

Apprendre en participant à des projets « citizen science » numériques

Daniel Schneider^{*}, Laure Kloetzer^{**}
et Julien DaCosta^{*}

^{*}*Université de Genève*
^{**}*Université de Neuchâtel*

Introduction

La science citoyenne¹ est une forme de science participative dans laquelle se forme un partenariat entre chercheur·e·s et grand public pour collecter et analyser des données (Cohn, 2008 ; Haklay, 2013 ; Silvertown, 2009). Grâce aux technologies web et mobiles, elle se développe depuis une décennie sur des formats numériques. Baptisée « citizen cyberscience » (Grey, 2009 ; Newman, 2014), « virtual citizen science » (Reed, Rodriguez, & Rickhoff, 2012) ou science citoyenne numérique (SCN) en français, elle rassemble des millions de bénévoles. Les connaissances et processus d'apprentissage stimulés par ces projets sont encore peu explorés et nous allons en présenter un premier état de l'art.

1. Nous traduisons « citizen science » par « science citoyenne » (au singulier) lorsque nous nous référons à ce champ interdisciplinaire émergent qui définit un ensemble d'approches participatives pour faire de la recherche. Nous utilisons « sciences citoyennes » (au pluriel) pour désigner des projets divers qui utilisent ce type d'approches.

Le terme de science citoyenne est apparu à la fin du XX^e siècle (Irwin, 1995) et sa définition est entrée en 2014 dans le *Oxford English Dictionary*². Toutefois, la participation du public à la science relève d'une longue tradition. Avant sa professionnalisation à la fin du XVIII^e siècle, la majorité de la recherche était conduite par des amateurs et amatrices (Miller-Rushing, Primack, & Bonney, 2012). La collecte massive de données par le public remonte à plus de 3 500 ans (Tian, *et al.*, 2011, cités par Miller-Rushing, *et al.*, 2012).

La science citoyenne s'est développée d'abord en sciences de la vie, de l'environnement et de la terre à travers la participation de « scientifiques amateurs et amatrices » à des projets tels que le recensement et la conservation d'espèces ou la surveillance climatique et environnementale. Le premier projet de science citoyenne identifié comme tel est un projet ornithologique (Christmas Bird Count) conduit chaque année depuis 1900 par la National Audubon Society (Silvertown, 2009). Participative mais non interventionniste, la science citoyenne se distingue de la recherche-action (Barbier, 1996) qui s'est parallèlement développée en sciences sociales. Aujourd'hui, il existe une intersection entre ces deux traditions, parfois nommée science communautaire³, affichant la volonté de transformer la réalité politique, sociale et écologique au sein de laquelle le projet de recherche évolue. Dans leurs formes les plus militantes, certains projets remettent en question la frontière entre chercheur-e-s et citoyen-ne-s, et militent pour une participation accrue à la recherche passant par une augmentation des connaissances des citoyen-ne-s et une ouverture des processus de décision vers la « cité ». La communauté « public lab », née aux Etats-Unis dans les années 2000, fournit ainsi un outillage scientifique « Do It Yourself » permettant aux citoyen-ne-s de s'engager dans des projets sociétaux et environnementaux transformatifs. Il existe d'autres types de projets entièrement menés par le public tels que la cartographie des orchidées en France initiée par la Société d'orchidophilie (Mathieu, 2011). Toutefois, la majorité des projets de science citoyenne adopte une forme organisationnelle « classique » où le public participe à des projets initiés, structurés et coordonnés par une équipe de recherche. Une nouvelle science citoyenne numérique offre une forme d'interaction médiatisée, où des citoyen-ne-s volontaires collaborent en ligne avec des scientifiques professionnel-le-s pour conduire des recherches (Grey, 2009 ; Haklay, 2013 ; Newman, *et al.*, 2012 ; Reed, *et al.*, 2012).

2. *Noun*: The collection and analysis of data relating to the natural world by members of the general public, typically as part of a collaborative project with professional scientists: "the director of education sees a need for citizen science in astronomy".

3. Dont font partie les travaux du groupe « extreme citizen science » (repéré à <https://www.ucl.ac.uk/excites>) et du « Public Laboratory » (repéré à <https://publiclab.org/>).

Ce qu'apportent les technologies web et mobiles aux sciences citoyennes

Les technologies web et mobiles influencent de diverses façons le développement de la science citoyenne.

Premièrement, elles permettent de recruter plus de participant-e-s en assurant une possibilité de participation à tout amateur ou amatrice bénévole partout dans le monde – y compris s'il ou elle est peu mobile pour des raisons d'âge, de santé, ou de travail par exemple –, et en attirant l'attention sur des thématiques spécialisées.

Deuxièmement, les technologies fournissent aux chercheur-e-s une infrastructure pour la conception et la gestion de leur projet SCN. Des plateformes de type Zooniverse ou Crowdcrafting⁴ simplifient la création des projets. Les applications pour smartphones, les réseaux de capteurs sans fil ou les jeux vidéo en ligne font évoluer les pratiques de récolte et de partage des données. Ces technologies outillent le grand public ayant peu de temps disponible (Clery, 2011), lui permettant de récolter des données précises (photographie, enregistrement audio, pollution de l'air, température, bruit, luminosité) et géo-localisées (Goodchild, 2007).

Troisièmement, les possibilités techniques ouvrent la voie à des formes de recherches nouvelles et créatives, en particulier en associant sous une forme ludique, intelligence humaine largement distribuée et intelligence artificielle pour la résolution de problèmes complexes. En témoignent les succès scientifiques rencontrés par exemple par les jeux de sciences citoyennes EyeWire et Foldit⁵. Le premier invite les joueurs et joueuses à résoudre collaborativement des puzzles 3D dont les solutions permettent de cartographier la structure neuronale du cerveau humain. Le second porte sur le pliage des protéines, dont la structure n'a pu être découverte par des algorithmes informatiques. En seulement trois semaines, certains joueurs et joueuses de ce projet SCN ont pu déterminer la structure de la protéase rétrovirale du virus M-PMV⁶, un exploit qui n'avait pu être réalisé en dix ans par l'équipe de recherche (Khatib, *et al.*, 2011).

Quatrièmement, les modalités d'interaction des scientifiques et des amateurs et amatrices se transforment. En particulier, les bénévoles ont des moyens de communiquer entre eux (chat, forums, wikis des projets) à propos du projet et des questions qu'il peut soulever.

4. Repérées à <http://www.zooniverse.org/> et <http://crowdcrafting.org/>

5. Repérés à <http://eyewire.org/explore> et <https://fold.it/portal/>

6. « Mason-Pfizer monkey virus », ou virus Mason-Pfizer simien, qui induit le syndrome d'immunodéficience acquise du singe (sida simien).

Les technologies web et mobiles transforment également les projets basés sur l'observation et la collecte d'informations dans la nature, en faisant évoluer les modalités de formation des participant-e-s, de collecte et de partage des données, les retours offerts aux participant-e-s, le partage des analyses, la diffusion des protocoles, etc., *in fine* toutes les étapes d'un processus qui semble se dérouler en majeure partie loin du monde numérique.

Forme de participation et types de projets SCN

Les projets SCN couvrent un continuum depuis les projets initiés par une équipe de recherche, et auxquels les amateurs et amatrices sont invités à contribuer, jusqu'à ceux qui sont initiés par une communauté qui se tourne ensuite vers des ressources scientifiques (outils ou chercheur-e-s) pour les mener à bien. Le processus de recherche comprend de multiples étapes auxquelles le public peut participer. Bonney, Ballard, *et al.*, (2009, p. 11) proposent plusieurs critères pour classer les projets. Le public peut : participer au choix ou la définition des questions de l'étude, à la collecte d'informations et de ressources, à la formulation d'hypothèses, à la définition des méthodes de collecte de données, à la collecte de données, à l'analyse de données, à l'interprétation des données, à la discussion des résultats, et à la diffusion de conclusions. On distingue trois formes organisationnelles :

- Une simple contribution à un projet défini par des chercheur-e-s, notamment à des fins de collecte et de catégorisation des données.
- Une implication plus importante dans l'analyse, l'interprétation des données et la diffusion des résultats.
- Une co-création de projet où population et chercheur-e-s définissent ensemble les objectifs et où certains membres s'investissent dans toutes les étapes.

A partir de ces axes, nous pouvons catégoriser les projets SNC en quatre catégories :

- *Les projets de calculs distribués* (« volunteer computing ») : les participant-e-s mettent à disposition du temps de calcul sur leurs ordinateurs à travers une infrastructure de calcul distribué. La plateforme la plus connue est la « Berkeley Open Infrastructure for Network Computing » (BOINC), avec près d'un demi-million de participant-e-s. Participer implique aussi une réflexion basée sur le choix : à quels projets donner du temps de calcul et combien ?
- *Les projets de collecte distribuée* (« crowd sensing », « volunteer sensing », « participatory mapping ») : les participant-e-s collectent des données

ou échantillons par des observations ou par divers types de capteurs mobiles. Ces données, parfois géo-localisées, sont transmises à l'équipe de recherche.

- *Les projets de cognition distribuée* (« volunteer thinking ») : ces projets se caractérisent par la réalisation de micro-tâches qu'un ordinateur ne peut pas réaliser sans assistance humaine, telles que la classification d'images ou la transcription. Il existe aussi des activités plus complexes impliquant la résolution de problèmes.
- *Les projets de recherche-action participatifs* (science communautaire, « extreme citizen science », « public lab ») : ces projets initiés par des chercheur·e·s ou par une communauté d'amateurs et amatrices engagés donnent une responsabilité accrue à tous les participant·e·s, aussi bien dans le choix du domaine d'étude que dans sa réalisation et son exploitation.

Infrastructure des projets SCN

Les projets SCN sont soutenus par les technologies à deux niveaux⁷ :

- un ensemble d'outils techniques fournissent à l'initiateur ou initiatrice d'un projet des solutions plus ou moins spécialisées pour la réalisation d'un type de projet. A titre d'exemple, Pybossa est une structure logicielle *open source* permettant la mise en place de projets SCN de type cognition distribuée. EpiCollect.net permet de créer des formulaires géolocalisés pour mobiles et l'hébergement de projets de collecte distribuée. BOINC propose des outils pour la mise en place d'une architecture serveur/client⁸ aux projets de calculs partagés.
- Des plateformes centralisées, telles que Zooniverse (plus d'un million de membres), BOINC (environ 500 000 membres) ou plus récemment Crowdcrafting (environ 50 000 membres), organisent le support, la diffusion et le regroupement des projets et mutualisent des communautés de volontaires.

La science citoyenne numérique est en expansion et la contribution des bénévoles à la collecte et à l'analyse des données scientifiques commence à être documentée (Dickinson, Zuckerberg, & Bonter, 2010). Mais que retirent les volontaires de leur participation ?

7. Une liste est disponible à l'adresse http://edutechwiki.unige.ch/en/Portal:_citizen_science

8. *Architecture client-serveur*, organisation des éléments composant un système informatique qui met en relation des clients (p. ex. l'ordinateur personnel) avec un serveur (où sont stockées les données consultées depuis le client) (*Grand Robert de la langue française*, version numérique, 2016).

Apprendre en sciences citoyennes numériques

Les raisons de s'intéresser à l'apprentissage en SCN sont doubles. Premièrement, elles offrent un support intéressant d'éducation et d'apprentissage scientifique informel aux personnes intéressées par la science mais inégalement formées. Deuxièmement, elles forment une ressource supplémentaire pour initier des enfants à la culture scientifique, à l'école ou en dehors, que nous n'aborderons pas dans cette contribution. Nous nous concentrerons sur tout ce que peuvent apprendre les volontaires en participant aux projets SCN. Notre objectif est d'observer – à la façon d'un·e ethnographe – tout ce que les participant·e·s peuvent apprendre et de quelle manière ils s'y prennent. Nous n'allons pas, dans cet article, nous demander si des objectifs pédagogiques définis par ces projets sont atteints, ce qui est une autre question.

Selon van Merriënboer et de Bruin (2014),

l'apprentissage est inhérent à toute vie humaine. Les gens apprennent en faisant, en explorant, en écoutant, en lisant des livres, en étudiant des exemples, en étant récompensé, en découvrant, en faisant et testant des prédictions, par essais et erreurs, par l'enseignement, par abstraction d'expérience concrète, par observations des pairs, en résolvant les problèmes, en analysant l'information, par la répétition, en s'interrogeant, en paraphrasant l'information, en discutant, par l'intermédiaire d'analogies, en prenant des notes, et ainsi de suite. (p. 21)

L'apprentissage est abordé par de multiples familles théoriques peu compatibles entre elles et qui privilégient l'étude de certains types d'apprentissages. Puisque nous nous intéressons à toute la palette, allant de micro-apprentissages jusqu'à l'acquisition de schémas et aux transformations identitaires, notre démarche est plutôt inductive à ce stade et proposera une proto-théorie sur l'apprentissage informel et incident en SCN.

Vers l'étude des savoirs et compétences construits au sein des projets SCN

Les études jusqu'à présent s'intéressent aux apprentissages spécifiques et exigent parfois qu'ils soient planifiés: « l'augmentation des programmes de science citoyenne au cours des deux dernières décennies suggère que nous devons évaluer leur efficacité au regard d'objectifs pédagogique définis » (Crall, *et al.*, 2012). Les études, qui s'inspirent de celles plus nombreuses sur l'éducation scientifique informelle dans des lieux de culture tels que les musées, zoos et aquariums (Brossard, Lewenstein, & Bonney, 2005), se concentrent sur les liens entre participation et alphabétisation scientifique

(Bonney, Cooper, *et al.*, 2009 ; Bonney, Phillips, Ballard, & Enck, 2016 ; Crall, *et al.*, 2012 ; Cronje, *et al.*, 2011 ; Masters, *et al.*, 2016 ; Price & Lee, 2013) ou sur l'acquisition de connaissances disciplinaires (Jordan, Ballard, & Phillips, 2012 ; Jordan, *et al.*, 2011). Un regard sur leurs résultats met en lumière :

- les effets de la participation sur la culture scientifique sont difficiles à évaluer. Aucun effet sur la culture scientifique ou l'attitude envers la science n'a pu être démontré avec des mesures quantitatives ou sur de courtes périodes d'évaluation. Cependant, des améliorations notables ont été constatées avec des designs à long terme (six mois) ou via des méthodes qualitatives.
- L'évaluation de la culture scientifique ou des changements d'attitude envers la science reste difficile faute d'outils d'évaluation suffisamment adaptés (aux besoins de chaque projet) et génériques (pour des besoins de comparaison). L'évolution des connaissances disciplinaires est en revanche plus simple à détecter.
- La corrélation des données sur l'apprentissage avec le parcours des participant·e·s révèle un lien positif entre apprentissage et participation sociale, mais aucun lien avec la quantité de données fournies ou de tâches effectuées.

Beaucoup de ces études s'intéressent aux projets de conservation classiques en sciences citoyennes en ne tenant compte ni de la diversité et de la spécificité des projets numériques ni de la richesse des différents contenus et formes d'apprentissages.

En outre, des recherches transversales montrent que les apprentissages de haut niveau effectués dans les projets SCN apparaissent comme non structurés, informels et éminemment sociaux (Kloetzer, *et al.*, 2013) au sein d'une communauté impliquant de nombreux acteurs et actrices : scientifiques, participant·e·s, institutions qui hébergent les projets, leaders de communauté qui servent de liaison entre les scientifiques et les participant·e·s, et le personnel de soutien tels que éducateurs et éducatrices, évaluateurs et évaluatrices, technicien·ne·s et spécialistes de la communication. Une analyse des SCN comme « système d'activité » (Engeström, 1999) souligne non seulement l'apprentissage collectif incorporé dans les praxis, ou l'activité pratique orientée vers un but commun, mais aussi l'évolution et les changements historiques de l'ensemble du système. Sur ce sujet de recherche encore exploratoire, les modèles théoriques pour caractériser les apprentissages sociaux en SCN sont ouverts et relativement insatisfaisants. Ces modèles puisent leurs origines dans l'apprentissage en situation de travail, les communautés de pratique, l'apprentissage situé et distribué, différentes approches constructivistes, et les théories historico-culturelles de l'activité.

Le projet de recherche Citizen Cyberlab

Le projet européen Citizen Cyberlab⁹ (FP7, 2012–2015) a permis d’aborder l’apprentissage dans des projets SCN de façon large. Il poursuivait plusieurs objectifs, dont : (1) développer une infrastructure et des projets pilotes qui favorisent l’apprentissage et la créativité, (2) concevoir des outils d’observation, d’analyse et d’évaluation de projets SCN, (3) explorer les motivations, les apprentissages et la créativité des participant-e-s, (4) proposer des principes de conception pour des plateformes SCN favorisant l’apprentissage. En ce qui concerne l’apprentissage, nos questions de recherche étaient les suivantes : (1) qu’apprennent les participant-e-s dans ces projets ? (2) comment apprennent-ils, quels sont les activités et processus qui peuvent influencer ces apprentissages ? Ces deux questions nous ont également conduits à qualifier différents types d’engagement des participant-e-s dans les projets ainsi qu’à nous demander s’il existe des différences entre projets et types de projets en ce qui concerne ces questions.

Dispositif de recherche pour identifier et étudier les formes d’apprentissages

L’étude sur le « que » et le « comment » de l’apprentissage a été menée en trois phrases.

Nous avons dans un premier temps étudié une dizaine de projets populaires en se concentrant sur BOINC pour le calcul distribué, Old Weather pour la cognition distribuée et Eyewire, qui est un jeu scientifique. Trente-neuf entretiens ont été menés, transcrits et analysés (tableau 1).

Tableau 1 : Entretiens et sondages, phase 1

Project	Transcripts	Chercheur-e-s	Participant-e-s	Sondage
Old Weather	18	1	17	
BOINC	8	1	7	N=150
Eyewire	6	1	5	
Transcribe Bentham	3	2	1	
Bat Detective	2	4 (focus group)	1	
ExCiteS	2	2	0	

Dans une deuxième phase (tableau 2), sur la base des résultats qui montrent une grande variété de formes d’apprentissages informels et incidents, nous

9. Repéré à <http://www.citizenlab.org/>

avons contribué à la conception de projets pilotes : iGEM, un programme de sensibilisation/immersion en biologie synthétique ; GeoTagX, un projet de l'ONU qui rassemble vingt-trois sous-projets de « crowdsourcing » en gestion de désastres ; Virtual Atom Smasher, un projet du CERN en physique quantique ; et finalement les projets « Extreme Citizen Science » Do It Yourself Playshop et Air Quality Management. Analyser et évaluer l'apprentissage dans ces SCN représentait un défi étant données la variété des dispositifs et la diversité des apprentissages, souvent informels et non planifiés. A cette fin nous avons développé un plan d'évaluation croisant de multiples méthodes (observations, entretiens, questionnaires, journaux d'activité, expériences et laboratoire, traces...).

Tableau 2 : Plan d'évaluation, phases 2 et 3

	GeoTag-X	Virtual Atom Smasher	Synthetic Biology pilot		Extreme Citizen Science		Enquête ILICS
			iGEM	Hero. Coli	Play shops	AQM	
Liste critériée de fonctions	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Enquêtes et tests par questionnaire	Prétest et background (N=221), post-test après 30 tâches (N=55)	Background (N=419), prétest/post test après 1h (N=57)	Pré/post (N=12) auto-positionnement. Enquête (N=242)	-	✓	✓	(N=925, 3500 partiels)
Entretiens	13	11	54 pre/post		23	13	
Entretiens chercheur-e-s	2	2	2		1	2	
Contenus en ligne (blog/wiki)					✓		
Traces d'activités en ligne	✓	✓	✓				
Observation en laboratoire	✓			✓			

Dans une troisième phase (tableau 2), nous avons évalué les projets pilotes développés dans la phase 2 et nous avons confronté les résultats aux données d'une enquête (ILICS) réalisée parallèlement par nos soins portant sur un large panel de participant-e-s en sciences citoyennes (925 répondant-e-s

et 3 500 réponses partielles représentant plus de 50 projets à l'échelle mondiale).

Résumé des résultats

Les données des projets pilotes à gouvernance institutionnelle ou scientifique (GeoTag-X et Virtual Atom Smasher) et le questionnaire ILICS aboutissent aux conclusions suivantes :

- (a) La plupart des participant-e-s ont l'impression d'apprendre, mais seule une minorité déclare apprendre beaucoup. Dans la plupart des cas, l'apprentissage n'est pas planifié au départ, mais se transforme en facteur motivationnel.
- (b) Les apprentissages comme leurs processus sont variés et complexes et vont bien au-delà des éléments relevés dans la littérature. Ce que les participant-e-s pensent apprendre, et la façon dont ils pensent l'apprendre, varie non seulement d'un projet à l'autre, mais d'une personne à l'autre, sans lien simple avec des indicateurs classiques (type de projet, niveau de formation, âge ou sexe, heures de participation, type de ressources consultées, etc.).
- (c) Le niveau de difficulté de la tâche a un effet sur la participation et le type d'apprentissage, mais des tâches simples peuvent générer autant d'apprentissages que des tâches complexes. Certains projets exigent des connaissances préalables qu'il faut acquérir le cas échéant, mais même les projets « simples » peuvent offrir des opportunités indirectes pour apprendre des compétences et savoirs plus complexes.
- (d) L'apprentissage par les pairs à travers l'implication dans une communauté joue un rôle essentiel dans les apprentissages les plus intenses relevés par les chercheur-e-s comme par les participant-e-s et dans la motivation à participer à long terme.
- (e) Les participant-e-s expriment des préférences pour apprendre très variées (poser des questions, consulter la documentation officielle, chercher sur Internet, etc.).
- (f) Un facteur corrélé à des profils élevés d'apprentissage est l'implication dans le projet simultanément au niveau micro (au niveau des tâches principales du projet lui-même) et macro (dans les activités de soutien autour du projet), en particulier comme responsable dans une communauté active de volontaires motivés.

Dans la suite, nous allons présenter des éléments qui sont d'intérêt plus général : une taxonomie d'apprentissage, une réflexion sur les modèles d'apprentissage, et un modèle systémique.

Vers une proto-théorie des apprentissages dans les projets SCN

Les résultats considérés jusqu'ici (résultats du projet Citizen Cyberlab, littérature scientifique) soulignent la multiplicité des formes que prend l'apprentissage dans les projets SCN.

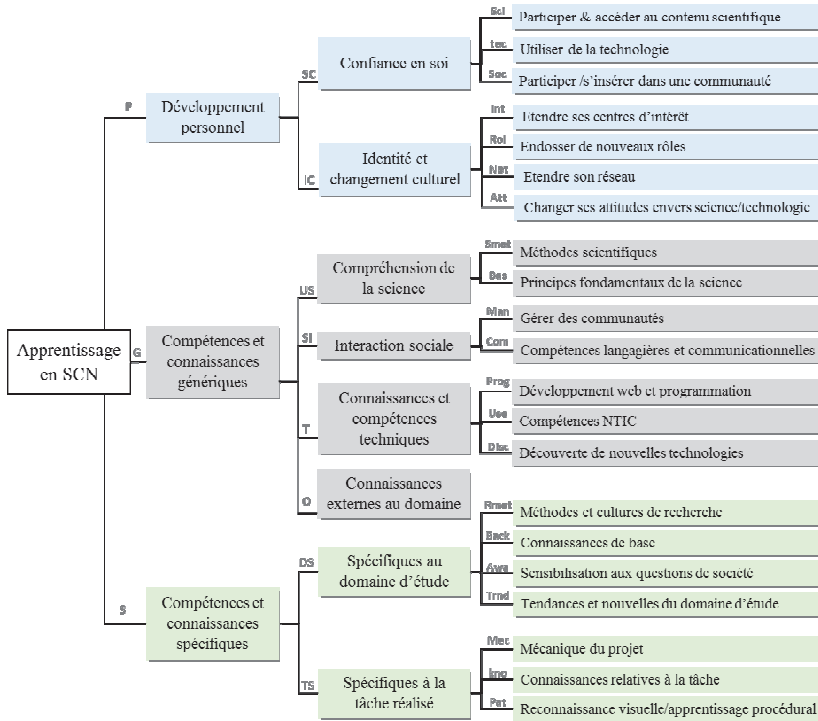
Une taxonomie des apprentissages informels et potentiels en sciences citoyennes

Les travaux conduits dans le cadre du projet Citizen Cyberlab ont révélé la diversité des apprentissages, aussi bien en termes de contenu (quoi) que de processus d'apprentissage (comment). L'apprentissage est déclenché par la volonté d'accomplir au mieux les tâches nécessaires pour contribuer au projet scientifique. Les difficultés rencontrées, ou les questions et l'intérêt qu'elles génèrent, amènent à des activités de soutien comme la lecture d'un tutoriel ou poster une question dans un forum. A force de fréquenter le projet et la communauté, les participant-e-s peuvent endosser de nouveaux rôles pour le projet ou l'animation de la communauté, qui constituent autant d'opportunités de développement.

Une première taxonomie des apprentissages informels potentiels (figure 1) a été développée à partir des entretiens de la première phase et a été utilisée pour guider les analyses dans les phases 2 et 3. La taxonomie aide à concevoir des enquêtes génériques, développer des indicateurs statistiques d'apprentissage ou créer des guides d'entretiens, et contribue également à une proto-théorie des apprentissages en SCN. Elle distingue trois catégories principales :

- *Développement personnel* : la confiance des participant-e-s quant à leur capacité à contribuer à des activités scientifiques, technologiques/numériques, ou sociales ; et les transformations identitaires.
- *Connaissances et compétences génériques* : les apprentissages scientifiques (« scientific literacy »), numériques, langagiers ou relatifs à l'interaction sociale (traduction, règles et usage des forums communautaires, etc.). Certains projets SCN se révèlent être des portes d'entrée vers des domaines de connaissances éloignés du projet initial (p. ex. vers la géographie et l'histoire militaire depuis la météorologie pour le projet Old Weather).
- *Connaissances et compétences spécifiques* : connaissances thématiques relatives au domaine d'étude du projet SCN (par exemple, les noms des espèces pour le Project Noah) et compétences spécifiques à la tâche (mécanismes et interface du projet).

Figure 1 : Taxonomie des apprentissages informels potentiels dans les projets SCN



Ebauche de réflexion théorique sur l'apprentissage en sciences citoyennes

Malgré le bénévolat inhérent aux SCN, on retrouve des parallèles avec le « workplace learning » et notamment le principe des espaces d'opportunités pour apprendre. Selon Billett (2001), « Les opportunités du lieu de travail permettant aux individus de s'engager dans des activités de travail et d'obtenir un soutien direct et indirect sont un facteur déterminant de la qualité de l'apprentissage dans les lieux de travail et peuvent favoriser l'engagement des individus »¹⁰. Transposé dans le contexte des SCN, les participant-e-s peuvent s'engager et apprendre plus si le système est réactif et ouvert par rapport à leurs initiatives et s'il existe une communauté de

10. « The readiness of the workplace to afford opportunities for individuals to engage in work activities and access direct and indirect support is a key determinant of the quality of learning in workplaces. This readiness can promote individuals' engagement ».

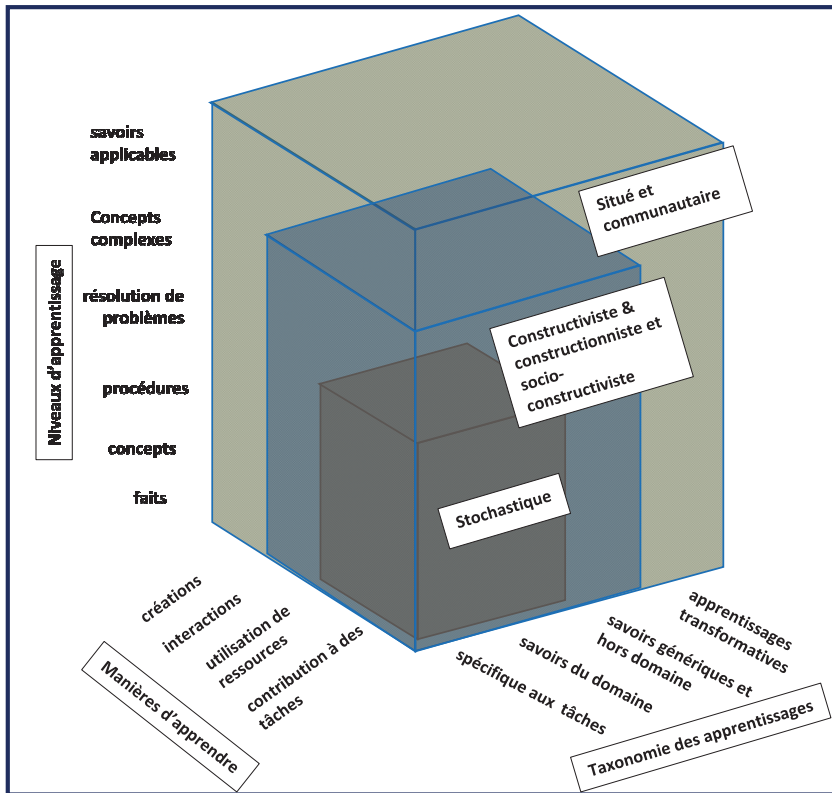
bénévoles active ouverte à l'échange et qui invite à assumer de nouveaux rôles.

L'acquisition de compétences et le développement personnel répertoriés dans la taxonomie reposent sur une variété de types/niveaux d'apprentissages (faits, concepts, procédures, heuristiques, concepts complexes, savoirs applicables). Les participant-e-s apprennent à travers des stratégies différentes (dont surtout la contribution aux tâches, l'utilisation de ressources internes ou externes, les interactions avec des pairs, diverses créations) et ils expriment à ce sujet des préférences variées.

Etant donnés la variété des contenus et des formes d'apprentissages identifiés, il est prématuré de formuler un modèle d'apprentissage en SCN basé sur une seule théorie d'apprentissage. Selon le phénomène à étudier, certains cadres théoriques sont plus pertinents que d'autres.

Nous émettons l'hypothèse que les théories stochastiques béhavioristes/cognitivistes (Anderson, 1996) peuvent expliquer comment les participant-e-s acquièrent puis articulent de « petites unités de savoir » en pratiquant l'exécution de tâches, la mémorisation de faits, des concepts simples et des procédures. Des théories constructivistes, constructionnistes (Ackermann, 1996) et socio-constructivistes (Doise & Mugny, 1984) expliquent l'apprentissage de compétences génériques et de concepts complexes non nécessaires à la réussite des tâches, mais correspondant aux activités dans lesquelles certains participant-e-s s'engagent autour de ces tâches. Enfin, les théories situées (Brown, Collins, & Duguid, 1989) et des communautés d'apprentissage (Lave & Wenger, 1991) permettent d'aborder le « devenir » des participant-e-s qui créent des artefacts pour la communauté ou d'autres parties prenantes. Globalement, nous distinguons entre des apprentissages « additifs », qui concernent la majorité des participant-e-s, et des formes structurelles et transformatives, qui concernent la minorité active. Ces diverses formes peuvent interagir : on ne peut pas créer un artefact tel un tutoriel sans comprendre des concepts et procédures élémentaires. Aussi, l'exécution de tâches simples se produit dans le cadre d'un engagement communautaire et dans un contexte de connaissances « supérieures » (figure 2) activées. La figure suivante illustre cet enchâssement des théories de l'apprentissage que l'on peut mobiliser pour situer les apprentissages dans les SCN.

**Figure 2 : Cube des apprentissages en SCN
avec théories enchâssées**



Ce cube présente un défi scientifique : comment thématiser une large palette d'apprentissages dans un cadre théorique unifié ? Cette question reste ouverte.

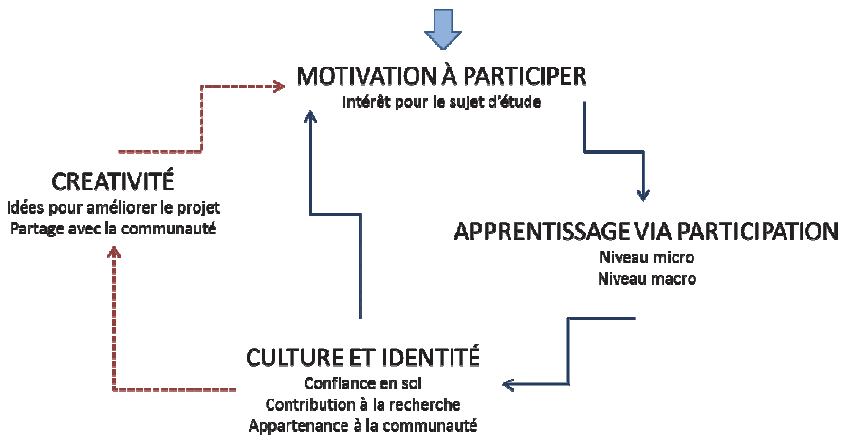
L'apprentissage comme fonction systémique

Un projet SCN est un système qui fonctionne et évolue grâce aux opportunités de participer, apprendre et créer. Le modèle Motivation, Learning and Creativity (MLC – Jennett, *et al.*, 2016) propose de concevoir l'apprentissage des participant-e-s actifs comme résultant de différentes formes de participation dynamiquement liées aux enjeux motivationnels et aux perspectives créatives qu'offre le projet (figure 3).

Nos observations et entretiens mettent en évidence un système de boucles rétroactives (cycle vertueux) :

- Un-e participant-e améliore ses connaissances et compétences en réalisant des tâches et il partage ce travail avec une communauté qui réagit de façon positive, en répondant à ses questions par exemple. Avec l'expérience, son expertise sur le projet augmente et contribue à accroître sa confiance en lui, ce qui améliore sa motivation, ses performances, et sa volonté de partager.
- Ce processus est lié à la dimension communautaire du projet, influant sur l'identité du/de la participant-e (être reconnu-e compétent-e dans un domaine d'intérêt, être soutenu-e par les membres et pouvoir en soutenir d'autres en retour).
- Les rôles spécifiques, mais aussi les contributions personnelles créatives tendent à renforcer ce processus, car elles caractérisent un-e participant-e au sein d'une communauté, lui permettant d'être reconnu-e et apprécié-e par ses membres.

Figure 3 : Modèle MLC – apprentissage, motivation et créativité en SCN



Les motivations des participant-e-s évoluent au cours de leur participation au projet (Jennett, Eveleigh, Mathieu, Ajani, & Cox, 2013 ; Price & Lee, 2013). Initialement, ils souhaitent surtout contribuer de façon utile, soutenir des projets scientifiques pour lesquels ils éprouvent de l'intérêt. Dans l'enquête ILICS, seul un tiers des participant-e-s déclarent être initialement motivés par le fait d'apprendre ou la découverte de nouveaux domaines d'intérêt. Toutefois, ces motivations évoluent avec le temps. Les facteurs sociaux et le fait d'apprendre deviennent ainsi des motivations importantes pour poursuivre leur activité dans les projets.

Considérations de conception

Le tableau 3 représente un modèle à composants des projets de science citoyenne numérique et peut servir d'aide à la conception d'un projet. Pour déclencher la motivation des volontaires, il faut stimuler la curiosité des participant-e-s, proposer un projet scientifiquement utile et savoir le communiquer. Pour fidéliser les participant-e-s, il est important d'offrir des opportunités leur permettant d'apprendre, d'évoluer en communauté, de contribuer de façon créative aux résultats ou à la dynamisation de la communauté, et d'offrir des retours sur les performances et résultats scientifiques. Ces opportunités doivent être multiples, et l'équipe en charge du projet doit être attentive aux demandes et créations qui émergent, dans une forme de conception ouverte.

Tableau 3 : Composants importants de la motivation, de l'apprentissage et de la créativité en SNC

Motivation	Participation initiale	Curiosité
		Intérêt pour la science et le sujet, désir de contribuer à la recherche
		Investissement en temps flexible
	Participation soutenue	Intérêt renouvelé, nouveautés
		Apprentissages
		Retours de l'équipe scientifique sur les performances et résultats
Apprentissage	Eventail d'actions possibles	Contribution aux tâches
		Interactions avec les autres participant-e-s
		Usage de ressources externes
		Usage de documentation interne au projet
		Initiatives /créations personnelles
	Eventail d'apprentissages potentiels	Développement personnel
		Compétences et connaissances génériques
		Compétences et connaissances spécifiques
Créativité	Espaces d'opportunités créatives	Suggestions d'améliorations
		Création de tutoriels, programmes, outils, ressources
		Discussion d'idées
		Créations artistiques
		Promotion du projet
		Ajout d'éléments ludiques au projet par la communauté

Conclusion et défis

Cet article présente un état de l'art et résume les résultats d'un projet de recherche récent sur les apprentissages informels de participant·e·s adultes contribuant à des projets de sciences citoyennes numériques. A la multiplication et la diversification des projets de sciences citoyennes correspond une hétérogénéité des profils, intérêts et modalités de participation des contributeurs et contributrices. Cette double hétérogénéité résulte dans une variété des apprentissages potentiels pour les participant·e·s, quant à leurs contenus, formes, niveaux et processus. Ces apprentissages dépendent à la fois des opportunités offertes au sein des projets (compris largement comme les plateformes numériques et les communautés associées) et des activités des participant·e·s. L'apprentissage peut être considéré comme une forme de « rémunération » des participant·e·s, qui fait pendant à leur volonté d'être utile en contribuant, à leur mesure, à la science, et constitue ainsi un facteur motivationnel pour leur participation à moyen terme dans des projets de sciences citoyennes. Cette thématique est donc importante non seulement pour les praticien·ne·s et chercheur·e·s en éducation, mais aussi pour les équipes scientifiques qui conçoivent et animent ces projets. La poursuite des efforts à la fois empiriques et théoriques dans l'investigation de cette thématique nous paraît donc nécessaire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ackermann, E. (1996). Perspective-taking and object construction : Two keys to learning. In Y. B. Kafai & M. Resnick (Eds.), *Constructionism in practice: Designing, thinking, and learning in a digital world* (pp. 25-35). Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum.
- Anderson, J. R. (1996). ACT : A simple theory of complex cognition. *American Psychologist*, 51(4), 355-365.
- Barbier, R. (1996). *La recherche-action*. Paris : Anthropos.
- Billett, S. (2001). Learning through work : Workplace affordances and individual engagement. *Journal of Workplace Learning*, 13(5), 209-214. <http://dx.doi.org/10.1108/EUM00000000005548>
- Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R., McCallie, E., Phillips, T., Shirk, J., & Wilderman, C. C. (2009). *Public Participation in Scientific Research : Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education* (A CAISE Inquiry Group Report). Washington, DC : Center for Advancement of Informal Science Education (CAISE). Repéré à <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED519688.pdf>
- Bonney, R., Cooper, C. B., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T., Rosenberg, K. V., & Shirk, J. (2009). Citizen science : A developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience*, 59(11), 977-984. <http://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.9>

- Bonney, R., Phillips, T. B., Ballard, H. L., & Enck, J. W. (2016). Can citizen science enhance public understanding of science ? *Public Understanding of Science*, 25(1), 2-16. <http://doi.org/10.1177/0963662515607406>
- Brossard, D., Lewenstein, B., & Bonney, R. (2005). Scientific knowledge and attitude change: The impact of a citizen science project. *International Journal of Science Education*, 27(9), 1099-1121. <http://doi.org/10.1080/09500690500069483>
- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42. <http://doi.org/10.3102/0013189X018001032>
- Clery, D. (2011). Galaxy Zoo volunteers share pain and glory of research. *Science*, 333(6039), 173-175. <http://doi.org/10.1126/science.333.6039.173>
- Cohn, J. P. (2008). Citizen science : Can volunteers do real research ? *BioScience*, 58(3), 192-197. Repéré à http://zandvleitrust.org.za/pdf/zvt-zimp_citizen_science_BioScience_2008_march_2013.pdf
- Crall, A. W., Jordan, R., Holfelder, K., Newman, G. J., Graham, J., & Waller, D. M. (2012). The impacts of an invasive species citizen science training program on participant attitudes, behavior, and science literacy. *Public Understanding of Science*, 22(6), 745-764. <http://doi.org/10.1177/0963662511434894>
- Cronje, R., Rohlinger, S., Crall, A., & Newman, G. (2011). Does participation in citizen science improve scientific literacy ? A study to compare assessment methods. *Applied Environmental Education & Communication*, 10(3), 135-145. <http://dx.doi.org/10.1080/1533015X.2011.603611>
- Dickinson, J. L., Zuckerberg, B., & Bonter, D. N. (2010). Citizen science as an ecological research tool : Challenges and benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 41, 149-172. Repéré à <http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144636>
- Doise, W., & Mugny, G. (1984). *The social development of the intellect*. Oxford : Pergamon Press.
- Engeström, Y. (1999). Activity theory and individual and social transformation. In Y. Engeström, R. Miettinen & R.-L. Punamäki (Eds.), *Perspectives on activity theory* (pp. 19-38). Cambridge, R.-U. : Cambridge University Press.
- Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), 211-221. <http://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>
- Grey, F. (2009, 29 avril). Viewpoint: The age of citizen cyberscience. *CERN Courier, International Journal of High-Energy Physics*. Repéré à <http://cerncourier.com/cws/article/cern/38718>
- Haklay, M. (2013). Citizen science and volunteered geographic information : Overview and typology of participation. In D. Sui, S. Elwood & M. Goodchild (Eds.), *Crowdsourcing Geographic Knowledge* (pp.105-122). Dordrecht : Springer. Repéré à <http://www.springerlink.com/content/j637035u4r8hu057/>
- Irwin, A. (1995). *Citizen science : A study of people, expertise, and sustainable development*. Londres : Routledge.

- Jennett, C., Eveleigh, A., Mathieu, K., Ajani, Z., & Cox, A. (2013, 5 juin). Creativity in citizen science : All for one and one for all. Repéré à <http://discovery.ucl.ac.uk/1395531/>
- Jennett, C., Kloetzer, L., Schneider, D., Iacovides, I., Cox, A., Gold, M., & Talsi, Y. (2016). Motivations, learning and creativity in online citizen science. *Journal of Science Communication*, 15(3). https://jcom.sissa.it/archive/15/03/JCOM_1503_2016_A05
- Jordan, R. C., Ballard, H. L., & Phillips, T. B. (2012). Key issues and new approaches for evaluating citizen-science learning outcomes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(6), 307-309. <http://doi.org/10.1890/110280>
- Jordan, R. C., Gray, S. A., Howe, D. V., Brooks, W. R., & Ehrenfeld, J. G. (2011). Knowledge gain and behavioral change in citizen-science programs. *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology*, 25(6), 1148-1154. <http://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01745.x>
- Khatib, F., DiMaio, F., Cooper, S., Kazmierczyk, M., Gilski, M., Krzywda, S., ...Jaskolski, M. (2011). Crystal structure of a monomeric retroviral protease solved by protein folding game players. *Nature Structural & Molecular Biology*, 18(10), 1175-1177.
- Kloetzer, L., Schneider, D., Jennett, C., Iacovides, I., Eveleigh, A., Cox, A., & Gold, M. (2013). Learning by volunteer computing, thinking and gaming : What and how are volunteers learning by participating in Virtual Citizen Science ? In *Proceedings of the 2013 European Research Conference of the Network of Access, Learning Careers and Identities* (pp. 73-92). Linköping, Sweden : European Society for Research on the Education of Adults (ESREA).
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning : Legitimate peripheral participation*. Cambridge, R.-U. : Cambridge University Press.
- Masters, K., Oh, E., Simmons, B., Lintott, C., Graham, G., Greenhill, A., & Holmes, K. (2016). Science learning via participation in online citizen science. *Journal of Science Communication*, 15(3). https://jcom.sissa.it/archive/15/03/JCOM_1503_2016_A07
- Mathieu, D. (2011). Observer la nature, une problématique « science citoyenne » ? *Forêt Méditerranéenne*, 23(2), 115-118.
- Miller-Rushing, A., Primack, R., & Bonney, R. (2012). The history of public participation in ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(6), 285-290. <http://doi.org/10.1890/110278>
- Newman, G. (2014). Citizen cyberscience – New directions and opportunities for human computation. *Human Computation*, 1(2), 103-109
- Newman, G., Wiggins, A., Crall, A., Graham, E., Newman, S., & Crowston, K. (2012). The future of citizen science : Emerging technologies and shifting paradigms. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(6), 298-304. <http://doi.org/10.1890/110294>
- Price, C. A., & Lee, H.-S. (2013). Changes in participants' scientific attitudes and epistemological beliefs during an astronomical citizen science project. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(7), 773-801. <http://doi.org/10.1002/tea.21090>

- Reed, J., Rodriguez, W., & Rickhoff, A. (2012). A framework for defining and describing key design features of virtual citizen science projects. In *Proceedings of the 2012 iConference on – iConference '12* (pp. 623-625). New York : ACM Press. <http://doi.org/10.1145/2132176.2132314>
- Silvertown, J. (2009). A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(9), 467-471. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.017>
- Trumbull, D. J., Bonney, R., Bascom, D., & Cabral, A. (2000). Thinking scientifically during participation in a citizen-science project. *Science Education*, 84(2), 265-275. [http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200003\)84:2<265::AID-SCE7>3.0.CO;2-5](http://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200003)84:2<265::AID-SCE7>3.0.CO;2-5)
- Van Merriënboer, J. J. G., & de Bruin, A. B. H. (2014). Research paradigms and perspectives on learning. In *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (pp. 21-29). New York : Springer. http://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5_2