

Les Citizen Sciences dans l'accomplissement des SDG's : un exemple environnemental

Djavan Sergent
Superviseur : François Grey
Master en Sciences Informatiques
djavan.sergent@etu.unige.ch

Université de Genève

Résumé La préservation et la restauration des écosystèmes est un enjeu majeur de nos sociétés actuelles. Parmi la multitude de challenges que cela pose, celui de la surveillance de la qualité de l'eau est particulièrement important puisque cela suppose de pouvoir surveiller massivement les corps d'eau pour identifier les sources de réduction de la biodiversité et des modifications de la composition de l'eau. Dans ce document, nous explorons les différents moyens par lesquels les citoyens volontaires contribuent à résoudre ce problème et comment cela contribue à aider à l'accomplissement des Sustainable Development Goals des Nations-Unies. La sélection des différents projets de sciences citoyenne permet d'étudier leur potentiel et les caractéristiques qui font leur succès. On observe notamment qu'un fort engagement citoyen soutenu par des entités gouvernementales, comme dans le cadre de la Riverfly Monitoring Initiative (RMI), permet d'obtenir des informations de qualités qui sont intéressantes pour toutes les parties engagées. L'analyse des équipements spécialement développés pour répondre aux problématiques de la surveillance, comme le Mae d'Agua, démontrent que les nouvelles technologies et l'arrivée de capteurs sans-fil autonomes sont un atout majeur dans la plupart des cas. Dans une grande partie des projets, les résultats sont accessibles à tous au moyen d'une carte interactive qui permet souvent de voir quel a été le lieu précis du prélèvement, les valeurs mesurées et la date de l'enregistrement. Mettre en évidence le potentiel de ces projets suggère des applications futures qui permettront, comme aujourd'hui, de résoudre des problèmes concrets et complexes.

Mots clés Citizen Science ; Monitoring ; Water Quality ; Sustainable Development

1 Introduction

En 2000, les Nations-Unies lancent le programme des Millenium Development Goals (MDGs) qui s'étend jusqu'en 2015 [Nat09]. Il s'agit d'un ensemble d'objectifs internationaux parmi lesquels on peut notamment citer l'éradication de l'extrême pauvreté et de la faim, combattre la mortalité infantile ou encore apporter une éducation à toutes et tous. Les 191 états membres des Nations-Unies ainsi que 22 organisations internationales se sont engagées à participer activement à la réalisation de ces objectifs [Wik17a].

Fin 2015, beaucoup d'efforts ont été investis, mais les progrès sont encore très inégaux. Les différents pays membres des Nations-Unies ainsi que des organisations civiles se sont donc intéressées à l'agenda post-2015, c'est à dire aux objectifs futurs. Les Sustainable Development Goals (SDG's) ont été acceptés comme relève des MDGs [Wik17b]. Ceux-ci comportent 17 buts, chacun subdivisé en objectifs. Les SDG's totalisent 169 objectifs qui possèdent tous leurs propres indicateurs. Nous analysons dans cet article le rôle du



FIGURE 1: Icônes des SDGs (source : Sustainable Development Knowledge Platform)

numérique dans la réalisation des certains SDG's, particulièrement du point de vue de la participation citoyenne. Une attention spéciale est portée sur la qualité de l'eau et de l'air, sur les différents indicateurs qui permettent de l'évaluer et sur les méthodes de surveillance utilisé tant au niveau global que local au moyen de prélèvements.

2 Sustainable Development Goals

Les SDG's sont en ensemble de buts à atteindre pour répondre à plusieurs problématiques mondiales. Ces buts s'intéressent autant à l'égalité homme-femme qu'à l'éradication de la pauvreté ou encore la restauration des écosystèmes. Ces objectifs sont pensés pour être revus régulièrement afin d'analyser les progrès effectués et les éventuelles modifications de la feuille de route. En moyenne, chaque objectif est revu tous les deux ans.

Les points prioritaires des SDG's ont été de développer rapidement les aspects ci-dessous [LNVS15] :

- Définir les métriques : Il est important que les communauté scientifiques, économiques et sociales puisse surveiller et traquer les progrès réalisés au sein de chaque SDG au moyen de métriques standardisés
- Etablir des mécanismes de surveillance : En mettant en place le système permettant de mesurer les indicateurs qui définissent les métriques. Une collaboration active entre les gouvernements et entre les scientifiques est indispensable à la mise en place de programmes de surveillance.
- Evaluer les progrès : Il faut évaluer les progrès effectués et vérifier que les objectifs répondent toujours au problème. Cela permet également de surveiller les indicateurs les plus pertinents en fonction du mode de gouvernance (rapport qualité/prix, égalité sociale, etc.).
- Améliorer l'infrastructure : Afin de pouvoir couvrir une zone toujours plus large et avoir une vision plus globale, il faut apporter une attention particulière aux investissements dans les différentes infrastructures. Pour cela, des partenariats sont nécessaires (Futur Earth, World Meteorological Organization, etc.). Le recours aux smartphones est également un excellent point de départ pour multiplier les possibilités et opportunités de surveillance environnementale.
- Données standardisées et vérifiées : Il est crucial que les données soient standardisées pour être comparables au niveau international. Toutes les données doivent être vérifiées et rendues publiques le plus rapidement possible.

2.1 Objectifs

Nous nous intéressons, dans le cadre de cet article, aux buts décrits ci-dessous. Il est cependant important de noter que les objectifs sont intrinsèquement liés entre eux et s'influencent mutuellement. Par exemple, en formant des citoyens à l'utilisation de matériel de mesure de qualité de l'eau, on va agir non seulement sur la capacité à, entre autres, détecter la pollution mais également sur l'éducation qui est au cœur d'un autre objectif.

3 - Good Health and Well-Being : La santé et la pollution de l'air sont au centre de ce but.

6 - Clean water and sanitation : Un accès universel à l'eau et aux installations sanitaires est essentiel pour la santé humaine, la prospérité économique et la préservation de l'environnement.

14 - Life below water : L'acidification des océans, la surpêche ou encore la pollution marine ont un impact important sur la protection des océans. Leur dégradation provoque des effets sur certaines espèces marines mais également sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes.

3. SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE

2.2 Progrès, revue et indicateurs

Le High-Level Political Forum (HLPF), créé en 2012 à la suite de Rio20+, est chargé de promouvoir les objectifs, d'assurer un suivi et d'émettre des recommandations pour la réalisation des SDG's. Ce forum se réunit annuellement.

Les dix-sept buts possèdent leurs propres indicateurs globaux et standardisés. Ces indicateurs servent à évaluer les progrès effectués au niveau international, national, régional et local.

Le HLPF revoit une partie des objectifs lors des réunions annuelles, les autres sont abordés à une session ultérieure. La participation et la collaboration est revue chaque année pour favoriser le développement des SDG's.[Natc]

3 Surveillance environnementale

3.1 Eau

L'eau est l'une des ressources naturelles les plus importante sur terre. Elle joue un rôle essentiel dans de multiples secteurs économiques, sanitaires et environnementaux. L'accès à l'eau potable, à des installations sanitaires et un plan de gestion des ressources est un enjeu majeur des SDG's. Réparties de façon inégale sur terre, l'eau est essentielle pour le développement économique, l'agriculture, la protection de l'environnement ou encore la santé. Dans de nombreux pays tels que les États-Unis, la plus grande partie de cette eau est dédiée à l'agriculture [fSD]. Dans ce contexte, il est important de mettre en œuvre des systèmes de gestion des ressources hydriques et de permettre un accès universel à des sources d'eau propre. Ce but a un impact sur d'autres tels que la santé ou la lutte contre la faim. Selon les rapports du secrétaire-général du conseil économique et social

Deaths from unsafe water, sanitation and hygiene

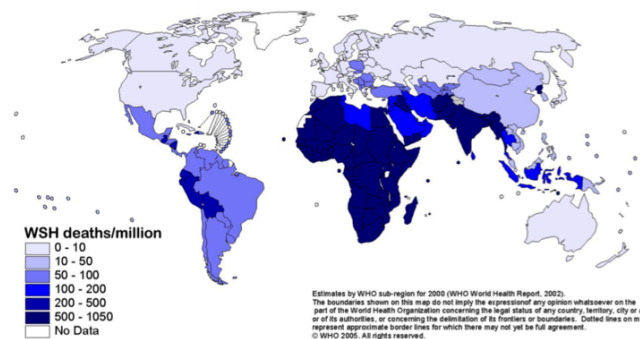


FIGURE 2: Morts à cause de la qualité de l'eau par pays en 2002 (source : World Health Organisation)

des Nations-Unies [Cou17a][Cou17b], un tiers de la population mondiale n'a, en 2015, pas

3. SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE

accès à des installations sanitaires. Selon les mêmes rapports, parmi eux, 946 millions n'ont accès à aucune infrastructure. La mauvaise gestion des déchets humains représente un risque concret pour la santé et pour l'environnement [Ash04].

Concernant l'accès à l'eau potable, la situation évolue positivement. On constate qu'en 2000, 82 pourcents de la population dispose d'une source d'eau aménagée contre 91% en 2015. Cependant, on estime également qu'environ 25% de la population mondiale est exposée à de l'eau contaminée par des matières fécales [Natb].

Selon le rapport [RN17], il n'existe pas de plan complet qui permette la mise en place d'un système de gestion renouvelable des ressources en eau et le manque de données précises rend impossible l'évaluation des performances pour les approches actuellement implémentées.

Toujours d'après ce même rapport, les inondations sont à l'origine de nombreuses maladies et dommages causés à des infrastructures. Les inondations peuvent causer des épidémies, comme le démontre le cas de Itaparica Dam au Brésil lors duquel, en 1988, plus de 2000 cas de gastroentérite sont déclarés sur une période de 42 jours. 88 d'entre eux s'avéreront mortels [TCC⁺93]. Les inondations favorisent également la reproduction des moustiques et ainsi la propagation de maladies telles que la Rift Valley Fever (RFV) [HWB⁺10].

Un aspect également très important de la gestion de l'eau concerne les "Dead Zones" qui s'étendent de façon exponentielle depuis 1960 [DR08]. Les "Dead Zones" sont de larges étendues d'eau qui n'ont plus assez d'oxygène pour assurer la vie marine. En 2008, 400 de ces zones affectant plus de 245'000km², majoritairement situées dans les océans, sont répertoriées. La cause principale du développement des "Dead Zones" est la libération dans l'eau de nutriments qui accélèrent la croissance de certaines algues, réduisant la quantité d'oxygène disponible sous la surface. Bien que ces zones soient souvent d'origine naturelle, leur croissance est particulièrement accélérée par la proximité de sites industriels et agricoles qui rejettent leurs nutriments dans l'eau [RKG⁺14]. Autre constat : certains

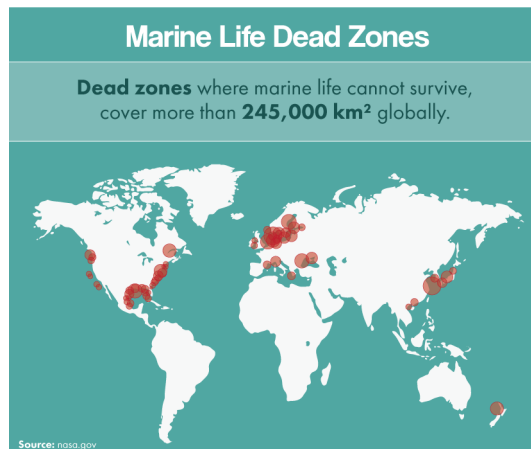


FIGURE 3: Répartition des zones mortes (source : nasa.gov)

pays dépassent en consommation la quantité d'eau renouvelable à disposition et exercent

3. SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE

donc une pression sur le cycle de l'eau.

Outre ces aspects, l'eau est parfois polluée en sous-sol par les nitrates et les pesticides [Gir91]. La multitude de problématiques présentées ci-dessus explique pourquoi l'eau est au cœur des SDG's. Depuis de très nombreuses années, une attention particulière est portée à la qualité de l'eau et aux dangers liés à une contamination de celle-ci [Ash04]. Le manque d'infrastructures sanitaires dans les régions en développement les rend vulnérables aux morts par contamination de l'eau. Neuf morts sur dix touchent les enfants, et tous les décès surviennent dans ces régions.

Aujourd'hui, de nombreux outils permettent de suivre avec précision les indicateurs classiques de qualité de l'eau tels que le taux d'oxygène, l'acidité, la température, la conductivité etc. Ceci est très important pour la réalisation du but 6.3 : «By 2030, improve water quality by reducing pollution, eliminating dumping and minimizing release of hazardous chemicals and materials, halving the proportion of untreated wastewater and substantially increasing recycling and safe reuse globally» [Natb].

3.2 Air

La qualité de l'air est aujourd'hui responsable de nombreuses maladies, cancers et décès [PTN⁺95]. Une étude chinoise récente met en avant l'augmentation de la fréquence de visite des hôpitaux pour des problèmes respiratoires lors de l'augmentation du nombre de particules fines dans l'air [LWF⁺16]. La réduction du nombre de morts attribuables

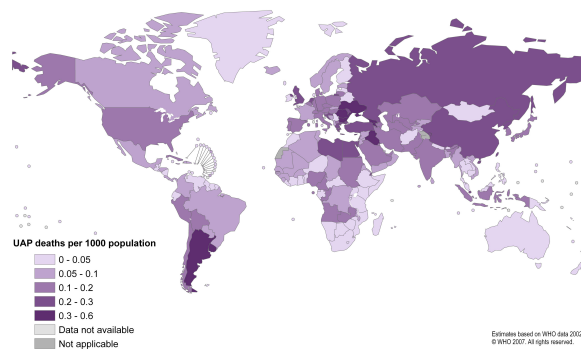


FIGURE 4: Morts par la qualité de l'air par pays en 2012 (source : World Health Organisation)

à la qualité de l'air est un des indicateurs de l'objectif 3 (Good-Health and Well-Being) [Nata]. En opposition à la qualité de l'eau, celle de l'air s'est dégradée lors de la dernière décennie. En 2012, la pollution de l'air est responsable d'environ 5.5 millions de morts à travers le monde et environ la moitié de la population mondiale est exposée à un air

dont la concentration en particules fines est supérieure à 10 microgrammes/m³ [Uni16]. Certains chercheurs affirment aussi qu'on peut constater un lien entre le nombre de tumeurs malignes du cerveau dans une région géographique et son taux de particules fines [APW⁺17].

La pollution de l'air impacte également le changement climatique en modifiant la composition de l'atmosphère et des océans. L'augmentation de la quantité de CO₂ dans l'air influe sur l'acidité des océans [DFFK09] et impacte donc les espèces marines sensibles à ces changements. La modification de la composition chimique des océans affecte directement la reproduction de certaines espèces marines et la capacité des espèces de cnidaires, tels que les coraux, à créer leur exosquelette [HGMH⁺07].

3.3 Bioindicateurs

Depuis les années 1970, les auteurs de diverses études [AD10] analysent les relations entre la faune et la qualité environnementale de leurs habitats. On considère en effet que les relevés sont capables de fournir des indicateurs sur l'état et la qualité de l'écosystème aquatique étudié. Dès lors, on a mis au point de nombreux outils basés sur les macro-invertébrés benthiques à des fins de diagnostics concernant la qualité des écosystèmes aquatiques.

En Europe, les macro-invertébrés benthiques sont les éléments les plus utilisés pour comprendre, analyser et révéler les pressions anthropiques exercées car ils présentent les caractéristiques suivantes :

- Ils sont relativement sédentaires et certains sont extrêmement sensibles ou résistants aux perturbations et pollutions importantes.
- Ils sont très hétérogènes, la plupart du temps abondants et disposent d'une grande variété de formes et d'espèces.
- Pour une variation environnementale donnée, il est très probable de trouver quelques organismes qui réagissent fortement et, souvent, de façon extrêmement rapide.
- La différence de caractéristiques entre les différents organismes va modifier leur réponse en fonction de la nature et de l'intensité du stress.
- Leur durée de vie qui varie de quelques mois à quelques années est suffisante pour enregistrer et surveiller la qualité environnementale.
- On peut trouver des macro-invertébrés benthiques de façon abondante dans tous les types d'habitats.
- Ils sont relativement aisés à collecter et présentent l'avantage, par rapport aux micro-organismes et au plancton, d'être bien plus facile à identifier.

L'IBGN est un des outils diagnostiques de la qualité des écosystèmes aquatiques qui utilise les macro-invertébrés benthiques pour leurs nombreuses caractéristiques.

Le protocole de l'IBGN impose un échantillonnage en 8 prélèvements réalisés sur des substrats différents, dans un ordre défini par la norme et en tenant compte de la vitesse du courant. On utilise un filet de type Suber d'une surface d' 1/20^e de m² et donc les mailles mesurent 500µm. On calcule l'indice en estimant différents paramètres en utilisant une liste finie de 152 taxons. Parmi ces 152 taxons, 38 seront considérés comme indicateurs et permettent la définition de 9 groupes faunistiques correspondant à leur pollusensibilité. Le calcul se fait alors en 3 étapes :

3. SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE

1. On détermine la "classe de variété taxonomique" (A) qui est égale au nombre de taxons récoltés sur les 152 potentiellement présents. Un taxon est considéré présent même s'il est représenté par un seul individu.
2. On détermine le "groupe faunistique indicateur" (B) en ne prenant en compte que les taxons indicateurs. Il doit y avoir au moins 3 individus (ou 10 pour certains taxons) par échantillon.
3. L'indice est obtenu par la formule suivante : $A + (B - 1)$ avec $IBGN \leq 20$

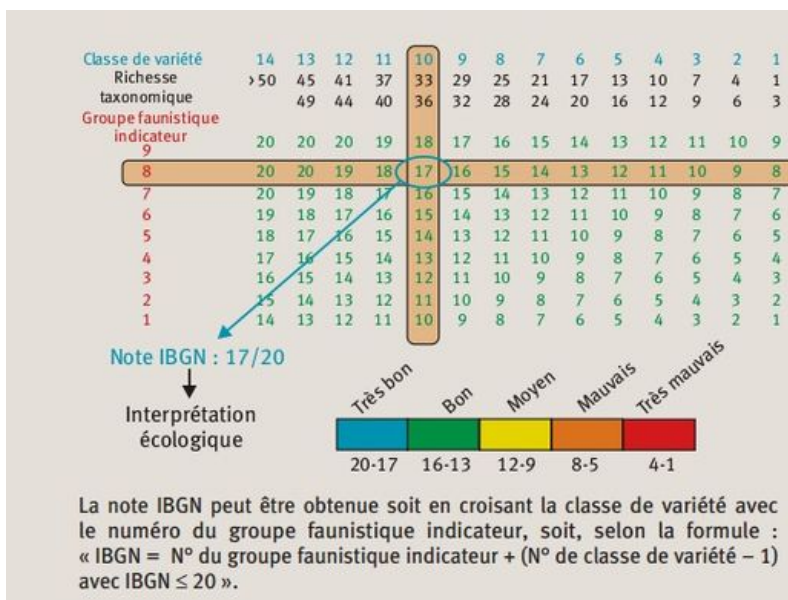


FIGURE 5: Calcul de l'IBGN (source : [AD10])

L'intérêt de cette méthode réside dans le fait qu'elle tient compte de toutes les communautés d'invertébrés et non pas uniquement des groupes les plus sensibles. Il est relativement aisé de récolter, manipuler et exploiter les informations. De plus, il est adapté au suivi de la qualité écologique d'un point d'eau étant donné ses larges possibilités d'applications. Le protocole permet de suivre spatialement les variations et perturbations, d'en suivre l'évolution à travers le temps ou de considérer le point d'eau isolément. Cependant, cette méthode d'analyse n'est pas adaptée aux zones sources et/ou profondes et ne permet pas d'évaluer la variabilité saisonnière liée aux cycles biologiques. Il n'est pas possible non plus d'identifier la nature exacte de la perturbation observée. De plus, certaines zones comme les rivières de haute montagne dont la diversité naturelle est faible ont un indice inférieur à l'indice de référence ($IBGN = 20$) en dehors de toute perturbation. Pour les cours d'eau profonds, on préfère utiliser l'indice IBGA qui modifie légèrement le protocole de prélèvement en effectuant certains par draguage. Lorsqu'il n'est pas possible d'effectuer un draguage (fonds encombrés et/ou navigation trop importante) on utilise la

4. PARTICIPATION CITOYENNE

méthode IQBP qui consiste à laisser un piège à benthiques 1 mois au fond de l'eau pour que ceux-ci le colonisent. Les indices IBGA et IQBP sont également basés sur une note sur 20 établie sur l'analyse de la faune benthique.

3.4 Réseaux de capteurs autonomes sans fils

Les réseaux de capteurs sans fils (Wireless Autonomous Sensor Network - WASN) sont des réseaux dont les capteurs sont distribués dans l'espace et le temps. La spécificité de ce type de réseau est qu'ils doivent pouvoir se montrer redondants face à une défaillance de l'un des nœuds du réseau. Le routage de l'information doit être optimisé pour favoriser la durée de vie du réseau. On considère en effet que les différents nœuds disposent d'une source d'énergie limitée avant de devoir être rechargés, supprimés ou remplacés. La transmission d'information par radiofréquence est extrêmement coûteuse en énergie, c'est pourquoi il existe de nombreux algorithmes permettant d'optimiser la consommation du réseau localement mais aussi globalement. D'autres algorithmes permettent aux capteurs de se situer spatialement pour appliquer les différents protocoles de routage possibles. Ces réseaux sont très intéressants dans le cadre du monitoring environnemental puisqu'ils permettent de couvrir de large étendues [Pro18].

4 Participation citoyenne

Les citoyens peuvent contribuer à la réalisation de ces SDG's par plusieurs moyens, qu'il s'agisse de la récupération, du traitement des données recueillies sur le terrain, de la mise à disposition de ressources ou d'outils [Lor14]. On peut citer en exemple le "World Water Monitoring Day", journée lors de laquelle des milliers de citoyens vont récupérer, dans les points d'eau proche de chez eux, des échantillons dont la qualité est analysée. Lorsque l'étendue géographique à couvrir et/ou la durée des observations dans le temps sont des paramètres importants, il est intéressant de recourir à un nombre important de citoyens bénévoles non spécialistes plutôt qu'à un petit groupe d'expert. De plus, leur nombre et leur répartition sur le terrain permettent de limiter les risques financiers, de biais et d'évaluation non-neutre. Des protocoles standardisés sont nécessaires dans cette approche citoyenne.

Il y a aujourd'hui un réel besoin d'incorporer les données récoltées par les sociétés civiles aux SDG's [FS16].

Les citoyens ordinaires peuvent également proposer des solutions innovantes comme le démontre Jeff Bass au moyen de son réseau autonome de 13 Raspberry Pi utilisés dans sa ferme Californienne afin de mesurer la quantité d'eau utilisée, détecter les fuites et recevoir des alertes lorsque l'utilisation de l'eau est anormale.

Les exemples ci-dessous représentent un échantillon parmi la multitude de projets citoyens et d'études menés à travers le monde. Ils ont pour but de donner une idée des opportunités offertes par les nouvelles technologies à bas prix lorsqu'elles sont utilisées dans un contexte de sciences citoyenne.

4.1 Citizen Cyberlab

Citizen Cyberlab (voir citizencyberlab.org) est une organisation créée en collaboration avec le Centre Européen de Recherche Nucléaire (CERN), l'United Nations Institute

4. PARTICIPATION CITOYENNE

for Training And Research (unitar) et l'Université de Genève qui participe activement à la recherche de nouvelles possibilités pour que les citoyens puissent participer à la recherche. Citizen Cyberlab agit sur des projets classés en quatre catégories (computing, thinking, sensing, understanding) en fonction de leur objectif prioritaire. Tous les projets sont orientés pour respecter les normes Open Science, c'est à dire du matériel, des logiciels, des formats de données et des publications libres.

L'un des projets de la catégorie computing se nomme "Computing for Clean Water". Il est mené en collaboration avec l'IBM World Community Grid et un centre multidisciplinaire de l'Université de Tsinghua et a pour ambition de modéliser et comprendre les propriétés moléculaires de nouvelles classes de filtres à eau efficaces et bon marché destinés à aider à répondre à la demande d'eau peu chère, propre et consommable. Ces filtres, développés en collaboration avec de nombreuses universités, sont constitués de nanotubes de carbones qui réduisent la friction de l'eau sous certaines conditions et permettent une amélioration de la diffusion de l'eau de près de 300%. Cette étude se base sur une simulation de plusieurs années qui requiert environ 40'000 années de calculs sur un ordinateur personnel standard. L'utilisation du public a déjà permis de réduire de façon significative le nombre d'années nécessaires et les coûts pour les scientifiques puisqu'ils ont pu bénéficier de la puissance de calcul de près de 3 millions d'ordinateurs répartis à travers le monde grâce à l'IBM World Community Grid. Si les calculs avaient été effectués de façon commerciale, ils auraient coûté environ 15 millions de dollars américains. Le projet vise désormais à une meilleure compréhension du phénomène physique à l'origine de cette amélioration de la diffusion de l'eau à travers les nanotubes.

Un autre projet, qui fait partie de la catégorie thinking, se nomme Open Seventeen (O17). Il s'agit d'un programme de coaching pour les projets innovateurs qui permettent d'atteindre les buts fixés par les SDG's. O17 veut encourager la participation du public et les sciences citoyennes. Un cycle de O17 se présente comme ceci : un appel aux projets permettant de répondre à un problème concret est lancé. Une sélection se fait sur l'ensemble des projets reçus et les plus prometteurs sont regroupés en équipes. Les équipes bénéficient ensuite d'un coaching particulier par des experts et coaches internationaux sur une durée de six semaines pour transformer leur idée en projet viable. A la fin de ces six semaines, les projets les plus prometteurs reçoivent une aide plus avancée pour le développement et la concrétisation du projet.

4.2 Public Lab

Public Lab (voir publiclab.org) est un réseau américain de sciences citoyennes. Ils développent du matériel et des logiciels qui sont ensuite utilisés dans des projets de sciences citoyennes. Ils sont à l'origine de nombreux projets tels que l'Open Water Project, Open Air, Open Land, etc. et contribuent à d'autres tel que l'InfoAmazonia en participant à l'élaboration des composants utilisés dans le capteur Mae d'Agua.

Public Lab a créé de nombreux capteurs spécialisés dans l'analyse des données environnementales. Le Riffle est désigné pour être étanche, open source, open hardware et compatible avec un Arduino. Il permet initialement de mesurer la température de l'eau, mais il est également modulable et on peut lui ajouter des capteurs de turbidité, de pression et de conductivité. Cette modularité et son prix relativement bas lui offre une large variété de cas d'utilisation. Le Riffle est pensé pour répondre aux critères suivants :

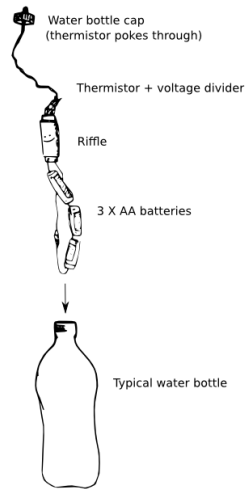


FIGURE 6: Idée générale de l’encapsulation du Riffle, de son alimentation en électricité et des différents capteurs (source : Public Lab)

- Faible consommation de batterie : le capteur doit pouvoir fonctionner au moins une semaine sans être rechargé.
- Du matériel libre : pour permettre à la communauté de le modifier et en facilitant l’ajout de nouveaux capteurs.
- Des logiciels libres : qui ont pour but de faciliter le transfert et la visualisation d’informations.
- Matériel de stockage libre : pour que les données de sorties soient au format CSV et sur une carte SD.
- Du matériel accessible : il doit être facile de remplacer un composant, et si possible de le trouver localement. Le tout doit pouvoir être encapsulé dans un conteneur étanche.
- Créer une communauté : en engageant des citoyens autour de la création d’un tel objet.

Le plus grand challenge est de trouver un conteneur étanche qui permette la réalisation des relevés désirés. Plusieurs approches plus ou moins satisfaisante sont proposées, mais la plus intéressante propose d’utiliser de simples bouteilles en plastique dont on perce le bouchon pour laisser sortir les capteurs. Cette configuration a donné lieu à de nombreuses propositions comme l’utilisation de riz pour absorber les éventuelles fuites, ou encore l’ajout de capteurs de conductivité (qui n’étaient pas prévus dans le design initial). Il existe également des plans d’impression 3D pour imprimer un conteneur étanche sur la base d’une capsule en PVC.

La carte possédant le circuit électronique a été développée pour être entièrement compatible avec l’IDE d’Arduino et d’une size qui lui permette de passer dans la plupart des goulots des bouteilles de 20mm. Le fait de devoir glisser le tout par l’embouchure demande que les broches de connexion se trouvent aux extrémités de la carte afin que les câbles passent verticalement. La configuration du Riffle est hautement modulable et

4. PARTICIPATION CITOYENNE



FIGURE 7: Dernière version du Riffle (source : Public Lab)

permet par exemple l'ajout d'une carte GSM ou d'un émetteur/récepteur radio pour les télécommunications. Le problème d'une carte SIM étant bien sûr les coûts mensuels liés à son utilisation. A noter que les télécommunications ont également un effet non négligeable sur la durée de vie d'un appareil. Les interfaces utilisées sont sélectionnées pour être compatibles avec la plus large variété de protocoles et de matériel électroniques externes. Les données recueillies sont ensuite fournies au format CSV ou TSV et c'est à l'utilisateur de voir comment il veut les traiter. Cette décision a été prise après discussion avec de nombreux hydrologues car il existe de nombreux workflows différents. Il est donc plus pertinent de présenter les données sous un format générique et de laisser le soin de les rendre compatible avec son propre système à l'utilisateur.

Public Lab a également contribué à d'autres projets comme le Thermal Fishing Bob (capteur de température basé sur la lumière), le Coqui qui peut émettre des fréquences de son audibles et effectuer des mesures de conductivité, de température et de visibilité, ou le Kit Initiative qui vise à mettre à disposition et distribuer les kits nécessaires aux différents challenges rencontrés.

4.3 InfoAmazonia

InfoAmazonia (voir *voir infoamazonia.org*) regroupe de nombreux projets autour de la forêt tropicale amazonienne. Les informations recueillies par sont ensuite rendues disponibles via une carte interactive. Celle-ci présente différentes vues, telles que, entre autres, les zones protégées, les zones de minages ou encore de déforestation. Les citoyens ayant des informations à diffuser sont invités à contribuer au projet au moyen d'un formulaire qui permet de soumettre sa propre histoire ou des données. Le projet InfoAmazonia est soutenu par plusieurs acteurs locaux.

Parmi les différentes sources de données du projet, on peut notamment citer Mae d'Agua, un matériel ouvert qui permet de surveiller la qualité de l'eau. Un réseau de capteurs sans fils (WSN) qui récupère les informations relatives à la qualité de l'eau telles que la conductivité électrique, le pH, le potentiel d'oxyréduction (OPR), la température, la pression barométrique ainsi que la température du capteur. Cet équipement peut être utilisé pour surveiller la qualité de l'eau dans des boîtes à eau, des citernes et réservoirs ainsi que les corps d'eau à faible débit. Inspiré du capteur "Riffle", ce matériel a été développé en collaboration avec Public Lab (réseau américain de science citoyenne) ainsi que Dev Technologia, une startup de Sao Paulo University. Les données recueillies sont envoyées à un serveur via le réseau de téléphonie mobile. Les relevés sont effectués à une fréquence d'un par heure. Il est nécessaire de nettoyer régulièrement les capteurs afin d'éviter que les relevés ne soient erronés à cause de l'accumulation de débris. Il s'agit d'un projet open

4. PARTICIPATION CITOYENNE

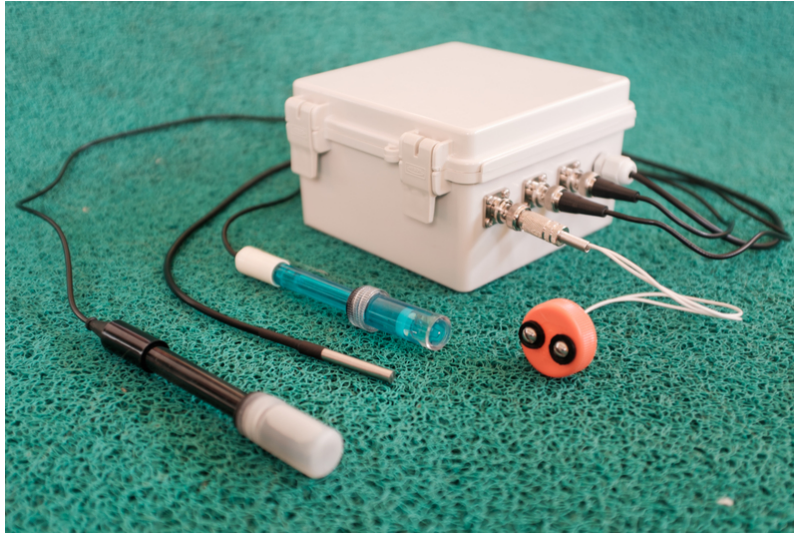


FIGURE 8: Mae d'Agua (source : Public Lab)

source et open hardware, les fichiers et firmware sont disponible sous licence MIT. L'équipement est modulaire et comporte 3 modules :

1. Le premier module est un Arduino Mega. Il gère le traitement des données ainsi que l'alimentation en énergie depuis une source externe.
2. Le deuxième module est une coque Arduino conçue grâce à la plateforme Eagle. Cette coque dispose d'un capteur de pression barométrique et de connecteurs permettant d'ajouter les capteurs de pH, température, OPR et de conductivité. Cette conception modulaire permet d'optimiser le rapport coût-bénéfices en fonction de l'application projetée.
3. Le troisième module permet la communication au travers du réseau téléphonique mobile pour envoyer les données au serveur.

Le projet est soutenu par Google et par des institutions et entreprises locales.

4.4 Reef Citizen Science Alliance

Ce projet regroupe des citoyens qui aident à collecter des données sur la grande barrière de corail, en Australie. Les volontaires peuvent participer à des ateliers de formation qui s'adressent aux personnes ayant des connaissances faibles ou modérées sur les coraux (voir reefscicience.org). Ils apprennent comment effectuer les relevés de façon simple. Il existe de nombreuses façons de contribuer sans effectuer cette formation, par exemple en signalant des espèces marines particulières lors d'une session de plongée ou de snorking au moyen d'une application pour smartphone. L'application permet également de signaler des événements en temps réel et de voir ce que les volontaires peuvent faire autour d'eux pour contribuer.

4. PARTICIPATION CITOYENNE

Les résultats de ces relevés sont largement utilisés par la Great Barrier Reef Foundation qui contribue à financer de nombreux projets de préservation et de restauration de la barrière de corail Australienne.

4.5 World Water Monitoring Challenge

Le Word Water Monitoring Challenge (voir *monitorwater.org*) est un projet de EarthEcho International. Cet évènement, conduit chaque année entre mars et décembre, réunit plus de 1'500'00 participants dans un total de 146 pays. L'idée est d'équiper et former les citoyens afin qu'ils surveillent leurs points d'eau locaux tout autour du monde avec pour le moment 77'685 endroits surveillés. La sensibilisation et l'incitation à la surveillance pour protéger les ressources hydriques sont les points clés de ce projet.

Les citoyens participent par plusieurs voies :

- Par la surveillance des points d'eau à l'aide de kits.
- Par le partage des données au travers d'une plateforme et des réseaux sociaux.
- Par l'utilisation des informations pour protéger les ressources hydriques vulnérables.

Les kits comprennent : 1 livre d'instruction, 1 récipient pour les échantillons, 1 tube de à essais de pH, 1 fiole de d'oxygène dissous, 2 bandes de température, 50 comprimés de réactif au pH, 100 comprimés de réactif d'oxygène dissous, 1 disque de Secchi et 1 nuancier pour l'interprétation des résultats (DO, pH, turbidité). Les kits sont conçus pour permettre d'effectuer 50 tests et coûtent environ 50 dollars. Le projet permet également à certaines organisations, sous conditions, d'obtenir gratuitement des kits.

4.6 FreshWater Watch

Le FreshWater Watch (voir *freshwaterwatch.thewaterhub.org*) ambitionne de monitorer un maximum de petits corps d'eau tout autour du monde. Ceux-ci sont rarement déjà sous surveillance et sont souvent déjà affectés par différents facteurs. Ce projet propose d'établir une carte mondiale en partenariat avec toute organisation, association ou communauté prête à partager et échanger des informations. Ils travaillent par exemple en collaboration avec le Riverfly Partnership à l'origine de la Riverfly Monitoring Initiative. Ce projet se montre ouvert à tout type de contribution, et particulièrement les observations visuelles (végétation, activités humaines, niveau d'eau, utilisation des terres autour, vie animale, vitesse d'écoulement et couleur de l'eau, présence d'algues, sources visibles de pollution) au moyen de photographies. Comme les informations visuelles ne permettent pas à elles seules de déterminer la qualité de l'eau, il est important de les compléter au moyen de tests chimiques et d'analyses de bioindicateurs. FreshWater Watch se monstre particulièrement attentif à deux facteurs :

1. La présence excessive de nutriments dans l'eau, qu'ils considèrent comme le plus grand problème à large échelle. Les nutriments sont nécessaires à la vie marine mais peuvent créer des problèmes lorsqu'ils sont en surabondance. Par exemple, une quantité anormale de nutriments peut favoriser la croissance d'algues qui vont réduire la quantité d'oxygène disponible dans l'eau, ce qui peut mener à l'apparition de "Dead Zones".
2. La turbidité de l'eau au moyen d'un tube de Secchi pour mesurer le nombre de particules dans l'eau. En croisant les données des nutriments et de la turbidité, on

4. PARTICIPATION CITOYENNE

peut suggérer s'il y a eu une prolifération d'algues ou si le ruissellement transporte trop de pollution dans le plan d'eau. La turbidité est également liée à la quantité d'oxygène dans l'eau. Les particules dans l'eau ont un effet sur la vie aquatique puisqu'elles obstruent les branchies et affectent le développement des œufs.

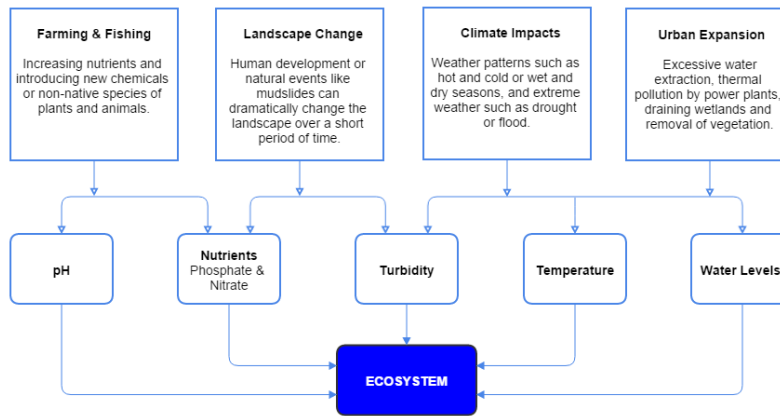


FIGURE 9: Schéma simplifié des mesures effectuées et des facteurs impactant un écosystème (source : FreshWater Watch)

Le projet permet d'obtenir un kit pour tester localement la qualité de l'eau. On peut ensuite mettre en ligne les résultats sur le site internet du projet.

Les données mises en ligne par les volontaires sont disponibles gratuitement en ligne sous la forme d'une carte interactive.

4.7 NAWMS

On a constaté que donner des informations précises et en temps réel aux usagers sur leur consommation d'essence avait permis de les sensibiliser et de mieux conserver les réserves. Le Non-intrusive Autonomous Water Monitoring System [KSC⁺08] vise à appliquer cette philosophie à la consommation d'eau : en donnant aux gens la possibilité de savoir ce qu'ils consomment et comment, on leur donne les informations nécessaires pour adapter leurs habitudes à un mode plus économe et renouvelable. Nous n'avons en effet pas idée de ce qu'est une consommation considérée comme "faible", "modérée" ou "forte" en tant que particulier.

Le NAWMS est un système de surveillance de la consommation de l'eau qui est non intrusif et autonome pour sa calibration. Il se base sur la propagation des vibrations le long des tuyaux qui est proportionnelle au débit d'eau.

Ce système est basé sur une architecture deux-tiers :

1. Le premier tier est le fournisseur du service. Celui-ci est précis mais centralisé et ne dispose donc pas d'une répartition spatiale fine. Il s'agit également d'une source fiable dont l'utilisateur n'a pas à se préoccuper de la maintenance, de la précision

4. PARTICIPATION CITOYENNE

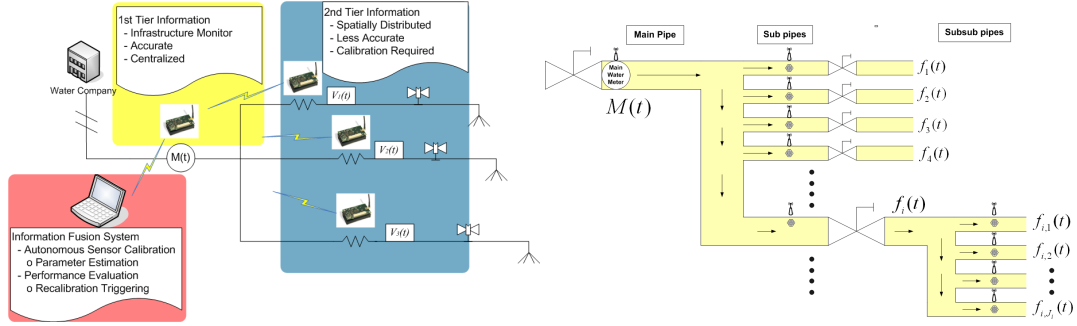


FIGURE 10: Architecture du système NAWMS (source : [KSC⁺08])

ou du bon fonctionnement. De plus, il est considéré comme toujours disponible et permet au système de se calibrer continuellement.

2. Le second tier est l'ensemble des capteurs de vibrations répartis sur les différents tuyaux. Ceux-ci sont moins précis mais sont distribués finement spatialement. Cette architecture en deux-tiers permet d'obtenir des résultats globaux et locaux précis.

Le système est capable de modéliser le bruit externe, les limitations et caractéristiques physiques ainsi que les performances. La métrique de performance est utilisée pour calibrer l'ensemble du système automatiquement sans avoir recours à une intervention manuelle pour la maintenance. Ce calibrage est rendu possible par la reformulation des équations d'optimisation sous une forme solvable en un temps polynomial. Les différents paramètres de ces équations sont : la vibration mesurée, la constante de propagation des vibrations du tuyau j au tuyau i (propre au matériaux utilisés) et la vibration induite par le débit d'eau sur le tuyau j . Les résultats des tests effectués sur plusieurs tubes de matières et

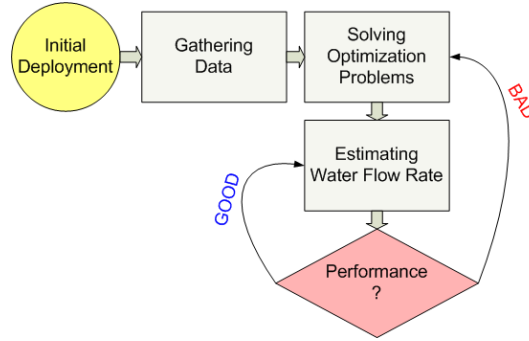


FIGURE 11: Calibrage continu du NAWMS (source : [KSC⁺08])

diamètres différents sont précis et démontrent l'intérêt de cette approche. Les capteurs à vibrations peuvent être installés sur n'importe quel tuyau visible sans avoir

4. PARTICIPATION CITOYENNE

à faire appel à un plombier ou à effectuer de lourds travaux de rénovation. Il devient donc possible pour n'importe qui de connaître avec précision les dépenses en eau de chaque source (douche, robinet, lave-linge, ...) pour adapter sa consommation et/ou détecter d'éventuelles fuites. Ce projet ne vise donc pas à surveiller la qualité de l'eau mais sa propre consommation.

4.8 Riverfly Monitoring Initiative

Ce projet (voir *riverfly.org*), réalisé aux Royaume-Unis, réunit de nombreux acteurs tels que pêcheurs, autorités compétentes comme le ministère de l'environnement, scientifiques et entomologistes dans le but de protéger la qualité de l'eau des rivières, de mieux comprendre les populations des mouches de rivière et de conserver leurs habitats. Ces insectes jouent un rôle fondamental dans les rivières, en particulier concernant l'alimentation de certains poissons et chauves-souris car ils font partie du plancton aérien. Ces insectes, apparus au Carbonifère (il y a environ 300 millions d'années) sont extrêmement sensibles à la pollution lumineuse et chimique, notamment par les pesticides. On compte parmi ces espèces les éphémères, les plécoptères et les trichoptères. Ils passent la plus grande partie de leur vie au stade larvaire, dans l'eau. De ce fait, les facteurs tels que le débit d'eau, sa qualité ou encore son niveau ont un impact majeur sur ces espèces. Leurs caractéristiques les rendent particulièrement pertinentes en tant qu'indicateurs lors d'études de la qualité de l'eau. Par exemple, lors du rejet d'eaux usées, un des bioindicateurs de pollution peut être les populations de certaines espèces de plécoptères puisque celles-ci, sensibles à la quantité d'oxygène dissous, vont chuter brusquement.

Le Riverfly Partnership organise des journées de formation pour les clubs de pêche et autres groupes de personnes concernées par la surveillance des cours d'eau. Les pêcheurs disposent d'une position privilégiée pour surveiller la qualité et l'état des cours d'eau dans lesquels ils pêchent. Ils sont nombreux à exprimer un intérêt à pouvoir eux-mêmes effectuer les vérifications de l'eau. Les conditions pour participer à la RMI est d'avoir une personne prête à devenir coordinatrice locale ainsi que des membres prêts à suivre la journée des ateliers de formation qui consistent en diverses présentations et démonstrations pratiques de l'utilisation du matériel. Ce projet préconise une fréquence de relevés mensuelle, ce qui rend les mesures sensibles aux fluctuations saisonnières et aux cycles naturels. On estime à une heure le temps nécessaire par volontaire pour effectuer les prélèvements. Les kits de prélèvement contiennent : un filet de 25cm (maille de 1mm), un grand plateau, un seau, un bac diviseur en 8 parties, une pipette, une loupe, une petite cuillère, un pinceau et le guide pratique de l'utilisation du matériel.

Les résultats sont disponibles librement sur leur site web et permettent de visualiser au moyen d'une carte les endroits où sont effectués les relevés. Ces données sont également partagées aux différents organismes gouvernementaux en charge de la protection et de la restauration de l'environnement.

4.9 Restoration Assessment Initiative

La multitude de projets de monitoring de la qualité de l'eau a permis de démocratiser la participation citoyenne aux projets de surveillance locaux, notamment sur la détection de la pollution sur de larges périodes de temps. Bien que les différents acteurs des initiatives partagent un but commun, à savoir améliorer la qualité de l'eau, les conditions de

4. PARTICIPATION CITOYENNE

pêche à la ligne et la biodiversité, il n'existe à ce jour aucun projet citoyen visant à évaluer le succès de la restauration qui vise à atteindre les buts énoncés ci-dessus [HTWB16]. La Restoration Assessment Initiative propose un modèle standardisé pour évaluer la réponse biotique aux projets de restauration de l'environnement. Le but est de permettre la mise en place d'une base de données à large échelle permettant de connaître, à terme, les plus gros facteurs de succès et d'échecs des projets de restauration. Nos sociétés sont fortement influencées par les services que nous fournit l'écosystème, c'est pourquoi il est important de rétablir l'intégrité des cours d'eau et de stopper le déclin des espèces. Cela pose cependant un nombre non négligeable de challenges. Dans les zones dégradées, l'un des principaux problèmes est le manque de diversité des habitats. Cette donnée est critique puisqu'elle va contraindre la capacité d'un écosystème à se rétablir. En augmentant l'hétérogénéité des habitats, on aide à restaurer la biodiversité et l'intégrité de l'écosystème. Cette théorie n'a cependant pas beaucoup de preuves : les améliorations locales sont souvent surpassées par les études à large échelle et, à cause du manque de ressources, de temps et d'argent, 90% des projets de restauration ne sont pas surveillés (USA, Australie, Europe) autrement que par une évaluation visuelle. Ces causes pourraient être mitigées par l'utilisation de sciences citoyennes en utilisant des protocoles standardisés de surveillance et des méthodes de mesures quantitatives pour mesurer les critères appropriés. Déployé à large échelle, cette approche offrirait une toute nouvelle perspective avec un coût relativement faible grâce aux avantages précités des sciences citoyennes.

Les projets de restauration seraient ainsi plus personnalisés et les différents résultats,

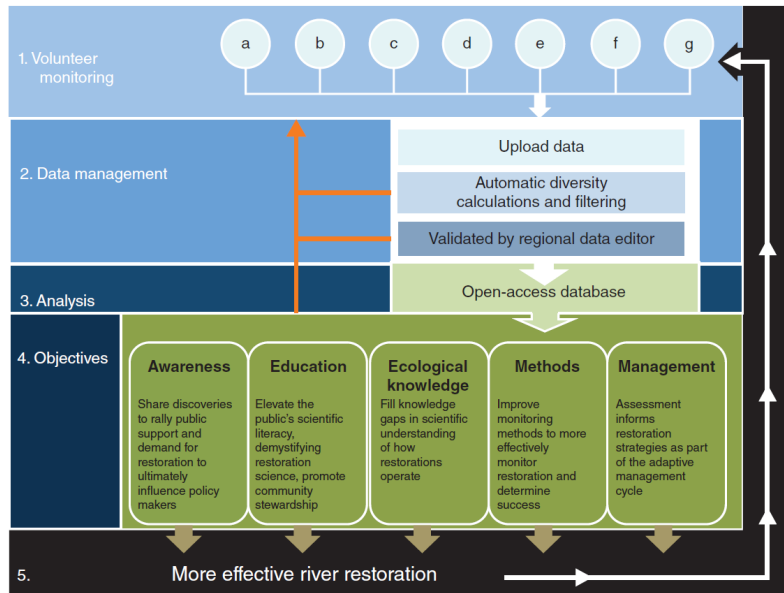


FIGURE 12: RAI framework (source : [HTWB16])

qu'ils soient positifs ou négatifs, seraient utilisés dans un but de guider les efforts et la

4. PARTICIPATION CITOYENNE

recherche. Le RAI prend la Riverfly Monitoring Initiative en modèle mais ajoute l'analyse statistique Before-After Control-Impact (BACI) pour contrôler un point à la fois dans le temps et l'espace. L'analyse BACI rend les données robustes puisqu'elle permet de distinguer les effets de la restauration et ceux des fluctuations saisonnières. L'étude doit cependant être menée sur plusieurs années puisque les prélèvements ne se font plus mensuellement mais annuellement. Les mesures effectuées sont plus nombreuses et le nombre de taxons évalués est plus grand. La différence fondamentale entre le modèle proposé et l'approche de la RMI est que les données sont agrégées pour comprendre les causes de succès ou d'échecs des projets de restauration. Ceci permet d'investir les ressources pour influencer positivement les futurs projets et de compléter la base de données au fur et à mesure de l'évolution des projets.

4.10 Clean Air Carolina

Le Clean Air Carolina (voir cleanaircarolina.org) est une initiative qui vise à améliorer la qualité de l'air en Caroline du nord. Pour atteindre ce but, ils soutiennent entre autres un projet de sciences citoyenne dans lequel les volontaires récoltent des données à la fois à certains endroits fixes mais aussi en mouvement, par exemple à vélo ou en transports publics. Cette approche est motivée par le fait que la qualité de l'air peut changer drastiquement d'un côté à l'autre d'une ville, et une exposition prolongée aux particules peut provoquer des problèmes de santé. Les citoyens peuvent participer aux campagnes de sensibilisation, aux événements de surveillance pour récolter des données ou héberger un capteur pour surveiller la qualité de l'air. Ceux-ci coûtent 450 dollars américains et peuvent être payés par d'autres citoyens, par l'hôte ou par un sponsor. Les résultats sont disponibles librement sur le site web du projet au moyen d'une carte interactive.

4.11 Air Pollution Map

Aux Pays-Bas, des citoyens ont pu aider à cartographier la pollution en utilisant leur smartphone [Smi15]. Les volontaires mesuraient les quantités d'aérosols en suspension dans l'air. La plupart de ces particules sont surveillées et régulées par l'Union-Européenne dans le cadre de la "Air Quality Directive". La plupart du temps, les études sont menées par un groupe d'experts ou par satellites. Cette approche présente le défaut d'être peu distribuée spatialement et avec une faible résolution (10km) pour les images satellite. Il est donc difficile d'établir une carte à la fois globale et précise. Dans le cadre du projet, les volontaires ont attaché un petit périphérique à leur smartphone qui permet d'effectuer les mesures et profite également de certains capteurs du smartphone tel que le GPS. La communication est assurée au moyen d'une application.

Les observations sont faites avec le périphérique installé au travers de l'appareil photo du smartphone, ce qui réduit la qualité des données par rapport à une station professionnelle. Cependant cet aspect est compensé par la large quantité d'échantillons récoltés. L'étude, menée en 2013, a permis de récolter près de 10'000 observations qui ont servi à créer une carte pour montrer les variations au niveau national. Ces observations ont également permis d'étudier l'évolution des concentrations heure par heure dans les grandes villes avec une résolution cinq fois meilleure qu'une étude menée par satellite. Les résultats de l'étude menée par les citoyens volontaires ont été comparés à ce qui avait été mesuré par l'une des stations professionnelles, et ils étaient de très bonne qualité. Cela suggère qu'une

5. CONCLUSION

surveillance de la qualité de l'air par smartphone par une communauté bien coordonnée est potentiellement plus efficace que si elle était basée sur la surveillance par des stations fixes ou par satellites.

4.12 Autres projets, logiciels et applications

Les citoyens volontaires peuvent également contribuer à des projets de sciences citoyennes par le biais d'applications comme Epicollect, INaturalist, Water Reporter, Project Noah, NatureBytes, etc.

INaturalist propose une approche où chacun peut photographier ses observations personnelles et les envoyer à la communauté (par exemple au moyen de son smartphone) et l'application fonctionne sur une très large gamme d'appareils électroniques. La communauté se charge alors d'identifier et répertorier le spécimen. Toutes les données sont partagées avec le l'Établissement pour l'Information sur la Biodiversité Globale (Global Biodiversity Information Facility - GBIF) qui répertorie chaque information reçue avec un total actuel d'un peu plus d'un milliard d'enregistrements.

Epicollect permet à tout un chacun de créer sa propre application de collection de données et de la partager simplement sur tous les appareils qui peuvent l'installer ou disposent d'un accès internet. Les applications créées ne nécessitent pas de connexion active à internet pour fonctionner, seule la transmission finale demande à établir une connexion au serveur. Les données peuvent ensuite être contrôlées, filtrées, modifiées et visualisées.

Water Reporter est une application pour smartphone qui met à disposition des fonctions pour capturer et partager des observations visuelles géolocalisées des points d'eau et de leur état à large échelle. La communauté est surtout présente aux États-Unis.

Project Noah permet également de répertorier ses observations et de les partager, mais celles-ci ne sont pas exclusivement dédiées aux points d'eau ou aux espèces marines. Il n'existe en revanche pas d'application pour Project Noah, chaque photo doit être uploadé sur le site manuellement.

NatureBytes est un boîtier étanche qui permet de photographier les éléments qui passent devant. Cet équipement a été pensé pour capturer des images d'animaux, et particulièrement pour ceux difficiles à observer à cause de leur caractère craintif ou discret. Le boîtier en plastique intègre tout le matériel et logiciel nécessaire pour garantir au Raspberry Pi embarqué de pouvoir prendre les photos de façon autonome durant plusieurs jours. Le Raspberry Pi permet de modifier les périphériques utilisés mais le boîtier est de conception fixe.

5 Conclusion

La surveillance de l'eau et la mise en place de systèmes de gestion renouvelable des ressources hydriques est cruciale puisqu'on constate une croissance de la compétition pour un accès à de l'eau propre. Ceci risque de s'accroître à l'avenir si rien n'est fait pour limiter l'empreinte de l'homme sur les ressources à disposition [EH14]. Les initiatives citoyennes se multiplient, ce qui témoigne d'une forte volonté de participer à l'effort de préservation. Elles ne bénéficient cependant pas toujours d'une visibilité suffisante pour atteindre les objectifs titanesques qui sont fixés. La communication entre les différents projets, si elle existe, n'est jamais mise en avant et représente une opportunité et un défi à la fois. Les techniques de prélèvement et les propriétés observées sont souvent semblables.

Un format de présentation des données unique et standard, comme dans le cas de Mae d'Agua, permet à tous d'accéder aux informations et d'adapter leur traitement à leur propre séquence d'analyse. A plus large échelle, cette homogénéisation ouvre la voie à une collaboration simplifiée entre les différentes initiatives de sciences citoyenne.

Remerciements

A Monsieur François Grey et Madame Rosy Mondardini pour les idées, leur relecture et leur aide en général lors de la rédaction de ce document.

Bibliographie

- [AD10] V. Archaimbault and B. Dumont. L'indice biologique global normalisé (IBGN) : principes et évolution dans le cadre de la directive cadre européenne sur l'eau. *Sciences Eaux and Territoires : la Revue du IRSTEA*, 1(1) :p. 36 – p. 39, 2010.
- [APW⁺17] Zorana J. Andersen, Marie Pedersen, Gudrun Weinmayr, Massimo Stafoggia, Claudia Galassi, Jeanette T. Jørgensen, Johan N. Sommar, Bertil Forsberg, David Olsson, Bente Oftedal, Gunn Marit Aasvang, Per Schwarze, Andrei Pyko, Göran Pershagen, Michal Korek, Ulf De Faire, Claes-Göran Östenson, Laura Fratiglioni, Kirsten T. Eriksen, Aslak H. Poulsen, Anne Tjønneland, Elvira Vaclavik Bräuner, Petra H. Peeters, Bas Bueno-de Mesquita, Andrea Jaensch, Gabriele Nagel, Alois Lang, Meng Wang, Ming-Yi Tsai, Sara Grioni, Alessandro Marcon, Vittorio Krogh, Fulvio Ricceri, Carlotta Sacerdote, Enrica Migliore, Roel Vermeulen, Ranjeet Sokhi, Menno Keuken, Kees de Hoogh, Rob Beelen, Paolo Vineis, Giulia Cesaroni, Bert Brunekreef, Gerard Hoek, and Ole Raaschou-Nielsen. Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of brain tumor : the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Neuro-Oncology*, August 2017.
- [Ash04] Nicholas John Ashbolt. Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions. *Toxicology*, 198(1-3) :229–238, May 2004.
- [Cou17a] United Nations Economic and Social Council. Progress towards the Sustainable Development Goals. Technical report, United Nations, May 2017.
- [Cou17b] United Nations Economic and Social Council. Progress towards the Sustainable Development Goals. Technical report, United Nations, June 2017.
- [DFFK09] Scott C. Doney, Victoria J. Fabry, Richard A. Feely, and Joan A. Kleypas. Ocean Acidification : The Other CO₂ Problem. *Annual Review of Marine Science*, 1(1) :169–192, January 2009.
- [DR08] Robert J. Diaz and Rutger Rosenberg. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *science*, 321(5891) :926–929, 2008.
- [EH14] A. Ertug Erçin and Arjen Y. Hoekstra. Water footprint scenarios for 2050 : A global analysis. *Environment International*, 64 :71–82, March 2014.
- [FS16] Yves Flückiger and Nikhil Seth. Sustainable Development Goals : SDG indicators need crowdsourcing. *Nature*, 531(7595) :448–448, March 2016.
- [fSD] World Business Council for Sustainable Development. Global Water Tool.
- [Gir91] Isabelle Giroux. Contamination de l'eau souterraine par les pesticides et les nitrates dans les régions en culture de pommes de terre. *Campagnes d'Echantillonnage*, pages 1992–1993, 1991.
- [HGMH⁺07] O. Hoegh-Guldberg, P. J. Mumby, A. J. Hooten, R. S. Steneck, P. Greenfield, E. Gomez, C. D. Harvell, P. F. Sale, A. J. Edwards, K. Caldeira, N. Knowlton, C. M. Eakin, R. Iglesias-Prieto, N. Muthiga, R. H. Bradbury, A. Dubi, and M. E. Hatziolos. Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science*, 318(5857) :1737–1742, December 2007.

-
- [HTWB16] Joseph E. A. Huddart, Murray S. A. Thompson, Guy Woodward, and Stephen J. Brooks. Citizen science : from detecting pollution to evaluating ecological restoration : Detecting pollution to evaluate ecological restoration. *Wiley Interdisciplinary Reviews : Water*, 3(3) :287–300, May 2016.
- [HWB⁺10] Hanafi Hanafi, Marion Warigia, Robert F. Breiman, Marvin Godsey, David Hoel, Joel Lutomiah, Hellen Koka, Monica O’Guinn, Barry Miller, Caroline Ochieng, John S. Lee, David Schnabel, Elizabeth Kioko, Jason Richardson, and Rosemary Sang. Rift Valley Fever Virus Epidemic in Kenya, 2006/2007 : The Entomologic Investigations. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 83(2_Suppl) :28–37, August 2010.
- [KSC⁺08] Younghun Kim, Thomas Schmid, Zainul M. Charbiwala, Jonathan Friedman, and Mani B. Srivastava. NAWMS : nonintrusive autonomous water monitoring system. In *Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems*, pages 309–322. ACM, 2008.
- [LNVS15] Yonglong Lu, Nebojsa Nakicenovic, Martin Visbeck, and Anne-Sophie Stevance. Policy : Five priorities for the UN Sustainable Development Goals. *Nature News*, 520(7548) :432, April 2015.
- [Lor14] David Lordkipanidze. CHE LIANG/IMAGINECHINA. *Nature*, 503 :3, April 2014.
- [LWF⁺16] Peng Liu, Xining Wang, Jiayin Fan, Wenxin Xiao, and Yan Wang. Effects of Air Pollution on Hospital Emergency Room Visits for Respiratory Diseases : Urban-Suburban Differences in Eastern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(3) :341, March 2016.
- [Nata] United Nations. Goal 3 . . : Sustainable Development Knowledge Platform.
- [Natb] United Nations. Goal 6 . . : Sustainable Development Knowledge Platform.
- [Natc] United Nations. High-level Political Forum . . : Sustainable Development Knowledge Platform.
- [Nat09] United Nations. *Millennium Development Goals Report 2009 (Includes the 2009 Progress Chart)*. United Nations Publications, 2009. Google-Books-ID : wDro5dHnTk4C.
- [Pro18] Sotiris Nikolettseas Visiting Professor. Course “Distributed Algorithms for Wireless Sensor Networks” Lecture 1 : Introduction / Data propagation algorithms I, 2018.
- [PTN⁺95] C. Arden Pope, Michael J. Thun, Mohan M. Namboodiri, Douglas W. Dockery, John S. Evans, Frank E. Speizer, and Clark W. Heath. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 151(3) :669–674, 1995.
- [RKG⁺14] S. S. Rabotyagov, C. L. Kling, P. W. Gassman, N. N. Rabalais, and R. E. Turner. The Economics of Dead Zones : Causes, Impacts, Policy Challenges, and a Model of the Gulf of Mexico Hypoxic Zone. *Review of Environmental Economics and Policy*, 8(1) :58–79, January 2014.
- [RN17] Himanshu Rana and Nirvair Neeru. Water Detection using Satellite Images Obtained through Remote Sensing. *Advances in Computational Sciences and Technology*, 10(6) :18, 2017.
- [Smi15] Carla Smith. Citizen scientists map air pollution with smartphones. *Sciences for Environment Policy : European Commission DG Environment News Alert System*, page 1, February 2015.

-
- [TCC⁺93] Maria da Glória Lima Cruz Texeira, Maria da Conceição Nascimento Costa, Vera Lúcia Pires de Carvalho, Manuel dos Santos Pereira, and Eduardo Hage. Gastroenteritis epidemic in the area of the Itaparica Dam, Bahia, Brazil. *PAHO*, pages 244–253, 1993.
- [Uni16] Yale University. EPI Global Metrics For Environment. Technical report, Yale University, 2016.
- [Wik17a] Wikipedia. Millennium Development Goals, September 2017. Page Version ID : 799269006.
- [Wik17b] Wikipedia. Sustainable Development Goals, October 2017. Page Version ID : 803484076.