.org/page31.html>
- [87]GAPS, « Livrets de construction », Aide à l'animation d'atelier. Consulté le: 25 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://reseau-assainissement-ecologique.org/wp-content/uploads/2020/05/Construction-et-realisation.pdf>
- [88]TROBOLO, « Archives des Séparateurs d'urine et kits DIY », TROBOLO. Consulté le: 15 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://trobolo.com/fr/./separateurs-pour-toilettes-seches/>
- [89]Bibok, « Bibok - Toilettes sèches à séparation ». Consulté le: 11 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.bibok.fr/catalogue/>
- [90]G. Mougel, « Réalisation d'une toilette sèche avec collecteur d'urine, sans collecteur d'urine et d'un composteur », sept. 2023. Consulté le: 2 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://sanouri.org/notice-toilette-seche/>
- [91]« Urine Diverter for Composting Toilet ». Consulté le: 16 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.appropedia.org/Urine_Diverter_for_Composting_Toilet
- [92]R. Guyon, « Toilettes sèches amovibles — Low-tech Lab », Wiki Low-Tech Lab. Consulté le: 25 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Toilettes_s%C3%A8ches_amovibles
- [93]E. Bousquet-Pasturel, « Mission 8: Toilettes vivantes — Low-tech Lab », Wiki Low-Tech Lab. Consulté le: 4 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Mission_8:_Toilettes_vivantes
- [94]« Vermicomposting toilet - Appropedia, the sustainability wiki ». Consulté le: 16 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.appropedia.org/Vermicomposting_toilet
- [95]Kazuba, « Des toilettes sèches innovantes : découvrez le fonctionnement du système STK breveté par Kazuba et récompensé par le prix de l'innovation. » Consulté le: 11 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://kazuba.pro/toilette-seche-brevet/>

- [96]Maison-ecolo.com, « QUELLES RÉGLEMENTATIONS POUR LES TOILETTES SÈCHES? » Consulté le: 24 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.maison-ecolo.com/faq/quelles-reglementations-pour-les-toilettes-seches/>
- [97]60 Millions de Consommateurs, « Toilettes sèches: quelle réglementation? », 60 Millions de Consommateurs. Consulté le: 24 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.60millions-mag.com/2019/08/30/toilettes-seches-quelle-reglementation-16523>
- [98]« éc'eau-logis - Compost - Bac de compostage ». Consulté le: 23 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ec-eau-logis.info/articles.php?lng=fr&pg=520>
- [99]Clivus Multrum, « Le processus de compostage ». Consulté le: 23 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.clivusmultrum.fr/compostingprocess.php>
- [100] l'équipe I. C. Compagnie, « Compost et toilettes sèches: que faire des déchets? », iCAG Compagnie Toilettes sèches. Consulté le: 16 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://toilettes-seches.i-cag.net/toilettes-seches-parlions-compostage/>
- [101]Réseau d'Echange en Santé Environnementale, Ministère de la Santé, « Toilettes sèches pour les ERP et les manifestations recevant du public ». 29 septembre 2010. Consulté le: 19 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: http://evenement-durable-agglo.lyon.fr/project/resources/apps/telechargez-les-recommandations-de-la-dgs_1.pdf
- [102]République française, *Arrêté du 7 septembre 2009 fixant les prescriptions techniques applicables aux installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5*. 2009. Consulté le: 19 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000021125109>
- [103]République française, *Arrêté du 27 avril 2012 relatif aux modalités de l'exécution de la mission de contrôle des installations d'assainissement non collectif*. 2012. Consulté le: 24 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000025835036>
- [104]C. TURREL, « Quelle réglementation pour les toilettes sèches », Lettre des Juristes de l'Environnement. Consulté le: 16 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: http://www.juristes-environnement.com/article_detail.php?id=1132
- [105]Terr'Eau, « Une aire de compostage étanche? », Terr'Eau: protéger l'eau, nourrir les sols. Consulté le: 16 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.terreau.org/Une-aire-de-compostage-etanche.html>
- [106]Toilettes du monde, « Gestion des sous-produits de toilettes sèches familiales: étude sur le traitement des matières par compostage (compost et lixiviats) », ADEME, Rapport final, 2014. Consulté le: 15 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://librairie.ademe.fr/ged/3037/gestion-sous-produits-toilettes-seches-201407.pdf>
- [107]Julien, « Quelle litière utiliser pour mes toilettes sèches? », Blog des toilettes sèches - Lécopot. Consulté le: 18 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://blog.lecopot.com/utilisation-litiere-toilettes-seches/>
- [108]« TROBOLO Pourquoi le TROBOLO est-il sans odeur? - TROBOLO ». Consulté le: 17 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://trobolo.com/fr/pas-dodeur-avec-trobolo/>
- [109]C. M., « Les toilettes sèches sentent-elles mauvais? », Ecolowc.com. Consulté le: 17 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ecolowc.com/les-toilettes-seches-sentent-elles-mauvais/>

- [110]Julien, « Limiter les mauvaises odeurs dans vos toilettes sèches », L'écopot - Blog des toilettes sèches. Consulté le: 2 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://blog.lecopot.com/reduire-mauvaises-odeurs-toilette-seche/>
- [111]Le Parisien Guide Shopping, « Quel pommeau de douche écologique choisir? », leparisien.fr. Consulté le: 11 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.leparisien.fr/guide-shopping/maison/quel-pommeau-de-douche-ecologique-choisir-28-05-2019-8081598.php>
- [112]Eco2 Douche, « Douchette économique avec économie d'eau (fabrication française unique) ». Consulté le: 14 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.eco2-douche.com/produit/douchette-translucide-2/>
- [113]P. Bihouix, *L'Âge des Low-Tech*. in Anthropocène. Seuil, 2014. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.seuil.com/ouvrage/l-age-des-low-tech-philippe-bihouix/9782021160727>
- [114]Pierre, « Bon Plan: Une astuce à 2 centimes pour faire des économies », Mouton Résilient. Consulté le: 20 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://mouton-resilient.com/astuce-gratuite-economie-eau/>
- [115]K. De Decker, « La douche à brumisation: vers un confort plus durable? », LOW←TECH MAGAZINE. Consulté le: 26 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://solar.lowtechmagazine.com/fr/2019/10/mist-showers-sustainable-decadence/>
- [116]Biosphère Expérience, « Mission 4: La douche à brumisation — Low-tech Lab », Wiki Low-Tech Lab. Consulté le: 20 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Mission_4_:La_douche_%C3%AO_brumisation
- [117]P. Delorme, « Pierre DELORME sur LinkedIn », LinkedIn. Consulté le: 24 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://fr.linkedin.com/posts/pierre-delorme-%F0%9F%8C%B1-860a157_la-frugalit%C3%A9-sest-questionner-le-besoin-activity-7220362253714231296-N07I
- [118]alliedmilk, « Camping Shower! », Instructables. Consulté le: 22 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.instructables.com/Camping-Shower-1/>
- [119]E. Delmas, *FABRIQUER une DOUCHE à pression pour moins de 5€*, (16 juillet 2020). Consulté le: 24 août 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=dQnBVGLDxfl>
- [120]Camping etc, *DIY douche portable à pression pour 19€*, (23 février 2020). Consulté le: 24 août 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=oVCKJub5KiU>
- [121]« Pommeau de Douche Chromé avec Bouton Stop Douchette à Main 5 Jets au Choix Pomme de Douche Picots Anticalcaire Type Universel », Leroy Merlin - Bricolage, déco, maison, jardin. Consulté le: 4 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.leroymerlin.fr/produits/salle-de-bains/douche/barre-pommeau-et-flexible/pommeau-de-douche/pommeau-de-douche-chrome-avec-bouton-stop-douchette-a-main-5-jets-au-choix-pomme-de-douche-picots-anticalcaire-type-universel-87813647.html>
- [122]Iriso, « Arrosage goutte à goutte bouteille pour plantes - l'allier de vos vacances », Iriso. Consulté le: 12 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://iriso.fr/boutique/goutte-a-goutte-bouteille/8-arrosage-goutte-a-goutte-bouteille-pour-plantes.html>
- [123]Gentleman Permaculteur, *ARROSAGE, le goutte à goutte du pauvre*, (12 août 2023). Consulté le: 29 mai 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=IXEdiqRBUBI>

- [124]L. Biljke, *Système d'irrigation goutte à goutte simple - tout le monde peut le faire presque gratuitement*, (4 juin 2021). Consulté le: 14 mai 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=SCzUaaPcWg0>
- [125]« Arrosage par capillarité: 4 techniques infaillibles ». Consulté le: 16 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.habitatpresto.com/mag/jardin/arrosage-capillarite>
- [126]Permaculture Ecologique, *Irrigation solaire au goutte à goutte*, (27 mai 2015). Consulté le: 29 mai 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: https://www.youtube.com/watch?v=bb_EPziLsls
- [127]« Irrigation solaire au goutte à goutte: une technique gratuite à la portée de tous ». Consulté le: 29 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ecolopop.info/2013/06/irrigation-solaire-au-goutte-a-goutte-une-technique-gratuite-a-la-portee-de-tous/16559>
- [128]IRRIGASC, « La gaine Irrigasc », IRRIGASC. Consulté le: 19 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.irrigasc.org/la-gaine>
- [129]Desert Green Thumb, *Cheap DIY deep watering method for your trees/plants*, (11 août 2020). Consulté le: 28 mai 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=YQjr7kUzaag>
- [130]« Shop - DEEP DRIP Watering Stakes ». Consulté le: 16 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.deepdrip.com/shop/>
- [131]bsanc17, « Deep Root Watering System », Instructables. Consulté le: 28 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.instructables.com/Deep-Root-Watering-System/>
- [132]M. C., « Une méthode d'irrigation par semi-conduites verticales adaptée aux zones sahéliennes. Résultats techniques et prospective de l'organisation des filières », *Tropicultura*, vol. 24, n° 2, p. 120-123, 2006.
- [133]Permacult' Urbaine, *Comment créer et installer un goutte à goutte très simple avec bouteille et sans budget ?*, (6 juillet 2022). Consulté le: 6 mai 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=0by1apPgyNU>
- [134]Permacult' Urbaine, *Compilation 5 gouttes à gouttes à créer et à installer avec bouteille ?*, (30 juillet 2022). Consulté le: 27 mai 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=R092gAJiOxE>
- [135]Anso, « Wicking Bed — Low-tech Lab », Wiki Low-Tech Lab. Consulté le: 14 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Wicking_Bed
- [136]« Wicking-bed - La Vie Re-Belle ». Consulté le: 17 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://lavierebelle.org/wicking-bed>
- [137]« FAQ - Dripping Springs Ollas ». Consulté le: 2 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: <http://drippingspringsollas.com/faq/>
- [138]Oyas Environnement, « La Boutique - Oyas », Oyas environnement. Consulté le: 19 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.oyas.eco/content/20-la-boutique>
- [139]L'Ouche de Papouche, *Mon oya horizontal. Oya: à chacun sa place*, (29 octobre 2021). Consulté le: 4 juillet 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=7I7d3DW6hgE>
- [140]Les Jardins de la Tine, *Comment Faire Des Oyas/Ollas: ? - Les jardins de La Tine - DIY jardin*, (6 août 2023). Consulté le: 11 juin 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=1nHA3DVGQh8>

- [141]Le Jardin Potager Du Bonheur, *BILAN SUR LES OYAS FAITES MAISON / 1 an après*, (2 juin 2024). Consulté le: 11 juin 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=qGbFvX9Kzjo>
- [142]L'Ouche de Papouche, *Pourquoi et comment tester la porosité des oyas maison*, (1 février 2023). Consulté le: 17 juin 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: https://www.youtube.com/watch?v=_EXuSFPYST4
- [143]L'Ouche de Papouche, *je remplis mes 100 oyas en 15mn*, (14 juillet 2022). Consulté le: 20 août 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=OiPUtSdjJzg>
- [144]Designed By Instinct, *Auto Filling Ollas*, (9 octobre 2011). Consulté le: 2 août 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=4WrGJ2h4Nn0>
- [145]La Vie Re-Belle, « Irriguer avec des artefacts en argile cuite », La Vie Re-Belle. Consulté le: 30 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://lavierebelle.org/irriguer-avec-des-artefacts-en>
- [146]Mobilab Songo, « Machine à laver à pédales — Low-tech Lab », Wiki Low-Tech Lab. Consulté le: 29 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Machine_%C3%A0_laver_%C3%A0_p%C3%A9dales
- [147]Yirego Corp, « Drumi - portable manual washer », yirego. Consulté le: 22 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.yirego.com>
- [148]Obiwash®, « Obiwash® », Obiwash®. Consulté le: 20 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://obiwash.fr/obiwash/>
- [149]Low-Tech Lab, « Filtre à eau céramique — Low-tech Lab », Wiki Low-Tech Lab. Consulté le: 11 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Filtre_%C3%A0_eau_c%C3%A9ramique
- [150]Ecofiltro Europe SL, « La science des filtres à eau à base d'argile d'Ecofiltro se dévoile », Ecofiltro Europe SL. Consulté le: 22 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.ecofiltroeuropa.com/blogs/monthly-agua/the-science-behind-ecofiltro-how-natures-filter-keeps-you-healthy>
- [151]Nomades des mers, « Filtre bio-sable pour eau potable — Low-tech Lab », Wiki Low-Tech Lab. Consulté le: 29 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Filtre_bio-sable_pour_eau_potable
- [152]Berkeyexpert, « Filtres à Eau Berkey », Berkeyexpert. Consulté le: 29 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.berkeyexpert.fr/filtres-a-eau-berkey>
- [153]Les Écolos Imparfaites, *Comment fabriquer un filtre à eau type Berkey pas cher ? TUTO DIY*, (30 juillet 2023). Consulté le: 27 mai 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=XGquR3xqF7M>
- [154]« Filter caps ». Consulté le: 29 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://filtercaps.co/en/>
- [155]FONTO DE VIVO, « Filtration eau humanitaire et autonomie, Purificateur d'eau ORISA », FONTO DE VIVO. Consulté le: 22 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.fontodevivo.fr/>
- [156]Radio Pays Hérault, « Combaillaux. L'épuration des eaux usées par des lombrics », RPH FM. Consulté le: 29 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.rphfm.org/combaillaux-lepuration-des-eaux-usees-par-lombrifiltration/>
- [157]D. Di Gandi, « Gestion de connaissances appliquée à l'épuration des eaux usées par lombrifiltration », Institut des Sciences de l'Ingénieur de Montpellier, Montpellier, Rapport de stage, 1999. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.verdeterreprod.fr/wp-content/uploads/>

2019/05/PU-314-Gestion-de-connaissances-appliqu%C3%A9e-%C3%A0-%C3%A9puration-des-eaux-us%C3%A9es-par-lombrifiltration.pdf

[158]« Jardin d'Assainissement - Phytoépuration ». Consulté le: 3 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.aquatiris.fr/nos-produits/jardins-dassainissement/>

[159]Low-tech Lab, *Phytopurification / DIY / La phytoépuration*, (30 juillet 2018). Consulté le: 17 avril 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=RqcCrnBoOi8>

[160]Atelier Fertile, *Créer sa phytoépuration: principes techniques et réglementation en France (webinaire)*, (25 novembre 2021). Consulté le: 17 avril 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=S5b8WyFvUfo>

[161]« Phytoépuration : créer un filtre planté | Build Green ». Consulté le: 4 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.build-green.fr/phytoepuration-creer-un-filtre-planté/>

[162]Le Carré Rénovation, *Phytoépuration / Explications et plans*, (9 août 2021). Consulté le: 29 avril 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=8tTmzgZhyOo>

[163]D. Mercereau, « Phytoépuration, mise en œuvre ». Consulté le: 16 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://david.mercereau.info/phytoepuration-mise-en-oeuvre/>

[164]Punille, *Comment créer sa propre phytoépuration*, (7 février 2019). Consulté le: 4 juin 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: https://www.youtube.com/watch?v=vw_JZoAPn8w

[165]« Assainir ses eaux usées grâce à la phytoépuration », L'Autonomie Au Quotidien. Consulté le: 11 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://l'autonomieauquotidien.fr/assainir-eaux-usees-grace-a-phytoepuration/>

[166]D. Mercereau, « Phytoépuration, histoire de SPANC et de dérogation ». Consulté le: 18 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://david.mercereau.info/phytoepuration-histoire-de-spanc-et-de-derogation/>

[167]« Eautarcie - L'épuration sélective des eaux grises », Eautarcie. Consulté le: 3 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.eautarcie.org/04a.html>

[168]« Eautarcie - Mise en place des systèmes pour eaux grises », Eautarcie. Consulté le: 3 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.eautarcie.org/04b.html>

[169]MrEautarcie, *SYSTEME TRAISELECT (FR)*, (30 mars 2011). Consulté le: 17 avril 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=34ZgZl6dJxk>

[170]« Une meilleure purification de l'eau avec les graines d'arbres Moringa ». Consulté le: 11 juillet 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/developpement-durable-meilleure-purification-eau-graines-arbres-moringa-50770/>

[171]« Eau potable: du cactus pour traiter l'eau dans les pays du tiers-monde ». Consulté le: 5 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/developpement-durable-eau-potable-cactus-traiter-eau-pays-tiers-monde-23597/>

[172]SPAREAU France, « Spareau | Economiseur d'eau potable ». Consulté le: 10 avril 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.spareau.fr/>

[173]ECO et LOGIS, *Spareau recycler l'eau grise pour ses toilettes (WC) - présentation / déballage*, (1 février 2021). Consulté le: 30 avril 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=JQv14bALPSU>

[174]ECO et LOGIS, *37'000L d'eau économisés sur 1an en recyclant les eaux grises avec Spareau*, (24 août 2022). Consulté le: 30 avril 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: https://www.youtube.com/watch?v=E_7haMhbYIE

[175]Ozoneo Concept, « R-CUP-O3 ». Consulté le: 16 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ozoneo-concept.fr/r-cup-o3/>

[176]« Solution Hydraloop », H2O Care. Consulté le: 16 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://h2o-care.fr/solution-hydraloop>

[177]Aquatiris, « PhytoRéut », Aquatiris. Consulté le: 6 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.aquatiris.fr/phytoreut/>

[178]Terre & Humanisme OFFICIEL, *6/7 Assainir et recycler ses eaux grises grâce aux plantes: la phytoépuration*, (2 novembre 2015). Consulté le: 4 juin 2024. [En ligne Vidéo]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=H6M3J3ScMOM>

Annexes

Annexe 1 : Réglementation sur l'utilisation d'eaux impropres à la consommation humaine dans les habitations

Remarque : *Ce document cherche à résumer les grandes lignes de la nouvelles réglementation. Il n'est en aucun cas exhaustif et ne peut être pris comme référence pour juger de la légalité d'une installation.*

Deux textes réglementaires ont été publiés le 12 juillet 2024 concernant l'utilisation d'eaux impropres à la consommation humaine (EICH, comprenant les eaux brutes, les eaux grises et les eaux issues de piscines à usage collectif, cf. Liste des acronymes de l'annexe ci-dessous) :

- Décret n°2024-796 du 12 juillet 2024 relatif à des utilisations d'eaux impropres à la consommation humaine, ci-après « le Décret » (disponible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000049962670>)
- Arrêté du 12 juillet 2024 relatif aux conditions sanitaires d'utilisation d'eaux impropres à la consommation humaine pour des usages domestiques pris en application de l'article R. 1322-94 du code de la santé publique, ci-après « l'Arrêté » (disponible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000049962813>)

Ces textes sont entrés en vigueur le 1^{er} septembre 2024 et l'Arrêté abroge l'Arrêté du 21 août 2008 relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments qui encadrerait cet aspect jusqu'alors.

Le Décret expose les éléments réglementaires généraux relatifs à cette pratique et l'Arrêté détaille les conditions pratiques pour l'application de cette nouvelle réglementation. Les différents articles et annexes de l'Arrêté expliquent les usages possibles, les critères de qualité d'eau qui s'y appliquent le cas échéant ainsi que les dispositions relatives à : la première utilisation, la surveillance de la qualité, l'entretien courant et la maintenance, l'inutilisation pendant une période prolongée, les modalités d'usages d'EICH, l'information des personnes en contact avec des EICH et la traçabilité des informations inhérente aux systèmes d'utilisation des EICH.

Certaines directives ne sont pas obligatoires pour les **parties privatives d'habitation collective ou maison individuelle avec usage unifamilial** (signalétique, besoin d'un professionnel pour l'installation et la maintenance, l'information des personnes en contact avec des EICH et la traçabilité des informations inhérentes aux SUEICH).

Cette annexe présente les différents usages possibles, les caractéristiques attendues pour l'infrastructure de stockage

Définition des acronymes utilisés dans l'annexe :

- Eaux grises (EG) : eaux issues de baignoires, douches, lavabos et lave-linge.
- Eaux brutes (EB) : eaux de pluie + eaux douces du milieu naturel + eaux de puits et forages privés
- Eaux issues de piscines à usage collectif (EIPUC) : piscines de résidence, piscines publiques, pas les bassins privés.
- SUEICH : Système d'utilisation des EICH
- ERP(S) : Établissement Recevant du Public (Sensible)
- PR : Propriétaire du réseau intérieur d'eau

Quelques obligations générales s'appliquent :

- Obligation d'un réseau d'EICH distinct du réseau d'adduction d'eau potable. Si un élément du réseau comporte un raccordement au réseau d'eau potable, il faut impérativement installer une disconnexion entre les deux réseaux (type surverse totale).
- L'utilisation d'EICH doit se faire uniquement dans l'enceinte du lieu/des bâtiments où a eu lieu la collecte (sauf certains types d'établissement et notamment dans le cas de lotissements ou d'habitats collectifs avec plus de 11 habitations).
- S'il y a utilisation d'EG, EIPUC ou EB pour le lavage du linge, il y a obligation de déclarer au préfet la nature du projet par le PR.
- Il n'est pas possible de faire de la réutilisation en cascade : après l'usage de réutilisation, l'eau part dans le réseau des eaux usées.
- Hormis de rares cas d'utilisation par un professionnel avec équipements de protection adéquats, il est interdit de recourir aux EICH avec des dispositifs d'aérosolisation (comme, par exemple, les systèmes à haute pression)

Usages possibles

Arrêté, Annexe I, Tableau 1. – Usages domestiques possibles en fonction des eaux impropres à la consommation humaine, qualité des eaux et procédure administrative à respecter (hors ERPS)

Usage domestique	Eaux brutes	EG et EIPUC
Usages alimentaires	interdit	interdit
Usages liés à l'hygiène corporelle	interdit	interdit
Lavage du linge	Déclaration ☑A+ (1)	expérimentation
Nettoyage des sols en intérieur	/	expérimentation
Arrosage des jardins potagers	/	expérimentation
Alimentation des fontaines décoratives non destinées à la consommation humaine	/	Déclaration ☑A+
Evacuation des excréta	/	Déclaration ☑A+
Nettoyage des surfaces extérieures dont le lavage des véhicules	/	Déclaration ☑A
Arrosage des toitures et murs végétalisés et des espaces verts à l'échelle du bâtiment /bassin d'ornement	/	Déclaration ☑A

Légende	Procédure administrative requise
/	Sans procédure au titre du <u>code de la santé publique</u> (sans préjudice des procédures administratives applicables au titre du <u>code général des collectivités territoriales</u> ou du <u>code de l'environnement</u>)
Déclaration	Déclaration au préfet au titre de l'article R. 1322-100 du <u>code de la santé publique</u>

Expérimentation	Expérimentation au titre de l'article 2 du décret n° 2024-796 du 12 juillet 2024
☑ A+(1)	Usage soumis aux critères de qualité A+ requérant une analyse à réaliser uniquement à la mise en œuvre du système
☑ A+	Usage soumis aux critères de qualité A+
☑ A	Usage soumis aux critères de qualité A

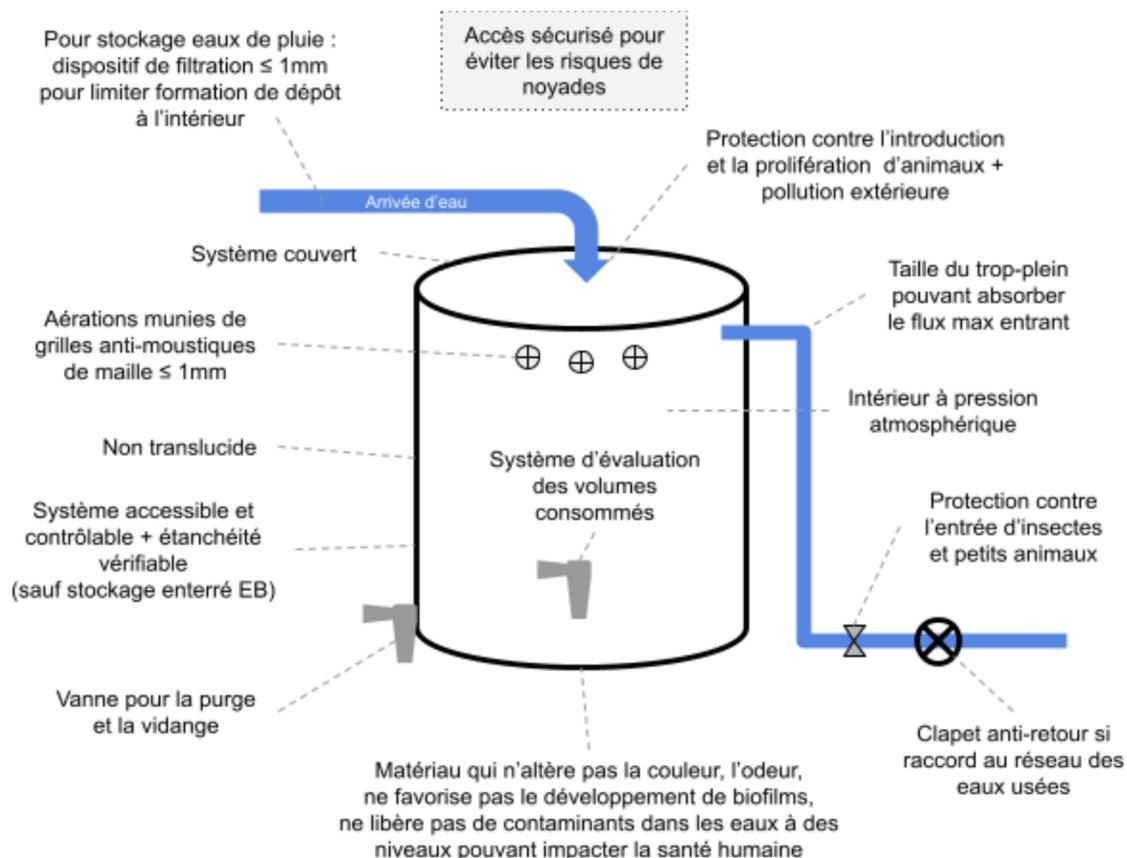
A noter que l'expérimentation des EG et EIPUC pour le lavage du linge, le nettoyage des sols en intérieur et l'arrosage des jardins potagers dure jusqu'en 2034.

Deux critères de qualités (A et A+) ont été établis suivant les usages, avec des valeurs spécifiques, définies dans le tableau 3 en Annexe II de l'Arrêté, suivant les différents paramètres caractérisant la qualité de l'eau (*Escherichia coli*, Entérocoques intestinaux, *Legionella pneumophila*, Turbidité, Carbone Organique Total, Résiduel de chlore libre, pH).

Ces critères de qualité ne s'appliquent pas pour les lave-main directement reliés aux WC et lorsque sont utilisées des EB pour les usages suivants : nettoyage des surfaces intérieures et extérieures, alimentation de fontaines décoratives non destinées à la consommation humaine (sauf ERPS), évacuation des excréta, arrosage des jardins potagers et espaces verts. Il est cependant recommandé de les suivre si ce sont des usages domestiques dans les bâtiments.

Pour les **EIPUC et EICH traitées au chlore** (eaux de lavage de filtre de piscines privées par exemple) utilisées pour l'arrosage d'espace vert, la recommandation est de respecter une valeur de **chlore total < 1 mg/L** (équivalent à 1 ppm).

Les différentes **caractéristiques attendues concernant l'infrastructure de stockage d'EICH** énumérées dans l'article 3 de l'Arrêté sont reprises dans le schéma ci-dessous.



Concernant le **temps de stockage des EICH**, les recommandations sont : pour les EG et mélanges avec EG, max 12h avant traitement et max 72h après traitement ; pour les autres EICH, définition par le propriétaire de l'installation des règles de gestion et notamment du stockage pré- et post-traitement, avec l'obligation de garantir un maintien de la qualité en limitant la formation de biofilms et les phénomènes de fermentation.

Un SUEICH ne doit pas favoriser la dégradation de la qualité de l'eau ; développer des vecteurs ou agents pathogènes ; développer des biofilms ; développer des nuisances olfactives, sonores ou de vibrations ; et provoquer des ruissellements incontrôlés.

Sa conception doit limiter la stagnation de l'eau et la formation de dépôt dans le système et protéger celui-ci contre des élévations importantes de températures.

Les SUEICH doivent être équipés de **traitements nécessaires suivant les caractéristiques de l'eau initiale et les usages envisagés**. Le traitement ne doit pas dégrader la qualité de l'eau, par la formation de sous-produits notamment. Il est d'ailleurs interdit d'ajouter des produits antigel dans le stockage et s'il y a du colorant il doit être de qualité alimentaire.

Remarque : Pour un usage unifamilial il ne semble pas obligatoire d'avoir une signalétique et des systèmes de sécurité sur le réseau d'EICH très spécifiques. Une certaine signalétique semble quand même importante en cas de visiteurs.

Annexe 2 : Les oyas : un exemple qui montre la complexité de l'approche low-tech

Pour rappel, les oyas (ou ollas) sont des jarres en terre cuite qui sont enterrées et qui utilisent la porosité de l'argile pour assurer un arrosage en profondeur par capillarité, réduisant les pertes par évaporation et facilitant l'approvisionnement d'eau en profondeur, favorisant le développement des racines sous terre. L'exemple des oyas est intéressant selon moi pour montrer la complexité et les ambivalences qui émergent lorsque l'on cherche des solutions les plus durables – au sens de la durabilité forte – et soutenables possible.

Au premier abord, les oyas sont réalisées à partir de **matériaux géo-sourcés (argile)**, en quantité relativement limitée, elles sont **techniquement peu complexes** et ainsi peuvent être façonnées par (presque) n'importe qui, permettant ainsi une **production locale par des artisans**. De plus, lors de leur utilisation, elles ne nécessitent **pas d'apport énergétique**. Elles sont **réutilisables** et ont une **longévité** de plusieurs années si elles sont bien entretenues (retirées de la terre en cas de gel notamment).

Pendant, certains aspects limitent le déploiement de cette solution durable. Un premier concerne **l'énergie nécessaire à la production** puisque les fours pour cuire les oyas doivent monter à plusieurs centaines de degrés³². Un deuxième se trouve sur la technique pour les créer puisque pour assurer une porosité optimale, les artisans fabricants ont réalisé beaucoup de recherches et tests sur la température de cuisson. Ainsi, la montée en température et la température exacte de cuisson (entre 900 et 1100°C ; il faut passer le point de vitrification de l'argile, mais pas trop) sont des **connaissances dont la diffusion est limitée**, freinant le déploiement de ces solutions d'arrosage. Par ailleurs, certaines **compétences techniques pour maîtriser le geste** permettant la formation d'oyas avec un tour de potier sont nécessaires. Cela conduit d'ailleurs les artisans qui les façonnent à les vendre plusieurs dizaines d'euros pour pouvoir s'assurer un salaire décent, freinant **l'acceptabilité économique** de ces solutions .

Pour pallier ces difficultés, une alternative a été trouvée : **former des oyas à partir de pots de fleurs en terre cuite**, si possible de récupération. La variété de tailles de pots permet d'ailleurs de créer facilement des oyas de différentes contenances et les compétences nécessaires pour l'assemblage sont relativement simples. D'ailleurs plusieurs solutions ont été trouvées et sont promues par les différents contenus et tutoriels en ligne faisant la promotion de cette solution : utilisation de mortier, de ciment-colle, de silicone, *etc.* On retrouve là une certaine remise en question du faible impact environnemental qu'on attend de cette solution. La limite de cette alternative réside dans la porosité des pots commercialisés qui sont généralement trop faibles (elle retiennent trop l'eau), car non conçus dans cet optique. Concernant l'énergie nécessaire à la production, même si les fournées des industriels se font avec plus de pots, les impacts énergétique et climatique restent non négligeables dans cette alternative. La réutilisation de pots permet cependant de réduire en partie cet impact.

Enfin, concernant le remplissage, certaines personnes estiment nécessaire d'élaborer un système de remplissage automatique afin de gagner du temps et du confort sur la tâche d'arrosage. Bien que l'utilité puisse sembler relativement discutable dans un esprit de rationnement matériel, à partir d'un certain nombre d'oyas, le remplissage peut vite devenir une tâche pénible et chronophage. Cela peut donc être acceptable bien que cela induise en parallèle un augmentation de la complexité technique (besoin de garantir l'étanchéité ou les mécanismes des robinets-flotteurs) et une accumulation de tuyaux et éléments en plastique.

32 En France, les fours de potiers utilisent généralement du gaz comme combustible.

Annexe 3 : Système de remplissage automatique d'oyas par le principe des vases communicants

Dans le cadre de mon stage, j'ai réalisé deux ateliers sur les économies d'eau au jardin. Un premier portait sur le lien entre le sol et l'eau pour montrer que le non arrosage était le moyen le plus low-tech d'envisager l'arrosage dans un jardin. Le second portait sur les systèmes techniques que l'on pourrait qualifier de low-tech pour l'arrosage au jardin. Pour ce dernier, j'ai cherché à imaginer un système de remplissage d'oyas automatique tout en veillant à ne pas utiliser de mécanismes commercialisés pour la limitation du remplissage de l'oya.

Dans ma réflexion, ne pouvant pas créer d'étanchéité assurée (sinon on retrouve le principe des capsules poreuses), j'ai cherché quels processus naturels et propriétés physiques de l'eau pourraient être utilisés pour arrêter un remplissage d'oyas. Etant donné que l'eau ne s'écoule dans un tuyau reliant deux réservoir que s'il y a une différence d'altitude des surfaces, j'ai décidé de partir sur ce principe en translatant « artificiellement » le niveau d'eau de l'oya par un flotteur.

Le principe de fonctionnement du système auquel j'ai abouti est le suivant (les numéros entre parenthèses correspondent à ceux du schéma page suivante) :

1. Sur le principe proposé par les étudiant·es de Centrale Nantes dans le projet Eautomatech [61], une réserve d'eau initiale (1) remplit un réservoir temporaire (2) via un goutte-à-goutte. Le volume de celui-ci correspond en théorie au volume nécessaire pour remplir l'ensemble des oyas du réseau. Une fois passé un certain niveau, il se vide par effet siphon, lançant le cycle de remplissage, dont la durée dépend du débit du goutte-à-goutte.
2. L'eau s'écoule jusqu'au niveau de référence (3), un élément avec surverse totale permettant de garder un niveau d'eau constant si le débit de sortie est plus faible que le débit d'entrée. En théorie l'eau s'écoule en sortie à peu près avec le même débit qu'en entrée (en ayant réfléchi à la hauteur d'eau de la réserve temporaire (2)), mais s'il y en a qui déborde, il peut être bien d'installer un réservoir pour la récupérer et l'utiliser ultérieurement. Initialement j'avais imaginé ce système sans cet élément mais cela induisait qu'il fallait calculer les forme et volume de la réserve ainsi que les niveaux de réserves et des oyas de manière très précise et la moindre différence de débit dans le réseau des tuyaux compliquait les calculs, voire remettait tout en question.
3. Suivant les branchements effectués (4), l'eau se répartie ensuite dans les différentes oyas et les remplit. Au fur et à mesure que l'eau s'accumule dans l'oya, le flotteur (5) monte jusqu'à ce que l'extrémité du flotteur (6) atteigne le niveau de référence (3). Les extrémités ont un trou supérieur, l'orifice de niveau, qui caractérise le niveau d'eau de cet embranchement. Lorsque ce trou s'approche et dépasse le niveau de référence (3), un appel d'air se crée dans la tuyauterie revenant jusqu'à l'embranchement (4) coupant l'écoulement de ce flotteur. Si les oyas ne se remplissent pas à la même vitesse – modulo des contraintes liées aux tuyaux et pertes de charge associées – l'eau devrait privilégier en théorie le flotteur le plus bas pour écouler le flux.
4. S'il reste de l'eau dans le réservoir intermédiaire (2), alors que l'extrémité des flotteurs (6) sont au-dessus du niveau de référence (3), l'eau s'écoulera alors par la surverse de l'élément donnant le niveau de référence (3) puisqu'il sera alors l'élément le plus bas du réseau.

Le succès de ce mécanisme repose en grande partie sur l'effet siphon. Il est donc impératif de s'assurer que les seules entrées d'air qui peuvent arrêter le flux dans les tuyaux surviennent lors du passage du niveau de référence par les extrémités des flotteurs. Par ailleurs, il est à noter que **la pression du flux qui arrive dans les flotteurs est liée à la différence de niveaux qu'il y a entre (3) et (6).**

La forme des raccords à l'extrémités des flotteurs (6) doit permettre d'avoir une orifice suffisante pour jouer le rôle de niveau de surface. Pour ma part, j'avais pris des raccordements de tuyaux en T avec l'embouchure centrale comme entrée et une des côtés comme sortie, l'autre servant d'orifice de

niveau. A moins qu'une grande différence de hauteur n'existe initialement entre l'extrémité et le niveau d'eau, il ne devrait pas y avoir d'eau qui remonte par l'orifice de niveau, le flux devrait aller principalement vers l'orifice de sortie.

Les schémas ci-dessous illustrent le principe de fonctionnement du système en début et fin de cycle de remplissage.

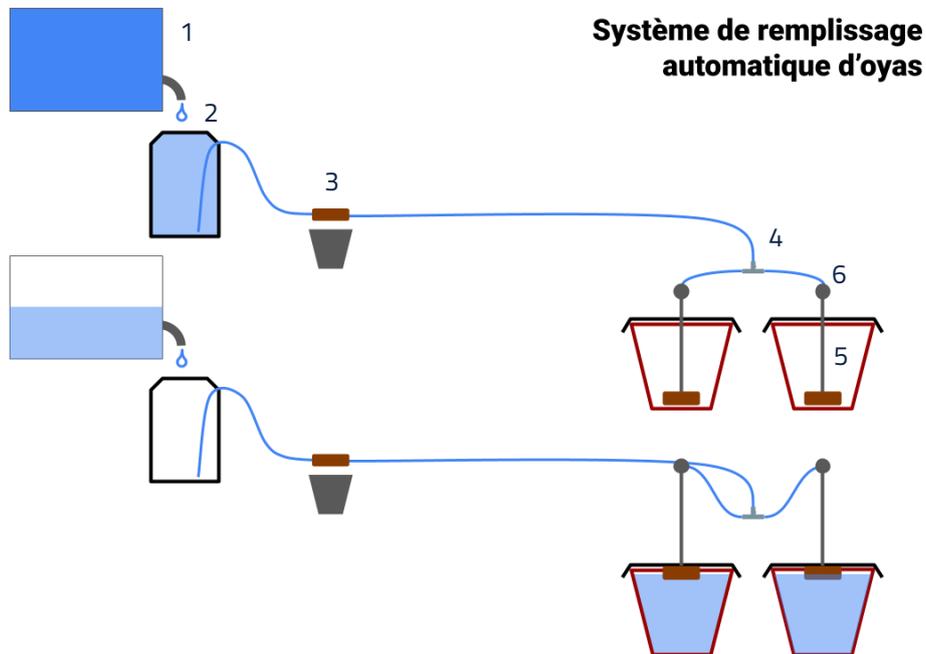


Schéma de principe du système de remplissage automatique d'oyas basé sur le principe des vases communicants

Une attention particulière doit être portée sur la rigidité des tuyaux – et donc leur longueur et matière – puisque celle-ci ne doit pas trop contraindre les déplacements verticaux des flotteurs. Par ailleurs, le design de l'élément 3 pour le niveau de référence reste à imaginer pour utiliser au mieux des matériaux faciles à trouver et optimiser au mieux la possibilité pour l'eau de s'écouler tout en gardant ce rôle de niveau d'eau constant.

Concernant les flotteurs, je me suis basé sur de la récupération de matériel d'arrosage par micro-aspersion et sur des ressources facilement accessibles (cure-dents, bouchons de liège, roseau). Le schéma ci-contre reprend l'architecture imaginée.

La structure « roseau + bouchons + cure-dent » permet d'avoir un élément rigide en hauteur, qui flotte tout en restant léger, comme guide de la partie verticale de tuyau en sortie du té.

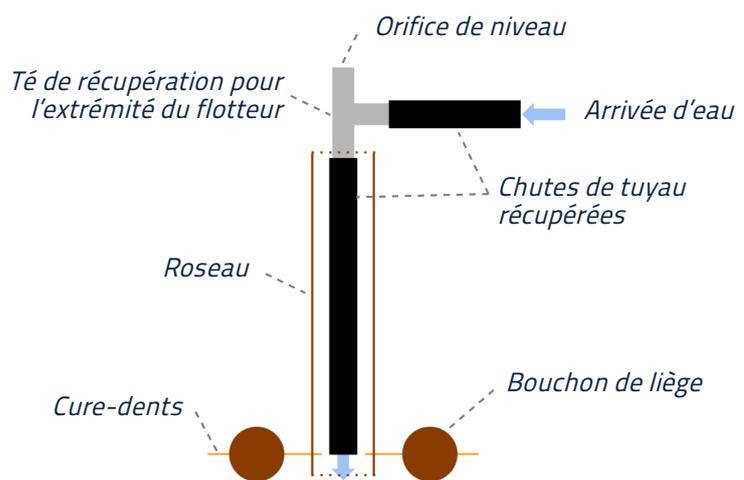
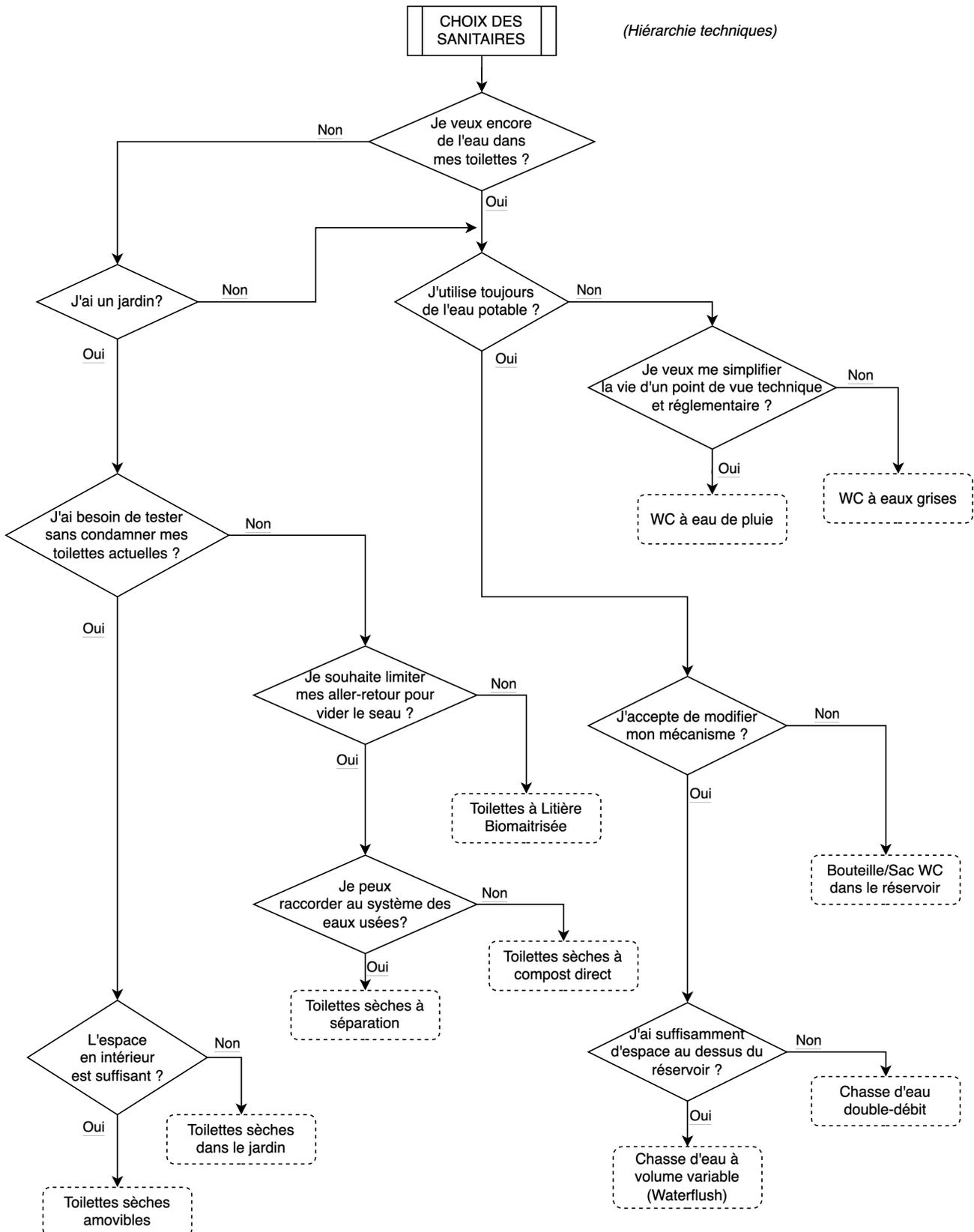
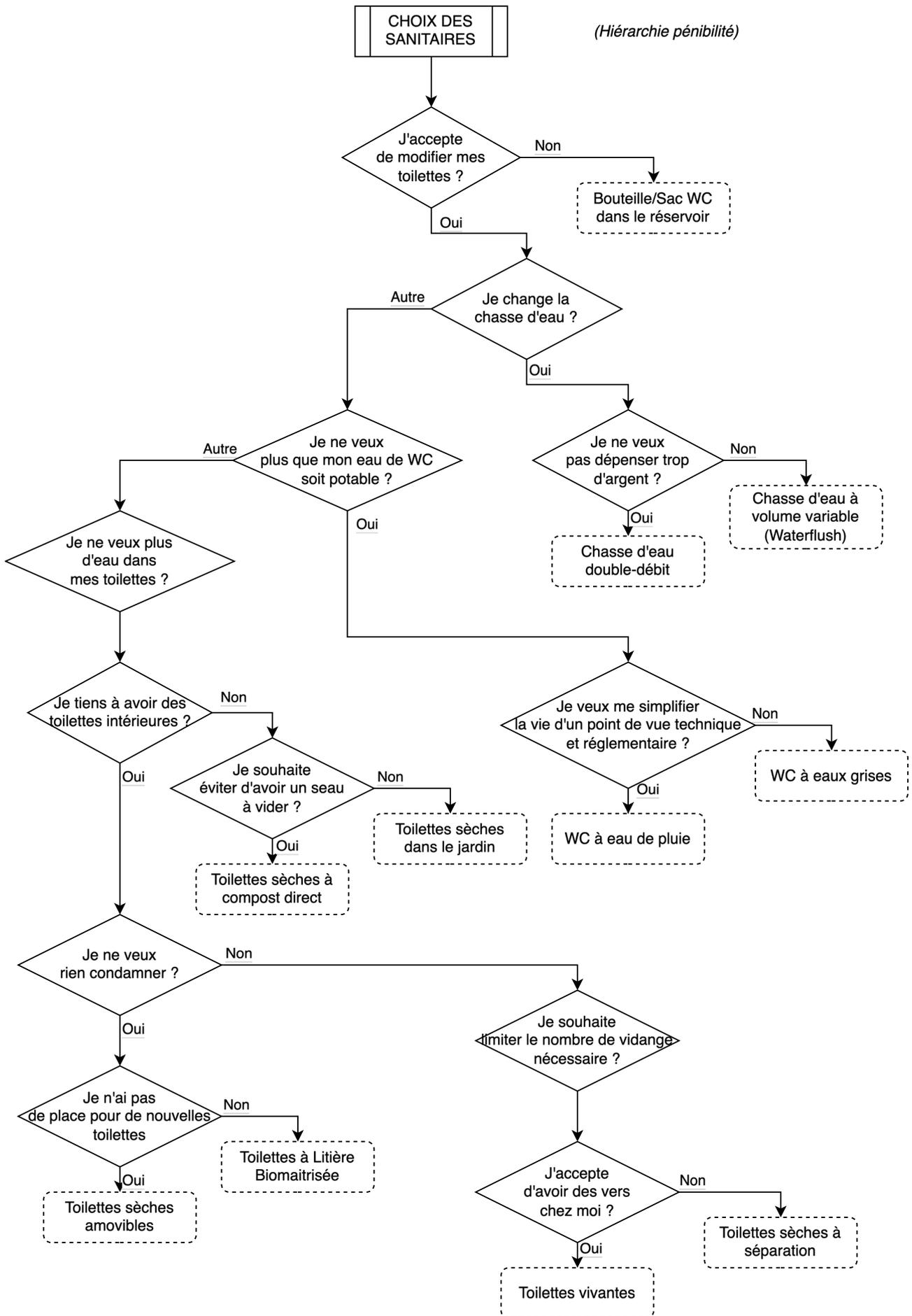


Schéma de principe du flotteur

Annexe 4 : Arbres de décisions pour les sanitaires

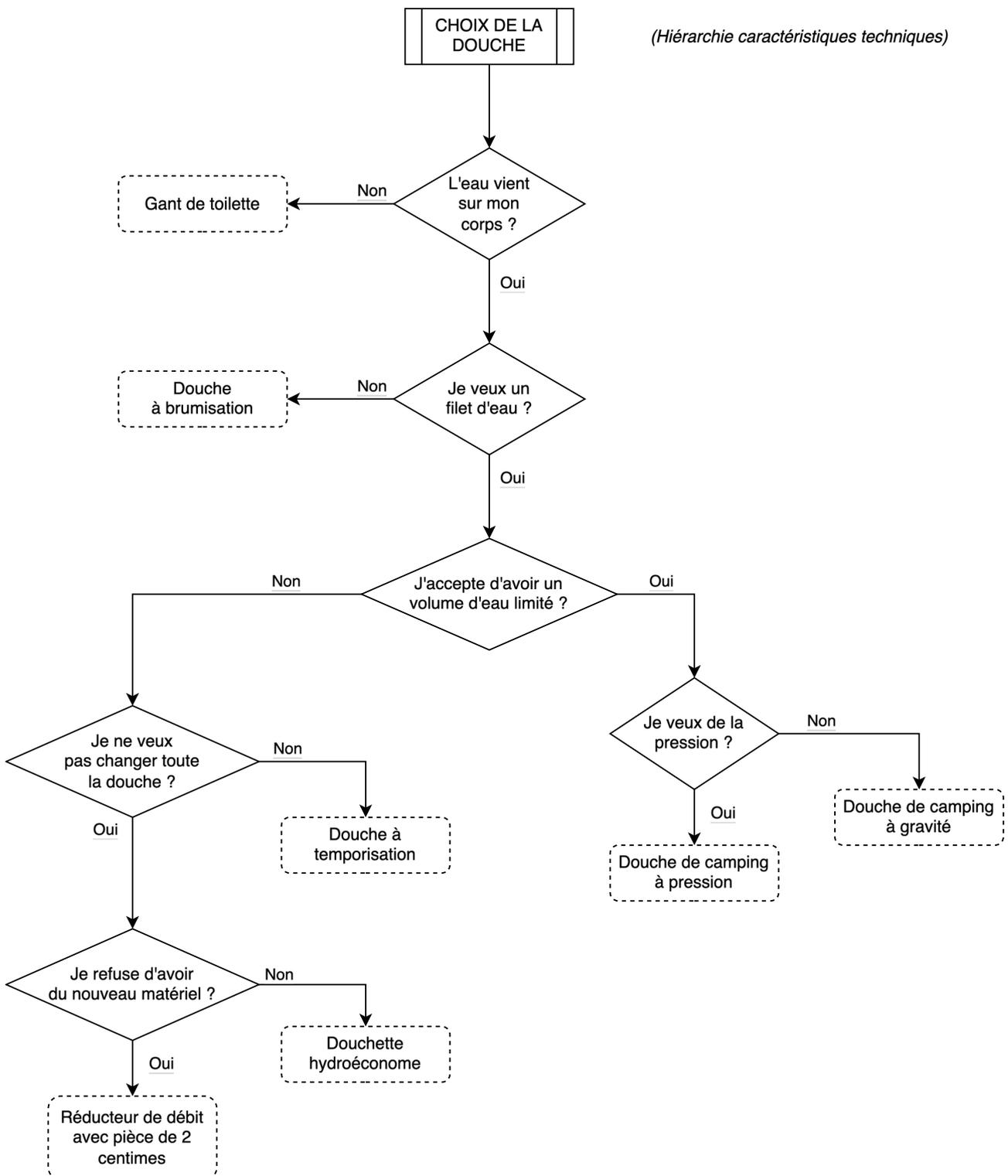
Ces arbres de décision permettent la sélection d'une solution technique low-tech pour répondre au besoin sanitaires (WC) à partir de quelques questions. Deux moutures existent : une axée sur les caractéristiques techniques et une autre axée sur la pénibilité/le caractère disruptif.





Annexe 5 : Arbres de décisions pour les douches

Ces arbres de décision permettent la sélection d'une solution technique low-tech pour répondre au besoin de la douche à partir de quelques questions. Deux moutures existent : une axée sur les caractéristiques techniques et une autre axée sur les économies d'eau.



CHOIX DE LA DOUCHE

(Hiérarchie économies d'eau)

